CENTRALES NUCLÉAIRES ET ENVIRONNEMENT

Prélèvements d'eau et rejets

Édition 2020

edp sciences

EDF – Division Production Nucléaire
Site Cap Ampère
1 place Pleyel
93282 St Denis Cedex

www.edpsciences.org

ISBN : 978-2-7598-2462-5

Couverture : © EDF-Bruno Conty

CENTRALES NUCLÉAIRES ET ENVIRONNEMENT

Prélèvements d'eau et rejets

edp sciences

La première version de ce guide a été rédigée par Philippe Hartmann,
assisté de François Bordet, Christian Chevalier, Jean-Luc Colin et Michel Khalanski.

Cette deuxième édition a été pilotée par Pierre-Yves Hémidy
avec l'appui de Bertille Richard-Tanaka,
assistés de Chloé Astier, Caroline Delpuech, Marie Papadopoulos, Marine Pierre, Gwladys Robinet,
Séverine Sarrazin et Laure Viricel.

Nous remercions vivement toutes les personnes qui ont apporté
leur concours à la révision et à l'actualisation de ce guide.

***Comité de validation** présidé par Cécile Laugier*

***État-Major de la Division Production Nucléaire (DPN) :** Pascal Guihot*

***Unité Nationale d'Ingénierie d'Exploitation (UNIE) :** Antonella Albanese, Frédéric Chitry, Caroline Delpuech, Pierre-Yves Hémidy, Denis Jautzy, Isabelle Jouette, Laurent Lazare, Damien Le Bellour, Aurélie Mabrouk, Michel Mertz, Alain Müller, Cécile Palayer, Stéphanie Perron, Emmanuelle Pringuez, Jean-Pierre Pyrot, Bertille Richard-Tanaka, Gwladys Robinet, Fabienne Rollandez, Didier Vazelle.*

***Unité Technique Opérationnelle (UTO) :** Estelle Caquelard.*

***Centre Nucléaire de Production d'Électricité du Blayais :** Gerard Bertet, Pierre-Guy Beyraud.*

***Centre Nucléaire de Production d'Électricité de Belleville :** Silvère Roger.*

***Division de l'Ingénierie du Parc nucléaire, de la Déconstruction et de l'Environnement (DIPDE) :** Anne Amardeil, Amélie Besnard, Mireia Bonjoch-Freginal, Johanna Boulos, Cécile Boyer, Delphine Cuenot, Daphney Dagneaux, Benjamin Delmotte, Mathilde Durel, Marie-Noelle Faye, Isabelle Gile, Franck Marolleau, Corinne Masse, Marie Papadopoulos, Karine Perche, Nicolas Peru, Julien Richard, Séverine Sarrazin.*

***Direction Industrielle (DI) :** Audrey Bacchetta, Frédérique Bila, Alix Brice, Hervé Davaux, Mathieu Dupuy, Delphine Mercier, Roland Faure, Mathilde Labiau, Marine Pierre, Germain Pot, Tim Richermoz, Béatrice Thiriet, Laure Viricel.*

***EDF Lab :** Pascaline Herbelin.*

***Direction Juridique Énergie :** Chloé Astier, Michael Varescon.*

***ISBN (papier) :** 978-2-7598-2462-5*

***ISBN (ebook) :** 978-2-7598-2559-2*

© EDF, 2020

CHAPITRES DU GUIDE

1. PRÉSENTATION DU GUIDE 12

2. SYNTHÈSE GÉNÉRALE 22

3. NATURE ET BIODIVERSITÉ 36

4. INFORMATION DU PUBLIC 58

5. CADRE RÉGLEMENTAIRE 66

6. RÔLE DE L'ADMINISTRATION 96

7. PRÉLÈVEMENT D'EAU ET SOURCE FROIDE 108

8. NATURE ET CONTRÔLE DES REJETS 130

9. MAÎTRISE DES IMPACTS DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET DES REJETS 186

10. SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT 234

11. MÉTROLOGIE ENVIRONNEMENTALE 254

© EDF - Marc Didier/PWP

PRÉFACE

Il y a six ans une équipe multidisciplinaire de chercheurs, ingénieurs, juristes et exploitants de centrales nucléaires ont réuni leurs compétences et leur expérience pour rédiger le premier guide « Centrales Nucléaires et Environnement ». Leur ambition était la transmission des savoirs et des connaissances : une fois publié, ce guide a non seulement permis à une génération d'exploitants des centrales nucléaires d'EDF d'acquérir une base robuste sur l'environnement et les centrales nucléaires, mais il a également offert à tous, amateurs de vrais livres, ou habitués d'Internet et des réseaux sociaux, une information pédagogique sur les besoins en eau d'une centrale nucléaire, ses rejets d'effluents dans l'environnement, la surveillance de leurs éventuels impacts, sans oublier le corpus réglementaire applicable, les rôles et missions des autorités de contrôle...

Le succès de ce guide, les retours positifs qu'il a suscités, ainsi que les évolutions importantes intervenues dans le cadre réglementaire depuis sa publication, nous ont convaincus de l'intérêt de mobiliser une nouvelle équipe d'experts pour une mise à jour et une réédition du format Livre.

Après une synthèse de tout ce qu'il faut savoir en 10 pages, le guide décrit les interactions de ces grands ouvrages industriels avec leur environnement :

- dans un sens, les services écologiques apportés aux centrales nucléaires pour leur permettre de produire l'électricité la moins carbonée et l'une des plus compétitives d'Europe au service du bien-être des hommes et ;
- dans l'autre sens, les nombreuses actions mises en œuvre par EDF pour connaître, éviter ou réduire les effets des centrales sur les écosystèmes.

L'organisation de ce guide permet au lecteur de naviguer au gré de ses besoins ou de sa curiosité. Il y découvre l'importance qu'accorde l'exploitant à informer le public faisant sienne la définition de la transparence d'André Comte-Sponville : « *Dire au public tout ce qu'il n'aimerait pas apprendre par d'autres que nous* ».

Un tour de la réglementation applicable aux centrales nucléaires amène le lecteur au pied de la pyramide réglementaire française des installations nucléaires de base (INB) avec à son sommet la loi fondatrice TSN (Transparence et Sécurité Nucléaire) du 13 juin 2006, aujourd'hui codifiée dans le Code de l'environnement (titre IX du livre V principalement). Un détour par Oslo et Paris avec la convention OSPAR sur la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-est ; un saut à Berne et sa convention pour la protection du Rhin, puis, bien sûr, Kyoto et le protocole sur la réduction des gaz à effet de serre, à Espoo pour la prise en compte de l'environnement lors de Projets dans un contexte transfrontière et pour terminer à Bruxelles avec nombre de directives et règlements.

Enfin, le guide aborde le contrôle des rejets et la surveillance de l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, ce qui permet de suivre les principaux paramètres indicateurs de la qualité des écosystèmes terrestre et aquatique. Référence est faite aux études et aux techniques de mesures les plus sophistiquées pour déceler le moindre effet.

Je remercie les auteurs pour la qualité de ce guide qui éclairera les parcours de tous nos collaborateurs qui entrent dans ce métier passionnant et rigoureux d'exploitant de centrales nucléaires. Sans nul doute, ce guide permettra aussi à un plus grand nombre de mieux connaître comment EDF conjugue les enjeux sociétaux, environnementaux et économiques au service de sa mission de producteur d'électricité neutre en carbone.

Cécile Laugier
Directrice Environnement et Prospective
EDF – Division Production Nucléaire

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DU GUIDE

1. OBJET **14**
2. LA CIBLE **14**
3. LE CONTENU **14**
4. LA STRUCTURE **15**

CHAPITRE 2 : SYNTHÈSE GÉNÉRALE

1. INTRODUCTION **24**
1.1 Situation et emprise au sol d'une centrale nucléaire 24
1.2 Structure et fonctionnement 24
2. BESOINS EN EAU D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE **26**
3. NATURE DES REJETS **27**
3.1 Rejets d'effluents radioactifs liquides et gazeux 27
3.2 Rejets d'effluents chimiques liquides 28
3.3 Rejets chimiques gazeux 28
3.4 Rejets thermiques 28
4. CONTRÔLE DES REJETS ET SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT **30**
5. IMPACTS LIÉS AUX PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET AUX REJETS **31**
5.1 Impact lié aux prélèvements d'eau 31
5.2 Impact des rejets d'effluents radioactifs liquides et à l'atmosphère 31
5.3 Impact des rejets chimiques 32
5.4 Impact des rejets thermiques 32
6. INFORMATION DU PUBLIC **32**
7. PRÉSERVATION DES HABITATS NATURELS ET DE LA BIODIVERSITÉ **33**

ANNEXE 2.1 : Implantation des centrales nucléaires d'EDF en France 34

CHAPITRE 3 : NATURE ET BIODIVERSITÉ

1. INTRODUCTION **38**
2. BIODIVERSITÉ : L'URGENCE D'AGIR **38**
3. CADRE RÉGLEMENTAIRE EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL **41**
3.1 Sur le plan international 41
3.2 Sur le plan européen 43
3.3 Sur le plan national 44
4. MOBILISATION DES ENTREPRISES POUR LA BIODIVERSITÉ **49**
5. BIODIVERSITÉ : EDF ET LES CENTRALES NUCLÉAIRES **51**

ANNEXE 3.1 : Éviter Réduire Compenser les atteintes à la biodiversité 54

ANNEXE 3.2 : Continuités écologiques : la trame verte et bleue (TVB) 56

CHAPITRE 4 : INFORMATION DU PUBLIC

1. INTRODUCTION **60**
2. CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE **60**
2.1 Au niveau international 60
2.2 Au niveau européen 61
2.3 Au niveau français 61
2.3.1 Disponibilité de l'information en matière nucléaire hors procédure 61
2.3.2 Disponibilité de l'information lors de procédures 61
3. INFORMATION DU PUBLIC PAR L'EXPLOITANT **62**
3.1 Rapports à fournir au titre de la transparence en matière nucléaire 63
3.2 Rapport à fournir au titre de la réglementation générale applicable aux INB 63
3.3 Documents mensuels « grand public » 63
3.4 Visite d'une centrale nucléaire 63
3.5 Portail Internet 64
3.6 Communication scientifique 64
4. INFORMATION DU PUBLIC PAR L'ADMINISTRATION **64**
4.1 Sur la radioactivité de l'environnement (RNM) 64
4.2 Sur les débats scientifiques 64
4.3 Sur les sujets de société 64
5. INFORMATION DU PUBLIC PAR LES SOCIÉTÉS SAVANTES **65**
5.1 Société française de radioprotection (SFRP) 65
5.2 Société française d'énergie nucléaire (SFEN) 65

CHAPITRE 5 : CADRE RÉGLEMENTAIRE

1. CADRE GÉNÉRAL **68**
2. DROIT INTERNATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT **69**
2.1 Organismes internationaux et organisations non gouvernementales concernés 69
2.2 Principaux textes internationaux ratifiés par la France 70
3. RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE **73**
3.1 Textes relatifs à la protection de la santé publique 74
3.2 Textes relatifs à la protection du milieu aquatique 76
3.3 Autres textes 78
4. RÉGLEMENTATION FRANÇAISE **79**
4.1 Réglementation dans le domaine nucléaire 80
4.2 Réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) 82
4.3 Textes sur l'eau et les milieux aquatiques 84
4.4 Textes sur l'air 86
5. TEXTES PROPRES À CHAQUE CENTRALE NUCLÉAIRE D'EDF **87**
5.1 Articulation des principaux textes conduisant aux autorisations de prélèvements d'eau et de rejets 87
5.2 Textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF 88

ANNEXE 5.1 : Tableau récapitulatif des principaux textes réglementaires 90

ANNEXE 5.2 : Nature des différents types de textes législatifs et réglementaires 91

ANNEXE 5.3 : Code de l'environnement 93

ANNEXE 5.4 : Institutions de l'Union européenne 94

CHAPITRE 6 : RÔLE DE L'ADMINISTRATION

1. INTRODUCTION 98
2. MISSIONS DE L'AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE 99
2.1 Réglementer 99
2.2 Contrôler/Inspecter 99
2.3 Informer 101
3. ORGANISATION DE L'ADMINISTRATION FRANÇAISE DANS LE DOMAINE DE L'EAU 102
3.1 Au niveau du bassin hydrographique 102
3.2 Au niveau régional (services déconcentrés sous l'autorité du préfet de région) 103
3.3 Au niveau départemental et local 103
4. LES REDEVANCES RELATIVES AUX PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET AUX REJETS 104
4.1 Redevances des agences de l'eau 104
4.2 Redevances de prise et de rejet d'eau dans le domaine public fluvial confié à Voies navigables de France 106
4.3 Redevances pour occupation du domaine public fluvial et maritime 106
4.4 Redevances pour service rendu pour le soutien d'étiage 106
5. RÔLE DES ORGANISMES EUROPÉENS ET INTERNATIONAUX 106

CHAPITRE 7 : PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET SOURCE FROIDE

1. ENJEUX LIÉS À LA RESSOURCE EN EAU (PRÉLÈVEMENT/CONSOMMATION) 110
2. BESOINS EN EAU D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE 110
2.1 Centrale refroidie en circuit ouvert 111
2.2 Centrale refroidie en circuit dit « fermé » 111
2.3 Besoin en eau déminéralisée 112
2.4 Besoin en eau potable 113
3. ÉVALUATION DES DÉBITS ET VOLUMES D'EAU PRÉLEVÉE ET CONSOMMÉE (ÉVAPORÉE) 114
3.1 Débits prélevés 114
3.2 Débits consommés (évaporés) 114
3.3 Débits rejetés (restitués) 115
4. MAÎTRISE DES SALISSURES BIOLOGIQUES COLMATANTES DANS LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT 116
4.1 Nature des salissures biologiques 116
4.2 Procédés de lutte contre les salissures biologiques 116
5. ENVASEMENT ET DRAGAGE (OU CURAGE) DES PRISES D'EAU 117
6. QUALITÉ DE L'EAU PRÉLEVÉE VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENCRASSEMENT DES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT 120
6.1 Formation du tartre dans les circuits (condenseurs et aéroréfrigérants) 120
6.2 Traitement antitartre des circuits de refroidissement des condenseurs 120
7. CONTRÔLE DU DÉVELOPPEMENT DES MICRO-ORGANISMES PATHOGÈNES DANS LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT 122
7.1 Amibes et légionelles dans les circuits d'eau douce 122
7.2 Vibrions dans les circuits de réfrigération à l'eau de mer (sites marins) 125
8. PROTECTION DES INSTALLATIONS CONTRE LES RISQUES CLIMATIQUES 125
8.1 Inondation 125
8.2 Canicule – sécheresse 126
8.3 Grand froid 127

CHAPITRE 8 : NATURE ET CONTRÔLE DES REJETS

1. INTRODUCTION **132**
2. INSTALLATIONS DE COLLECTE, DE TRAITEMENT ET DE REJET DES EFFLUENTS **134**
3. DOMAINE RADIOACTIF **135**
3.1 Origine de la radioactivité des effluents rejetés 135
3.2 Effluents radioactifs gazeux 138
3.3 Effluents radioactifs liquides 142
3.4 Eaux d'exhaure des salles des machines 146
3.5 Rejets gazeux diffus 147
4. DOMAINE CHIMIQUE **148**
4.1 Origine des substances chimiques rejetées 148
4.2 Collecte et traitement des effluents chimiques liquides 155
4.3 Rejets chimiques liquides 160
4.4 Rejets gazeux non radioactifs 163
5. REJETS THERMIQUES **165**
5.1 Caractéristiques des rejets thermiques en circuit ouvert 165
5.2 Caractéristiques des rejets thermiques en circuit dit « fermé » 166
5.3 Rejets thermiques 167
6. UTILISATION DES EAUX TIÈDES ISSUES DES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT **171**
6.1 Objectif 171
6.2 Aspects réglementaires et applications 171

ANNEXE 8.1 : Fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisée 173

ANNEXE 8.2 : Installation de collecte et de traitement des effluents radioactifs liquides et gazeux 175

ANNEXE 8.3 : Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides – Site sur cours d'eau 177

ANNEXE 8.4 : Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides – Site marin 178

ANNEXE 8.5 : Comptabilisation des activités rejetées 179

ANNEXE 8.6 : Fonctionnement d'un aéroréfrigérant 181

ANNEXE 8.7 : Limites de rejets thermiques des centrales EDF mentionnées dans les décisions ASN 182

CHAPITRE 9 : MAÎTRISE DES IMPACTS DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET DES REJETS

1. CADRE GÉNÉRAL ET ÉTUDE D'IMPACT **188**
2. INTERACTIONS AVEC L'ENVIRONNEMENT **189**
2.1 Contexte environnemental 189
2.2 Prélèvements d'eau 192
2.3 Rejets thermiques 192
2.4 Rejets d'effluents 192
3. ÉVALUATION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT **194**
3.1 Évaluation des impacts des prélèvements d'eau 195
3.1.1 Évaluation de l'impact des prises d'eau 195
3.1.2 Évaluation de l'impact sur la ressource en eau 195

3.2 Évaluation de l'impact des rejets thermiques 196
3.2.1 Caractérisation du panache thermique en bord de rivière 196
3.2.2 Caractérisation du panache thermique en bord de mer 197
3.2.3 Lien thermie-hydrobiologie 197
3.3 Évaluation de l'impact des rejets d'effluents chimiques 199
3.4 Évaluation de l'impact des rejets d'effluents radioactifs 201
3.4.1 Évaluation rétrospective de l'impact des rejets d'effluents radioactifs 201
3.4.2 Évaluation prospective de l'impact des rejets d'effluents radioactifs 204
3.5 Retour d'expérience *via* la surveillance hydroécologique de l'environnement 205
4. ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LA SANTÉ HUMAINE 213
4.1 Évaluation de l'impact dosimétrique 214
4.1.1 Évaluation de l'impact dosimétrique des rejets d'effluents radioactifs 214
4.1.2 Exposition directe 214
4.2 Évaluation des risques sanitaires des rejets chimiques 215
4.2.1 Interprétation de l'état des milieux 215
4.2.2 Évaluation prospective des risques sanitaires 215
5. PRÉVENTION ET RÉDUCTION DES IMPACTS 216
5.1 Choix du site 216
5.2 Conception des ouvrages de prise d'eau et de rejet 217
5.3 Gestion optimisée des effluents 217
5.4 Organisation – management de l'environnement 220
5.5 Actions d'études et de recherches (R&D) 221
6. INFLUENCE DU FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE SUR SON ENVIRONNEMENT ET SUR LA SANTÉ (SYNTHÈSE) 222
ANNEXE 9.1 : Recommandations nationales et internationales pour la protection radiologique de l'environnement 224
ANNEXE 9.2 : Régimes thermiques des grandes rivières 225
ANNEXE 9.3 : Évaluation de l'impact des rejets d'effluents radioactifs sur le public 226
ANNEXE 9.4 : Évaluation des risques des substances chimiques sur l'écosystème 227
ANNEXE 9.5 : Évaluation des risques des substances chimiques sur la santé humaine 229
ANNEXE 9.6 : Organismes d'expertise dans l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux 232

CHAPITRE 10 : SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

1. INTRODUCTION 236
2. SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AU QUOTIDIEN PAR L'EXPLOITANT 237
2.1 Surveillance de l'air ambiant et du milieu terrestre 237
2.2 Surveillance des eaux de surface 238
2.3 Surveillance des eaux souterraines 240
2.4 Points de surveillance de l'environnement 242
3. SURVEILLANCE D'EXPERTISE DE L'ENVIRONNEMENT : CAMPAGNES DE SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE ET HYDROÉCOLOGIQUE 243
3.1 Campagnes de suivis radioécologiques 243
3.2 Campagnes de suivis hydroécologiques 244
4. TRANSMISSION DES RÉSULTATS À L'ASN ET À L'ADMINISTRATION 245
5. COMMUNICATION DES RÉSULTATS AU PUBLIC 246

ANNEXE 10.1 : Surveillance de la radioactivité de l'environnement 248

ANNEXE 10.2 : Programme type de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de rivière 251

ANNEXE 10.3 : Exemple de programme de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de mer (cas de Flamanville)..... 252

CHAPITRE 11 : MÉTROLOGIE ENVIRONNEMENTALE

1. INTRODUCTION **256**
2. IMPORTANCE DE L'ÉCHANTILLONNAGE EN MÉTROLOGIE..... **256**
3. TECHNIQUES DE MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ **258**
3.1 Techniques de détection de la radioactivité..... 258
3.2 Mesures de la radioactivité dans les effluents gazeux..... 261
3.3 Mesures de la radioactivité dans les effluents liquides 263
3.4 Mesures de la radioactivité dans l'environnement 264
4. MÉTHODES ANALYTIQUES APPLIQUÉES AUX SUBSTANCES CHIMIQUES **266**
4.1 Paramètres chimiques et biologiques..... 266
4.2 Méthodes de mesures physico-chimiques..... 266
4.3 Tableau récapitulatif des types de mesures chimiques réalisées en centrale..... 268
5. MÉTHODES DE MESURES MICROBIOLOGIQUES..... **269**
5.1 Mesures des légionelles 269
5.2 Mesure des amibes 269
6. ORGANISMES DE NORMALISATION ET D'HOMOLOGATION **270**
6.1 Organismes internationaux de normalisation 270
6.2 Organismes français de normalisation et d'homologation 270
6.3 Organisme français d'accréditation 271

ANNEXE 11.1 : Principales grandeurs et unités pour la radioactivité..... 272

PRÉSENTATION

1

1. OBJET
2. LA CIBLE
3. LE CONTENU
4. LA STRUCTURE
Abréviations utilisées
INDEX

© EDF-Pierre Mérat

1. Objet du guide

La production d'électricité à partir d'une centrale nucléaire nécessite de grandes quantités d'eau et conduit, après contrôles, à des rejets d'effluents dans l'environnement. Quelle est la nature de ces prélèvements d'eau et de ces rejets ? Comment sont-ils réalisés et contrôlés ? Y a-t-il des impacts pour l'environnement et la santé publique ? Comment le public en est-il informé ? Les données issues de la surveillance de l'environnement sont-elles disponibles et accessibles ?

Tels sont des exemples de questions que tout un chacun, intéressé par les centrales nucléaires et/ou par l'environnement, peut se poser. Ces sujets sont notamment discutés entre l'exploitant et les parties prenantes, par exemple à l'occasion des consultations du public organisées lors des procédures administratives de demande d'autorisation de création d'une installation nucléaire (DAC).

Les réponses apportées sont souvent très techniques et donc difficiles à comprendre pour qui ne possède pas une bonne connaissance du fonctionnement d'une centrale nucléaire et des exigences environnementales relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents.

Aider le lecteur à trouver des réponses à ses questions est l'objectif de ce guide. Pour cela, le guide se veut à la fois descriptif (pour bien savoir de quoi il est question) et explicatif (pour bien comprendre le sens des éléments exposés).

Ce guide n'aborde pas les déchets radioactifs et conventionnels, ni les rejets en situation accidentelle qui font l'objet de documents spécifiques. Il ne traite pas non plus des questions de paysage et du bruit, ni des fluides frigorigènes utilisés dans les circuits de climatisation.

2. La cible

Ce guide s'adresse en priorité aux personnes travaillant au sein des centrales nucléaires et des ingénieries nucléaires d'EDF qui, dans le cadre de leurs activités, souhaitent trouver rapidement des informations précises et synthétiques sur la nature et l'impact des prélèvements d'eau et des rejets (direction, exploitants, chimistes des laboratoires, personnel de maintenance, chargés de communication, ingénieurs en charge des questions environnementales...).

Il s'adresse aussi à toute personne désireuse d'acquérir des connaissances sur le sujet, qu'elle travaille ou non dans le domaine du « nucléaire » au sens large du terme.

3. Le contenu

Les thèmes centraux du guide sont :

- les **prélèvements d'eau** nécessaires à l'alimentation et au refroidissement des circuits (besoins en eau) ; les actions engagées pour maîtriser le risque de colmatage des prises d'eau par les salissures biologiques, le risque d'entartrage et de développement microbien ;
- les **rejets d'effluents** issus du fonctionnement qu'ils soient radioactifs, chimiques ou thermiques. Le guide fournit des informations sur :
  - leurs caractéristiques,
  - les contrôles réalisés par l'exploitant dans le cadre de la réglementation,
  - leur impact sur les écosystèmes et sur le public,
  - les actions mises en œuvre afin de réduire les rejets,
  - les modalités de surveillance de l'environnement et la métrologie associée.

Le guide aborde aussi les sujets connexes en présentant :

- la **réglementation** et le rôle de l'administration, notamment son pouvoir de police ;
- en quoi une centrale nucléaire est concernée par la préservation de la nature et de la **biodiversité** ;
- **l'information du public.**

4. La structure

La structure adoptée pour ce guide (*cf.* figure 1) permet d'avoir un **aperçu global** du sujet par la seule lecture du chapitre 2 intitulé : « synthèse du guide ».

Il a paru nécessaire d'introduire d'emblée un chapitre consacré à la préservation de la **nature et de la biodiversité**, étant donné qu'une centrale nucléaire fait largement usage de ressources naturelles telles que l'eau, l'air et le sol. La production d'électricité étant fortement tributaire de ces ressources, il était important de montrer les actions menées par EDF dans ce domaine ; c'est l'objet du chapitre 3.

Comme l'impact des rejets des centrales nucléaires est un sujet sensible et intéresse particulièrement le public, le thème de l'**information du public** est abordé au début du guide au chapitre 4.

Les aspects **réglementaires** sont abordés au sein des chapitre 5 (réglementation) et chapitre 6 (rôle de l'administration).

Les chapitres 7, 8 et 9 relatifs respectivement aux besoins en eau d'une centrale nucléaire, aux rejets d'effluents et aux impacts constituent le **corps technique** du guide avec les chapitres 10 et 11 respectivement sur la surveillance de l'environnement et la métrologie environnementale.

Enfin, le guide comporte un **index** et la liste des **abréviations/acronymes** utilisés.

Les chapitres 3 à 11 sont composés d'un premier paragraphe constituant la synthèse des thèmes abordés et d'annexe(s) où sont détaillés certains aspects techniques.

Le guide permet ainsi trois niveaux de lecture (globale, thématique et détaillée). Les différents thèmes traités étant très dépendants les uns des autres, le guide indique les renvois permettant de passer d'un chapitre à l'autre. Ce guide sur les prélèvements d'eau et les rejets des centrales nucléaires d'EDF en France établit un condensé du sujet qui vient enrichir les informations communiquées par ailleurs au travers de rapports, recueils, brochures, du site Internet d'EDF où bon nombre de documents sont accessibles.

Fig. 1 ▶ Structure du guide.

Abréviations utilisées dans le guide

A – B

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEN	Agence pour l'énergie nucléaire
AFB	Agence française pour la biodiversité
AFNOR	Association française de normalisation
AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AFSSET	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique (Vienne)
ALARA	« As low as reasonably achievable »
ANCCLI	Association nationale des comités et commissions locales d'information
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOX	Composés organohalogénés adsorbables sur charbon actif
AR5	5th Assessment Report
ARB	Agence régionale de la biodiversité
ARS	Agence régionale de santé
ASG	Alimentation de secours des générateurs
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
BAC	Bâtiment des auxiliaires de conditionnement
BAN	Bâtiment des auxiliaires nucléaires
BDF	Bruit de fond
BK	Bâtiment du combustible
BR	Bâtiment réacteur
BREF	Best available Technique REFerence

C

CE10	Concentration efficace entraînant 10 % d'effets
CE50	Concentration efficace entraînant 50 % d'effets
Cemagref	Centre d'étude du machinisme agricole et du génie rural des eaux et forêts
CEN	Conservatoire des espaces naturels
CET	Étanchéité labyrinthes turbine
CFC	Chlorofluorocarbones
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CHSCT	Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail
CI	Concentration inhalée
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CJUE	Cour de Justice de l'Union européenne
CL50	Concentration létale entraînant 50 % mortalité
CLE	Commission locale de l'eau
CLI	Commission locale d'information
CMA	Chloration massive à pH contrôlé
CMIP5	5th Coupled Model Intercomparison Project
CMR	Cancérogène, mutagène ou repro-toxique
CNB	Comité national de la biodiversité
CNDP	Commission nationale du débat public
CNPE	Centre Nucléaire de Production d'Électricité
CNPN	Conseil national de protection de la nature
COD	Carbone organique dissous
CoDERST	Comité départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques
COFRAC	Comité français d'accréditation
COP 21	21e Conférence des parties à la Convention cadre des Nations Unies
COREPER	Comité des représentants permanents des États membres de l'Union européenne
CRB	Comités régionaux de la biodiversité
CRF	Circuit de refroidissement
CRT	Chlore résiduel total
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
CVI	Vide condenseur
CVP	Réfrigération des purges des réfrigérants atmosphériques

D

DAC	Demande/Décret d'autorisation de création
DBO5	Demande biochimique en oxygène sur 5 jours
DC	Drains chimiques
DCE	Directive cadre européenne sur l'eau
DCO	Demande chimique en oxygène
DCR	Débit de crise
DDT	Direction départementale des territoires
DDTM	Direction départementale des territoires et de la mer

DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé
DJA	Dose journalière admissible
DJE	Dose journalière d'exposition
DOE	Débit objectif d'étiage
DP	Drains de planchers
DR	Drains résiduaires
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DSA	Débit seuil d'alerte
DTG	Direction technique générale
DVN	Ventilation générale du bâtiment des auxiliaires nucléaires

E

EAR	Échantillonnage/Analyse/Rejet
EBP	Empreinte biodiversité produits
EC	Effluents chimiques
ECHA	European chemicals agency
EDA	Éthylène diamine
EDF	Electricité de France
EDTA	Acide éthylènediaminetétraacétique
EMRAS	Environmental Modelling for Radiation Safety
EpE	Entreprise pour l'environnement
EPR	European Pressurized water Reactor
EPRS	Évaluation prospective des risques sanitaires
EQH	Équivalents-habitants
EQRS	Évaluation quantitative des risques sur la santé
ERI	Excès de risque individuel
ERICA	Environmental Risks from Ionising Contaminants: Assessment and management
ERU	Excès de risque unitaire
ETA	Éthanolamine
Eurdep	European Radiological Data Exchange Platform
EVEREST	Évoluer VERs une Entrée Sans Tenue universelle
Ex	Eaux d'exhaure

F-G-H

FDC 33	Fédération départementale des chasseurs de la Gironde
FGMN	Fonds de gestion des milieux naturels
FRB	Fondation pour la recherche sur la biodiversité
GBq	Gigabecquerel
GBS	Global Biodiversity Score
GCTa	Contournement global turbine atmosphère
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GV	Générateurs de vapeur
GWean	GigaWatt électrique.an
HCFC	Hydrochlorofluorocarbone
HCSP	Haut Conseil de santé publique
HCTISN	Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire
HFC	Hydrofluorocarbone
HTO	Eau tritiée

I

IARC	International Agency for Research on Cancer
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IED	Directive relative aux émissions industrielles
IEM	Interprétation de l'état des milieux
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
INB	Installation nucléaire de base
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INPN	Inventaire national du patrimoine naturel
InVS	Institut de veille sanitaire
IPBES	Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques
IR	Indice de risque
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
Irstea	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (ex-Cemagref)
ISO	Organisme international de normalisation

K-L

KER	Contrôle et rejet des effluents de l'îlot nucléaire
LAURE	Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie
LEMA	Loi sur l'eau et les milieux aquatiques
LPO	Ligue de protection des oiseaux

M

MES	Matières en suspension
MODARIA	Modelling and Data for Radiological Impact Assessments
MOX	Oxyde mixte d'uranium et de plutonium
MSNR	Mission de sûreté nucléaire et de radioprotection

mSv	Millisievert
MTD	Meilleures techniques disponibles
MTES	Ministère de la Transition écologique et solidaire
MWe	Megawatt electrique

N

N total	Azote total
Nf/L	Naegleria fowleri/L
NH_4^+	Ammonium
NO_2^-	Nitrite
NO_3^-	Nitrate
NOEC	Concentration sans effet observé (No Observable Effect Concentration)
NQE	Normes de qualité environnementales
NQE-CMA	Normes de qualité environnementales en concentration maximale admissible
NQE-MA	Normes de qualité environnementales en moyenne annuelle
nSv	Nanosievert
NTA	Acide nitrilotriacétique

O

O_2	Dioxygène
OCDE	Organisme de coopération et de développement économiques
OFB	Office français de la biodiversité
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONCFS	Office national de la chasse et de la faune sauvage
ONEMA	Office national de l'eau et des milieux aquatiques
ONG	Organisations non gouvernementales
ONU	Organisation des Nations Unies
Orée	Organisation pour le respect de l'environnement dans l'entreprise

P-Q

P	Phosphore
PA	Produit d'activation
PAP	Poste d'accès principal
PCRD	Programme cadre de recherche et développement
PF	Produit de fission
PF + PA	Produit de fission + produit d'activation
pH	Potentiel hydrogène
PI	Pièges à iode
PM	Pleine mer
PNA	Plans nationaux d'actions
PNEC	Predicted No Effect Concentration
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
PO_4^{3-}	Phosphate
PUI	Plan d'urgence interne
QD	Quotient de danger
QPC	Question prioritaire de constitutionnalité

R

R&D	Recherche et développement
RCFS	Réserve de chasse et de faune sauvage
RCP4.5	Scénario d'émissions des gaz à effet de serre correspondant à la stabilisation des émissions à horizon 2100
RCP8.5	Scénarios d'émissions des gaz à effet de serre le plus pessimiste, correspondant à une augmentation de ces émissions au-delà de 2100
RCV	Circuit de contrôle chimique et volumétrique
REACH	EnRegistrement, Évaluation et Autorisation des substances Chimiques
REP	Réacteur à eau pressurisée
RESRAD	Outils d'évaluation d'impact radiologique sur les écosystèmes aux USA
RGE	Règles générales d'exploitation
RNM	Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement
RRI	Réfrigération intermédiaire
RS	Réservoir de Stockage des effluents gazeux avant rejet (= TEG)
RSE	Responsabilité sociétale des entreprises
RTE	Réseau de transport d'électricité

S

SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	Schémas directeurs d'aménagement de gestion des eaux
SEK	Recueil, contrôle et rejets des effluents du circuit secondaire
SFEN	Société française d'énergie nucléaire
SFRP	Société française de radioprotection
SME	Système de management de l'environnement
SMP	Station multiparamètres
SNB	Stratégie nationale pour la biodiversité
SRI	Réfrigération intermédiaire - circuits/ auxiliaires conventionnels
STEP	Station d'épuration
SUEB	Stratégie biodiversité

T

T°	Température
T°nat	Température naturelle
TAC	Turbines à combustion
TAC	Titre alcalimétrique complet
TAR	Tour aéroréfrigérante
TEP	Traitement des Effluents Primaires
TEU	Traitement des effluents usés
THE	Très haute efficacité
THM	Trihalométhanes
TOL	Tritium organique
TRI	Réfrigération intermédiaire traitement des effluents

U-Z

UE	Union européenne
UFC	Unité formant colonie
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UNGG	Uranium naturel, graphite, gaz
UNSCEAR	Comité scientifique des Nations unies sur l'effet des radiations atomiques
UV	Ultra-violet
VNF	Voies navigables de France
VTR	Valeur toxicologique de référence
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
WWF	Fonds mondial pour la nature (World Wide Fund for nature)
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

INDEX

A	CHAPITRE
Acide borique	8
Actinides	8
Aéroréfrigérant	8
Aérosols	8
Agence française de biodiversité	3
Agences de l'eau	6
Air ambiant	10
Amibes	7
Ammoniaque	8
Arrêté du 7 février 2012 (arrêté INB)	8
Autorité de sûreté nucléaire	6
Azote total	8
B	**CHAPITRE**
Bassin hydrographique	6
Biodiversité	3
Bore	8
C	**CHAPITRE**
Canicule	7
Carbone 14	8
Changement climatique	7
Circuit de refroidissement	8
Circuit dit « fermé »	7, 8
Circuit ouvert	7, 8
Circuit primaire	8
Circuit secondaire	8
Circuits auxiliaires nucléaires	8
Clapage	7
CLI	6
Collecte sélective des effluents	8
Colmatages	7
Compartiments	10
Comptabilisation	8
Conditionnement chimique	8
Conditions climatiques exceptionnelles	7, 8
Continuités écologiques terrestres et aquatiques	3
Contrôle avant rejet	8
Contrôle des effluents	8
Contrôle du milieu récepteur	8
Contrôles des rejets	8
Contrôles périodiques	8
Contrôles réglementaires	8
Convention sur la diversité biologique (CDB)	3
Cycle de Carnot	8
D	**CHAPITRE**
Débit de dose	9
Débit de dose gamma de l'air ambiant	10
Débits consommés	7
Débits rejetés	7
Dragage	7
DREAL	6
E	**CHAPITRE**
Eau d'exhaure	8
Eau potable	7
Eaux d'exhaure	8
Eaux de pluie	8
Eaux de surface	10
Eaux huileuses	8
Eaux souterraines	10
Eaux tièdes	8
Eaux usées	8
Eaux vannes	8
Échauffement	8
Effluents chimiques	8
Effluents gazeux	8
Effluents liquides	8
Effluents radioactifs	8
Électrochloration	7
Engagement d'EDF à l'initiative Act4nature	3
Espaces protégés	3
Espèces exotiques envahissantes	3
Espèces protégées	3
Éthanolamine	8
Étude d'impact environnemental	9
Évaluation prospective des risques sanitaires	9
G-I	**CHAPITRE**
Gaz rares	8
Gestion optimisée	8
Grand froid	7
Halogènes	8
Hydrazine	8
Hydrocollecteurs	10
Hydroécologie	10
Indicateurs	10
Inondations	7
Interprétation de l'état des milieux	9
Iode	8

L	CHAPITRE
Légionelles	7
Lettre de suite	6
Limites de rejet	8
Limnimètres	10
Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages	3
M	**CHAPITRE**
Microorganismes pathogènes	7
Module	9
Monochloramine	7, 8
Morpholine	8
N-O	**CHAPITRE**
Norme NF EN ISO/CEI 17025	10
Ouvrages piézométriques	10
P	**CHAPITRE**
Partenariats engagés par les CNPE	3
Produit d'activation	8
Produit de fission	8
R	**CHAPITRE**
Radioactivité	8, 9
Radioécologie	9, 10
Radionucléide	8
Ramsar	3
Rapport d'évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques publié par l'IPBES	3
Réaction nucléaire	8
Recyclage	8
Redevances	6
Réduction à la source	8
Registre réglementaire	10
Rejet chimique	8
Rejet radioactif	8
Rejet thermique	8, 10
Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement	4, 10
Réseau Natura 2000	3
Responsabilité sociétale des entreprises	3
S	**CHAPITRE**
Sécheresse	7
Séquence Éviter Réduire Compenser	3
Services écosystémiques	3
Situations exceptionnelles	7
Source froide	7
Station AS	10
Station d'épuration	8
Station de déminéralisation	8
Station météorologique	10
Station multiparamètres	10
Surveillance de l'environnement	10
Surveillance hydroécologique	10
T	**CHAPITRE**
Tartre	7
Traitement antitartre	8
Traitement biocide	7, 8
Traitement des effluents	8
Tritium	8

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

2

1. INTRODUCTION
1.1 Situation et emprise au sol d'une centrale nucléaire
1.2 Structure et fonctionnement

2. BESOINS EN EAU D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

3. NATURE DES REJETS
3.1 Rejets d'effluents radioactifs liquides et gazeux
3.2 Rejets d'effluents chimiques liquides
3.3 Rejets chimiques gazeux
3.4 Rejets thermiques

4. CONTRÔLE DES REJETS ET SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

5. IMPACTS LIÉS AUX PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET AUX REJETS
5.1 Impact lié aux prélèvements d'eau
5.2 Impact des rejets d'effluents radioactifs
5.3 Impact des rejets chimiques
5.4 Impact des rejets thermiques

6. INFORMATION DU PUBLIC

7. PRÉSERVATION DES HABITATS NATURELS ET DE LA BIODIVERSITÉ

Annexe 2.1 : Implantation des centrales nucléaires d'EDF en France

© EDF-Xavier Popy

1. Introduction

1.1 SITUATION ET EMPRISE AU SOL D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

Une centrale nucléaire se compose d'un ensemble d'installations permettant la production d'électricité. Suivant le cas, elle est composée de deux à six unités de production ; chaque unité étant essentiellement équipée d'un réacteur nucléaire et d'un groupe turbo-alternateur produisant l'électricité.

Salle de commande de la centrale nucléaire de St-Alban (2 × 1300 MWe en bordure du Rhône)
© EDF – Christel Sasso

En 2020 en France, le parc nucléaire d'EDF comprend 18 centrales nucléaires dénommées centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) implantés :

- en bord de rivière : Garonne (1), Loire (4), Vienne (1), Rhône (4), Seine (1), Moselle (1), Meuse (1) ;
- en bord de mer : Manche (3), Mer du Nord (1) ;
- en estuaire : Gironde (1).

Au total, 56 réacteurs à eau sous pression sont en exploitation[1], avec une puissance unitaire de 900 MWe (32 réacteurs), 1300 MWe (20 réacteurs) et de 1450 MWe (4 réacteurs). Les essais préalables au démarrage du réacteur de type EPR[2] de 1650 MWe sont en cours sur le site de Flamanville. Les EPR appartiennent à la même filière des réacteurs à eau légère pressurisée que celle des réacteurs construits dans les années 1980–1990 (*cf.* chapitre 8 annexe 8.1). Les questions des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents sont donc de nature semblable.

La superficie d'un CNPE varie entre 55 et 415 hectares environ suivant le nombre d'unités de production et le mode de refroidissement utilisé. Dans cet espace clôturé, chaque unité de production est constituée :

- d'un **îlot nucléaire** (bâtiment du réacteur, bâtiment des auxiliaires nucléaires, ateliers chauds, laboratoires chauds...) à l'origine de la production d'effluents notamment radioactifs liquides et gazeux ;
- d'un **bloc usine** (salle des machines, aéroréfrigérants le cas échéant, station de production d'eau déminéralisée, ateliers, laboratoires...) donnant lieu à des rejets chimiques et thermiques (*cf.* figure 1).

Ces deux ensembles forment **l'installation nucléaire de base (INB)** dont le périmètre est précisé dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC), ce périmètre pouvant également inclure des bâtiments non industriels (selon les sites : restaurant d'entreprise, parking...).

Par ailleurs, un espace regroupe les bâtiments administratifs et ceux du personnel des entreprises prestataires. Ces installations produisent des effluents de type urbain (eaux vannes, eaux pluviales).

Fig. 1 ▸ Principe de délimitation d'un CNPE composé de deux unités de production en bord de rivière.

1.2 STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT

Une unité de production comprend trois principaux circuits indépendants : le circuit primaire, le circuit secondaire et le circuit tertiaire de refroidissement.

Circuit primaire d'eau sous pression *(volume entre 270 m³ et 460 m³ environ selon le palier de puissance)*

Le circuit primaire est composé du réacteur relié par des tuyauteries aux générateurs de vapeur (3 ou 4 générateurs suivant la puissance) et à un pressuriseur qui maintient l'eau du circuit sous forte pression (155 bars[3]). L'eau du circuit primaire circule en boucle grâce à de puissantes pompes et s'échauffe en traversant le cœur du réacteur ; en fonctionnement, sa température varie entre 286 °C et 323 °C selon la puissance. Ces matériels sont implantés dans un

1. La production d'électricité d'origine nucléaire par EDF a commencé à compter des années 1960 avec la mise en service de réacteurs de la filière « uranium naturel graphite gaz » (Chinon A1, A2 et A3, Saint-Laurent A1 et A2 et Bugey 1), d'un réacteur à neutrons rapides (Super Phénix), de trois réacteurs à eau légère (Chooz A, Fessenheim 1 & 2). Ces réacteurs sont aujourd'hui arrêtés.
2. EPR : *European Pressurized water Reactor*.
3. 155 fois la pression atmosphérique.

Fig. 2 ▶ Schéma de principe d'une unité de production d'un CNPE situé en bord de fleuve refroidie en circuit dit « fermé » au moyen d'une tour aéroréfrigérante.

bâtiment confiné, dénommé bâtiment du réacteur (BR). Du fait des rayonnements émis au sein du réacteur, l'eau du circuit primaire est radioactive.

Circuit secondaire « eau-vapeur » *(volume compris entre 2000 m³ et 2500 m³ environ selon le palier de puissance)*

Dans le circuit secondaire, l'eau suit un cycle thermodynamique fermé qui la fait passer alternativement de phase liquide en phase gazeuse (vapeur). La vapeur issue des générateurs de vapeur sous pression (58–77 bars) alimente la turbine entraînant l'alternateur, puis s'échappe de celle-ci vers le condenseur composé d'un ensemble de tubes parcourus par de l'eau froide prélevée au milieu aquatique (fleuve, rivière, mer). Reprise par de puissantes pompes, l'eau parcourt le poste d'eau puis le circuit d'alimentation des générateurs de vapeur pour recommencer son cycle. N'étant pas en contact direct avec l'eau du circuit primaire, l'eau du circuit secondaire n'est pas radioactive.

Circuit tertiaire *(volume compris entre 25 000 m³ et 50 000 m³ environ selon le palier de puissance)*

Le refroidissement du condenseur peut être assuré en circuit ouvert ou en circuit dit « fermé ». **En circuit ouvert**, l'eau prélevée au milieu parcourt l'intérieur des tubes du condenseur en s'échauffant à leur contact puis retourne directement au milieu aquatique. Dans ce cas, l'énergie thermique extraite au condenseur est intégralement transférée au milieu aquatique. En **circuit dit « fermé »** au contraire, l'énergie thermique extraite est cédée en quasi-totalité à l'atmosphère au moyen d'un aéroréfrigérant. Ce circuit fait l'objet d'un appoint d'eau prélevée en rivière et d'une purge continue par laquelle une faible partie de l'énergie thermique est transférée au cours d'eau (*cf.* figure 2 et chapitre 7 sur les prélèvements d'eau).

Pour produire de l'électricité, une centrale nucléaire a notamment besoin :

- de combustible nucléaire, composé d'oxyde d'uranium ou de plutonium pour alimenter le réacteur ; le combustible est renouvelé en partie tous les 12–18 mois ;
- d'eau prélevée en rivière ou en mer pour assurer le refroidissement des installations, principalement les condenseurs des groupes turbo-alternateurs produisant l'électricité, et alimenter les différents circuits ;
- de substances chimiques pour la protection et le traitement des circuits.

Son fonctionnement produit des effluents liquides et gazeux, radioactifs et chimiques dont les rejets dans l'environnement sont réglementés. L'eau prélevée en mer ou en rivière pour le refroidissement des installations conduit à des rejets thermiques faisant eux aussi l'objet de limites réglementaires (*cf.* chapitres 5 et 8). Une centrale nucléaire génère par ailleurs des déchets radioactifs et conventionnels du fait des activités liées à son exploitation (*cf.* figure 3).

Fig. 3 ▶ Schéma de principe des intrants et des sortants d'une centrale nucléaire pour produire une électricité faiblement émettrice de CO_2.

2. Besoins en eau d'une centrale nucléaire

Le territoire français métropolitain reçoit annuellement, en moyenne, entre 440 et 500 milliards de m³ d'eau douce provenant des précipitations. Environ 60 % de cette eau s'évapore, le restant alimente les cours d'eau et les glaciers (environ 16 %) ou s'infiltre dans le sol pour reconstituer les réserves souterraines (24 %)[1]. Les quatre grands fleuves (Garonne, Loire, Rhône, Seine) collectent 63 % des eaux du territoire.

Pour leurs besoins, l'agriculture, le secteur de l'énergie, l'industrie ainsi que les ménages prélèvent et consomment de l'eau dont la répartition par usage est donnée sur la figure 4.

L'eau prélevée pour la production d'énergie sert essentiellement au refroidissement des centrales thermiques à flamme et des centrales nucléaires (*cf.* chapitre 7).

Lorsque la centrale nucléaire est refroidie en circuit ouvert (*cf.* figure 5), le prélèvement est important : 55 à 200 m³/s environ ; rapporté à l'énergie électrique nette produite par la centrale, celui-ci varie de 150 à 230 L/kWh[2] environ. Ce type de circuit ne peut être installé que sur des sites en bord de mer ou sur des grands fleuves. En circuit ouvert, l'eau prélevée est restituée en quasi-totalité (> 99 %) au milieu aquatique à proximité du lieu de prélèvement après s'être échauffée.

Fig. 4 ▶ Prélèvements et consommations d'eau en France : le secteur industriel de l'énergie représente 64 % environ des prélèvements d'eau dans le milieu naturel en France et 22 % de la consommation d'eau.

Sources : Agences de l'eau/SOeS 2012 (données prélèvements), Rapport annuel 2010 du Conseil d'État (données consommations), Illustration : Centre d'information sur l'eau

Fig. 5 ▶ Schéma de principe d'une centrale nucléaire localisée en bord de mer et fonctionnant en circuit ouvert : l'eau prélevée est restituée en quasi-totalité (> 99 %) au milieu aquatique.

Centrale nucléaire de Penly
(2 × 1300 MWe en bord de Manche – 230 ha)
© EDF – Didier Marc

1. *cf.* rubrique « En savoir plus » en fin de chapitre.
2. 1 kWh est l'énergie qui permet d'alimenter un radiateur électrique de 1000 W pendant 1 heure.

Dans le cas des centrales équipées d'aéroréfrigérants, le prélèvement d'eau est réduit à quelques m³/s, il ne représente plus qu'entre 5 et 20 L/kWh environ, rapporté à l'énergie électrique nette produite, mais une partie de l'eau prélevée (environ 40 % soit environ 2,5 L/kWh net) s'évapore dans la tour aéroréfrigérante en émettant un panache de vapeur et ne regagne pas le cours d'eau (*cf.* figure 6).

Fig. 6 ▶ Schéma de principe d'une centrale nucléaire située en bord de rivière et fonctionnant en circuit dit « fermé » avec des besoins de prélèvements en eau réduits (quelques m³/seconde).

Centrale nucléaire du Bugey sur le Rhône
(4 × 900 MWe en bordure du Rhône – 100 ha)
© EDF – Matthieu Colin

Quel que soit le type de circuit de refroidissement, l'eau joue un rôle primordial dans le fonctionnement d'une centrale nucléaire (*cf.* tableau I).

Tableau I Ordre de grandeur du volume d'eau douce prélevée et évaporée annuellement par une unité de production nucléaire, selon qu'elle soit en circuit ouvert ou en circuit dit « fermé ».

PRÉLÈVEMENT ET ÉVAPORATION D'EAU DOUCE	RÉACTEUR REFROIDI EN CIRCUIT OUVERT MILLIONS DE m³/AN	RÉACTEUR REFROIDI EN CIRCUIT DIT « FERMÉ » MILLIONS DE m³/AN
Ordre de grandeur du volume annuel moyen prélevé pour un réacteur	1200 à 1900	45 à 115
Volume annuel moyen évaporé par réacteur	–	12 à 22

Quelques chiffres sur l'utilisation de l'eau

1 kg d'acier[1] :	0,3 à 0,6 m³
1 kg de papier[1] :	0,5 m³
1 kg de sucre[1] :	0,3 à 0,4 m³
Consommation quotidienne d'un français[1] :	0,15 à 0,20 m³
1 kWh centrale en circuit ouvert :	0,15 à 0,230 m³
1 kWh centrale en circuit dit « fermé » :	0,005 à 0,020 m³

1. Données issues de l'ouvrage UNICEF *L'eau potable, les toilettes et l'hygiène pour tous, 2009.*

3. Nature des rejets

Comme beaucoup d'autres activités industrielles, l'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents liquides et gazeux (*cf.* chapitre 8). Bien que les effluents fassent, pour la plupart, l'objet de traitement, les rejets contiennent des produits radioactifs créés par la réaction nucléaire et des substances chimiques issues des différents circuits. L'eau de refroidissement des condenseurs et échangeurs de chaleur s'échauffe et entraîne des rejets thermiques.

3.1 REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS LIQUIDES ET GAZEUX

Le réacteur nucléaire est le siège de la formation de produits radioactifs (produits de fission PF, produits d'activation PA) dont seule une infime partie passe dans l'eau du circuit primaire et se retrouve dans les effluents gazeux et liquides (*cf.* tableau II). Ceux-ci sont collectés de façon sélective et systématiquement traités afin de retenir l'essentiel de

leur radioactivité. Après traitement et contrôle du niveau de radioactivité notamment, les effluents sont rejetés à l'atmosphère (*via* la cheminée) ou par voie liquide (vidange de réservoirs) en respectant les procédures et les limites fixées par la réglementation.

Des modifications réalisées sur les équipements et des optimisations des pratiques d'exploitation ont permis depuis plusieurs années de diminuer les rejets dans l'environnement.

Tableau II Ordre de grandeur des rejets annuels d'effluents radioactifs, ramenés à une unité de production.

	REJETS RADIOACTIFS LIQUIDES POUR UNE UNITÉ DE PRODUCTION GBq/an **	REJETS RADIOACTIFS GAZEUX POUR UNE UNITÉ DE PRODUCTION GBq/an **
Tritium	10 000 à 35 000	350 à 650
Carbone 14	8 à 20	120 à 270
Iode	< 0,01	< 0,04
Autres PF, PA*	< 0,5	0,004
Gaz rares	–	300 à 1000

**PF = produit de fission ; PA = produit d'activation ; ** GBq = gigabecquerel soit 10^9 Bq.*

3.2 REJETS D'EFFLUENTS CHIMIQUES LIQUIDES

Les rejets liquides de substances chimiques sont classés en deux catégories :

- les rejets de substances chimiques associées aux effluents radioactifs liquides et aux eaux d'exhaure non radioactives des salles des machines ;
- les rejets de produits issus des autres circuits non nucléaires (circuit de refroidissement des condenseurs, station de déminéralisation, station d'épuration...).

Dans la première catégorie de rejet, on trouve notamment l'acide borique servant au pilotage du réacteur ainsi que les produits de conditionnement utilisés pour éviter la corrosion des circuits primaire, secondaire et de réfrigération des circuits auxiliaires (en particulier lithine, hydrazine, morpholine, éthanolamine, ammoniaque, phosphate).

La seconde catégorie de rejet concerne principalement les substances issues du traitement de lutte contre le tartre (sulfates, produits antitartre organiques) ou contre le développement d'organismes vivants (produits biocides) dans les circuits de refroidissement des condenseurs. Des traitements à l'eau de Javel sont pratiqués afin d'éviter l'encrassement des circuits par des organismes fixés (algues, moules...). La monochloramine est utilisée pour éliminer les germes pathogènes. Dans les centrales nucléaires équipées de condenseurs dont les tubes sont en laiton (alliage de cuivre et de zinc), l'usure des tubes par érosion-corrosion donne lieu à des rejets de cuivre et de zinc (*cf.* tableau III).

3.3 REJETS CHIMIQUES GAZEUX

Les rejets de substances chimiques à l'atmosphère peuvent avoir plusieurs origines. On distingue notamment :

- les rejets gazeux non radioactifs liés au conditionnement du circuit secondaire **:** les produits de conditionnement du circuit secondaire, à savoir l'ammoniaque, l'éthanolamine, la morpholine et l'hydrazine sont volatiles et donc susceptibles d'être rejetés sous forme gazeuse ;
- les rejets gazeux non radioactifs liés au lessivage chimique des générateurs de vapeur **:** l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques gazeux (ammoniac, dioxyde de carbone...) ;
- les rejets gazeux non radioactifs liés aux traitements biocides des circuits de refroidissement dit « fermés » : le traitement à la monochloramine engendre des rejets gazeux liés au phénomène de dégazage au niveau de la tour aéroréfrigérante, en particulier de monochloramine (CRT) et d'ammoniac. Par ailleurs, l'injection d'hypochlorite de sodium lors d'une opération de chloration massive à pH contrôlé génère des rejets chimiques à l'atmosphère d'acide hypochloreux et de THM ;
- les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours sont composés de moteurs diesel ou de turbine à combustion fonctionnant au gasoil ou au kérosène. Leurs émissions d'oxydes de soufre et d'azote sont faibles compte tenu de leur durée de fonctionnement limitée dans l'année. Par ailleurs, l'utilisation de combustibles à très basse teneur en soufre a permis de diminuer les rejets d'oxydes de soufre.

3.4 REJETS THERMIQUES

Dans une centrale nucléaire, seul un tiers de la puissance thermique produite par le réacteur (3000 $MW_{thermique}$) peut être converti en électricité (1000 $MW_{électrique}$) en vertu du principe thermodynamique de Carnot.

Dans un circuit ouvert, l'énergie non transformée en électricité est cédée en totalité au milieu aquatique (mer ou rivière).

En circuit dit « fermé », 95 % de l'énergie non transformée en électricité est transférée à l'atmosphère par l'intermédiaire d'un aéroréfrigérant où elle se dissipe par évaporation et convection. Dans ce cas, seule 5 % de l'énergie restante est libérée dans le cours d'eau.

L'échauffement du milieu aquatique (*cf.* figure 7), c'est-à-dire l'écart entre la température de l'eau à l'en-

Tableau III Ordre de grandeur des principaux rejets chimiques liquides, en moyenne annuelle ramenée à une unité de production.

PROVENANCE	SUBSTANCES CHIMIQUES	ORDRE DE GRANDEUR DES QUANTITÉS ANNUELLES REJETÉES POUR UNE UNITÉ EN Kg
Substances chimiques associées aux effluents radioactifs et aux eaux d'exhaure des salles des machines	Acide borique	500 à 7000
	Hydrazine	< 1
	Lithine	≤ 3
	Morpholine	20 à 350
	Éthanolamine	2 à 20
	Ammonium	≤ 7000
	Phosphates	≤ 700
Usure des tubes de condenseurs en laiton pour les sites concernés	Cuivre	≤ 10 500
	Zinc	≤ 4000
Traitement antitartre des aéroréfrigérants	Sulfates (Cruas, Cattenom, Golfech, Nogent, Chooz)	130 000 à 6 600 000
	Chlorures (Cattenom jusqu'en 2016)	530 000 à 800 000
	Polyacrylates (Bugey, Nogent)	24 000 à 120 000
Traitement biocide à la monochloramine des circuits de refroidissement dits « fermés » (Bugey, Dampierre, Chinon, Cruas, St-Laurent, Cattenom, Golfech, Nogent, Chooz)	Ammonium	≤ 3500
	Nitrates	6200 à 100 000
	Nitrites	≤ 4000
	AOX	≤ 500
	Sodium	6500 à 80 000
	Chlorures	10 000 à 110 000
	Chlore Résiduel Total	≤ 2400
Traitement biocide à l'eau de Javel des sites marins	Bromoformes	2500 à 13 000
Station d'épuration STEP	Azote K	≤ 1000
	DBO5	≤ 2400
	DCO	≤ 5800
	Phosphore P	≤ 210
	Matières en suspension	≤ 4200
Station de production d'eau déminéralisée	Sulfates	≤ 78 000
	Chlorures	800 à 110 000
	Sodium	5200 à 81 000
	Matières en suspension	120 à 55 000

Fig. 7 ▶ Schéma de principe de l'échauffement calculé après mélange sur une centrale nucléaire localisée en bord de rivière et munie d'aéroréfrigérants.

trée des installations (amont) et celle à l'aval du rejet après mélange, dépend de trois facteurs principaux :

- la production de la centrale qui varie en fonction de la demande d'électricité ;
- le débit du cours d'eau soumis à des variations saisonnières ;
- les conditions météorologiques qui influencent l'efficacité des aéroréfrigérants.

Pour les sites marins, l'échauffement est influencé par le cycle des marées.

Quel que soit le mode de refroidissement ouvert ou fermé, l'échauffement du milieu aquatique est limité par la réglementation propre à chaque site. Cet échauffement est généralement limité à quelques dixièmes de degrés pour les centrales situées en bord de rivière. La limite d'échauffement autorisée varie de 12 à 21 °C pour les centrales en bord de mer (*cf.* chapitre 8).

Centrale nucléaire de Civaux
(2 × 1450 MWe en bordure de La Vienne – 220 hectares)
© EDF – Didier Marc

4. Contrôle des rejets et surveillance de l'environnement

L'exploitant met en place un programme de contrôle des rejets et de surveillance de l'environnement conformément aux prescriptions réglementaires (*cf.* chapitres 5, 8 et 10).

Les contrôles ont pour objectif de vérifier le respect des limites fixées par l'Autorité de sûreté nucléaire en ce qui concerne les prélèvements d'eau, les rejets radioactifs, chimiques et thermiques ainsi que les paramètres d'environnement (activités volumiques, concentrations, températures...). En complément, l'exploitant effectue une surveillance de l'environnement dont la finalité est notamment d'évaluer, sur la durée, l'impact sanitaire et environnemental des prélèvements et des rejets de son installation (*cf.* figure 8).

Fig. 8 ▶ Schéma de principe du contrôle des rejets d'effluents et de la surveillance de la radioactivité de l'environnement d'une centrale nucléaire localisée en bord de rivière.

5. Impacts liés aux prélèvements d'eau et aux rejets

L'autorisation de construction d'une centrale nucléaire est soumise à la réalisation d'une étude d'impact environnemental comprenant un « état de référence ». Elle décrit notamment les caractéristiques du milieu naturel dans lequel le site est localisé et évalue les effets possibles des futures installations sur les écosystèmes, le paysage, les populations avoisinantes ainsi que la vie économique locale. Si des effets négatifs notables sont identifiés, elle propose des mesures conservatoires et/ou compensatoires pour les limiter ou les éviter.

Lorsque la centrale est en exploitation, un programme de surveillance de l'environnement est mis en place. L'exploitation des données des programmes de surveillance, portant également sur des zones non influencées par la centrale, permet notamment de vérifier que l'impact environnemental reste dans les limites de l'étude d'impact initiale ayant conditionné l'autorisation de création et de fonctionnement des installations. Les données collectées sur plusieurs décennies montrent que les écosystèmes présentent des évolutions temporelles ayant des causes naturelles (réchauffement climatique) ou artificielles (autres industries ou activités) indépendantes du fonctionnement des centrales (*cf.* chapitre 9).

L'impact des rejets radioactifs sur le public est déterminé par le calcul de la dose efficace pour les personnes susceptibles d'être les plus exposées aux rejets (*cf.* chapitre 9). Dès lors que la dose efficace, exprimée en millisievert (mSv), est inférieure aux limites fixées par la réglementation et que, par ailleurs, l'exploitant montre qu'il a réduit ce niveau de dose aussi bas que raisonnablement possible en vertu du principe d'optimisation, l'ensemble de la population est considérée comme protégée.

5.1 IMPACT LIÉ AUX PRÉLÈVEMENTS D'EAU

Des organismes aquatiques de grande taille peuvent être aspirés dans les ouvrages de prise d'eau, ils sont alors plaqués sur les filtres qui protègent les circuits et finalement, ils sont évacués avec les débris filtrés. Ce sont principalement des poissons juvéniles qui sont aspirés en raison de leur faible vitesse de nage et les centrales en circuit ouvert en mer et en estuaire sont les plus concernées par ce type d'impact. Les quantités de poissons aspirés atteignent quelques centaines de tonnes par an pour l'ensemble des sites. Malgré l'importance de ces chiffres, l'observation des populations de poissons sur de longues périodes montre que les stocks de poissons ne sont pas menacés par ce prélèvement, ce qui est en accord avec les estimations faites à l'aide de modèles numériques.

Par ailleurs, des seuils sont construits sur les rivières pour garantir le niveau du plan d'eau à l'entrée des prises d'eau. Afin de maintenir la circulation des poissons grands migrateurs (saumons, aloses...) et plus généralement la circulation de nombreuses espèces de poissons, les ouvrages sont équipés de passes à poissons dont l'efficacité fait l'objet d'un programme de suivi.

5.2 IMPACT DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS LIQUIDES ET À L'ATMOSPHÈRE

Les actions d'optimisation consistent prioritairement à réduire à la source la production d'effluents partant du principe que le « *meilleur effluent est celui qu'on ne produit pas* ». La collecte sélective et le traitement approprié des effluents en vue de leur recyclage éventuel viennent compléter le dispositif visant la réduction des rejets (*cf.* figure 9).

Ces actions ont permis de réduire fortement les rejets d'effluents radioactifs liquides et à l'atmosphère depuis la mise en service des centrales nucléaires. S'agissant des rejets radioactifs liquides hors tritium et carbone 14, ceux-ci ont été réduits d'un facteur 100 entre 1985 et 2000 et les rejets radioactifs gazeux (gaz rares) ont été divisés par 10 depuis les années 1980. Ces rejets ont depuis atteint un niveau « plancher », résultant de la volonté de l'exploitant de réduire les rejets d'effluents « *aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des aspects économiques et sociaux* », en vertu du principe d'optimisation (*cf.* chapitres 5, 8 et 9).

Fig. 9 ▶ Principe des actions menées sur le parc nucléaire français pour réduire les rejets d'effluents radioactifs liquides et gazeux des CNPE.

Selon les calculs effectués avec des modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement, la personne du public la plus exposée aux rejets

d'effluents radioactifs d'une centrale nucléaire en exploitation reçoit une dose de rayonnement représentant moins de 0,01 millisieverts par an (0,01 mSv/an) que l'on peut comparer à la limite réglementaire fixée à 1 mSv/an pour les expositions autres que médicales et naturelles. Cette dose est inférieure aux fluctuations naturelles de la radioactivité en France (quelques mSv/an) et se situe bien en-deçà du niveau d'exposition naturelle moyen, à savoir 2,9 mSv/an (*cf.* figure 10).

Fig. 10 ▶ Exposition aux rayonnements ionisants de la population française en mSv/an.

Source : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN-Exposition-Population-Rayonnements-Ionisants_2015-00001.pdf.

5.3 IMPACT DES REJETS CHIMIQUES

Les efforts des exploitants ne portent pas uniquement sur la réduction des rejets de substances radioactives. Ils concernent également les effluents chimiques pour lesquels une démarche d'optimisation est mise en œuvre visant, en priorité, à réduire leur production à la source. Les autorisations de rejet limitent les teneurs en substances chimiques dans l'eau à des valeurs permettant notamment la protection des milieux aquatiques. Ces limites peuvent porter sur des concentrations journalières ou annuelles et tiennent compte de l'éventuelle présence de ces substances à l'amont du site. Par ailleurs, une évaluation quantitative des risques sur la santé (EQRS) est réalisée pour s'assurer de l'innocuité des rejets chimiques sur les utilisateurs de l'eau. Les études de surveillance de l'environnement permettent de vérifier les prévisions faites lors des études d'impact initiales et de détecter une éventuelle évolution des écosystèmes.

5.4 IMPACT DES REJETS THERMIQUES

Sur les cours d'eau, l'échauffement entre l'amont et l'aval, exprimé en valeur moyenne journalière, est de quelques degrés pour les centrales refroidies en circuit ouvert et de quelques dixièmes de degré dans le cas des centrales équipées d'aéroréfrigérants.

Les expérimentations et études de terrain menées en France depuis les années 1960 permettent d'identifier les effets des rejets thermiques en rivières et de délimiter l'extension des zones impactées ; elles sont complétées par l'exploitation des données recueillies dans le cadre des programmes de surveillance hydroécologique à long terme des centrales nucléaires (*cf.* chapitre 9).

Sur les sites de centrales en rivière équipées d'aéroréfrigérants, les peuplements d'organismes du fond (peuplement benthique) et de poissons ne présentent pas de modifications mesurables. On observe en revanche des changements (chute d'abondance des invertébrés) en aval proche des rejets thermiques de centrales en circuit ouvert dans les zones exposées en permanence à des échauffements importants. Ces effets locaux s'estompent ensuite vers l'aval lorsque l'eau échauffée est bien mélangée dans le débit fluvial. Par ailleurs, l'exploitation des données des programmes de surveillance montre une dérive des peuplements aquatiques en relation avec le changement climatique.

Sur les sites des centrales de bord de mer, les programmes de surveillance hydroécologique n'indiquent pas de changement des peuplements du fond imputables aux rejets thermiques en limite de la zone du panache de rejet correspondant à un échauffement après mélange d'environ 1 °C.

6. Information du public

Les centrales nucléaires suscitent de nombreuses questions de la part du public très préoccupé d'environnement et de santé. L'exploitant se doit de répondre à ces attentes ; pour cela, il met à la disposition du public des informations les plus claires et pédagogiques possible (*cf.* chapitre 4).

Les informations relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets sont accessibles directement sur les mini-sites Internet des centrales nucléaires[1] et sont présentées à l'occasion des visites de site. Le public reçoit indirectement des informations de la part de la commission locale d'information (CLI) destinataire des rapports d'activité de l'exploitant.

1. https://www.edf.fr/groupe-edf/edf-pres-de-chez-moi

L'ASN tient également un rôle dans l'information du public, en mettant sur son site Internet des données sur l'environnement des centrales nucléaires, et en contrôlant les informations que l'exploitant est tenu de transmettre à toutes les parties prenantes (CLI...), notamment celles rapportées au Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) accessible sur Internet (www.mesure-radioactivité.fr).

En cas d'événement affectant l'environnement, le public est informé à l'instar des pouvoirs publics et des autorités de contrôle. Cette information est délivrée le plus rapidement possible par communiqués de presse et mise sur les sites Internet de l'ASN (www.asn.fr) et d'EDF (www.edf.fr/groupe-edf).

Par ailleurs, la législation a renforcé la dynamique d'information du public en instituant en 2006 le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) qui est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et l'impact de ces activités sur la santé des personnes, sur l'environnement et sur la sécurité nucléaire (www.hctisn.fr).

7. Préservation des habitats naturels et de la biodiversité

La production d'électricité, qu'elle soit d'origine nucléaire ou non, nécessite l'utilisation de ressources naturelles. Qu'il s'agisse du terrain sur lequel la centrale est bâtie, de l'eau prélevée pour assurer le refroidissement des circuits, du milieu naturel dans lequel sont émis les rejets, le fonctionnement d'une centrale nucléaire est fortement tributaire des services fournis par la nature (*cf.* chapitre 3).

Réduire et, si possible, éviter les impacts sur l'environnement d'une centrale nucléaire est une préoccupation permanente depuis la création du parc nucléaire, dans les années 1970. Afin d'en mieux connaître les impacts et y remédier, chaque projet de construction a ainsi fait l'objet d'études poussées, fondées sur des programmes de recherche et des campagnes de mesures.

Respecter l'eau, l'air et le sol, c'est participer à la préservation de la nature. La préservation de la biodiversité est devenue un enjeu mondial, comme en témoignent les nombreux textes internationaux, en particulier européens et nationaux qui soulignent l'importance économique et sociale des services rendus par la nature.

EDF est parmi les premiers industriels à avoir élaboré, dès 2006, une « politique biodiversité ». En 2018, le Groupe rend public son engagement pour la biodiversité et rejoint l'initiative française **Act4nature** aux côtés de 65 entreprises de tous secteurs.

Dans ce contexte, il a paru utile de commencer ce guide par un chapitre consacré à ce sujet dont dépend, en partie, le fonctionnement des centrales nucléaires.

CNPE de Penly (2 × 1300 MWe en bord de Manche)
© EDF – Marc Caravéo

POUR EN SAVOIR PLUS

En savoir plus sur l'alimentation du territoire français en eau douce, les prélèvements et les consommations :

- site internet www.cieau.com
- site internet www.eaufrance.fr
- site internet www.lesagencesdeleau.fr
- rapport du Conseil d'État « L'eau et son droit », 2010

Annexe 2.1

Implantation des centrales nucléaires d'EDF en France

* Le réacteur EPR de Flamanville 3 est en construction (essais préalables au démarrage en cours au moment de la rédaction de ce document).
** Arrêt définitif des deux réacteurs du site de Fessenheim en 2020.

© EDF-Xavier Popy

NATURE ET BIODIVERSITÉ

3

1. INTRODUCTION

2. BIODIVERSITÉ : L'URGENCE D'AGIR

3. CADRE RÉGLEMENTAIRE EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL

3.1 Sur le plan international

3.2 Sur le plan européen

3.3 Sur le plan national

4. MOBILISATION DES ENTREPRISES POUR LA BIODIVERSITÉ

5. BIODIVERSITÉ : EDF ET LES CENTRALES NUCLÉAIRES

Annexe 3.1 : Éviter Réduire Compenser les atteintes à la biodiversité

Annexe 3.2 : Continuités écologiques : la trame verte et bleue (TVB)

Petit gravelot
© Thema environnement (Marie Lebot)

1. Introduction

La préservation de la biodiversité est devenue un enjeu majeur pour la protection de l'environnement car la variété des espèces vivantes de la planète s'érode de manière alarmante mettant en cause les fondements même de nos sociétés humaines et la qualité de vie dans le monde entier.

De par son activité de producteur d'électricité, EDF utilise les espaces naturels terrestres et aquatiques. Ses installations, comme les centrales nucléaires, sont très dépendantes de la nature et de ses ressources que sont l'eau, l'air et le sol. De ce point de vue, EDF comme tous les énergéticiens, a un rôle majeur à jouer dans la réduction de ses impacts sur la biodiversité, mais aussi dans la préservation de la biodiversité et des écosystèmes.

Au-delà du respect des lois et des règlements en vigueur permettant l'exploitation des unités de production en toute sûreté et dans le respect de l'environnement, EDF met en œuvre des actions concrètes pour évaluer les enjeux de ses sites industriels et pour éviter et réduire les impacts de ses activités.

En 2016, le Groupe a fait de la biodiversité un de ses 6 Objectifs de Responsabilité d'Entreprise avec pour ambition de « **Lancer une approche positive de la biodiversité, ne pas se limiter à terme à la connaissance ou à la réduction des impacts des activités pour avoir un effet positif sur la biodiversité** ». EDF a par ailleurs rendu public son engagement en faveur de la biodiversité en rejoignant l'initiative française **Act4nature** en 2018 aux côtés de 65 entreprises de tous secteurs.

2. Biodiversité : l'urgence d'agir

Selon l'article 2 de la Convention sur la diversité biologique (*cf.* chapitre 5 réglementation), la biodiversité est définie comme la variabilité des êtres vivants de toute origine incluant les écosystèmes terrestres et aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie. Elle comprend trois niveaux d'organisation principaux : la diversité écologique (celle des écosystèmes), la diversité spécifique (celle des espèces) et la diversité génétique (celle des gènes).

La biodiversité est source de biens et de services écosystémiques[1]. À titre d'exemple, la biodiversité permet la fourniture de nourriture, médicaments et matières premières. Elle contribue à l'épuration de l'eau, la fertilisation des sols et à l'agriculture notamment *via* la pollinisation.

On compte près de 1,8 millions d'espèces connues sur terre mais la diversité estimée des espèces est de 100 millions. L'espèce humaine fait partie de cette diversité du vivant.

Cependant, la biodiversité est gravement menacée. C'est l'alerte transmise en mai 2019 par le nouveau et historique rapport de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques[2] (IPBES) qui estime qu'environ 1 million d'espèces animales et végétales sont aujourd'hui menacées d'extinction au cours des prochaines décennies ce qui ne s'est jamais produit auparavant dans l'histoire de l'humanité.

À l'échelle mondiale, l'IPBES souligne également que la production agricole, la pêche, la production d'énergie et l'extraction de matériaux atteignent des niveaux insoutenables pour les limites planétaires, mais aussi que quatorze des dix-huit services écosystémiques évalués se dégradent tels que la pollinisation ou encore la formation des sols fertiles. « ***Nous sommes en train d'éroder les fondements mêmes de nos économies, nos moyens de subsistance, la sécurité alimentaire, la santé et la qualité de vie dans le monde entier*** » a déclaré le président de l'IPBES, Sir Robert Watson. Le rapport souligne qu'il n'est pas trop tard pour agir, mais seulement « si nous commençons à le faire maintenant à tous les niveaux, du local au mondial ».

Suite à ce rapport, les acteurs de la protection de l'environnement ont appelé à « ***une mobilisation rapide et massive dans le défi qui consiste à préserver et à restaurer, partout et sans délai, notre biodiversité, ressource vitale de l'humanité*** ».

Ainsi, la préservation de la biodiversité est devenue un enjeu majeur pour la préservation de notre environnement et un défi pour notre société.

1. Les services écosystémiques sont définis comme les avantages socio-économiques retirés par l'homme de son utilisation durable des fonctions écologiques des écosystèmes (*Source : EFESE : l'essentiel du cadre conceptuel, juin 2016*).
2. La Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques est un groupe international d'experts sur la biodiversité qui a pour mission d'assister les gouvernements sur les questions de biodiversité sous l'égide de l'Organisation des Nations unies.

Les évaluations des écosystèmes français et de leurs services

Les services écosystémiques sont devenus, au cours de ces vingt dernières années, un concept mobilisé de manière récurrente dans les politiques publiques de préservation de la biodiversité.
Destinée à mieux connaître et faire connaître l'état de la biodiversité et ses multiples valeurs, l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques, dite Efese, est une plateforme pilotée par le ministère de la Transition écologique et solidaire qui regroupe un ensemble de travaux d'évaluation portant sur les écosystèmes et leurs services à différentes échelles. Dans le cadre de la première phase du programme (2012–2018), les évaluations ont été conduites pour 6 grands types d'écosystèmes :
1. les écosystèmes forestiers ;
2. les écosystèmes agricoles ;
3. les écosystèmes urbains ;
4. les milieux humides ;
5. les milieux marins et littoraux ;
6. les zones rocheuses, et de haute montagne.

Fig. 1 ▸ Éléments constitutifs d'une service écosystémique

Source Efese – L'essentiel du cadre conceptuel, juin 2016

Connaissances mobilisables et services rendus par les milieux humides et aquatiques continentaux : extrait de l'évaluation de l'Efese

(Source Efese, Les milieux humides et aquatiques continentaux français : messages clés à l'attention des décideurs, avril 2019)

Les milieux humides et aquatiques continentaux recouvrent un ensemble très varié de milieux naturels ou artificiels. Ils sont caractérisés par la présence d'eau, permanente ou temporaire : cours d'eau, étangs, marais, canaux, retenues d'eau, etc. Les travaux cartographiques les plus récents estiment que les milieux potentiellement humides couvrent environ 23 % du territoire métropolitain, soit près de 13 millions d'hectares.
Les milieux humides et aquatiques continentaux font partie des écosystèmes les moins bien conservés à l'échelle nationale, ce qui les place au cœur des enjeux de conservation. Ces milieux présentent une biodiversité d'une grande richesse grâce à leurs habitats essentiels pour un grand nombre d'espèces. On estime qu'environ la moitié des zones humides françaises a disparu entre 1960 et 1990.
Les principaux biens et services rendus par les milieux humides ainsi que le patrimoine naturel qu'ils représentent pour la société française identifiés sont décrits ci-après :
1. les **biens prélevés**, principalement des poissons, représentent une valeur commerciale de l'ordre de 240 millions d'euros ;
2. ces milieux permettent de **réguler la qualité des eaux de surface** par leur capacité de rétention de l'azote, du phosphore, des matières en suspension et des micropolluants organiques ;
3. certains milieux humides et aquatiques continentaux permettent **un stockage de l'eau et un ralentissement des écoulements**, jouant ainsi un rôle d'atténuation des phénomènes de crues ;
4. les milieux humides et aquatiques continentaux sont le support de nombreux **sports d'eau douce**, qui s'accompagnent de retombées économiques importantes ;
5. grâce au plus important réseau d'Europe (8500 km de voies navigables), la France métropolitaine a développé depuis une trentaine d'années une importante offre de **tourisme fluvial** ;
6. les milieux humides et aquatiques continentaux accueillent plusieurs autres types d'activités : **pédagogiques, observations naturalistes, ressourcement, chasse et pêche de loisir** ;
7. au-delà de la dimension utilitaire pour les sociétés humaines de la nature, que transcrit l'évaluation des biens et services écosystémiques, **les milieux humides et aquatiques continentaux recouvrent une dimension patrimoniale**.
Au regard de ces enjeux, il apparaît primordial pour notre société de préserver ces milieux et le patrimoine naturel qu'ils constituent.

Baie de Somme – © EDF – Philippe Eranian

Enfin de nombreux experts, dont la Fondation pour la recherche sur la biodiversité[1] (FRB), sont convaincus du **lien entre biodiversité et changement climatique**. La biodiversité est affectée par les changements climatiques. Mais la préservation de la biodiversité peut contribuer à l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques. Ce sujet fait l'objet d'une attention croissante de la part des chercheurs : les solutions fondées sur la nature[2] contribuent aussi bien aux objectifs relatifs au climat qu'à ceux relatifs à la biodiversité, et ne peuvent se poursuivre l'un sans l'autre.

Les 5 pressions majeures sur la biodiversité à l'échelle mondiale

Le **rapport d'évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques publié par l'IPBES au printemps 2019** est le document le plus exhaustif réalisé à ce jour. Il s'agit du premier rapport intergouvernemental de ce type. Élaboré par 145 experts issus de 50 pays, avec des contributions additionnelles apportées par 310 autres experts, le rapport évalue les changements au cours des cinq dernières décennies et fournit un aperçu complet de la relation entre les trajectoires de développement économique et leurs impacts sur la nature. Le document propose également un éventail de scénarios possibles pour les décennies à venir.

Pour accroître la pertinence politique du rapport, les auteurs de l'évaluation ont classé, pour la première fois à une telle échelle et sur la base d'une analyse approfondie des données disponibles, les **cinq facteurs directs de changement qui affectent la nature et qui ont les plus forts impacts à l'échelle mondiale**.

Les facteurs responsables sont, par ordre décroissant :

(1) les changements d'usage des terres et de la mer

Artificialisation, conversion de terres agricoles, naturelles ou forestières pour l'urbanisation ou le développement d'infrastructures sont sources de destruction directe d'espèces et d'habitats naturels mais également de fragmentation des écosystèmes.

(2) l'exploitation directe de certains organismes

L'exploitation non durable de certaines ressources (poissons, gibier, bois, tourbe, etc.) compromet le fonctionnement des écosystèmes concernés. L'IPBES souligne que la production agricole, la pêche, la production d'énergie et l'extraction de matériaux atteignent des niveaux insoutenables pour les limites planétaires.

(3) le changement climatique

Le changement climatique influe sur le cycle de vie des espèces et impacte leurs distributions spatiales et temporelles (modification de la migration des oiseaux, évolutions trop rapides limitant les capacités d'adaptation, augmentation de la compétition…).

(4) la pollution

Les pollutions de l'air, du sol, de l'eau, des sédiments ont de multiples répercussions sur la faune. Parmi les plus préoccupantes : l'utilisation de produits phytosanitaire et les pollutions plastiques. L'éclairage artificiel est également source de pollution.

5) les espèces exotiques envahissantes

Les espèces envahissantes animales et végétales menacent l'équilibre écologique des écosystèmes les plus sensibles aux perturbations en entrant en concurrence directe avec les espèces autochtones. Les milieux insulaires sont particulièrement menacés.

CNPE de Bugey © EDF - Matthieu Colin/TOMA

Robinier faux-acacia – Thema Environnement – © Damien Wauthier

Dans son bilan 2019, l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) a publié une carte de France inédite qui décline ces 5 pressions à l'échelle de la France.

Source : http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/cartographie-des-pressions

1. La Fondation pour la recherche sur la biodiversité est une fondation de coopération scientifique créée en 2008 à l'initiative des ministères chargés de la Recherche et de l'Écologie. Elle a pour mission de soutenir et d'agir avec la recherche pour accroître et transférer les connaissances sur la biodiversité.
2. Les solutions fondées sur la nature sont les actions qui s'appuient sur les écosystèmes afin de relever les défis globaux comme la lutte contre les changements climatiques ou la gestion des risques naturels.

3. Cadre réglementaire en France et à l'international

La protection juridique de l'environnement s'opère désormais à trois échelles : le droit international, le droit européen, et le droit national. Si le droit international et le droit européen ont permis des évolutions majeures dans cette protection de par leur importance (déclaration de Rio de 1992, programme d'action de l'UE pour l'environnement à l'horizon 2020, etc.), le droit français n'est pas en reste et a donné naissance à des textes fondateurs à l'instar de la Charte de l'environnement de 2005, les lois « Grenelle » de 2009–2010 ou encore la loi pour la reconquête de la biodiversité de 2016.

3.1 SUR LE PLAN INTERNATIONAL

À partir des années 1970, la nature apparaît comme un patrimoine mondial essentiel à transmettre aux générations futures et plusieurs conventions internationales ont été établies en vue de protéger des espèces et des espaces naturels. Les plus importantes sont citées ci-après.

- Convention de Ramsar (Iran) sur les zones humides, 1971[1]

Initialement limitée à la protection des oiseaux migrateurs, la convention a été élargie progressivement à la protection des zones humides. Celles-ci abritent de nombreuses espèces de faune et de flore qui jouent un rôle important sur le plan écologique et sur le plan économique local. Les actions prises en faveur de la préservation de ces zones humides donnent droit au label Ramsar garant d'une gestion attentive de ces milieux fragiles. La France, qui a perdu 50 % de ses zones humides durant la seconde moitié du XXe siècle, a ratifié la convention en 1986. Il existe à ce jour[2] une cinquantaine de sites bénéficiant du label international Ramsar en France, pour une superficie de plus de 3,6 millions d'hectares. Les sites Ramsar se superposent souvent à d'autres zones protégées telles les réserves naturelles, les terrains du Conservatoire du littoral et les sites Natura 2000 (*cf.* § 3.2).

- Convention sur la diversité biologique (CDB) de Rio, 1992[3]

Le Sommet de la Terre à Rio de 1992 a produit des conventions et des textes internationaux qui ont marqué le départ d'une prise de conscience mondiale des questions d'environnement et d'écologie dont le programme « Action 21 » (*Agenda 21 en anglais*) qui est un ensemble de recommandations concrètes pour le XXIe siècle. Le sommet de la terre a introduit trois piliers que sont le progrès économique, la justice sociale et la préservation de l'environnement.

Le Sommet de Rio a fait du développement durable un paradigme sur lequel la Convention internationale sur la diversité biologique (CDB) a été élaborée puis complétée par le Protocole de Nagoya[4].

Fin 2020, aura lieu la 15e Conférence des Parties de la CDB en Chine qui devrait voir adopter le nouveau plan stratégique post 2020 pour la protection de la biodiversité à l'échelle mondiale.

Convention sur la diversité biologique (CDB)

Cette convention a pour objectif de développer des stratégies nationales pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Elle prévoit que chacune des parties contractantes adopte des dispositions visant notamment à :

- encourager la recherche scientifique dans ce domaine en vue d'identifier les éléments constitutifs de la biodiversité afin de travailler aux méthodes de conservation et à l'utilisation durable des ressources biologiques ;
- éduquer et à sensibiliser le public par les médias ;
- faire prendre en compte ces questions dans les programmes d'enseignement.

L'application des mesures prises dans le cadre de cette convention est suivie par la Conférence des Parties (en 2020, 193 états ont signé la convention), par un secrétariat, et par un organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques et techniques. La CDB est notamment mise en œuvre au travers d'une feuille de route. Actuellement, il s'agit du plan stratégique 2011–2020 pour la diversité biologique, incluant les objectifs d'Aichi pour la biodiversité. Ces objectifs visent à prendre des mesures efficaces en vue de mettre un terme à l'appauvrissement de la diversité biologique, afin de s'assurer que, d'ici à 2020, les écosystèmes soient résilients et continuent de fournir des services essentiels. Ces objectifs visent à réduire les pressions exercées sur la diversité biologique, restaurer les écosystèmes, utiliser les ressources biologiques d'une manière durable en associant des ressources financières suffisantes et en mobilisant les politiques appropriées.

1. Convention RAMSAR du 2 février 1971 relative aux zones humides d'importance internationale (art. 3 et 4).
2. Données à jour d'août 2019.
3. Entrée en vigueur le 29 décembre 1993.
4. Entré en vigueur le 12 octobre 2014.

Le Réseau Natura 2000

La constitution du Réseau Natura 2000 a pour objectif de maintenir la diversité biologique des milieux, tout en tenant compte des exigences économiques, sociales, culturelles et régionales.

Le classement du territoire national en sites Natura 2000 est du ressort de chaque État membre de la Communauté européenne[1]. En vertu de la directive « Habitats », chaque État membre propose une liste de sites indiquant les types d'habitats et les espèces indigènes remarquables, rares et en danger qu'ils abritent (pSIC). À partir de ces informations, la Commission européenne sélectionne, en accord avec les États membres, les sites d'importance communautaire (SIC) appelés à devenir les zones spéciales de conservation (ZSC). Ces sites avec les zones de protection spéciale (ZPS) classées par les États membres au titre de la directive « Oiseaux » constituent le Réseau « Natura 2000 » (*cf.* figure 1).

Ce réseau est l'une des principales actions de l'Union européenne en faveur de la préservation de la biodiversité, il comporte plus de 30 000 sites[2]. Depuis 2008, le réseau de sites terrestres a été complété par un ensemble de sites marins (démarche Natura 2000 en mer) financé par le fonds de gestion des milieux naturels (FGMN).

Fig. 1 ▶ Constitution du Réseau Natura 2000.

Fig. 2 ▶ Sites Natura 2000 en France Métropolitaine, 2019.

Source : https://inpn.mnhn.fr/telechargement/cartes-et-information-geographique/nat/natura.

1. À noter que dans des cas exceptionnels, la Commission européenne peut proposer le classement de sites d'importance communautaire dans le cadre d'une procédure de concertation bilatérale avec l'État membre concerné (art. 5 de la directive 92/43/CEE).
2. Donnée à jour de décembre 2018.

- Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est, dite OSPAR, 1992[1] (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation)
- Convention de Barcelone sur la protection de la Méditerranée et son protocole, 2004 (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation)

3.2 SUR LE PLAN EUROPÉEN

Plusieurs textes européens centraux ont fondé les principes de la protection de la biodiversité au niveau communautaire.

- La directive « Oiseaux »

La directive européenne 2009/147/CE du 30 novembre 2009 relative à la conservation des oiseaux sauvages établit un système de protection de toutes les espèces d'oiseaux vivant à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres. Elle prévoit pour cela la création de zones de protection spéciale (ZPS) définies à partir d'un inventaire des zones d'importance communautaire pour les oiseaux (ZICO). Les ZPS sont les « noyaux durs » des ZICO.

- La directive « Habitats »

La directive européenne n° 92/43/CEE du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats ainsi que la faune et la flore sauvages[2] a pour objet d'assurer le maintien de la diversité biologique par la conservation des habitats naturels, ainsi que de la faune et de la flore sauvages. La création des zones spéciales de conservation (ZSC) engage les États membres à mettre en œuvre des plans de gestion appropriés spécifiques aux zones considérées. Les actions prises dans ce cadre sont financées par le programme européen LIFE (instrument financier pour l'environnement). En France, le ministère de la Transition écologique, les DREAL interviennent comme relais pour la promotion de ce programme de financement au niveau français.

Ensemble, ces deux directives forment la base du « **Réseau Natura 2000** » (*cf.* Encart).

Tout plan ou projet « *susceptible d'affecter* » un site « Natura 2000 » « *de manière significative* » doit faire l'objet « *d'une évaluation appropriée de ses incidences sur le site eu égard aux objectifs de conservation de ce site* » (art. 6 de la directive). Les centrales nucléaires, en qualité de « projet », sont susceptibles de se voir appliquer cette disposition.

- Directive-cadre sur l'eau « DCE »

La directive européenne n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau fixe l'objectif ambitieux d'atteindre en 2015 le « bon état »[3] de l'ensemble des eaux, et prévoit de mettre en place une sauvegarde des zones protégées (baignade, zones de captage d'eau potable, zones Natura 2000...). Cette directive donne à la « qualité biologique » un poids déterminant dans la définition du « bon état » des eaux (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).

- Directive-cadre stratégie pour le milieu marin « DCSMM »

La directive européenne n° 2008/56/CE du 17 juin 2008 établit un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin »). Elle décline les mêmes principes que la directive-cadre sur l'eau pour les eaux marines et vise à prévenir le déclin de la biodiversité marine. Les articles 166 et 168 (codifiés au Code de l'environnement sous les articles L. 219-1 et suivants) de la loi Grenelle II transposent en droit français cette directive et créent une stratégie nationale pour la mer et le littoral (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).

- Stratégie européenne pour la biodiversité

La Commission européenne a établi en 2011 sa stratégie biodiversité (SUEB) pour 2020. Elle vise à mettre en œuvre le plan stratégique international adopté au sommet sur la biodiversité organisé en octobre 2010 par l'ONU à Nagoya (Japon), pour répondre au défi de la perte de la biodiversité d'ici 2020. La SUEB s'articule autour des objectifs suivants :

- faire reculer d'ici à 2020 le taux très élevé d'extinction des espèces ;
- rétablir autant que possible les écosystèmes naturels dans l'Union européenne (UE) ;
- contribuer davantage à la lutte contre la perte de biodiversité au niveau mondial.

En outre, la Commission européenne a présenté le 11 décembre 2019 une communication[4] proposant un pacte vert pour l'Europe. Ce pacte vise à proposer une stratégie de croissance caractérisée par l'absence d'émission nette de gaz à effet de serre d'ici 2050 et dans laquelle la croissance économique sera dissociée de l'utilisation des ressources. Depuis 2020, ce pacte constitue le cadre de toutes les nouvelles législations que proposera la Commission (plan d'action en faveur de l'économie circulaire, stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030, plan cible en matière de climat à l'horizon 2030, etc.).

- Règlement CE n° 1100/2007 pour la reconstitution du stock d'anguilles

Le règlement n° 1100/2007 est un exemple de réglementation européenne visant à la protection et au développement d'une espèce menacée.

Il contraint les États membres à l'élaboration d'un plan national de gestion de l'anguille permettant d'évaluer la population d'anguilles, et comprenant des mesures réduisant leur mortalité, limitant leur pêche, et prévoyant l'arrêt temporaire des turbines des centrales hydroélectriques pour permettre leur passage.

1. Entrée en vigueur le 25 mars 1998
2. Entrée en vigueur en 1994.
3. Le « bon état » est défini sur la base de la qualité chimique et de la qualité biologique des eaux.
4. COM(2019) 640 final.

La France s'est dotée d'un tel plan en 2010.

- Règlement UE n° 1143/2014 relatif aux espèces exotiques envahissantes

Le règlement n° 1143/2014 du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes sur le territoire de l'UE est entré en vigueur le 1er janvier 2015. Les objectifs affichés sont la réduction des impacts de ces espèces, l'harmonisation de leur gestion à l'échelle de l'Europe et le développement de la prévention.

Ce règlement s'articule autour de la création d'une liste des espèces de faune et de flore exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union Européenne. À partir de cette liste, le règlement prévoit trois types d'intervention :

- des interventions de prévention ;
- des interventions d'alerte précoces et de réaction rapide ;
- des interventions de gestion des EEE préoccupantes déjà installées.

Ce règlement a été suivi de règlements d'exécution adoptant la liste des espèces exotiques envahissantes visées en 2014[1], puis mettant à jour celle-ci en 2017[2].

La Commission européenne a par ailleurs publié un guide de présentation de ces espèces[3].

3.3 SUR LE PLAN NATIONAL

La volonté politique de préserver la biodiversité est apparue en France dès les années 1970 avec la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la Nature. Cette prise de conscience s'est traduite ensuite par :

- l'intégration en droit français des dispositions internationales et communautaires sur la protection des écosystèmes ;
- l'adoption, en 2005, d'une Charte de l'environnement, adossée à la Constitution, posant le principe de l'obligation de réparer les dommages causés à l'environnement ;

Les espèces exotiques envahissantes

Une espèce exotique envahissante est une espèce introduite par l'homme en dehors de son aire de répartition naturelle (volontairement ou fortuitement) et dont l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques et/ou économiques et/ou sanitaires négatives.

Les espèces exotiques envahissantes sont reconnues comme **l'une des principales causes d'érosion de la biodiversité mondiale**. Les impacts écologiques sont diversifiés, difficiles à quantifier et souvent irréversibles : **altération du fonctionnement des écosystèmes, régression ou extinction d'espèces indigènes ou endémiques**, par compétition, prédation… Les impacts de ces espèces sont particulièrement importants dans les îles où elles sont considérées comme la principale cause d'extinction d'espèces et de transformation des écosystèmes.

Les espèces exotiques envahissantes peuvent également constituer un **problème de santé publique** lorsqu'elles causent des allergies ou qu'il s'agit d'agents infectieux. D'autres espèces introduites, notamment parmi les insectes, peuvent être vectrices d'agents pathogènes menaçant la santé des populations humaines ou animales.

On recense aujourd'hui plus de **12 100 espèces introduites volontairement ou non par l'homme en Europe**. Parmi ces espèces, environ 1000 sont considérées comme envahissantes. Ce nombre aurait augmenté de 76 % depuis les années 1970.

Jussie Rampante – Thema Environnement – © Damien Wauthier

L'évaluation des coûts annuels des dommages et des interventions de gestion des EEE à l'échelle européenne en 2008 dépassait 12 milliards d'euros.

La France a édicté en 2016 une stratégie nationale sur les espèces exotiques envahissantes, axant celle-ci sur la prévention de l'introduction et de la propagation des EEE, l'intervention de gestion de ces espèces et pour la restauration des écosystèmes, l'amélioration et la mutualisation des connaissances sur le sujet, et la communication, sensibilisation, mobilisation, et formation en ce sens.

1. Règlement d'exécution (UE) 2016/1141 de la commission du 13/07/16 adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union conformément au règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil.
2. Règlement d'exécution (UE) 2017/1263 de la Commission du 12 juillet 2017 portant mise à jour de la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union établie par le règlement d'exécution (UE) 2016/1141 conformément au règlement (UE) n° 1.
3. « *Invasive alien species of Union concern* ».

- l'implication du monde scientifique au moyen de conférences internationales sur la biodiversité (Conférence internationale sur la biodiversité à Paris en 2005 organisée à l'initiative du Président de la République...) ;
- l'adoption des lois dites « Grenelle I » (n° 2009-967 du 3 août 2009) et « Grenelle II » (n° 2010-788 du 12 juillet 2010) portant notamment sur la préservation de la biodiversité ;
- l'adoption de la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages en 2016[1] ;
- la fusion de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) au sein de l'Office français de la biodiversité (OFB) en 2019[2].

Le Code de l'environnement qualifie d'intérêt général la protection des espaces naturels et des paysages, la préservation des espèces végétales et animales, le maintien des équilibres biologiques et la protection des ressources naturelles (art. L. 122-1 à L. 122-3).

- Articles L. 414-1 et suivants du Code de l'environnement : « Natura 2000 ».

Issus de la codification de l'ordonnance du 11 avril 2001[3], ces articles organisent les zones de protection des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvages, la concertation nécessaire à l'élaboration des orientations de gestion de chaque site, et instaurent un régime d'évaluation des projets industriels ou autres dont la réalisation est susceptible d'affecter de façon notable un site Natura 2000.

- Lois « Grenelle I » (n° 2009-967 du 3 août 2009) et « Grenelle II » (n° 2010-788 du 12 juillet 2010)

Le « Grenelle de l'environnement » est une consultation nationale organisée en 2007 afin de refonder la politique nationale de l'écologie et de rendre compatible la croissance avec un monde dont les ressources ne sont pas infinies. Cette consultation a débouché sur des engagements en faveur de la préservation de la biodiversité et des ressources naturelles.

Les principales dispositions des lois de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement dite « lois Grenelle » de 2009 et 2010 sont aujourd'hui inscrites au sein du Code de l'environnement.

Les principales dispositions portent notamment sur :
- l'élaboration d'une **trame verte et bleue (TVB)** (*cf.* annexe 3.2) assurant respectivement la continuité des milieux terrestres et aquatiques afin de permettre aux espèces de circuler et aux écosystèmes de fonctionner[4]. Un schéma régional de cohérence écologique (SRCE)[5], élaboré conjointement par la Région et l'État identifie les composantes de la trame verte et bleue (réservoirs de biodiversité, corridors écologiques, cours d'eau et canaux, obstacles au fonctionnement des continuités écologiques) ;
- La loi NOTRe de 2015[6] renforce son action par l'élaboration d'un nouveau schéma de planification, le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) qui fusionne plusieurs documents ou schémas sectoriels existants dont le SRCE ;
- une **stratégie nationale de création d'aires protégées** terrestres métropolitaines (**SCAP**) fondée sur un diagnostic du réseau actuel et sur l'identification de projets de création, avec pour objectif de placer au moins 2 % du territoire sous protection forte en 10 ans. Ce réseau protège aujourd'hui 5,3 % de la France entière (métropole et outre-mer) ;
- **l'atteinte du « bon état » des eaux d'ici 2015** en réduisant fortement toutes les pollutions diffuses (phytosanitaires, nitrates, PCB, métaux lourds...)[7] ;
- l'effacement, sur les cours d'eau, des obstacles les plus gênants à la migration des poissons, en relation avec la trame bleue ;
- la protection de la mer et du littoral (liée à la trame bleue) ;
- le plan de conservation et de restauration pour la centaine d'espèces les plus menacées de France (extension du réseau Natura 2000, généralisation des documents d'objectifs « DOCOB »...) ;
- le remplacement du Système d'information sur la nature et les paysages par un Observatoire national de la biodiversité (ONB) produisant des indicateurs et des bilans nationaux[8] ;
- le développement des sciences de l'écologie, leur enseignement et la formation des experts en ingénierie écologique ;

- Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016 (n° 2016-1087 du 8 août 2016) (Code civil et de Code de l'environnement) dite « Loi Biodiversité »

Trente ans après la loi sur la protection de la Nature de 1976, la loi pour la reconquête de la biodiversité entend renouveler les principes de protection du patrimoine naturel français.

1. Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages.
2. Création et absorption des missions de l'AFB par la loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 portant création de l'Office français de la biodiversité, modifiant les missions des fédérations des chasseurs et renforçant la police de l'environnement.
3. Ordonnance n° 2001-321 du 11 avril 2001 relative à la transposition de directives européennes et à la mise en œuvre de certaines dispositions du droit communautaire dans le domaine de l'environnement.
4. Article L. 371-1 à L. 371-6 du Code de l'environnement.
5. Articles L. 371-1 et suivants, et R. 371-24 et suivants du Code de l'environnement.
6. Loi n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (NOTRe).
7. Articles R. 371-1 et suivants, et R. 371-22 et suivants du Code de l'environnement.
8. La direction de l'ONB a été transférée en 2017 à l'AFB, et en 2019 intégré à l'OFB par la loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 portant création de l'Office français de la biodiversité, modifiant les missions des fédérations des chasseurs et renforçant la police de l'environnement.

Espaces protégés

(Code de l'environnement, Code forestier, Code de l'urbanisme)

Une partie du territoire national fait l'objet d'un classement en espaces protégés en fonction de la valeur attribuée aux habitats naturels et aux espèces. Un même espace (site) peut être concerné par plusieurs mesures de protection, plus ou moins contraignantes, regroupées en trois grandes catégories.

▪ ***Protection par la contrainte d'usages ou d'activités***

Ces mesures de protection instaurent des limitations ou des interdictions d'usages ou d'activités. Les espaces associés à ces mesures sont notamment :

– les parcs nationaux et aires marines protégées ;
– les réserves naturelles ;
– les réserves biologiques forestières.

Par ailleurs, les arrêtés préfectoraux de protection du biotope (APPB) permettent aux préfets de département de fixer des mesures pour la préservation des habitats dont dépend la survie des espèces protégées.

▪ ***Protection par la maîtrise foncière*** (acquisition de terrains pour la gestion et la réhabilitation de sites naturels)

Ces mesures tendent à protéger des espaces naturels sensibles par la maîtrise foncière. Il s'agit en particulier :

– des sites du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres ;
– des sites des conservatoires régionaux d'espaces naturels ;
– des zones humides (terrains inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre).

▪ ***Protection par la gestion contractuelle***

Cette catégorie regroupe les espaces concernés par des mesures de gestion et soumis à des obligations de résultats dans un cadre contractuel. On y trouve principalement :

– les **sites Natura 2000** en France ;
– les parcs naturels régionaux.

À cela, il convient de citer les **zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF)**, espaces qui ne sont assujettis à aucune mesure de protection mais qui sont identifiés comme présentant une « valeur écologique » particulière pour la conservation de la biodiversité, et qui font l'objet d'une attention particulière du juge administratif.

Estuaire de la Gironde – © EDF – Philippe Eranian

Elle a ainsi inscrit au sein du Code civil et du Code de l'environnement des principes majeurs pour cette protection :

- le **régime de réparation du préjudice écologique**[1], qui vise à éclaircir et faciliter la réparation du dommage environnemental (en reconnaissant le caractère objectif de la dégradation d'un écosystème) ;
- le **principe de non-régression** des réglementations environnementales, selon lequel ces réglementations ne peuvent faire l'objet que d'une amélioration constante[2] ;
- le **principe de solidarité écologique** qui appelle à prendre en compte dans toute prise de décision publique ayant une incidence environnementale, les interactions entre écosystème et être vivants[3].

Cette loi consolide également la mise en œuvre de la **séquence « Éviter-Réduire-Compenser » (ERC)**[4] (*cf.* annexe 3.1) par un renforcement du dispositif de compensation des atteintes à la biodiversité. Les mesures de compensation doivent viser un objectif d'absence de perte nette, voire de gain de biodiversité. Elle souligne, en outre, que les mesures de compensation doivent se traduire par une obligation de résultats et demeurer effectives pendant toute la durée des atteintes.

1. Article 1246 à 1252 du Code civil.
2. Article L. 110-1 du Code de l'environnement.
3. Article L. 110-1 du Code de l'environnement.
4. Articles L. 160-1 à L. 163-5 du Code de l'environnement.

Espèces protégées

(Code de l'environnement : art. L. 411-1 et L. 411-2, et R. 411-1 et suivants)

Les espèces protégées font l'objet de listes établies par arrêtés ministériels, après avis du Conseil national de protection de la nature (CNPN)[1]. Ces listes incluent les espèces animales et végétales listées à l'annexe 4 de la directive « Habitat », présentant un intérêt communautaire et nécessitant une protection stricte de la part des États-membres.
Elles sont établies par catégories (mammifères, oiseaux, reptiles, mollusques, insectes, poissons…) et peuvent être complétées au niveau régional et départemental pour tenir compte des particularités locales. Dans ce cas, elles sont issues d'arrêtés préfectoraux qui peuvent interdire de porter atteinte à ces espèces et à leur habitat. Des dérogations sont possibles dans certains cas ; elles sont alors généralement accompagnées de mesures compensatoires à mettre en œuvre afin d'amoindrir le préjudice causé.
Ces dispositions concernent également les centrales nucléaires. En particulier, les procédures de demande d'autorisation de création (construction, chantier…) ou de modification (révision des rejets…) doivent comporter une étude des incidences sur les espèces protégées.

Deux espèces protégées en France métropolitaine et présentes sur nos sites

Orchis à fleurs lâches © Thema environnement – Marie Lebot

Agrion de Mercure © EDF – Frédérick Jacob

1. La liste des missions du CNPN est établie par le décret n° 2017-342 du 17 mars 2017 relatif au Conseil national de la protection de la nature, aujourd'hui codifié aux articles R. 134-20 et suivants du Code de l'environnement.

Le corollaire en est qu'un projet ne peut être autorisé si les atteintes liées à sa réalisation ne peuvent être ni évitées, ni réduites, ni compensées de façon satisfaisante.

La loi renouvelle les institutions pour la protection de la biodiversité avec notamment la création :

- de l'Agence française de biodiversité (AFB) qui a pour mission principale l'appui à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de la connaissance, la préservation, la gestion et la restauration. La loi du 24 juillet 2019 portant création de l'**Office français de la biodiversité** (OFB)[1] a depuis regroupé l'AFB et l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) au sein d'une même institution pour simplifier l'action des pouvoirs publics en matière de biodiversité, coordonner pour renforcer l'efficacité de cette action, et renforcer son ancrage territorial par des agences régionales et locales, et un pouvoir des inspecteurs de l'environnement augmenté ;
- du **Comité national de la biodiversité** (CNB) dont la mission est de contribuer à la réflexion du gouvernement concernant la politique de la biodiversité. Cette instance conseille le gouvernement en matière de biodiversité, donne son avis sur la stratégie de l'OFB, et peut rendre un avis sur tout objet relatif à la biodiversité. C'est un acteur de réflexion et de conseil en matière de biodiversité ;
- des **agences régionales de la biodiversité** (ARB) et des **comités régionaux de la biodiversité** (CRB). Les ARB sont des délégations territoriales de l'AFB qui exercent tout ou partie des missions de l'agence, à l'exception des missions de police de l'environnement. Elles peuvent être constituées en établissements publics de coopération environnementale[2]. Au dernier trimestre 2018, il existait 11 ARB en France, outremer compris. Les CRB ont été instaurés pour remplacer les comités trame verte et bleue. Ces comités sont les lieux privilégiés d'information, d'échange, de concertation et de consultation sur toute ques-

1. Loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 portant création de l'Office français de la biodiversité, modifiant les missions des fédérations des chasseurs et renforçant la police de l'environnement.
2. Mentionnés à l'article L. 1431-1 du Code général des collectivités territoriales.

tion relative à la biodiversité au sein de la région. Il donne notamment son avis sur les orientations stratégiques prises par les ARB, et est composé de représentants des élus locaux, de la population locale, de scientifiques et de représentants de l'État. Ces CRB sont des acteurs de participation locale aux décisions et actions publiques en faveur de la biodiversité, et donnent ainsi leur avis sur la stratégie régionale pour la biodiversité, ou dans l'élaboration du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

La loi « Biodiversité » introduit également l'obligation, pour **les porteurs de projets, de contribuer à l'Inventaire national du patrimoine naturel** (INPN)[1]. L'INPN recense les richesses écologiques, faunistiques, floristiques, géologiques, pédologiques, minéralogiques et paléontologiques de la France et dépend du Museum national d'histoire naturelle depuis 2002. Les maîtres d'ouvrages privés comme publics doivent contribuer à cet inventaire par la saisie ou le versement de « données brutes de biodiversité »[2] acquises à l'occasion des études d'évaluation préalable ou de suivi des impacts réalisés dans le cadre de l'élaboration des plans, schémas, programmes et autres documents de planification, et des projets d'aménagement soumis à l'approbation de l'autorité administrative. EDF est ainsi visée par le dépôt de ces données dans le cadre des procédures réglementaires qu'il soumet.

Enfin, les aires de protection de la biodiversité marine sont renforcées, notamment par la création de la 5e plus grande réserve marine du monde dans les eaux des Terres australes et antarctiques françaises.

- Dispositions relatives à la protection des espaces naturels

En France, un **réseau d'espaces protégés** a été mis en place afin de préserver la diversité biologique sur le territoire terrestre et marin. Chaque espace ainsi créé obéit à des objectifs, des contraintes et des modes de gestion spécifiques. Les centrales nucléaires situées dans ces espaces ou à proximité de ceux-ci sont concernées par ces mesures de protection (*cf.* encart).

- Dispositions relatives à la protection des espèces et des habitats

L'essentiel des projets et des travaux doit désormais faire l'objet d'une étude d'impact. Le statut d'espèce protégée (*cf.* encart) prévoit un dispositif répressif pour des infractions relatives aux atteintes spécifiques portées à certaines espèces et à leur milieu.

- Décret n° 2018-1180 du 19 décembre 2018 relatif à la protection des biotopes et des habitats naturels

La notion de biotope est définie comme un habitat nécessaire à l'alimentation, la reproduction, le repos ou la survie d'une espèce protégée. La protection de certains biotopes (mares, marécages, marais, haies...) était déjà rendue possible par la mise en œuvre d'arrêtés préfectoraux de protection de biotope (APPB).

La responsabilité sociétale des entreprises (RSE)

La responsabilité sociétale des entreprises (RSE) vise à intégrer au sein des entreprises les préoccupations sociales, environnementales, et économiques pour garantir des pratiques plus éthiques et durables dans leur fonctionnement. Cette responsabilité a été consacrée en France par la loi du 15 mai 2001 sur les nouvelles régulations économiques[1], créant l'obligation pour les entreprises cotées en bourse d'intégrer dans leur rapport annuel une série d'informations relatives aux conséquences sociales et environnementales de leurs activités (reporting extra-financier).

La loi Grenelle 2009 a élargi cette obligation aux informations sociales et environnementales, obligation renforcée par la LTECV de 2015[2] quant aux informations en matière d'enjeux climato-énergétiques, d'économie circulaire et de gaspillage alimentaire. Le législateur européen s'est saisi du sujet et a émis une directive sur le rapportage extra-financier, que la France a transposé[3], et dont les dispositions sont aujourd'hui inscrites au sein des articles L. 225-102-1 du Code du commerce. Enfin, les lois relatives à la lutte contre la corruption (dite loi Sapin II)[4] et au devoir de vigilance des sociétés mères[5] de 2016 et 2017 ont intégré le respect des droits humains au cœur des attentions des entreprises, qui doivent publier un plan de vigilance pour prévenir les risques en matière d'environnement, de droits humains et de corruption sur leurs propres activités et celles de leurs filiales, sous-traitants et fournisseurs, en France comme à l'étranger.

CNPE de Penly © EDF – Philippe Eranian

1. Loi n° 2001-420 du 15 mai 2001 relative aux nouvelles régulations économiques.
2. Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.
3. Ordonnance n° 2017-1180 du 19 juillet 2017 relative à la publication d'informations non financières par certaines grandes entreprises et certains groupes d'entreprises.
4. Loi n° 2016-1691 du 9 décembre 2016 relative à la transparence, à la lutte contre la corruption et à la modernisation de la vie économique.
5. Loi n° 2017-399 du 27 mars 2017 relative au devoir de vigilance des sociétés mères et des entreprises donneuses d'ordre.

1. Article L. 411-1 A du Code de l'environnement.
2. On entend par données brutes de biodiversité les données d'observation de taxons, d'habitats d'espèces ou d'habitats naturels, recueillies par observation directe, par bibliographie ou par acquisition de données auprès d'organismes détenant des données existantes.

Ce décret renforce la protection des habitats naturels par l'extension du champ d'application :

- d'une part, à des milieux d'origine artificielle (bâtiments, ouvrages, mines, carrières...) ;
- et, d'autre part, à une liste d'habitats naturels fixés par arrêtés du 19 décembre 2018, sans qu'il soit besoin d'établir qu'ils constituent par ailleurs un habitat d'espèces protégées.

Ces dispositions aujourd'hui inscrites aux articles R. 411-15 et suivants du Code de l'environnement.

4. Mobilisation des entreprises pour la biodiversité

Enjeu environnemental et défi sociétal majeur, la préservation de la biodiversité répond à une attente de plus en plus marquée de la société. Au-delà des acteurs historiques (scientifiques, naturalistes, administrations, ONG), de nouvelles parties prenantes se mobilisent en faveur de la biodiversité : collectivités locales, politiques, entreprises, grand public, et même désormais le monde financier.

Les entreprises ont un rôle majeur à jouer dans la réduction de leurs impacts sur la biodiversité, mais aussi dans la restauration et la valorisation de la biodiversité et des écosystèmes.

Elles ont également pris conscience de l'importance de cette thématique pour améliorer leur image et leurs résultats au travers des reporting extra-financiers (*cf.* encart).

Dévoilé en juillet 2018, le plan biodiversité du ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES devenu MTE) présente 6 axes stratégiques dont l'axe 2 ciblant plus spécifiquement le secteur économique. Le Plan propose une série de mesures permettant de réduire l'ensemble des pollutions (plastique, chimiques, lumineuses...) et un objectif 2.5 incitant les entreprises à qualifier leur empreinte biodiversité notamment au travers de leurs démarches RSE (*cf.* encart).

Pour réfléchir et agir de façon concertée sur ces questions, des entreprises se regroupent au sein de groupes de travail et d'associations tels que les associations Orée[1] ou EpE[2] créée en 1992 et réunissant une quarantaine de grandes entreprises françaises et internationales issues de tous les secteurs de l'économie.

Vers un indicateur standardisé pour mesurer l'impact des activités économiques sur la biodiversité

L'engagement des entreprises et des acteurs financiers est indispensable pour réduire l'érosion de la biodiversité.
Dans le cadre du reporting extra-financier, la vaste majorité des indicateurs communiqués par les entreprises correspondent à des indicateurs de suivi d'action et non des indicateurs stricts de préservation de la biodiversité.
Aussi, l'ensemble des acteurs s'accorde sur l'importance du développement d'indicateurs standardisés et synthétiques susceptibles de rendre compte des impacts des activités économiques sur la biodiversité à l'instar de l'indicateur unique TeqCO2 qualifiant l'empreinte carbone.
Cependant, la question d'un indicateur unique se heurte à des difficultés d'ordre méthodologiques liées à la complexité des processus naturels et à la difficulté de définir les relations entre indicateurs de pression et indicateurs d'impacts.
Des initiatives à toutes les échelles sont en cours pour développer des outils de mesure, des méthodes d'évaluation et des approches comptables de la biodiversité et ainsi permettre aux entreprises et aux investisseurs de comprendre et de mesurer leurs impacts sur la biodiversité.
Deux indicateurs sont plus spécifiquement à l'étude en France :

- l'empreinte biodiversité produits (EBP) qui vise à évaluer et améliorer l'empreinte biodiversité des produits, développée par le cabinet I Care & Consult ;
- le *Global Biodiversity Score* (GBS) qui vise à mesurer l'empreinte biodiversité des entreprises et des institutions financières, développé par la CDC Biodiversité.

1. Orée : Organisation pour le respect de l'environnement dans l'entreprise. Association multi-acteurs (entreprises et collectivités locales) créée en 1992 qui fédère et anime un réseau d'acteurs engagés pour échanger et mettre en place une dynamique environnementale au service des territoires.
2. EpE : Entreprise pour l'environnement. Association crée en 1992 qui regroupe une quarantaine de grandes entreprises françaises et internationales issues de tous les secteurs de l'économie qui veulent mieux prendre en compte l'environnement dans leurs décisions stratégiques et dans leur gestion courante.

Le groupe EDF a fait de la biodiversité un enjeu majeur depuis plusieurs décennies car la plupart de ses installations industrielles se situent dans des zones protégées ou à leur proximité. EDF est ainsi un propriétaire foncier et un gestionnaire de ressources naturelles de première importance. Mieux connaître ce patrimoine, réduire les impacts des activités, et enrichir la biodiversité locale sont des axes de performance pour ces sites industriels. L'importance de l'enjeu explique que le Groupe se soit engagé en faveur de la biodiversité dès les années soixante-dix, avec par exemple la création en France d'un laboratoire national sur les questions d'hydroécologie et l'établissement dès 2006 d'une politique Biodiversité.

En 2016, en accompagnement de son projet stratégique Cap 2030, le groupe EDF fait de la biodiversité un de ses 6 objectifs de responsabilité d'entreprise repris dans sa politique Développement Durable : **« Lancer une approche positive de la biodiversité, ne pas se limiter à terme à la connaissance ou à la réduction des impacts de ses activités pour avoir un effet positif sur la biodiversité »**.

En 2018, le Groupe rejoint l'initiative française **Act4nature** lancée par EpE aux côtés de 65 entreprises de tous secteurs et rend publique son approche sur la biodiversité *via* un engagement individuel en 5 axes.

L'engagement du groupe EDF : « Lancer une approche positive de la biodiversité, ne pas se limiter à terme à la connaissance ou à la réduction des impacts mais avoir un effet positif sur la biodiversité »

Dans le cadre de sa stratégie d'entreprise CAP 2030 et de sa politique Développement Durable, le Groupe entend développer une approche positive de la biodiversité, en améliorant ses pratiques et en évitant au maximum des dommages irréversibles sur la nature. Cet objectif s'applique à l'ensemble de la chaîne de valeur, y compris les politiques d'achats et les relations avec fournisseurs et sous-traitants.

En 2018, l'engagement du Groupe dans l'initiative Act4nature précise les modalités de déploiement de cet engagement. Il se compose de 5 grands objectifs :

▪ Mobiliser toutes les entités du Groupe

En intégrant la biodiversité parmi ses 6 objectifs de responsabilité d'entreprise, le Groupe affiche qu'il s'agit là d'un enjeu prioritaire qui engage tous ses métiers et toutes ses sociétés, ce qui se traduit par une évaluation de ses activités sur cette dimension.

▪ Connaître les enjeux biodiversité et mettre en œuvre des actions concrètes

En France, EDF définit ses grandes orientations en matière de biodiversité au travers d'une feuille de route et d'un engagement volontaire à la Stratégie nationale pour la biodiversité[1] (SNB). L'engagement 2014–2017, signé par le président-directeur général, comporte 16 actions concrètes notamment sur la protection des espèces et des espaces, le maintien de la continuité écologique, le développement d'une filière Végétal Local pour la restauration écologique ainsi que la montée en compétence sur la biodiversité de l'ensemble des métiers et des salarié.es.

▪ Innover pour la biodiversité

Depuis plus de 30 ans, EDF s'est doté d'une R&D dédiée travaillant sur l'environnement en partenariat avec des organismes externes. La biodiversité constitue l'un des thèmes principaux et l'un des plus gros budgets de R&D.

▪ S'engager dans un processus participatif et ouvert

Le groupe EDF cherche à comprendre et à répondre aux attentes de ses parties prenantes et s'implique dans les instances locales de gouvernance de la biodiversité. EDF a développé dans la durée une politique de coopération avec des partenaires associatifs, scientifiques et institutionnels, ayant un fort ancrage territorial et une expertise biodiversité.

▪ Contribuer aux politiques publiques

EDF prend part financièrement et techniquement à différents plans nationaux d'actions[2] (PNA) tels que l'Apron du Rhône, le Gypaète Barbu… L'entreprise s'implique également dans la lutte contre les espèces exotiques envahissantes concourant ainsi aux objectifs de la stratégie nationale.

CNPE de Penly © EDF – Philippe Eranian

1. Stratégie nationale pour la biodiversité : elle est la concrétisation de l'engagement français au titre de la convention sur la diversité biologique. La SNB 2011–2020 vise l'atteinte de 20 objectifs fixés pour préserver, restaurer, renforcer, valoriser la biodiversité et en assurer un usage durable et équitable.
2. Plans nationaux d'actions : ce sont des documents d'orientation non opposables visant à définir les actions nécessaires à la conservation et à la restauration des espèces les plus menacées afin de s'assurer de leur bon état de conservation.

EDF a par ailleurs fait le choix de s'appuyer sur des partenariats construits dans la durée avec les grands acteurs du secteur de la biodiversité. Les actions engagées portent sur 4 axes :

- la qualité écologique et la gestion du foncier ;
- la limitation des impacts sur l'environnement ;
- la transformation des pratiques professionnelles et l'appui à la réflexion stratégique ;
- la formation/sensibilisation des salariés et du grand public.

Les principaux partenaires du Groupe au niveau national sont le Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature depuis 2008 ; le Muséum national d'histoire naturelle depuis 2013 ; la Ligue pour la protection des oiseaux depuis 2008 ; les réserves naturelles de France depuis 1990 ; la Fédération des conservatoires botaniques nationaux et la Fédération des conservatoires d'espaces naturels depuis 2015.

5. Biodiversité : EDF et les centrales nucléaires

Au-delà du bien commun qu'elle constitue, la nature soutient les activités de production nucléaire par les services qu'elle fournit : fourniture de ressources naturelles, disponibilité en eau, régulation de la qualité de l'eau et du climat... Sa préservation constitue un défi majeur pour la pérennité de nos activités.

L'histoire des centrales est jalonnée d'expériences, de programmes d'actions menés en collaboration avec des associations locales pour préserver les milieux naturels. La prise en compte de la biodiversité constitue également un enjeu majeur pour l'intégration et l'acceptation de nos installations au sein des territoires qui les accueillent.

Dans cette optique, depuis 2011, la division production nucléaire (DPN) contribue à la feuille de route « Biodiversité » commune aux métiers nucléaires, qui structure l'ensemble des actions liées à la biodiversité et qui décline l'engagement d'EDF à l'initiative Act4nature.

Cet engagement passe d'abord par l'exploitation des unités de production en toute sûreté et dans le respect de l'environnement et de la réglementation.

Dans le cadre des chantiers et projets menés sur les sites, des études environnementales sont réalisées pour éviter ou réduire, en priorité, les impacts sur les milieux et les espèces, en cohérence avec le phasage de la séquence Éviter Réduire Compenser (*cf.* annexe 3.1). Les enjeux associés au réseau des continuités écologiques terrestres et aquatiques (trame verte et bleue[1]) tels que définis dans les documents de planification sont également pris en compte (*cf.* annexe 3.2).

Une meilleure prise en compte de la biodiversité passe par une bonne connaissance des enjeux écologiques présents sur le foncier des sites. Dans ce cadre, des inventaires écologiques recensant les habitats et espèces présentes sont réalisés sur l'ensemble des sites nucléaires. Ces données sont mises à jour régulièrement afin de bénéficier d'une connaissance actualisée des enjeux permettant ainsi d'identifier rapidement les risques d'impacts en cas de projet.

CNPE de Penly © EDF – Philippe Eranian

Cette connaissance de la biodiversité permet également une gestion différenciée sur les sites de production afin de concilier enjeux écologiques et enjeux industriels.

Enfin, au-delà de la connaissance et de la réduction des impacts, les initiatives et partenariats engagés par les CNPE sont très nombreux. Ils ont pour objectif de développer des actions concrètes avec les acteurs locaux dans le cadre des projets de territoire portés par chaque site.

1. Trame verte et bleue : La trame verte et bleue est un réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques identifiées par les schémas régionaux de cohérence écologique ainsi que par les documents de planification de l'État, des collectivités territoriales et de leurs groupements.

Quelques exemples d'actions pour la biodiversité dans les centrales

Le CNPE de Saint-Alban s'engage aux côtés du Conservatoire des espaces naturels (CEN) pour la restauration de la zone humide de Malessard (Isère)

Dans la zone Est des propriétés foncières du site de Saint-Alban se situe un complexe d'habitats humides identifiés pour leur intérêt écologique (forêts alluviales, mare et roselières). Ces milieux correspondent en effet à l'une des dernières annexes hydrauliques naturelle du Rhône encore alimentée en eau par la nappe phréatique de la plaine alluviale du fleuve.

Bien qu'ayant un état de conservation dégradé, la zone humide de Malessard accueille plusieurs espèces remarquables sur une superficie de près de 19 hectares identifiées en tant que ZNIEFF de type 1[1] et comme réservoir de biodiversité par le schéma régional de cohérence écologique Rhône-Alpes

Le partenariat prévoit en particulier la restauration des conditions hydrologiques du ruisseau de Malessard alimentant cette zone, enjeu fondamental pour la pérennité du site et le développement des espèces présentes. Un plan de gestion proposé par le CEN cadre les actions qui seront menées sur les cinq prochaines années.

CNPE de Saint-Alban © EDF – Delphine Cuenot

La centrale du Bugey et le Conservatoire des espaces naturels (CEN) **s'associent pour préserver la biodiversité du site Natura 2000 « Steppes de la Valbonne » (Ain)**

Situé à une vingtaine de kilomètres du CNPE de Bugey, le site Natura 2000 « Steppes de la Valbonne » abrite un patrimoine naturel reconnu comme exceptionnel du fait de la flore et de la faune qu'il abrite. Sur ces anciennes terrasses alluviales du Rhône, des décennies sans exploitation agricole ni aménagements ont favorisé l'installation d'un cortège de plantes adaptées à un sol très sec en été. La présence de nombreuses espèces d'orchidées, dont *Orchis militaris*, fait de ce site l'une des plus belles pelouses sèches de plaine du nord de la région Rhône-Alpes.

Le partenariat entend préserver les prairies steppiques et les espèces endémiques du site, en ayant par exemple recours au pâturage naturel, tout en conciliant cet effort avec les activités militaires présentes. Des visites (salariés de la centrale, scolaires, partenaires) sont également organisées sur cet espace naturel préservé pour sensibiliser à la biodiversité locale.

La Fête de la Nature : une opportunité pour sensibiliser à la biodiversité sur les sites nucléaires

Partenaire historique de la Fête de la Nature depuis 2008, EDF organise chaque année de nombreuses manifestations sur le terrain avec ses partenaires (Conservatoire du littoral, Ligue pour la protection des oiseaux, Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature, Museum national d'histoire naturelle, Fédération des conservatoires botaniques nationaux, Fédération des conservatoires d'espaces naturels …) afin de faire partager au public l'implication de ses salariés pour la protection de la nature et de l'environnement.

En 2019, de nombreux sites nucléaires et entités ont participé à cet événement en proposant à des publics internes comme externes de nombreuses activités : balades en pleine nature, rencontres avec des professionnels, ateliers créatifs, expositions, conférences, concours photos…

L'implication du CNPE de Civaux pour la préservation du faucon pèlerin (Vienne)

Le bâti représente souvent un lieu d'accueil pour certaines espèces faunistiques qui peuvent y trouver refuge.

A Civaux, un nichoir pour les faucons pèlerins a été installé en 2005 au sommet d'une des deux tours aéroréfrigérantes du site. Il est le fruit d'une coopération entre le CNPE, le Conseil général de la Vienne, la volerie de Racamadour et l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS[2]). En 2018, en collaboration avec la ligue de protection des oiseaux (LPO[3]) de la Vienne, le nid d'origine a été remplacé par un nouveau, cette fois-ci équipé d'une caméra ! Une action techni-

1. ZNIEFF de type 1 : zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique de type 1 : espaces homogènes écologiquement, définis par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou d'habitats rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel régional. Ce sont les zones les plus remarquables du territoire.
2. La loi crée à compter du 1er janvier 2020 un nouvel établissement public à caractère administratif qui intègre les missions, périmètres d'intervention et agents de l'Agence française de la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS).
3. La Ligue pour la protection des oiseaux est une association de loi 1901 créée en 1912. Un partenariat national existe depuis 2012 entre la LPO et EDF.

quement délicate, marquée par l'implication de salariés d'EDF soucieux de participer à la conservation de ce beau symbole de biodiversité à Civaux. Depuis 10 ans, le même couple de faucons pèlerins niche et donne naissance à 2 ou 3 fauconneaux chaque année, évènement suivi attentivement par les salariés et par la LPO.

Image issue de la webcam du CNPE de Civaux © EDF

La réserve de chasse et de faune sauvage de la centrale nucléaire du Blayais (Gironde)

Propriété du CNPE du Blayais, la réserve ornithologique est un site d'importance nationale pour les oiseaux d'eau, notamment pour les anatidés[1] en hivernage.

Depuis 1986, la gestion de cette ancienne friche industrielle de 74 hectares, réhabilitée en zone humide, est confiée à la fédération départementale des chasseurs de la Gironde (FDC 33).

Classé réserve de chasse et de faune sauvage (RCFS), ce site revêt un fort intérêt pour la conservation de la biodiversité au sein du complexe humide des Marais du Blayais.

Au cours d'un cycle annuel, ce sont près de 149 espèces d'oiseaux qui fréquentent la réserve dont un peu plus de 80 espèces d'oiseaux inféodées aux milieux humides.

CNPE du Blayais © EDF – Gabriel Balloffet

La réserve joue un rôle important dans la préservation du capital hivernant de nombreuses espèces chassables d'anatidés. De plus, elle renferme une richesse écologique (hors avifaune), qu'il convient de prendre en compte.

Depuis 2008, le CNPE et la FDC 33 se sont entourés de partenaires pour gérer, étudier et suivre la vie de cette réserve. Afin de mieux connaître, pour mieux gérer, il a été décidé d'élaborer un plan de gestion de ce site (Extrait du plan de gestion de la Réserve, 2018, FDC33).

Des tours à hirondelle sur le CNPE de Belleville-sur-Loire pour préserver l'espèce (Cher)

Depuis plusieurs années, des hirondelles ont élu domicile sous le préau du PAP[2] occasionnant ainsi des problèmes d'hygiène. Accompagné par la ligue de protection des oiseaux (LPO) du Cher, le CNPE a déposé une demande officielle de retrait de ces nids auprès des services de la direction départementale des territoires. Un arrêté préfectoral a donné autorisation d'effectuer le retrait de ces nids sous réserve du respect de certaines conditions : le retrait des nids est à effectuer en dehors des périodes de présence des oiseaux ; le retrait de ces habitats est compensé par la mise en place de tours à hirondelles à différents endroits du site. Ainsi, trois tours à hirondelles ont été installées sur le CNPE. De plus, pendant 3 ans, un suivi de la population d'hirondelles est assuré sur le site à l'arrivée des oiseaux au printemps, puis entre mai et juin et enfin avant leur départ migratoire.

CNPE de Belleville © EDF – Sylvie Chougmager

1. Comprend les oies, les cygnes, les canards.
2. Poste d'accès principal du site.

Annexe 3.1

Éviter Réduire Compenser les atteintes à la biodiversité

La séquence « Éviter, Réduire, Compenser » a été introduite en droit français dès 1976 par la loi relative à la protection de la Nature. Ce dispositif a été consolidé en 2016 par la Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages avec un objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire tendre vers un gain de biodiversité.

Cette séquence « ERC » a pour principal objectif **d'éviter (E)** les atteintes à l'environnement (dont la biodiversité), **de réduire (R)** les atteintes qui n'ont pu être suffisamment évitées et, si cela est justifié, **de compenser (C)** les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits.

Elle s'applique aux projets et aux plans d'aménagement et programmes soumis à une évaluation environnementale ainsi qu'aux projets soumis à diverses procédures au titre du Code de l'environnement (autorisation environnementale, dérogation à la protection des espèces protégées, évaluation des incidences Natura 2000...).

Si les atteintes liées au projet ne peuvent être évitées, ni réduites, ni compensées de façon satisfaisante, le projet ne sera pas autorisé en l'état.

LES GRANDS PRINCIPES DE LA SÉQUENCE ERC (*cf.* figure 3)

La connaissance du projet et des enjeux écologiques sont deux éléments structurant pour appliquer de manière pertinente la séquence ERC et vont permettre de définir **les impacts bruts du projet**.

Ces éléments vont dans un premier temps permettre de s'attacher à éviter les impacts afin de préserver les milieux naturels. Pour cela, les mesures envisagées peuvent concerner des choix fondamentaux liés au projet (évitement géographique et/ou technique). À titre d'exemple, le tracé d'une digue peut être modifié pour éviter une zone humide d'intérêt pour la reproduction d'amphibiens.

Dès lors que des impacts négatifs sur la biodiversité **n'ont pu être évités**, il convient **de réduire les impacts** de dégradation du milieu naturel autant que possible. À titre d'exemple, une adaptation du planning associé à la réalisation des travaux peut être proposée afin de réduire les effets sonores et lumineux durant les phases les plus sensibles pour les espèces identifiées.

Fig. 3 ▶ Bilan écologique de la séquence ERC.

Source : THEMA, la séquence Eviter, Réduire, Compenser : un dispositif consolidé, Ministère de l'Environnement, 2017

Dans le cas où, suite à la mise en œuvre des mesures d'évitement et/ou de réduction, **un impact résiduel significatif** persiste, des **mesures de compensation** doivent être engagées et **garantir une absence de perte nette** de biodiversité, voire un gain écologique.

À noter que les mesures compensatoires proposées doivent être **pérennes**, **réalisables** d'un point de vue technique et économique, **efficaces** et facilement **mesurables**. La localisation géographique est également un critère important à considérer, le gain produit devant être par priorité à proximité du site impacté.

Enfin, les mesures compensatoires doivent être **additionnelles** aux politiques publiques existantes et aux autres actions inscrites dans le territoire, auxquelles elles ne peuvent pas se substituer, et être conçues pour **durer aussi longtemps que l'impact**.

Les mesures d'évitement de réduction et de compensation peuvent être complétées par des **mesures d'accompagnement**. Elles présentent un caractère optionnel et sont à titre d'exemple des actions d'acquisitions de connaissances, de définition d'une stratégie de conservation plus globale, ... Elles peuvent être définies pour améliorer l'efficience ou donner des garanties supplémentaires de succès environnemental aux mesures compensatoires.

Ces mesures ne peuvent venir en substitution d'aucune des autres mesures mais uniquement venir en plus. Si la proposition de ces mesures d'accompagnements reste facultative, l'engagement dans leur mise en œuvre est ensuite obligatoire.

Enfin, **le suivi** qui a pour objet de s'assurer de l'efficacité des mesures d'évitement, de réduction et de compensations ne constitue pas à lui seul une mesure et correspond à une action qui doit être intégrée à part entière dans la mesure correspondante.

Prise en compte de la séquence ERC dans le cadre de dossiers réglementaires pour un site nucléaire

La prise en compte de la séquence « ERC » dans le cadre de la réalisation d'un projet doit être réalisée **lors des phases amont de conception** du projet. Anticiper va permettre notamment de maîtriser au mieux les mesures et les coûts associés ainsi que le planning.

Les principales étapes de cette prise en compte sont les suivantes :

- la **définition des grandes lignes du projet** notamment les emprises au sol nécessaires (permanentes et temporaires), le planning prévisionnel, la durée des travaux...
  - ➪ Ces éléments vont permettre de proportionner les inventaires « Biodiversité » au projet ;
- la **réalisation d'inventaires faune/flore/habitats naturels** par un bureau d'études spécialisé. L'acquisition de données d'entrée sur un cycle biologique complet est nécessaire (1 année).
  - ➪ Ces éléments vont permettre de définir les enjeux écologiques sur les emprises au sol nécessaires pour la réalisation du projet ;
- l'**analyse des impacts bruts** en croisant les enjeux écologiques et le projet.
  - ➪ Cette analyse va permettre de définir les premières mesures pour éviter et/ou réduire l'impact du projet sur la biodiversité ;
- la **définition des mesures d'évitement et de réduction** qui sont compatibles avec la réalisation projet ainsi que l'**analyse des impacts résiduels** et la définition, si nécessaire de mesures compensatoires qui devront être justifiées.
  - ➪ Le travail itératif de définition de mesures d'évitement et de réduction doit être capitalisé et sera présenté dans le dossier réglementaire afin de justifier de la bonne application de la séquence « ERC » ;
- la **réalisation d'échanges techniques avec l'administration** en charge des thématiques « Biodiversité ». Les interlocuteurs privilégiés sont les DREAL et les DDT. Des échanges techniques avec des parties-prenantes « naturaliste » peuvent également être engagés afin de définir des mesures les plus pertinentes et de garantir une absente de perte nette de biodiversité.
  - ➪ Ces échanges permettent de valider la complétude des inventaires faune/flore, de valider et réajuster, si nécessaire, les mesures d'évitement et/ou de réduction voire de compensation proposées.

Annexe 3.2

Continuités écologiques : la trame verte et bleue (TVB)

Pour survivre, les espèces ont besoin de circuler entre différents territoires et milieux naturels nécessaires à l'accomplissement de leur cycle biologique (sites de reproduction, d'alimentation, d'hivernage, de repos...). L'ensemble de ces zones vitales et des axes de circulation entre celles-ci constituent les **continuités écologiques**.

Les aménagements humains (urbanisation, infrastructures linéaires type routes, voies ferrées, canaux...) et les pratiques de gestion des ressources naturelles entraînent une réduction des surfaces vitales des espèces mais également une forte fragmentation des habitats naturels. Ces phénomènes accentuent ainsi les difficultés de déplacement des espèces, mettent en péril leur survie à long terme et sont **une cause majeure du déclin de la biodiversité**.

Le maintien et la remise en état des continuités écologiques au sein des territoires apparaissent ainsi comme une condition essentielle à la préservation de la biodiversité.

Afin de préserver et reconstituer ces **continuités écologiques**, la France a défini la notion de **trame verte et bleue (TVB)** dans les lois dites « Grenelle I et II » en 2009 et 2010, élément conforté en 2016 dans la loi dite « Biodiversité ».

La trame verte concerne les milieux terrestres, la trame bleue concerne les milieux aquatiques (cours d'eau, zones humides...).

La trame verte et bleue constitue ainsi un réseau de continuités écologiques terrestres et aquatiques constituée de :

- réservoirs de biodiversité, qui correspondent à des zones vitales constitués d'habitats naturels suffisamment préservés pour que les espèces qui y effectuent tout ou partie de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos...) ;
- corridors écologiques, qui sont des axes de connexion entre les réservoirs de biodiversité. Il s'agit de milieux qui permettent aux espèces de circuler, et garantissent à ce titre le maintien à long terme de la biodiversité. Plusieurs types de corridors permettent la circulation des espèces (*cf.* figure 4).

Fig. 4 ▶ Exemple d'éléments de la trame verte et bleue : réservoirs de biodiversité et types de corridors terrestres (source : Cemagref, d'après Bennett 1991).

La loi Grenelle associe cinq objectifs aux trames vertes et bleues :

1. conserver et améliorer la qualité écologique des milieux et garantir la libre circulation des espèces de faune et de flore sauvages ;
2. accompagner les évolutions du climat en permettant à une majorité d'espèces et d'habitats de s'adapter aux variations climatiques ;
3. assurer la fourniture des services écologiques ;
4. favoriser des activités durables, notamment agricoles et forestières ;
5. concourir à maîtriser l'urbanisation et l'implantation des infrastructures et d'améliorer le franchissement par la faune des infrastructures existantes.

Ces objectifs ont été initialement déclinés au niveau de chaque région dans un schéma régional de cohérence écologique (SRCE), repris suite à la loi NOTRe en 2015 par le schéma régional d'aménagement et de développement durable du territoire (SRADDET), qui a pour ambition de doter chaque région d'une stratégie d'aménagement et de développement traduisible à tous les échelons territoriaux.

Les documents locaux d'urbanisme doivent « prendre en compte » le SRADDET ce qui signifie que ces documents doivent s'articuler avec ses objectifs et ne pas s'écarter de ses orientations fondamentales. Ces documents doivent par ailleurs être compatibles avec les règles générales du SRADDET.

La construction, l'exploitation et la déconstruction d'un site nucléaire doivent prendre en considération les continuités écologiques. Les trames vertes et bleues sont à ce titre étudiées dans les études d'impact.

En complément de la trame verte et bleue, les études scientifiques menées depuis quelques années ont permis de montrer que la pollution lumineuse liée aux éclairages artificiels contribue également très fortement à la fragmentation des milieux, en créant un effet barrière lumineuse pour les espèces nocturnes.

La notion de trame noire émerge et commence à être également prise en compte dans les schémas d'application de la trame verte et bleue.

Remettre en bon état les continuités écologiques

Paysage haut : territoire fragmenté (étalement urbain, développement des infrastructures de transport...) peu favorable à la biodiversité / **paysage bas :** aménagement du territoire en faveur de la remise en bon état des continuités écologiques.

(Source : Ministère de l'environnement, 2010)

INFORMATION
DU PUBLIC

4

1. INTRODUCTION

2. CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE
2.1 Au niveau international
2.2 Au niveau européen
2.3 Au niveau français
2.3.1 Disponibilité de l'information en matière nucléaire hors procédure
– Affirmation du droit à l'information pour tous
– Commissions locales d'information
– HCTISN
2.3.2 Disponibilité de l'information lors de procédures
– Disponibilité d'une information indépendante sur la qualité des études d'impact, des plans et projets grâce à l'Autorité environnementale
– Disponibilité de l'information lors de l'enquête publique
– Disponibilité de l'information dans le cadre de la mise à la disposition du public par voie électronique mise en œuvre par l'ASN

3. INFORMATION DU PUBLIC PAR L'EXPLOITANT
3.1 Rapports à fournir au titre de la transparence en matière nucléaire
3.2 Rapport à fournir au titre de la réglementation générale applicable aux INB
3.3 Documents mensuels « Grand Public »
3.4 Visite d'une centrale nucléaire
3.5 Portail Internet
3.6 Communication scientifique

4. INFORMATION DU PUBLIC PAR L'ADMINISTRATION
4.1 Sur la radioactivité de l'environnement
4.2 Sur les débats scientifiques
4.3 Sur les sujets de société

5. INFORMATION PAR LES SOCIÉTÉS SAVANTES
5.1 SFRP
5.2 SFEN

Pour en savoir plus

© EDF-Philippe Montagny

1. Introduction

Le public – sensible aux questions de santé et d'environnement – s'intéresse particulièrement à l'incidence des rejets des centrales nucléaires sur son milieu de vie.

Pour autant, les rejets des centrales nucléaires font peu parler d'eux dans les médias sauf à l'occasion d'incidents ou de controverses concernant leurs effets possibles sur la santé et l'environnement. Ces situations engendrent de nombreuses interrogations de la part des médias et du public auxquelles l'exploitant, l'administration et les pouvoirs publics doivent faire face.

Apporter des réponses crédibles dans ces circonstances n'est pas facile ; les sujets à traiter peuvent être complexes. Par ailleurs, pour bien comprendre l'information transmise, le public et les médias ont besoin de posséder un minimum de connaissances sur le fonctionnement des centrales nucléaires, la réglementation et de se familiariser avec un vocabulaire technique tel que *dose*, *Sievert*, *Becquerel*...

Pour ces raisons, l'information au public ne peut être improvisée, ni se limiter aux seules périodes de crise. Elle doit au contraire être organisée. C'est d'ailleurs l'un des objectifs de la législation en matière de transparence nucléaire qui réaffirme le droit du public à l'information et à la transparence (*cf.* § 2.3). Dans ce cadre, l'exploitant est tenu d'apporter régulièrement des informations sur ses activités et ceci dès la phase de conception de la centrale où des données sur les impacts prévisibles des rejets et des prélèvements d'eau doivent être présentées.

Le public est également informé par l'administration, les pouvoirs publics et les commissions locales d'information (CLI) (*cf.* 2.3). Pour être crédible, l'information doit s'appuyer sur des faits et des données vérifiables. Le cas échéant, il est nécessaire qu'elle apporte des « éléments de vérité scientifique » pouvant être recherchés, par exemple, auprès d'experts d'horizons différents (expertise pluraliste).

Enfin, la confiance du public dépend de la crédibilité du contrôle exercé par les autorités sur les activités de l'exploitant nucléaire. Pour cela, les autorités veillent notamment à ce que le processus conduisant à réglementer, par des décisions de l'ASN, les prélèvements d'eau et les rejets d'une centrale nucléaire prenne bien en compte l'ensemble des arguments des parties prenantes et du public en particulier (*cf.* chapitre 11).

Centrale nucléaire de St-Laurent-des-Eaux sur la Loire
(2 × 900 MWe en bordure de La Loire)
© EDF – William Beaucardet

2. Contexte législatif et réglementaire

2.1 AU NIVEAU INTERNATIONAL

En matière d'environnement, les dispositions concernant l'information du public ont été confortées, entre autres, par la **convention d'Aarhus**[1] (1998). Celle-ci vise à :

- développer l'accès du public à l'information détenue par les autorités publiques ;
- favoriser la participation du public à la prise de décisions au moment de la procédure de construction d'une installation ou d'un ouvrage, lorsque toutes les options et solutions sont encore possibles et que le public peut exercer une réelle influence ;
- étendre les conditions d'accès à la justice en matière de législation environnementale et d'accès à l'information.

La convention d'Aarhus a été adoptée en droit français en 2002 (loi n° 2002-285 du 28 février 2002 puis complétée par le décret de publication du 12 septembre 2002).

1. https://www.unece.org/env/pp/introduction.html

2.2 AU NIVEAU EUROPÉEN

L'Union européenne a adopté en droit communautaire la convention d'Aarhus au travers de la directive 2003/4/CE concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement et de la directive 2003/35/CE traitant de la participation du public aux procédures environnementales (une participation du public éclairée étant une conséquence de l'accès du public à l'information environnementale). D'après la directive 2003/4/CE, le délai de transmission des informations au demandeur ne peut excéder un mois après réception de la demande. Si la complexité ou le volume des informations le justifie, ce délai peut être porté à deux mois.

2.3 AU NIVEAU FRANÇAIS

2.3.1 Disponibilité de l'information en matière nucléaire hors procédure

Affirmation du droit à l'information pour tous

La législation[1] instaure un droit d'accès à l'information directement opposable à l'exploitant d'une installation nucléaire qui doit fournir à toute personne qui en fait la demande, les informations qu'il détient.

De plus, l'exploitant est tenu d'établir, sous peine de sanctions pénales, un **rapport annuel public**[2] (*cf.* §3.1).

Commissions locales d'information

Les CLI ont été créées par la circulaire du 15 décembre 1981. En 2006, la législation [3] a rendu **obligatoire** leur existence auprès de tout site nucléaire et renforcé leurs prérogatives. Composées notamment d'élus, de représentants d'associations de protection de l'environnement, et des professions médicales[4], les commissions locales ont une mission de suivi, de concertation et d'information du public vivant à proximité d'un site nucléaire. Elles visent à apporter une réponse pertinente aux questions que se posent les riverains sur ces sujets.

La commission reçoit les informations nécessaires à l'accomplissement de ses missions de l'exploitant, des autorités de contrôle, des autres services de l'État, voire de laboratoires dits indépendants qu'elle a sollicités[5]. Elle est aussi informée, sous huit jours, de toutes les demandes formulées par le public à l'exploitant et reçoit de la même façon les réponses apportées par ce dernier[6]. Elle peut par ailleurs :

- faire réaliser des expertises, y compris des études épidémiologiques et faire procéder à toute mesure d'analyse de l'environnement[7] ;
- être consultée par l'ASN et les ministres compétents sur tout projet dans le périmètre de l'INB (cette consultation est obligatoire si le projet est soumis à enquête publique)[8] ;
- saisir l'ASN ou les ministres compétents pour toute question relevant de son domaine de compétence[9] ;
- être saisie par le comité départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CoDERST)[10] ;
- être pourvue de la personnalité juridique, avec un statut d'association et être financée, outre les subventions de l'État, par une partie de la taxe sur les INB[11].

Chaque CLI assure la diffusion de l'information auprès du public visé (mairies, collèges, lycées, associations, médias, partenaires, etc.) en publiant périodiquement des bulletins, en organisant des conférences ou en renseignant son site Internet[12]. Les CLI sont regroupées au sein de l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI).

HCTISN

La législation[13] a créé, en 2006, un Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) qui peut émettre un avis sur toutes les questions relatives à l'information du public, aux risques des activités nucléaires sur la santé des personnes et sur l'environnement, et sur l'accessibilité de cette information, ainsi que proposer toute mesure de nature à garantir ou améliorer la transparence en la matière[14].

2.3.2 Disponibilité de l'information lors de procédures

Disponibilité d'une information indépendante sur la qualité des études d'impact, des plans et projets grâce à l'Autorité environnementale

Les législations européennes et nationales (convention d'Aarhus, charte de l'environnement) prévoient que les évaluations d'impacts environnementaux des grandes opérations soient soumises à l'avis, rendu public, d'une « autorité compétente en matière d'environnement » : **l'Autorité environnementale**. Lorsque

1. Articles L. 125-10 à L. 125-40 du Code de l'environnement.
2. Articles L. 125-15 à L. 125-16 du Code de l'environnement.
3. Articles L. 125-17 à L. 125-33 du Code de l'environnement, article R. 125-50 et suivants du Code de l'environnement.
4. Liste complète de composition des CLI à l'article L. 125-20 du Code de l'environnement.
5. Article L. 125-24 du Code de l'environnement.
6. Article L. 125-25 du Code de l'environnement.
7. Article L. 125-24 du Code de l'environnement.
8. Article L. 125-26 du Code de l'environnement.
9. Article L. 125-27 du Code de l'environnement.
10. Article L. 125-28 du Code de l'environnement.
11. Article L. 125-31 du Code de l'environnement.
12. Article L. 125-17 du Code de l'environnement.
13. Articles L. 125-34 à L. 125-40 du Code de l'environnement.
14. Article L. 125-34 du Code de l'environnement.

la saisine de l'Autorité environnementale est relative à un projet, l'autorité environnementale est soit le ministre chargé de l'Environnement, soit la formation d'autorité environnementale du CGEDD[1] ou, localement, les missions régionales d'autorité environnementales du CGEDD[2].

Lorsque cette saisine vise les plans et programmes, elle peut être assurée par la formation d'autorité environnementale du CGEDD ou sa mission régionale d'autorité environnementale[3].

Disponibilité de l'information lors de l'enquête publique

Le public est informé d'un nouveau projet ou d'une modification d'une installation nucléaire de base soumise à évaluation environnementale (par exemple : certaines modifications notables soumises à autorisation, les modifications substantielles ainsi que certaines procédures associées à la phase de démantèlement) par l'intermédiaire de l'enquête publique prévue par la réglementation[4]. Cette dernière donne la possibilité de prendre connaissance du projet et de formuler des observations qui devront être prises en considération par le porteur de projet.

En complément, et en vue d'assurer une information aussi complète que possible lors de l'élaboration de grands projets, une procédure d'information et de participation du public est susceptible d'être assurée sous l'égide de la Commission nationale du débat public (CNDP). Cette autorité administrative indépendante détermine – au regard de critères légaux – si le Projet doit notamment faire l'objet d'un débat public ou d'une concertation préalable.

Disponibilité de l'information dans le cadre de la mise à la disposition du public par voie électronique mise en œuvre par l'ASN

Le Code de l'environnement prévoit la mise à la disposition du public par voie électronique des décisions d'autorités publiques susceptibles d'avoir une incidence directe et significative sur l'environnement[5].

Sur la base de ces principes généraux, l'ASN peut décider de mettre à disposition du public par voie électronique, sur son site Internet, ses projets de décisions réglementaires à caractère technique et ses décisions individuelles. Lors de la seconde hypothèse, si le projet de décision découle d'une demande de l'exploitant, alors le dossier de demande est également mis à disposition du public par voie électronique. Lorsque le volume ou les caractéristiques du projet de décision ou du dossier de demande ne permettent pas sa mise à disposition par voie électronique, le public est informé, par voie électronique, de l'objet de la procédure de participation et des lieux et horaires où l'intégralité du projet ou du dossier de demande peut être consultée.

Au plus tard à la date de la mise à disposition ou de l'information prévue à l'alinéa précédent, le public est informé, par voie électronique, des modalités de la procédure de participation retenues.

3. Information du public par l'exploitant

« *Dire au public tout ce qu'il n'aimerait pas apprendre par d'autres que nous* » peut résumer la doctrine d'EDF en matière de transparence.

Pour rester crédible et légitime à poursuivre ses activités, l'exploitant ne peut agir dans l'ombre, ni cacher les difficultés techniques auxquelles il peut être confronté.

Ceci répond également à une attente sociétale de plus en plus forte qui se manifeste notamment à l'occasion des demandes d'autorisation (enquête publique, mise à disposition du public, débat public, concertation préalable) et des réunions des CLI. Dans ces circonstances, l'exploitant ne peut pas simplement signaler qu'il respecte la réglementation. Il se doit d'expliquer les actions qu'il met en œuvre pour éviter, et réduire – autant que raisonnablement possible – les rejets et les impacts de ses installations et montrer comment il tient compte des demandes du public et des parties prenantes.

Les moyens par lesquels l'exploitant informe le public sont très variés (bulletins d'informations et rapports

1. Conseil général de l'environnement et du développement durable.
2. Article R. 122-6 du Code de l'environnement.
3. Article R. 122-17 du Code de l'environnement.
4. Confer en ce sens les dispositions communes à tous les projets (articles R. 123-1 à R.123-46), et les dispositions complémentaires spécifiques au régime INB (articles R. 593-5, R. 593-21 à R. 593-24 et R. 593-57 du Code de l'environnement.
5. Articles L. 123-19-1 et L. 123-19-2 du Code de l'environnement.

d'activité transmis à la CLI, site Internet, organisation de visites des installations...). En cas d'événement anormal à l'origine de rejets incontrôlés, l'exploitant en informe rapidement les autorités, les pouvoirs publics et les médias. Dans ces situations, rapidité, fiabilité et sincérité du message sont des éléments essentiels pour éviter la propagation de fausses informations auprès du public.

Site Internet du CNPE de Belleville-sur-Loire
https://www.edf.fr/groupe-edf/producteur-industriel/carte-des-implantations/centrale-nucleaire-de-belleville/presentation

3.1 RAPPORTS À FOURNIR AU TITRE DE LA TRANSPARENCE EN MATIÈRE NUCLÉAIRE

Au titre de la législation sur la transparence en matière nucléaire, l'exploitant est tenu d'établir un rapport annuel[1], rendu public, couvrant un champ d'informations très large puisqu'il doit aborder, en plus des questions d'environnement, les dispositions prises en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. Ce rapport est soumis au comité social et économique (remplaçant le CHSCT) de la centrale nucléaire qui peut formuler des recommandations[2]. Celles-ci sont annexées au rapport qui doit être transmis, avant le **30 juin** de l'année suivante à l'ASN[3], à la CLI et au HCTISN[4].

3.2 RAPPORT À FOURNIR AU TITRE DE LA RÉGLEMENTATION GÉNÉRALE APPLICABLE AUX INB

Au titre de la réglementation générale applicable aux INB, il est demandé un rapport ciblé sur les prélèvements d'eau, les rejets d'effluents, la surveillance de l'environnement et les impacts et nuisances occasionnés durant l'année civile écoulée, ainsi que la cohérence des rejets avec les prévisions[5]. Ce rapport, qui peut être intégré au rapport mentionné ci-dessus, est à transmettre, avant le **30 avril (pour certains sites) ou le 30 juin** de l'année suivante, à l'ASN, la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), l'agence régionale de santé (ARS), au service chargé de la police de l'eau ainsi qu'à la CLI[5].

3.3 DOCUMENTS MENSUELS « GRAND PUBLIC »

Bien que les rapports annuels destinés au public soient établis par l'exploitant avec le souci de simplicité et de clarté, ces documents restent d'un abord difficile pour une personne non-initiée. Pour cette raison, l'information destinée au public est complétée par la diffusion de plaquettes ou de bulletins dits « grand public » comportant, outre la présentation synthétique des résultats, des illustrations et des photos. Ces documents de périodicité mensuelle sont diffusés aux CLI, aux associations, aux médias régionaux, aux élus locaux voire aux communes étrangères dans le cas des sites frontaliers.

3.4 VISITE D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

Les questions que se pose le public sur le fonctionnement d'une centrale nucléaire et son impact sur l'environnement peuvent être approchées concrètement lors d'une visite de site. Chaque centrale nucléaire dispose d'un centre d'information permettant d'accueillir des personnes du public, des écoliers et étudiants pour montrer, au moyen de panneaux explicatifs, de maquettes et de films, d'une visite de terrain, la vie de la centrale et de son environnement.

Centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire, journée accessible à tous, 18 Mars 2017 – Enfant devant les animations au Centre d'Information du Public de Belleville-sur-Loire – © EDF – Lewis Joly

1. Article L. 125-15 du Code de l'environnement.
2. Article L. 125-16 du Code de l'environnement.
3. Article L. 125-49 du Code de l'environnement.
4. Article L. 125-16 du Code de l'environnement.
5. Article 4.4.3 et 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux INB.

3.5 PORTAIL INTERNET

L'avènement d'Internet a permis d'élargir la diffusion de l'information à la planète tout entière. À cet égard, le site https://www.edf.fr/groupe-edf/edf-pres-de-chez-moi permet d'accéder à des informations actualisées sur le fonctionnement et l'environnement des centrales nucléaires d'EDF.

3.6 COMMUNICATION SCIENTIFIQUE

Des agents des différentes entités du groupe EDF participent à des colloques, séminaires ou encore des journées scientifiques et/ou techniques organisées au plan national ou international. Lors de ces manifestations, des communications orales et/ou affichées abordant les travaux menés par EDF, seul ou en partenariat avec d'autres organismes de recherche ou des universités, y sont présentées. Des publications scientifiques ou techniques sont également soumises à des revues avec comité de lecture afin d'y être présentées à la communauté scientifique. Certaines unités, comme EDF Lab – unité de recherche et développement du groupe EDF – organisent également des colloques ouverts au public (ex. colloques d'hydroécologie) au cours desquels des communications scientifiques sur ses travaux d'études sont exposées et les résultats publiés sur un site Internet (ex. : www.hydroecologie.org).

4. Information du public par l'administration

Les autorités compétentes et en particulier l'ASN mettent à la disposition du public sur Internet un grand nombre d'informations relatives à l'environnement des centrales nucléaires (les rapports annuels, les lettres de suite d'inspection, les rapports d'étude, les publications telles que la *Lettre de l'ASN*, les *Cahiers de l'ASN*, la revue *Contrôle,* les *fiches d'information du public*, les courriers de position...).

4.1 SUR LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (RNM)

En février 2010, le Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) a été mis en ligne sur Internet. Développé sous l'égide de l'ASN en lien avec l'IRSN, ce réseau rassemble et met à la disposition du public des résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement et des documents de synthèse sur la situation radiologique du territoire et sur l'évaluation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée (https://www.mesure-radioactivite.fr/#/).

Ce réseau reçoit les résultats des analyses radiologiques issues de programmes réglementaires de surveillance de l'environnement des installations nucléaires, mais également les résultats des mesures réalisées à la demande des collectivités territoriales, des services de l'État et les résultats des associations qui le sollicitent. La qualité et la fiabilité des données du réseau sont garanties par l'agrément des laboratoires pour chacun des types de mesure réalisés (*cf.* chapitre 10).

4.2 SUR LES DÉBATS SCIENTIFIQUES

Il arrive que la confiance du public soit ébranlée à la suite d'un incident, d'un accident ou d'une polémique relayée par les médias ou encore les réseaux sociaux. Dans ce cas, la simple communication sur le risque peut s'avérer insuffisante pour dissiper l'inquiétude du public. La mise en place d'une expertise dite pluraliste, faisant appel à divers acteurs (institutions, universités, associations du public, industriels...) peut s'avérer nécessaire.

4.3 SUR LES SUJETS DE SOCIÉTÉ

Le HCTISN peut proposer toute mesure de nature à garantir ou améliorer la transparence en la matière.

Dans le prolongement de ces missions, le HCTISN a organisé (septembre 2018 à mars 2019) une concertation sur la phase générique du 4e réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe du parc nucléaire français (32 réacteurs exploités par EDF et répartis sur 8 sites). Cette démarche de concertation inédite a été voulue par les membres du HCTISN afin de recueillir l'avis du public sur les conditions de poursuite du fonctionnement de ces réacteurs de 900 MWe. Cette concertation était motivée par un impératif d'intérêt général visant à :

- informer les citoyens des dispositions proposées par EDF ;
- recueillir leur avis sur ces dispositions et sur les questions à prendre en compte lors de cette première étape clé du réexamen ;

- associer le public dès le début du processus de réexamen, avant les enquêtes publiques qui se tiendront au fil de la prochaine décennie pour chacun des réacteurs concernés.

La concertation a mobilisé des acteurs de la sûreté des centrales nucléaires : EDF, l'ASN, l'IRSN et l'ANCCLI. Ce dialogue avec le grand public s'est déroulé sous le regard de deux garantes de la CNDP choisies par le HCTISN. Cette démarche, forte de son succès, devrait être reconduite pour le 4e réexamen du palier 1300 MWe.

5. Information du public par les sociétés savantes

5.1 SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RADIOPROTECTION (SFRP)

Créée en 1965, la SFRP a pour objectifs de rassembler les professionnels de la Radioprotection, de favoriser les échanges d'informations entre spécialistes et non-spécialistes, de promouvoir la culture de radioprotection et de renforcer la collaboration internationale dans ce domaine. Outre un club « jeunes sociétaires » et un « club histoire », la SFRP comprend cinq sections dont une est spécialisée sur le thème de l'environnement. Cette dernière organise régulièrement des journées techniques d'information et d'échanges sur des thématiques variées comme par exemple « Eau et radioactivité » en décembre 2014, « Évolution en matière de suivi des rejets et de surveillance de la radioactivité de l'environnement » en novembre 2015, « Air & radioactivité » en février 2017, ou encore « Sols, sédiments et radioactivité » en février 2019.

La SFRP publie également la revue « *Radioprotection* » qui est à la fois une revue scientifique et un magazine professionnel.

La SFRP tient également à jour un site Internet (www.sfrp.asso.fr) compilant l'ensemble de ses activités et permettant aussi à ses adhérents de consulter l'historique des présentations réalisées lors des réunions techniques.

5.2 SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉNERGIE NUCLÉAIRE (SFEN)

Créée en 1973, la SFEN rassemble des ingénieurs, techniciens, chimistes, professionnels de santé, professeurs, étudiants, industriels et chercheurs du secteur nucléaire français. C'est une association qui produit et diffuse, notamment *via* son site Internet (www.sfen.org), des informations permettant de se familiariser avec les sciences et techniques nucléaires.

La SFEN organise également des conférences nationales et internationales comme l'« *International Congress on Advances in Nuclear Power Plants* », « *Atoms for the Future* » ou encore les « NPC Conférence ».

La SFEN publie également une revue bimestrielle intitulée « *La Revue générale du nucléaire* ».

POUR EN SAVOIR PLUS

- http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=2467(Convention Aahrus)
- www.mesure-radioactivite.fr
- www.sfrp.asso.fr
- http://europa.eu/legislation_summaries/environment/general_provisions/l28056_fr.htm (Directives européennes 2003/4/CE sur l'information du public et 2003/53 sur la participation publique)
- www.sfen.org

CADRE RÉGLEMENTAIRE

5

1. CADRE GÉNÉRAL

2. DROIT INTERNATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT

2.1 Organismes internationaux et organisations non gouvernementales concernés

2.2 Principaux textes internationaux ratifiés par la France

- Convention de Barcelone sur la protection du littoral méditerranéen, 1976
- Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, 1987
- Convention OSPAR sur la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, 1992
- Protocole de Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre, 1997
- Convention de Berne pour la protection du Rhin, 1999
- Accord international de Gand sur la Meuse, 2002

3. RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

3.1 Textes relatifs à la protection de la santé publique

- Le Traité EURATOM, 1957
- Directive 96/26 Euratom sur les normes de base en radioprotection abrogée par la directive 2013/59/Euratom
- Directive 98/83/CE sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine
- Directive 2006/7/CE sur la qualité des eaux de baignade

3.2 Textes relatifs à la protection du milieu aquatique

- Directive 2000/60/CE cadre sur l'eau (DCE)
- Directive 2008/56/CE sur la stratégie pour le milieu marin (DCSMM)
- Directives filles de la directive DCE et autres directives sur l'eau

3.3 Autres textes

- Directive 2010/75/UE sur les émissions industrielles (ex. directive IPPC de 2008)
- Directive Seveso 96/82/CE sur la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses modifiée et abrogée par la directive 2012/18/UE
- Règlement 2007/1907/CE sur les substances chimiques REACH

4. RÉGLEMENTATION FRANÇAISE

4.1 Réglementation dans le domaine nucléaire

- Titre IX du livre V du Code de l'environnement (partie législative issue de la codification de la loi n° 2006-686 dite TSN et réglementaire issue de la codification du décret n° 2007-15557 dit Procédures)
- Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base modifié (INB)

4.2 Réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (« ICPE »)

- Titre 1er du livre V du Code de l'environnement (partie législative et réglementaire)

4.3 Textes sur l'eau et les milieux aquatiques

- Titre 1er du livre II du Code de l'environnement (partie législative et réglementaire)

4.4 Textes sur l'air

- Titre II du livre II du Code de l'environnement (partie législative et réglementaire)

5. TEXTES PROPRES À CHAQUE CENTRALE NUCLÉAIRE D'EDF

5.1 Articulation des principaux textes conduisant aux autorisations de prélèvements d'eau et de rejets

5.2 Textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF

- Prélèvements d'eau et rejets selon la loi TSN codifiée (DAC, décisions de l'ASN, RGE)
- Prélèvements d'eau et rejets d'effluents selon de décret du 4 mai 1995
- Autres prescriptions applicables
- Occupation du domaine public fluvial et maritime

Pour en savoir plus

Annexe 5.1 : Tableau récapitulatif des principaux textes réglementaires

Annexe 5.2 : Nature des différents types de textes législatifs et réglementaires

Annexe 5.3 : Code de l'environnement

Annexe 5.4 : Institutions de l'Union européenne

© Caroline Delpuech

1. Cadre général

La réglementation relative à la protection de l'environnement est composée de règles juridiques (dispositions) portant notamment sur :

- les éléments de l'environnement : air, eau, sols, écosystèmes ;
- les activités humaines telles que celles des **installations nucléaires de base (INB) – dont font partie les centrales nucléaires** – ou des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ;
- des sujets particuliers : fabrication et usage de substances chimiques, gestion des déchets.

Ces règles (normes) tendent à devenir de plus en plus techniques et complexes au fur et à mesure des avancées scientifiques et techniques. Elles sont déclinées dans des systèmes juridiques hiérarchisés en droit international, communautaire, national, voire local. Outre leur caractère juridiquement contraignant (obligations), ces règles de droit comportent également des recommandations aux différents acteurs.

Les principales dispositions législatives et réglementaires applicables dans le domaine de l'environnement ont été codifiées dans le **Code de l'environnement** (*cf.* annexe 5.3). Celui-ci intègre les règles établies notamment au regard du droit international (traités, conventions, protocoles) et du droit communautaire, dont la transposition est la source de plus de 85 % du droit français de l'environnement. Depuis le décret du 14 mars 2019, une partie significative des textes relatifs aux INB sont intégrés au Code de l'environnement (codifiés).

Les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents des centrales nucléaires d'EDF nécessitent l'obtention d'autorisations délivrées par les autorités compétentes françaises dans le cadre général de cette réglementation (*cf.* § 5).

© Assemblée nationale

Code de l'environnement – Charte de l'environnement Principes généraux sous-tendant la réglementation

Code de l'environnement

L'article L. 110-1 du Code de l'environnement dispose que « les espaces, ressources et milieux naturels […], *font partie du* ***patrimoine commun*** *de la nation.*[…] *leur protection* […], *sont d'intérêt général et concourent à l'objectif de développement durable qui vise à satisfaire les besoins de développement et la santé des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.* »

Ce même article énonce également que sa protection, sa mise en valeur, et sa remise en état s'inspirent des principes généraux sur lesquels repose le droit de l'environnement, que l'on retrouve également sous une forme parfois différente dans la Charte de l'environnement promulguée en 2005[1] et adossée à la Constitution, à savoir :

- le ***principe de précaution*** *(article 5 de la Charte de l'environnement)*, selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ;
- le ***principe d'action préventive et de correction, par priorité à la source*** *(article 3 de la Charte de l'environnement)*, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable (MTD) ;
- le ***principe pollueur-payeur*** *(article 4 de la Charte de l'environnement)*, selon lequel les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci doivent être supportés par le pollueur ;
- le ***principe de participation*** *(article 7 de la Charte de l'environnement)*, selon lequel chacun a accès aux informations relatives à l'environnement, y compris celles relatives aux substances et activités dangereuses, et le public est associé au processus d'élaboration des projets ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire (*cf.* chapitre 4 sur l'information du public).

Charte de l'environnement

La Charte de l'environnement, promulguée le 1er mars 2005, énonce en termes généraux que « chacun a *le droit de vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé* » (article 1er) ainsi que « *le droit d'accéder à l'information détenue par les autorités publiques et le droit de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement* » (article 7). L'élévation au rang constitutionnel de cette Charte donne une assise plus forte à certains instruments et principes nécessaires à la politique publique dans le domaine de l'environnement (précaution, prévention, responsabilité).

Dans une décision de QPC (2019-823) du 31 janvier 2020, le Conseil constitutionnel a reconnu pour la première fois que « la protection de l'environnement » pouvait justifier des « atteintes à la liberté d'entreprendre ». Il a ainsi fait produire, pour la première fois, des effets juridiques contraignants à la Charte.

1. *La Charte de l'environnement a été adoptée le 24 juin 2004 et promulguée le 1er mars 2005 par la loi constitutionnelle n° 2005-205.*

2. Droit international de l'environnement

2.1 ORGANISMES INTERNATIONAUX ET ORGANISATIONS NON GOUVERNEMENTALES CONCERNÉS

Le droit international de l'environnement s'est développé à partir de la deuxième moitié du XXe siècle. Des centaines de textes internationaux ont vu le jour tant pour préserver les éléments de la biosphère (sols, eaux de surface et eaux souterraines continentales, océans, atmosphère), la biodiversité et la santé humaine – que pour tenter de résoudre les problèmes affectant les écosystèmes du fait des activités humaines.

La concertation entre les États est réalisée au travers de différents **organismes internationaux** créés, en général, sous l'égide des Nations unies (ONU). Ces organismes ou commissions élaborent des textes (accord, traité,

convention, protocole, charte...) que les **États volontaires** (ou un groupement d'États comme l'Union européenne) signent puis ratifient. La ratification est l'acte par lequel le signataire exprime de façon définitive son consentement à être lié par le texte international et à l'appliquer. Cette volonté se traduit également en droit communautaire (par l'adoption de règlements, directives) et en droit français dans des textes législatifs et réglementaires (par l'intervention de lois, décrets...).

Les **organisations non gouvernementales** (ONG), qui ne relèvent ni d'un État ni d'une institution internationale, sont devenues des acteurs incontournables des relations internationales. Elles interviennent dans la préparation et l'élaboration du droit de l'environnement et jouent un rôle d'alerte vis-à-vis du public et des décideurs. Elles participent aux débats et négociations des politiques de protection de l'environnement et assurent une surveillance informelle de l'application des obligations environnementales qui en découlent.

2.2 PRINCIPAUX TEXTES INTERNATIONAUX RATIFIÉS PAR LA FRANCE

Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, 1987[1]

Certaines substances chimiques émises dans l'atmosphère par les activités humaines appauvrissent la couche d'ozone stratosphérique (couche située entre 10 et 50 km de la surface de la Terre) dont le rôle est de filtrer les rayons ultraviolets du soleil qui sont nocifs pour la santé humaine et les écosystèmes. Le 16 septembre 2009, la Convention de Vienne et le Protocole de Montréal sont devenus les premiers traités dans l'histoire des Nations unies à atteindre la ratification universelle.

Ce protocole impose la suppression de l'utilisation des chlorofluorocarbones (CFC) sauf pour des utilisations qualifiées de critiques ou essentielles[2], des halons, du bromure de méthyle et d'autres substances telles que les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), le tétrachlorure de carbone, le bromochlorométhane, le hydrobromofluorocarbone et le méthylchloroforme.

Les centrales nucléaires sont concernées par ces dispositions car les matériels frigorifiques et les systèmes de climatisation utilisent certaines des substances visées. Un bilan des pertes de ces fluides doit être réalisé chaque année par l'exploitant.

Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (déclaration de Rio), 1992

Au cours du sommet de la terre de Rio de 1992, les États membres de l'ONU ont adopté un texte fondateur du droit de l'environnement, comprenant 27 principes, intitulé « Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement ». Ce texte met au cœur de ces principes la notion de développement durable qui souligne que la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement et ne peut être considéré isolément. D'autres principes sont explicités à l'instar de celui du pollueur-payeur.

Outre la déclaration et ces principes, la Conférence permet l'adoption du programme Action 21 (*Agenda 21* en anglais), qui énumère 2500 recommandations pour la mise en œuvre de la déclaration. La Convention sur le Climat a également été adoptée à cette occasion, et a abouti à la signature en 1997 du protocole de Kyoto affirmant la nécessité de réduire les gaz à effet de serre et met en place des objectifs à cet effet.

Protocole de Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre, 1997[3]

Le protocole de Kyoto, élaboré en 1997 et entré en vigueur en 2005, propose un calendrier de réduction des émissions des six gaz à effet de serre qui sont considérés comme la cause principale du réchauffement climatique des cinquante dernières années : dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4), hydrofluorocarbone (HFC), perfluorocarbone (PFC), hexafluorure de soufre (SF_6), peroxyde d'azote (N_2O).

La France**,** qui a signé le Protocole en 1998, a entériné celui-ci en droit national au travers du décret n° 2005-295 du 22 mars 2005 portant publication du Protocole de Kyoto.

Accord de Paris sur le climat, 2015[4]

Dans le cadre de la 21e Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP 21), a été signé l'Accord de Paris sur le climat, premier accord universel sur la question du réchauffement climatique. Au cœur de l'accord, sont inscrits les objectifs de maintenir en dessous de 2 °C la montée de la température globale, de se désinvestir des énergies fossiles, et d'atteindre la neutralité carbone. De même, le principe de responsabilités communes mais différenciées établi en 1992 au Sommet de Rio est rappelé, différenciant les pays les plus industrialisés et les pays en voie de développement, ainsi qu'un plancher d'aide climatique à ces derniers de 100 milliards d'euros par année.

Les objectifs de l'Accord doivent être révisés chaque année au niveau national jusqu'à 2020, puis tous les cinq ans, pour pouvoir établir un premier bilan de l'Accord en 2023.

1. Signé le 16 septembre 1987.
2. Les CFC sont aujourd'hui définitivement supprimés à l'exception de quantités très minimes et indispensables (utilisation en médecine).
3. Signé le 11 décembre 1997 et entré en vigueur en 2005.
4. Signé le 12 décembre 2015, entrée en vigueur en 2016.

Quelques organismes internationaux et organisations non gouvernementales concernés par l'environnement et le secteur nucléaire

Organismes internationaux

Certains organismes internationaux ont un rôle important dans l'élaboration de la réglementation dans le domaine de l'environnement et de la santé du public. Ils désignent les organisations intergouvernementales émanant des pouvoirs publics. Ils sont à distinguer des ONG qui émanent des membres privés de différents pays.

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), créée en 1956, dont le siège est à Vienne (Autriche), fait partie des six organismes autonomes des Nations unies, avec entre autres l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Dans le domaine de la radioprotection notamment, l'AIEA produit des documents qui servent de référence dans le monde entier : certains d'entre eux sont intégrés directement dans les réglementations nationales ou pris en compte par la Commission européenne pour préparer des directives.

L'Agence pour l'énergie nucléaire (**AEN**), est une agence spécialisée de l'OCDE, créée en 1958, et dont le but est d'aider ses pays membres à maintenir une utilisation sûre de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Elle s'emploie pour cela à fournir des évaluations et dégager des convergences de vues.

La Communauté européenne de l'énergie atomique (**EURATOM**), créée en 1958, est un organisme public européen chargé de coordonner les programmes de recherche sur l'énergie nucléaire. Son but était en 1958 notamment la formation et la croissance rapide des industries nucléaires, en renforçant la recherche, facilitant les investissements et en assurant des débouchés à l'industrie nucléaire.

Le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), créé en 1972 lors du Sommet de la Terre de Stockholm, est un organe statutairement subsidiaire au Conseil économique et social. Basé à Nairobi au Kenya, le PNUE est la voix de l'ONU pour l'environnement. Il coordonne les politiques de cette dernière en matière d'environnement. Il assiste également les différents pays dans la mise en œuvre de leurs politiques environnementales, et a un rôle de promotion du développement durable.

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR), créée en 1928, est une organisation internationale indépendante et émet des recommandations en matière de radioprotection. Ses recommandations n'ont pas force de loi, mais, de fait, sont reprises dans les réglementations nationales, soit directement, soit, dans le cas de l'Union européenne, après transposition sous forme de directives.

Le Comité scientifique des Nations unies sur l'effet des radiations atomiques (**UNSCEAR** – *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations*), créé en 1955 est le comité des Nations unies qui a pour mission l'étude des effets biologiques des rayonnements ionisants. Sa vocation est exclusivement scientifique. Il établit notamment une synthèse des expositions moyennes dues aux différentes sources d'exposition.

Organisations non gouvernementales (*ONG*)

L'Association des régulateurs nucléaires de l'Europe de l'Ouest (**WENRA** – *Western European Nuclear Regulators Association*), créée en 1999, dont le but était à l'origine de développer une approche commune quant à la sûreté nucléaire ainsi qu'une capacité d'analyse indépendante de ces attendus, a évolué pour permettre aux régulateurs d'échanger des connaissances et discuter des questions de sûreté majeures.

L'Association mondiale des exploitants nucléaires (**WANO** – *World Association of Nuclear Operators*), créée en 1989, promeut la diffusion de l'information entre les exploitants nucléaires, et organise des revues de pairs sur les sites des différents membres afin de diffuser les meilleures pratiques.

L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), fondée en 1948, est basée en Suisse et est la plus importante ONG en charge de la conservation de la nature en termes d'intégrité et de diversité des ressources naturelles. L'UICN regroupe des États, des agences gouvernementales et des organisations non gouvernementales. Elle est accréditée auprès de l'ONU. Sa mission est d'influencer, d'encourager et d'assister les sociétés dans le monde entier, dans la conservation de l'intégrité de la nature et de la biodiversité, ainsi que de s'assurer que l'utilisation de ces ressources naturelles est faite de façon équitable et durable. Sa liste rouge des espèces menacées est une référence mondiale.

Le Fonds mondial pour la nature (WWF), créé en 1961, est une organisation non gouvernementale internationale de protection de la nature et de l'environnement, fortement impliqué dans la protection de la biodiversité et le développement durable**.**

De nombreuses ONG concernant les thématiques environnementale et nucléaire se sont créées au cours des dernières décennies, parmi lesquelles : France nature environnement (1968), Greenpeace (1971) ou encore le Réseau sortir du nucléaire (1997).

Thématique – Eau :

Convention de Barcelone sur la protection du milieu marin et du littoral méditerranéen (protocole d'Athènes), 1976[1]

La convention a été signée en 1976 à Barcelone, sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), pour protéger la mer Méditerranée contre la pollution. Ratifiée par la France en 2001, cette convention est entrée en vigueur en 2004.

Cette convention comporte plusieurs protocoles, dont le protocole sur la pollution d'origine terrestre dit **Protocole d'Athènes**. Il fixe pour objectif la prise de mesures pour prévenir, combattre et éliminer « *dans toute la mesure du possible* » la pollution en mer Méditerranée due aux déversements par les fleuves, les établissements côtiers ou les émissaires, et vise en particulier les rejets toxiques susceptibles de bio-accumulation ; les substances visées sont énumérées dans une liste annexée au protocole (*détergents non biodégradables, métaux lourds, biocides et leurs dérivés, substances radioactives si les rejets sont non conformes aux principes de radioprotection, microorganismes pathogènes, hydrocarbures)* mais aussi les composés azotés ou phosphorés pouvant être la cause d'eutrophisation et les rejets thermiques.

Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, dite OSPAR (contraction de OSlo-PARis), 1992[2]

La protection des eaux marines de l'Atlantique Nord-Est contre la pollution d'origine terrestre (convention de Paris de juin 1974) et la pollution provenant des immersions en mer (convention d'Oslo de 1972) fait l'objet d'une convention unique dénommée OSPAR, qui est entrée en vigueur le 25 mars 1998 (*cf.* chapitre 3 et chapitre 11).

Cette convention revêt une grande importance pour toutes les installations dont les rejets (radioactifs ou non) aboutissent dans les mers nord-européennes définies par OSPAR (*cf.* figure 1). Toutes les centrales nucléaires d'EDF sont donc concernées à l'exception de celles situées sur le Rhône, visées par le protocole d'Athènes.

Au cours d'une conférence tenue à Sintra (Portugal)[3] en 1998, les ministres de l'Environnement des 15 pays signataires ont adopté, le 24 juillet, une stratégie portant sur la réduction progressive des substances dangereuses en général, et sur d'autres thèmes visant à protéger l'environnement marin tels que la lutte contre l'eutrophisation.

Pour les substances chimiques dangereuses, cette déclaration prévoit la réduction des rejets, de façon à parvenir à des teneurs dans l'environnement proche des **teneurs** ambiantes pour les substances présentes à l'état naturel, et proches de zéro pour les substances de synthèse. À cet objectif général fermement affiché est associée une volonté (« *nous ferons tout notre possible pour progresser dans le sens de* ») d'atteindre une *cessation* pure et simple des rejets d'ici l'an 2020.

Fig. 1 ▶ Zones maritimes couvertes par la convention OSPAR.

Pour les substances radioactives, la convention fixe pour objectif « *de parvenir d'ici 2020 à des **teneurs**, dans l'environnement, proches des teneurs ambiantes dans le cas des substances radioactives présentes à l'état naturel, et proches de zéro dans le cas des substances radioactives artificielles* », ceci au moyen de « *réductions progressives et substantielles des rejets, émissions ou pertes radioactives* » (*cf.* chapitre 11 §5).

Convention de Berne pour la protection du Rhin, 1999[4]

En signant une nouvelle Convention pour la Protection du Rhin le 12 avril 1999 à Berne, les Gouvernements des cinq États riverains du Rhin (Suisse, France, Allemagne, Luxembourg, Pays-Bas) et le représentant de la Commission européenne ont formellement souligné qu'il convenait de protéger le caractère précieux du Rhin, de ses berges et de son milieu alluvial en renforçant plus encore la coopération. Cette convention, entrée en vigueur en 2003, remplace l'ancienne convention de Berne de 1963.

Les travaux réalisés dans le cadre de cette Convention sont suivis par la Commission internationale pour la protection du Rhin, composée de représentants des États signataires.

1. Signée en 1976, entrée en vigueur en 2004.
2. Ouverte à la signature le 22 décembre 1992, entrée en vigueur le 25 mars 1998.
3. La déclaration de SINTRA ne constitue toutefois ni une décision ni une recommandation au sens de la Convention ; elle peut s'analyser comme un simple engagement de nature politique.
4. Signée le 12 avril 1998, entrée en vigueur en 2003.

Accord international de Gand sur la Meuse, 2002[1]

La Commission internationale de la Meuse a été créée en 2002 par la signature de l'accord international sur la Meuse. L'objectif de l'accord est la gestion durable et globale de l'eau du district hydrographique de la Meuse. L'accord a été signé par la Région wallonne, les Pays-Bas, la France, l'Allemagne, la Région flamande, la Région de Bruxelles-Capitale, la Belgique et le Luxembourg et il est entré en vigueur en 2005 (*cf.* § 5 à propos des centrales frontalières : centrale de Chooz).

Thématique – Participation du Public & Information environnementale :

Convention d'Aarhus sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, 1998[2]

La Convention d'Aarhus a trois objectifs majeurs : améliorer l'information environnementale délivrée par les autorités publiques, vis-à-vis des principales données environnementales, favoriser la participation du public à la prise de décisions ayant des incidences sur l'environnement, et étendre les conditions d'accès à la justice en matière de législation environnementale et d'accès à l'information.

Ces principes ont été repris en France par la Charte de l'environnement de 2005 qui reconnaît le droit de chacun à l'accès aux informations relatives à l'environnement et la participation aux décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement.

L'accès à la justice n'est toutefois pas inscrit dans la Charte, mais le Tribunal de l'Union européenne a pu reconnaître que les ONG avaient notamment accès à la justice en matière d'environnement du fait de la Convention d'Aarhus[3].

Convention d'Espoo relative à l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière, 1991[4]

La Convention d'Espoo a pour objet de s'assurer que les États, parties à la Convention, prennent toutes les mesures appropriées et efficaces pour prévenir, réduire et maîtriser l' « *impact transfrontière préjudiciable important* » que des **activités ou projets** (parmi lesquels figurent les centrales nucléaires) pourraient avoir sur l'environnement. Plus concrètement, deux obligations en sont issues :

- réaliser l'évaluation de l'impact sur l'environnement de certaines activités et projets ;
- mener les procédures de notification et de consultation des autres états parties sur ces activités et projets.

La Convention a, par ailleurs, fait l'objet de deux amendements : l'amendement de Sofia et l'amendement de Cavtat[5]. La Convention d'Espoo a été complétée par **le Protocole de Kiev** adopté le 21 mai 2003. Le protocole est entré en vigueur le 11 juillet 2010.

3. Réglementation européenne

L'environnement fait partie des domaines dans lesquels les pays de l'Union européenne ont reconnu, dès les années 1970, l'intérêt d'une approche commune. Cette approche se caractérise par deux types d'actions :

- la détermination de règles communes pour lutter contre les pollutions globales pouvant avoir un impact sur l'environnement et sur l'Homme qui en fait partie ;
- la fixation de normes communes concernant notamment la qualité de l'eau, l'exposition du public aux rayonnements ionisants (radioprotection).

L'Union européenne entend aujourd'hui prendre une place centrale et grandissante dans l'impulsion des politiques mondiales de protection de l'environnement : en témoigne le traité de Lisbonne du 13 décembre 2007 qui intègre la lutte contre le changement climatique dans ses objectifs, la création en 2010 d'un commissaire à l'action pour le climat, et l'adoption le 22 janvier 2014 du cadre pour le climat et l'énergie à l'horizon 2030 qui prévoit des objectifs particulièrement ambitieux (réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 40 % (par rapport aux niveaux de 1990), porter la part des énergies renouvelables à au moins 27 %, améliorer l'efficacité énergétique d'au moins 27 %.).

La réglementation européenne, dans le domaine de l'environnement et de la santé du public, **dérive souvent de textes internationaux** dont l'Union européenne est partie prenante. Elle **conditionne une grande partie de la réglementation nationale** des pays membres.

1. Signé le 3 décembre 2002, entré en vigueur en 2006.
2. Signée le 25 juin 1998, entrée en vigueur en 2001.
3. Décision Tribunal de l'Union européenne, Stichting Natuur en Milieu c./Commission européenne, T-338/08, 14 juin 2012.
4. Adoptée le 25 février 1991 par la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-ONU), puis entrée en vigueur le 10 septembre 1997.
5. Le premier est porté par la décision II/14 adoptée à Sofia le 27 février 2001 qui est entrée en vigueur le 26 août 2014. Le second est porté par la décision III/7 adoptée à Cavtat le 4 juin 2004, entré en vigueur le 23 octobre 2017.

Parmi les différents instruments juridiques communautaires (*cf.* annexe 5.2), la directive européenne est l'acte normatif qui domine en matière d'environnement. Celle-ci doit être transposée dans le droit national pour pouvoir produire ses effets. Si ses termes sont suffisamment clairs et précis, la directive peut s'appliquer directement dans le droit national, une fois le délai de transposition échu.

Certaines dispositions législatives et réglementaires appliquées aux installations nucléaires de base (INB) et aux centrales nucléaires sont tirées du droit communautaire, il est donc nécessaire d'en présenter, ici, les éléments marquants.

3.1 TEXTES RELATIFS À LA PROTECTION DE LA SANTÉ PUBLIQUE

Le Traité EURATOM[1]

Ce traité a été signé en 1957[2] dans le but de permettre le développement de l'énergie nucléaire tout en assurant la protection de la population et des travailleurs contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Ce traité comporte plusieurs articles qui concernent la protection du public contre les effets des rayonnements ionisants (Art. 30 à 33), les rejets radioactifs et la radioactivité dans l'environnement (Art. 35 à 38). Parmi ces articles, l'article 37 intéresse particulièrement l'exploitant lorsque celui-ci envisage de construire une installation nouvelle ou de modifier une installation existante pouvant entraîner une augmentation des rejets radioactifs (*cf.* encart)[3].

Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom

La directive a pour objet, d'une part, de fusionner cinq directives relatives à la radioprotection et, d'autre part, de prendre en compte les données scientifiques les plus récentes dans le domaine. Elle ne remet pas en cause les fondamentaux de la directive 96/29/Euratom du 13 mai 1996, qu'elle a abrogé, à savoir :

- **le principe de justification** : l'activité humaine impliquant une exposition aux rayonnements ionisants doit pouvoir être justifiée par les avantages qu'elle procure, après avoir pris en compte l'ensemble des avantages et des inconvénients ;
- **le principe de l'optimisation de la protection** : non seulement les expositions doivent être justifiées mais, de plus, elles doivent être maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible de le faire ; le principe d'optimisation est également appelé « principe ALARA » (*As Low As Reasonably Achievable*) ;
- **le respect de limites ou de niveaux de dose à ne pas dépasser (principe de limitation)** : ces limites ou niveaux dépendent des circonstances, ainsi elles sont plus sévères pour les enfants, et les femmes enceintes et allaitantes.

En effet, le système de la radioprotection fixé par la directive 2013/59 continue de reposer sur ces trois piliers dont les définitions ont été précisées.

Sur le fondement du principe d'optimisation, la directive donne un rôle plus important aux contraintes de dose qui s'appliquent désormais explicitement aux doses équivalentes et non plus seulement à la dose

Articles clés du Traité EURATOM

L'**Article 35** : Chaque État membre établit les installations nécessaires pour effectuer le contrôle permanent du taux de la radioactivité de l'atmosphère, des eaux et du sol ainsi que le contrôle du respect des normes de base. La Commission a le droit d'accéder à ces installations de contrôle ; elle peut en vérifier le fonctionnement et l'efficacité.

L'**article 36** : Les renseignements concernant les contrôles visés à l'article 35 sont communiqués régulièrement par les autorités compétentes à la Commission, afin que celle-ci soit tenue au courant du taux de la radioactivité susceptible d'exercer une influence sur la population.

L'**article 37** : Chaque État membre est tenu de fournir à la Commission les données générales de tout projet de rejet d'effluents radioactifs sous n'importe quelle forme, permettant de déterminer si la mise en œuvre de ce projet est susceptible d'entraîner une contamination radioactive des eaux, du sol ou de l'espace aérien d'un autre État membre. La Commission, après consultation du groupe d'experts visé à l'article 31, émet son avis dans un délai de six mois.

L'**article 38** : La Commission adresse aux États membres toute recommandation en ce qui concerne le taux de radioactivité de l'atmosphère, des eaux et du sol. En cas d'urgence, la Commission arrête une directive par laquelle elle enjoint à l'État membre en cause de prendre, dans le délai qu'elle détermine, toutes les mesures nécessaires pour éviter un dépassement des normes de base et pour assurer le respect des réglementations. Si cet État ne se conforme pas, dans le délai imparti, à la directive de la Commission, celle-ci ou tout État membre intéressé peut, par dérogation aux articles 258 et 259 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, saisir immédiatement la Cour de justice de l'Union européenne.

1 European Atomic Energy Community.
2. Entré en vigueur le 1er janvier 1958
3 *Cf.* Recommandation de la Commission européenne no 2010/635/Euratom du 11 octobre 2010 sur l'application de l'article 37 du traité Euratom.

efficace. Les limites de doses n'ont pas été modifiées, excepté pour le cristallin. La limite de dose efficace pour l'exposition de la population à des rayonnements ionisants est fixée à 1 mSv par an (et la limite de dose équivalente est fixée à 15 mSv par an pour le cristallin)[1].

Le contrôle réglementaire est désormais fondé sur une approche graduée, en ce qu'il prévoit en fonction des risques induits, une notification ou une autorisation, celle-ci pouvant prendre la forme d'un enregistrement ou d'une licence.

La directive étend les modalités de protection des travailleurs extérieurs intervenant en zones contrôlées prévues par la directive 90/641/Euratom aux travailleurs intervenant dans les zones surveillées.

La directive prévoit désormais deux types de fonction dans le domaine de la radioprotection l'« expert en radioprotection », et la « personne chargée de la radioprotection » (dans l'ancienne directive, ces deux fonctions se confondaient dans la fonction d'« expert qualifié »).

En ce qui concerne les situations d'exposition d'urgence, l'objet de la directive est de mettre en place un système plus complet comprenant une évaluation des situations d'exposition d'urgence potentielles, un système global de gestion des urgences, des plans d'urgence et des stratégies préplanifiées pour la gestion de chaque événement.

Les mesures relatives à l'exposition aux matières radioactives naturelles (radon et aux matériaux de construction) ne sont plus limitées aux seules expositions professionnelles, mais sont désormais étendues à l'exposition du public.

La transposition de la directive 2013/59 a principalement été réalisée par l'adoption des décrets n° 2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants ; et n° 2018-438 du 4 juin 2018 relatif à la protection contre les risques dus aux rayonnements ionisants auxquels sont soumis certains travailleurs qui ont respectivement modifié le Code du travail et le Code de la santé publique ainsi que par l'introduction dans le Code de l'environnement, aux articles R. 593-112 à R. 593-114, de dispositions relatives au « conseiller en radioprotection ». Ces dispositions prévoient dans les INB, la mise en place de « pôle de compétence ».

Décision n° 1082/2013/UE relative aux menaces transfrontières graves sur la santé

La décision établit les règles sur la surveillance des menaces transfrontières graves pour la santé, vise à appuyer la coopération et la coordination entre les pays de l'UE pour lutter contre ces menaces transfrontières, et précise les modalités de la coopération et de la coordination entre les différents acteurs au niveau de l'UE.

Directive européenne n° 98/83/CE du 03 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

La directive vise à protéger la santé des personnes en établissant des exigences de salubrité et de propreté auxquelles doit satisfaire l'eau potable dans la Communauté. Elle s'applique à toutes les eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles et des eaux médicinales.

Ce texte a été transposé en droit français par le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, codifié dans le Code de la santé publique.

La directive introduit pour la première fois des paramètres de qualité relatifs à la radioactivité. L'un porte sur le tritium (100 Bq/L[2]), l'autre sur la dose reçue du fait de l'ingestion d'eau (0,1 mSv/an). Ces valeurs ne sont pas des limites mais simplement des paramètres indicateurs. En cas de dépassement, les États membres sont tenus d'informer la Commission européenne et la population, de rechercher la source de la contamination et, éventuellement, de prendre des mesures pour réduire les niveaux d'activité en tritium dans l'eau potable.

La dose indicative totale (0,1 mSv/an) ne concerne pas uniquement le tritium mais l'ensemble des radioéléments à l'exclusion du potassium 40 et du radon et ses descendants.

Cette directive a été modifiée par la directive n° 2015/1787/UE du 06 octobre 2015 concernant certaines exigences minimales des programmes de contrôle pour toutes les eaux destinées à la consommation humaine et les spécifications pour la méthode d'analyse de différents paramètres. Toutefois, la directive 2013/51/Euratom[3] ayant introduit des dispositions spécifiques pour le contrôle des substances radioactives, les programmes de contrôle desdites substances ont donc été exclues de la directive 2015/1787.

Directive européenne 2006/7/CE du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE

Cette directive vise à préserver, protéger et à améliorer la qualité de l'environnement ainsi qu'à protéger la santé humaine, en complément de la directive 2000/60 (ci-après). Elle s'applique à toute partie des

1. Confer en ce sens l'article R. 1333-11 du Code de la santé publique.
2. Nota : L'OMS a fixé une valeur guide pour le tritium de 10 000 Bq/L. Cette valeur a été déterminée en considérant qu'une consommation quotidienne de 2 litres d'eau potable à 10 000 Bq/L n'entraîne pas de dose supérieure à 0,1 mSv, soit 1/10e de la limite réglementaire fixée pour le public : 1 mSv/an.
3. Directive 2013/51/Euratom du Conseil du 22 octobre 2013 fixant des exigences pour la protection de la santé de la population en ce qui concerne les substances radioactives dans les eaux destinées à la consommation humaine.

eaux de surface où l'autorité compétente de l'État membre s'attend à ce qu'un grand nombre de personnes se baignent. Cette directive a été transposée en droit français, notamment, par la loi dite « LEMA », codifiée dans le Code de l'environnement (*cf.* § 4.2).

3.2 TEXTES RELATIFS À LA PROTECTION DU MILIEU AQUATIQUE

Directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil adoptée le 23 octobre 2000, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (directive dite « cadre sur l'eau », « DCE »)[1]

Cette directive a été transposée, notamment, par la loi dite « LEMA » (*cf.* § 4.2) C'est l'élément majeur de la réglementation européenne en matière de protection de la ressource en eau. Avec les directives relatives à la santé publique, la directive-cadre sur l'eau fait partie des textes communautaires ayant une grande importance pour les activités des centrales nucléaires s'agissant des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents.

La DCE a été modifiée par la directive n° 2014/101/UE du 30 octobre 2014 afin d'assurer la qualité et la comparabilité des méthodes utilisées pour le contrôle des paramètres types définis sous la responsabilité des États membres aux fins de la surveillance écologique des eaux.

La DCE est appelée à faire l'objet d'une refonte globale (prévue par la directive elle-même). En ce sens, la DCE et ses directives filles doivent faire l'objet d'un réexamen quant au fonctionnement de ses dispositions. Pour ce faire, une consultation de l'ensemble des citoyens européens s'est tenue[2] sur la base de laquelle la Commission européenne a publié le cinquième rapport[3] d'implémentation de la DCE et ses directives filles.

Objectifs

L'objectif de la politique communautaire dans le domaine de l'eau visait à atteindre, d'ici 2015, un « **bon état** » chimique et écologique des eaux superficielles et souterraines en Europe. Pour y parvenir, la directive prévoit d'instaurer une gestion de l'eau par **bassin hydrographique**, afin :

- d'améliorer la qualité des eaux et des écosystèmes ;
- de prévenir toute dégradation supplémentaire ;
- de promouvoir une utilisation durable de l'eau (usages) ;
- de réduire progressivement les émissions de substances chimiques dangereuses ;
- de contribuer à atténuer les effets des inondations et des sécheresses ;
- de protéger les eaux marines ;
- de réaliser les objectifs des accords internationaux.

Gestion de l'eau par bassin hydrographique

Cette gestion par bassin hydrographique, qui s'inspire de la législation française (loi sur l'eau de 1964), est fondée sur :

- **l'identification et l'analyse des masses d'eaux :** les États membres sont tenus de recenser tous les bassins hydrographiques qui se trouvent sur leur territoire afin de les rattacher à des districts hydrographiques. Les bassins hydrographiques qui s'étendent sur le territoire de plus d'un État seront intégrés au sein d'un district hydrographique international. Chaque État membre désigne une autorité compétente pour chacun des districts.

Les États membres doivent faire une analyse des caractéristiques de chaque district hydrographique, une étude de l'incidence de l'activité humaine sur les eaux, une analyse économique de l'utilisation de celles-ci et un registre des zones qui nécessitent une protection spéciale ;

- **les mesures de protection et de restauration** : un plan de gestion et un programme de mesures doivent être élaborés au sein de chaque district hydrographique. Ces mesures ont pour but de :
  - prévenir la détérioration, améliorer et restaurer l'état des masses d'eau de surface afin d'atteindre un **bon état chimique** et **écologique** (*cf.* encart DCE) de celles-ci,
  - réduire la pollution due aux rejets et émissions de substances chimiques dangereuses,
  - protéger, améliorer et restaurer les eaux souterraines, prévenir leur pollution, leur détérioration et assurer un équilibre entre leurs captages et leur renouvellement,
  - préserver les zones protégées tels que les sites Natura 2000 (*cf.* chapitres 3 et 8).

Les objectifs précédents devaient être atteints en 2015, mais cette échéance peut être rapportée ou assouplie, tout en respectant les conditions établies par la directive. Une **liste de substances chimiques prioritaires** présentant un risque important pour le milieu aquatique constitue l'annexe X de la directive. Celle-ci a été modifiée par la directive-fille 2008/105/CE sur les normes de qualité environnementales (NQE) et les zones de mélange (*cf.* encart DCE). Une détérioration temporaire des masses d'eau ne constitue pas une infraction de la présente directive si elle résulte des circonstances exceptionnelles et non prévisibles liées à un accident, une cause naturelle ou un cas de force majeure.

En France, les obligations de cette directive sont intégrées notamment dans les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) élaborés et mis en œuvre au niveau de chaque bassin hydrographique (*cf.* §4.3).

1. Modifiée par la directive 2009/31/CE.
2. Septembre 2018 à mars 2019.
3. COM(2019)95 final.

Directive européenne cadre sur l'eau (DCE)

Les grandes étapes de sa mise en œuvre par les états membres

- 2004 : État des lieux
- 2005 : Consultation du public sur l'état des lieux
- 2008 : Consultation du public sur les SDAGE
- 2009 : Publication du premier plan de gestion et du programme de mesures
- 2009 : Adoption des SDAGE révisés
- 2015 : Point sur l'atteinte des objectifs, suivi d'un second plan de gestion et programme de mesure
- 2027 : Dernière échéance pour la réalisation des objectifs

Mise en œuvre de la DCE vis-à-vis des objectifs de qualité d'eau

Centrée sur la préservation du milieu naturel et assortie d'une obligation de résultats, la DCE implique la planification et la mise en œuvre d'actions de **diagnostic** et, le cas échéant, de **restauration** des milieux aquatiques. La phase de **diagnostic** consiste à établir un état des lieux des milieux aquatiques. Au cours de cet état des lieux seront choisis des **sites de référence** qui permettront d'établir des **valeurs de référence** du « "bon état" chimique et écologique » pour les différents indicateurs de qualité chimique (concentrations de polluants) et biologique (invertébrés, diatomées, poissons, macrophytes…) pour chaque type de masse d'eau.

Termes-clés de la directive 2000/60/CE (art.2)

Bon état chimique d'une eau de surface : état d'une masse d'eau respectant les critères chimiques définis par l'annexe IX de la directive DCE ou d'autres textes communautaires pertinents fixant les normes de qualité environnementale.

Bon état écologique : état d'une masse d'eau respectant les critères biologiques de qualité définis par les textes communautaires, notamment l'annexe V de la directive DCE.

Bon potentiel écologique : état d'une masse d'eau fortement modifiée hydromorphologiquement par l'homme ou artificielle conformes aux dispositions de l'annexe V de la directive DCE.

Bon état chimique d'une eau souterraine : état d'une masse d'eau répondant aux conditions de l'annexe V de la directive DCE.

Norme de qualité environnementale (NQE) : la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biotope qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement.

Masse d'eau de surface : il s'agit d'une partie distincte et significative des eaux de surface telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières.

Eaux intérieures : toutes les eaux stagnantes et les eaux courantes à la surface du sol et toutes les eaux souterraines en amont de la ligne de base servant pour la mesure de la largeur des eaux territoriales.

Eaux de surface : les eaux intérieures, à l'exception des eaux souterraines, les eaux de transition et les eaux côtières, sauf en ce qui concerne leur état chimique, pour lequel les eaux territoriales sont également incluses.

Eaux souterraines : toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol.

Eaux de transition : des masses d'eaux de surface à proximité des embouchures de rivières, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité d'eaux côtières, mais qui sont fondamentalement influencées par des courants d'eau douce.

Eaux côtières : les eaux de surface situées en-deçà d'une ligne dont tout point est situé à une distance d'un mille marin au-delà du point le plus proche de la ligne de base servant pour la mesure de la largeur des eaux territoriales et qui s'étendent, le cas échéant, jusqu'à la limite extérieure d'une eau de transition.

Bassin hydrographique : toute zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, fleuves et éventuellement de lacs vers la mer, dans laquelle elles se déversent par une seule embouchure, estuaire ou delta.

District hydrographique : une zone terrestre et maritime, composée d'un ou plusieurs bassins hydrographiques ainsi que des eaux souterraines et eaux côtières associées, identifiée comme principale unité aux fins de la gestion des bassins hydrographiques.

Terme-clé de la directive-fille 2008/105/CE (art. 4) modifiée par la directive no 2013/39/UE

Zone de mélange : zone adjacente au point de rejet où les concentrations d'un ou plusieurs polluants peuvent dépasser les normes de qualité environnementales. L'arrêté du 25 janvier 2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique et chimique reprend cette définition en précisant que « *Cette zone est proportionnée et limitée à la proximité du point de rejet et ne compromet pas le respect des NQE sur le reste de la masse d'eau* ».

Concertation avec les parties prenantes et aspects financiers

Chaque État membre doit encourager la concertation avec toutes les parties prenantes pour élaborer ces plans de gestion. Les États membres doivent assurer que la politique de tarification incite les consommateurs à utiliser les ressources de façon efficace et que les différents secteurs économiques contribuent à la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau, y compris les coûts pour l'environnement et les ressources.

Directive 2008/56/CE du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin » (DCSMM)

La directive ne porte sur le domaine littoral que de façon incomplète, puisque cet espace est déjà pris en compte partiellement par la directive-cadre sur l'eau (DCE). L'objectif principal de la Stratégie marine européenne est de parvenir à un bon état écologique du milieu marin dans l'Union européenne à l'horizon 2020.

Directives « filles » de la directive DCE et autres directives relatives à l'eau

La directive-cadre sur l'eau a donné naissance à des directives « filles » et d'autres textes relatifs à l'eau. Les principaux textes sont énumérés ci-après :

- directive 2006/44/CE du 6 septembre 2006 concernant la qualité des **eaux douces** ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons ;
- directive 2006/118/CE du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration. Cette Directive définit le cadre des dispositions à mettre en œuvre pour prévenir et réduire la pollution des eaux souterraines. Ceci passe, notamment, par des mesures d'évaluation de l'état chimique des eaux et des actions visant à réduire la présence de polluants ;
- directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et la gestion des **inondations** ;
- directive 2008/105/CE du 16 décembre 2008 établissant des **normes de qualité environnementale** dans le domaine de l'eau. Elle fixe des limites de concentration dans les eaux de surface pour **33 substances chimiques prioritaires et 8 autres polluants** ;
- directive 2009/90/CE de la Commission du 31 juillet 2009 établissant, conformément à la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil, des spécifications techniques pour l'analyse chimique et la surveillance de l'état des eaux ;
- directive 2014/80/UE de la Commission du 20 juin 2014 modifiant l'annexe II de la directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration[1] ;
- directive (UE) 2017/845 de la Commission du 17 mai 2017 modifiant la directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les listes indicatives d'éléments à prendre en compte lors de la préparation des stratégies pour le milieu marin.

3.3 AUTRES TEXTES

Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (dite IED » succédant à la directive 2008/1/CE du 15 janvier 2008 modifiée relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (dite « IPPC » : Integrated Pollution Prevention and Control qui est abrogée au 7 janvier 2014 par la directive IED)

Cette directive soumet notamment à autorisation les activités industrielles qui ont un fort potentiel de pollution. Elle vise à éviter ou à minimiser les émissions polluantes dans l'atmosphère, les eaux et les sols ainsi que les déchets provenant des installations industrielles en ayant recours aux **meilleures techniques disponibles** (MTD).

La notion de MTD définie par la directive IED est souvent évoquée lorsqu'il est question des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents des centrales nucléaires

Meilleures techniques disponibles (MTD)

Extrait de la directive 2010/75/UE : art. 3 point 10 :
« "meilleures techniques disponibles" : le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble.

a) Par "techniques", on entend aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt ;

b) Par "disponibles", on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient utilisées ou produites ou non sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables ;

c) Par "meilleures", on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. »

1. Notamment transposé par l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines modifié.

d'EDF. Certaines MTD sont décrites dans des documents de référence appelés BREF (*Best available Technique* Re*ferences*). Ces documents techniques sont élaborés par la Commission en concertation avec les parties prenantes (industriel, États, ONG...) et révisés périodiquement.

Directives SEVESO 82/501/CE du 24 juin 1982, SEVESO II 96/82/CE du 9 décembre 1996 et 2003/105/CE du 16 décembre 2003 sur la maîtrise des dangers, et SEVESO III 2012/18/UE du 4 juillet 2012 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses

La directive SEVESO de 1982 a permis d'initier le processus d'harmonisation des législations sur la maîtrise du risque. Modifiée en 1996, en 2003, et en 2012 la directive dite SEVESO constitue le pendant en matière de risques accidentels de la directive IED sur les pollutions. Parmi les changements les plus importants induits par la dernière réforme figurent des dispositions plus strictes concernant la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice, concernant également les inspections des établissements, ainsi que des améliorations relatives à la manière dont les informations sont recueillies, gérées, mises à disposition.

Règlement 1907/2006/CE du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (« REACH »)

Le règlement REACH (enRegistrement, Évaluation et Autorisation des substances CHimiques) entré en vigueur le 1er juin 2007, couvre le contrôle de la fabrication, de l'importation, de la mise sur le marché et de l'utilisation des substances chimiques. Il vise les substances en tant que telles, ainsi que celles présentes dans les préparations ou dans les articles. Les substances radioactives et les déchets ne sont pas visés par ce texte. L'Agence européenne des produits chimiques (ECHA), basée à Helsinki, a la charge des aspects techniques et administratifs liés au fonctionnement du dispositif REACH.

EDF est à la fois un fabricant de substances chimiques sur ses centrales nucléaires (fabrication de monochloramine et d'hypochlorite de sodium) et aussi un utilisateur de nombreuses substances chimiques sur tous ses sites d'exploitation. Dans ce cadre, en application du règlement REACH, EDF démontre la conformité des scénarios d'exposition aux substances chimiques de ses travailleurs, et est engagé dans une démarche de substitution des substances les plus nocives pour l'homme et l'environnement.

Règlement REACH

Le règlement introduit des nouvelles procédures administratives que sont notamment :

- l'**enregistrement** : aucune substance soumise à enregistrement ne peut être fabriquée ni importée si elle n'a pas été enregistrée par le producteur ou l'utilisateur (« *pas de données, pas de marché* »). Ce sont les producteurs de substances et non plus les autorités publiques qui doivent prouver que les risques liés aux substances qu'ils produisent sont valablement maîtrisés : il s'agit alors d'un renversement de la charge de la preuve ;
- **l'évaluation** : l'évaluation permet à l'Agence européenne des produits chimiques de vérifier que l'industrie respecte ses obligations et évite les essais sur les animaux vertébrés inutiles ;
- **l'autorisation** : aucune substance soumise à la procédure d'autorisation *(CMR 1 & 2, PBT et vPvB*)* ne peut être utilisée si elle n'a pas fait l'objet d'une autorisation pour cet usage ;
- **la restriction** : c'est le filet de sécurité du système permettant de gérer les risques non couverts par ailleurs. Elle peut permettre l'interdiction pure et simple d'une substance sur le marché européen quel que soit son usage.

(*) CMR : *cancérigène, mutagène, reprotoxique.*
PBT : *persistante, bioaccumulable, toxique.*
vPvB : très *persistante, très bioaccumulable.*

4. Réglementation française

La réglementation française relative aux INB, dont font partie les centrales nucléaires d'EDF, repose sur des textes internationaux (conventions, protocoles...), des textes de droit communautaire (règlements, directives...) et sur des textes généraux de protection de l'environnement et de santé publique ou de lutte contre les nuisances (lois, décrets, arrêtés). Les autorisations délivrées pour chaque centrale nucléaire à EDF afin de prélever de l'eau et rejeter des effluents dans l'environnement découlent de ces nombreux textes dont les principaux sont présentés ci-après. Les textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF font l'objet du paragraphe 5.

En matière de lutte contre toutes les formes de pollutions (chimique, radioactive, thermique, microbiologique, etc.), deux approches réglementaires coexistent :

- la première vise la prévention des nuisances de toute nature par une approche dite « intégrée » : réglementation relative aux INB et aux ICPE ;

- la seconde recherche la protection du milieu : réglementation relative à l'eau, à l'air...

Nota : La réglementation relative à l'information du public et les missions exercées par l'administration (notamment son rôle de police) sont respectivement abordées au chapitre 4 et au chapitre 6.

4.1 RÉGLEMENTATION DANS LE DOMAINE NUCLÉAIRE

Code de l'environnement – partie législative *: textes issus de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite « TSN ») codifiée*

La partie législative du titre IX du Livre V découle principalement de la codification de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite loi TSN), il s'agissait de la première loi spécifique dans le domaine du nucléaire en « *raison des risques ou inconvénients qu'ils peuvent présenter pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement* » [1].

La loi « TSN » a été codifiée par l'ordonnance n° 2012-6 du 5 janvier 2012 au sein du Code de l'environnement (livre Ier et livre V). Il convient donc de viser désormais les articles du Code de l'environnement et non plus ceux de la loi « TSN » (*cf.* annexe 5.3).

Les dispositions tirées de cette loi revêtent une grande importance car :

- elles identifient l'**Autorité de sûreté nucléaire (ASN**[2]**)** comme l'autorité de contrôle de prédilection du secteur. Il s'agit d'une autorité administrative indépendante ;
- elles donnent une base législative à la définition des INB et précise le régime juridique applicable aux autres installations implantées dans le périmètre d'une INB (*cf.* encart p. 81) ;
- elles fondent sa politique sur une **approche intégrée** de la réduction des nuisances et des pollutions ;
- elles reprennent les principes fondamentaux auxquels doivent satisfaire les activités présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants (principes de justification, limitation, optimisation de la directive Euratom 96/29) ;
- elles renforcent la transparence et notamment l'information du public[3] ;
- elles assurent le fondement légal des **commissions locales d'information**[4] et du **Haut Comité pour la transparence et la sécurité nucléaire**[5] ;
- elles renforcent les sanctions administratives[6] et pénales[7].

Avec la création de l'ASN, les compétences de sûreté nucléaire et de radioprotection au sein du gouvernement sont confiées à la **Direction générale de la prévention et des risques** (DGPR) placée sous l'autorité des ministres chargés de la Transition écologique (dont le portefeuille comprend actuellement celles du ministre chargé de la sûreté nucléaire) et de la Santé. Pour assister le ministre chargé de ces questions, la **Mission de sûreté nucléaire et de radioprotection** (MSNR) est intégrée à la Direction générale de la prévention des risques du ministère de la Transition écologique..

Pour mémoire, cette législation a introduit un changement notable en ce qui concerne la procédure de création et l'exploitation des INB. Jusqu'en 2006 (sous l'empire du décret de 1963[8]), **deux** types d'autorisation étaient nécessaires pour la création et pour les prélèvements d'eau et les rejets :

- une autorisation délivrée par le décret d'autorisation de création (DAC) portant sur les aspects de sûreté nucléaire ;
- une autorisation sous la forme d'un arrêté interministériel relatif aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents (suivant le décret du 4 mai 1995[9]).

Depuis 2006, l'autorisation principale est délivrée après l'organisation d'une **enquête publique** et obtention de l'avis de l'ASN : il s'agit du **décret d'autorisation de création (DAC)**. Le DAC couvre notamment les aspects « sûreté », comme auparavant, mais aussi les prélèvements d'eau et les rejets (*cf.* § 5). C'est pourquoi, depuis 2016, la création d'une INB nécessite désormais une évaluation environnementale[10].

Des prescriptions complémentaires au DAC sont délivrées par l'ASN sur les prélèvements d'eau et les rejets, mais aussi sur les nuisances sonores et les moyens de contrôle de l'installation et de surveillance de ses effets sur l'environnement. Par ailleurs, le DAC d'une INB susceptible de rejeter des substances radioactives ne peut être accordé qu'après réception de l'avis de la Commission européenne au titre de l'article 37 du Traité EURATOM.

Dorénavant, la procédure administrative de création et de mise en service des INB est notamment prévue au chapitre III du titre IX du livre V du Code de l'environnement.

1. Art. L. 593-1 du Code de l'environnement ex-art. 28-I de l'ex-loi.
2. Art. L. 592-1 à L. 592-40 du Code de l'environnement (ex art. 3 et 4 de l'ex-loi) .
3. Art. L. 125-10-1 à L. 125-16 du Code de l'environnement (ex-art. 19 et 21 de l'ex-loi).
4. Art. L. 125-17-1 à L. 125-33 du Code de l'environnement (ex-art. 22 de l'ex-loi).
5. Art. L. 125-34 à L. 125-40 du Code de l'environnement (ex-art. 23 et 27de l'ex-loi)
6. Art. L. 596-3 à L. 596-23 du Code de l'environnement (ex-art. 41 et 44 de l'ex-loi)
7. Art. L. 596-10 à L. 596-12 du Code de l'environnement (ex-art. 53 et 56 de l'ex-loi)
8. Voir paragraphe suivant.
9. Voir paragraphe suivant.
10. Art. R. 122-2 du Code de l'environnement.

Principaux articles du Code de l'environnement relatifs aux INB, issus de la codification du « décret Procédures »

Articles L. 593-7 à L. 593-10, R. 593-14 à R. 593-28, et R. 593-38 à R. 593-40 du Code de l'environnement : Dispositions relatives à la création d'une INB

Ces articles concernent :

- le dépôt du dossier de demande d'autorisation de création comportant un certain nombre de pièces (version préliminaire du rapport de sûreté, l'étude d'impact, le plan de démantèlement, etc.) ;
- les modalités d'instruction du dossier par l'ASN et le ministère en charge de la sûreté nucléaire ;
- l'organisation de l'enquête publique ;
- l'obtention du décret d'autorisation de création (définition du périmètre de l'INB, délai de mise en service de l'installation) ;
- les prescriptions à caractère technique de l'ASN pour l'application du DAC qui sont soumises pour avis au CoDERST et observations à la CLI (ex. prélèvements d'eau, rejet, surveillance de l'environnement, limitations des nuisances sonores, etc.).

En particulier :

L'article R. 593-17 indique les compléments attendus de l'étude d'impact d'une INB au regard du contenu de droit commun (R. 122-5 CE) (*cf.* chapitre 8).

L'article R. 593-38 précise la procédure en vue d'établir et modifier les prescriptions (sous la forme de décision de l'ASN). Dans le cas où les prescriptions concernent les limites de rejet, celles-ci doivent être homologuées par le ministre en charge de la Sûreté.

Articles L. 593-11 et R. 593-29 à R. 593-37 du Code de l'environnement : Dispositions relatives à la mise en service d'une INB

Ces articles portent notamment sur :

- le dépôt d'un dossier comprenant notamment le rapport de sûreté (mise à jour de la version préliminaire), les règles générales d'exploitation (RGE), le plan d'urgence interne en cas d'incident ou d'accident (PUI), la mise à jour de l'étude d'impact le cas échéant ;
- la délivrance de l'autorisation par une décision de l'ASN qui fait l'objet d'une mention au Bulletin officiel de l'ASN. Elle est notifiée à l'exploitant et communiquée au ministre chargé de la Sûreté nucléaire et au préfet.

Articles L. 593-15 et R. 593-55 à R. 593-61 du Code de l'environnement : Dispositions relatives aux modifications d'exploitation

Sont concernées, les modifications ayant une incidence sur les intérêts protégés, de ses modalités d'exploitation autorisées, des éléments ayant conduit à l'autorisation de création ou de mise en service. Ces modifications sont soumises soit à déclaration auprès de l'ASN (articles R. 593-59 à R. 593-61), soit autorisation (articles R. 593-55 à R. 593-58), selon leur importance, et peuvent être soumises à consultation du public. La décision n° 2017-DC-0616 de l'ASN du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des INB fixe la liste des modifications notables soumises à autorisation et déclaration auprès de l'ASN.

Articles L. 593-14 et R. 593-41 à R. 593-54 du Code de l'environnement : Disposition relatives à la modification du DAC initial
Ces articles définissent les démarchent à suivre lors du changement d'exploitant, la création d'une installation nucléaire de base par séparation ou par réunion d'installations existantes, de modifications substantielles, etc.
Concernant les modifications substantielles (L. 593-14), ces dernières font l'objet d'une procédure similaire à celle d'autorisation de création, selon la procédure prévue par les articles L. 593-7 à L. 593-12. L'article R. 593-47 énonce les cas considérés comme des modifications substantielles (changement de nature, modification des éléments essentiels de l'autorisation de création, ajout d'une nouvelle INB dans le périmètre, etc.).

Articles L. 593-3, L. 593-33 et R. 593-86 à R. 593-88 du Code de l'environnement : Dispositions relatives aux autres installations situées à l'intérieur et à l'extérieur du périmètre de l'INB
Ces articles précisent l'articulation des régimes INB et ICPE
Au sein du périmètre de l'INB :
- les équipements et installations nécessaires à l'exploitation de l'INB sont réputés faire partie de cette installation, et soumis au régime et à la réglementation applicable aux INB ;
- les équipements et installations sans lien (non nécessaires) avec l'INB relevant des nomenclatures ICPE et IOTA restent soumis à leur régime avec une compétence de l'ASN pour prendre les mesures individuelles relatives à ces équipements et installations.

En dehors du périmètre de l'INB, les matériels, équipements et activités sont réglementés par les textes généraux relatifs aux ICPE et IOTA, à la protection de l'environnement et à la santé publique.

Code de l'environnement – partie réglementaire *: issue notamment du décret n° 2007-1557 modifié du 2 novembre 2007 dit « décret Procédures », articles R. 593-1 et suivants.*

Le « décret Procédures », codifié au sein du Code de l'environnement, portait principalement sur les procédures administratives à suivre pour la création d'une INB, sa mise en service, son fonctionnement, sa modification, sa mise à l'arrêt définitif, et son démantèlement. Les dispositions relatives aux ICPE[1] et IOTA[2] dans le périmètre de l'INB mais non nécessaires à son exploitation sont partiellement régies par les dispositions du titre IX (l'ASN étant l'autorité administrative compétente) mais également par les dispositions communes à ces installations, ainsi que le souligne l'article L. 593-33 du code précité.

*L'***arrêté du 7 février 2012** *fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (arrêté « INB ») modifié*

L'arrêté du 7 février 2012 modifié établit les règles générales applicables aux INB. Cet arrêté couvre un champ très large puisqu'il vise à protéger les « intérêts » mentionnés à l'article L. 593-1 du Code de l'environnement. Il concerne le management de la sûreté, la maîtrise des risques d'accident, la **maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et sur l'environnement**, la gestion des déchets, les situations d'urgence.

Il s'applique à toutes les phases de la « vie » d'une INB de la conception jusqu'au démantèlement, en passant par la construction, le fonctionnement, l'entretien et la surveillance des installations et la mise à l'arrêt définitif.

L'arrêté reprend et actualise certaines dispositions de l'arrêté du **10 août 1984** relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des INB (dit « arrêté qualité »), l'arrêté du **26 novembre 1999** fixant les prescriptions techniques générales relatives aux limites et modalités des prélèvements et des rejets soumis à autorisation, effectués par les INB et l'arrêté du **31 décembre 1999** fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des INB (*cf.* encart). Ces textes ont été abrogés depuis le 1er juillet 2013, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 7 février 2012 (sauf dispositions particulières).

Il transpose aux INB des dispositions applicables aux ICPE/IOTA (*cf.* arrêtés listés en annexe II de l'arrêté INB), notamment en matière de limites de rejet et de surveillance de l'environnement et fournit, par ailleurs, des définitions sur des termes-clés tels que « fonctionnement normal » ou « en mode dégradé », « effluent », « événements significatifs », « incident ou accident », « élément important pour la protection » (EIP), « activité importante pour la protection » (AIP)...

Ces exigences sont complétées par des décisions réglementaires à caractère technique de l'ASN.

1. Articles L. 511-1 à L. 517-2 du Code de l'environnement.
2. IOTA : installations, cuvrages, travaux et aménagements visés par la loi sur l'eau. Articles L. 214-1 à L. 214-19 du Code de l'environnement.

Logigramme des décisions de l'ASN et leur articulation avec l'arrêté INB
Source : site Internet de l'ASN

Arrêté 7 février 2012 dit « INB » fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base modifié

En établissant un lien entre sûreté nucléaire, radioprotection du public et protection de l'environnement, cet arrêté constitue, avec la réglementation relative à l'eau (IOTA) et aux ICPE, la base réglementaire sur laquelle les dispositions propres à chaque centrale nucléaire sont établies s'agissant des prélèvements d'eau et des rejets (*cf. § 5)*. L'arrêté est structuré en neuf titres, dont notamment :

Le titre II *Organisation et la responsabilité* concernant :

- la politique en matière de protection des intérêts mentionnés par la loi (sécurité, santé et salubrité publiques, protection de la nature et de l'environnement) que l'exploitant tient à la disposition de l'ASN dans un document ;
- le système de gestion intégrée que l'exploitant met en place afin de respecter les exigences précitées. Ce système précise par ailleurs les dispositions mises en œuvre en termes d'organisation et de ressources de tout ordre pour répondre aux objectifs de protection des intérêts mentionnés par la loi. Il comporte également des dispositions relatives aux traitements des éventuels écarts, au retour d'expérience et à la définition d'indicateurs d'efficacité et de performance ;
- l'amélioration continue des pratiques ;
- les modalités d'information du public.

Le titre IV *Maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement* avec des dispositions sur :

- les prélèvements d'eau et des rejets d'effluents dans l'air et dans l'eau ;
- la surveillance ;
- la prévention des nuisances (odeur, bruit…) ;
- l'information de l'autorité de contrôle.

Le titre IX *Dispositions transitoires et finales*

4.2 RÉGLEMENTATION DES INSTALLATIONS CLASSÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (« ICPE »)

Code de l'environnement : textes issus de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux ICPE (prévention et nuisances), articles L. 181-1 et suivants, L. 511-1 et suivants, et R. 511-9 et suivants,

Les centrales nucléaires sont concernées par la réglementation applicable aux ICPE pour tous les équipements et installations **non nécessaires** à leur exploitation, ainsi que pour les équipements et installations **situés à l'extérieur** du périmètre de l'INB (*cf.* §. 5).

La réglementation sur les ICPE est fondée sur une **approche intégrée** de la protection de l'environnement, elle s'intéresse aussi bien aux problèmes de pollution de l'eau et de l'air qu'aux risques, aux déchets et aux nuisances diverses (odeur, bruit...) résultant des activités industrielles ou autres inscrites sur une liste (nomenclature) fixée par annexe à l'article R. 511-9 du Code de l'environnement.

La nomenclature ICPE soumet les installations classées à **autorisation**, **enregistrement ou déclaration** suivant la gravité des dangers ou inconvénients que peut présenter leur exploitation. Ce régime a été modifié par la réforme de l'autorisation environnementale (ordonnance du 26 janvier 2017) qui fusionne dans une même décision administrative, les procédures d'instruction et de délivrance de différentes autorisations prévues au titre du Code de l'environnement.

4.3 TEXTES SUR L'EAU ET LES MILIEUX AQUATIQUES

Les textes législatifs et réglementaires relatifs à l'eau sont importants, s'agissant des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents des centrales nucléaires, car les textes (arrêté d'autorisation, décisions ASN) fixant les prescriptions et les limites applicables aux centrales nucléaires s'y réfèrent (*cf.* §. 5).

Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, dite « LEMA », codifiée aux articles L. 210-1 et suivants et R. 211-1 et suivants du Code de l'environnement.

Cette loi et les textes qui en découlent ont rénové le cadre global défini par les lois antérieures de 1964 et de 1992. Ceux-ci ont pour principaux objectifs de :

- répondre aux enjeux de la politique européenne de l'eau poursuivant l'objectif de « **bon état** » des eaux défini par la directive européenne (DCE) en fixant notamment des objectifs de qualité d'eau pour chaque bassin hydrographique dans les schémas directeurs d'aménagement de gestion de l'eau (SDAGE) ;
- prendre en compte l'enjeu sociétal en proclamant un droit à l'eau pour tous ;
- répondre aux attentes du public et des usagers de l'eau en matière d'information ;
- préserver les milieux aquatiques par une gestion en quantité et qualitative de l'eau, ce qui suppose d'assurer les **continuités écologiques** tant pour

les migrations de certaines espèces que pour le transit des sédiments (*cf.* encart sur les objectifs de débit).

Volet organisationnel (*cf.* chapitre 6)

- Principe de la **gestion par bassin hydrographique**[1] et l'idée de gouvernance à laquelle sont associés les usagers.
- Composition des **comités de bassin** : 40 % pour les collectivités territoriales, 40 % pour les usagers (pour moitié les usagers économiques comme les entreprises, et pour moitié les usagers non économiques), 20 % pour l'État.
- Identification d'un Organe institutionnel pour le secteur : cet organe historique était l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) incorporé dans l'Agence française pour la biodiversité par la loi Biodiversité du 8 août 2016 qui reprenait ses missions[2], puis par l'Office français de la biodiversité créé par la loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019.
- Identification des missions des six **agences de l'eau** qui concernent en particulier la mise en œuvre des SDAGE et de leur déclinaison au niveau local dans les SAGE élaborés par les commissions locales de l'eau (CLE).
- Portée juridique des schémas d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) renforcée : ceux-ci sont opposables aux tiers.

Volet financier

- Le Parlement dispose du pouvoir de fixer les règles concernant, l'assiette, les taux plafond, les modalités de recouvrement ainsi que les critères qui permettront aux comités de bassin de moduler les taux des **redevances** notamment celles portant sur les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents (*cf.* chapitre 6).

Nomenclature « eau »

À l'image de la nomenclature des ICPE, il existe une nomenclature « eau » qui établit la liste des installations, ouvrages, travaux et aménagements (IOTA) soumis à autorisation ou déclaration (R. 214-1 du Code de l'environnement). Comme pour les ICPE, certains projets de IOTA peuvent être soumis à évaluation environnementale ou soumis à examen au cas par cas.

Objectifs de débits d'étiage, d'alerte et de crise définis dans les SDAGE

La disponibilité des ressources en eau étant variable dans le temps et suivant les lieux, les objectifs de débit des SDAGE sont établis en distinguant :

- les conditions pour lesquelles il est possible et nécessaire de concilier normalement les besoins des usagers et les exigences des milieux ;
- de celles, **plus exceptionnelles**, à partir desquelles des défaillances apparaissent et où il faut gérer les risques de pénurie et chercher à les réduire en proposant des mesures structurantes.

Dans les SDAGE, il existe un réseau de points stratégiques, appelés points nodaux, où sont fixées, outre le débit d'objectif d'étiage (DOE), les valeurs des débits seuils d'alerte (DSA) et de crise (DSR). Les points nodaux correspondent à des stations de mesure de débit situées, soit à l'aval des unités hydrographiques, soit en d'autres points intéressants pour leur caractère singulier (principale confluence, prise d'eau, rejet, barrage…).

Équilibre « besoins - ressources en eau »

Le débit objectif d'étiage (DOE) est le **débit moyen mensuel** permettant de satisfaire tous les besoins en moyenne huit années sur dix et d'atteindre le bon état des eaux. Sa valeur est fixée **au débit moyen mensuel de récurrence 5 ans (QMNA 5),** qui correspond à la plus faible moyenne sur l'année des débits mensuels d'étiage de fréquence quinquennale et qui constitue la référence pour les objectifs de qualité et pour l'application de la réglementation en matière de rejet et de prélèvement.

Gestion de crise en période de sécheresse

Le débit seuil d'alerte (DSA) est le **débit moyen journalier** en dessous duquel un usage ou une fonction de la rivière ne peut plus être assuré dans des conditions normales. Ce seuil constitue un signal à partir duquel des dispositions à caractère volontaire ou faiblement contraignant peuvent être envisagées de manière à ne pas atteindre le niveau de crise (DCR), si la situation s'aggrave.

Le débit de crise (DCR) est le **débit moyen journalier** en dessous duquel ne sont plus garantis les besoins indispensables en eau potable pour la vie humaine et animale, ceux relatifs à la survie des espèces piscicoles les plus intéressantes et à l'activité économique.

1. Six bassins hydrographiques : Rhin-Meuse ; Adour-Garonne, Loire-Bretagne ; Artois-Picardie ; Seine Normandie ; Rhône-Méditerranée-Corse.
2. Article L. 131-8 du Code de l'environnement.

Évolutions de la réglementation dans le domaine de l'eau

1964 : Loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution.

1992 : Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau a profondément modifié la loi de 1964 dont elle conserve quelques articles relatifs à la création du Comité national de l'eau, aux agences financières de bassin devenues agences de l'eau, et aux redevances. Elle a notamment pour objectifs une gestion globale et équilibrée de l'eau, la lutte contre les pollutions et le gaspillage et instaure pour cela une police administrative unique de contrôle de la qualité des eaux et du niveau de la ressource en eau et met en place deux systèmes de planification des usages de l'eau, à savoir, les SDAGE à l'échelle du bassin, les SAGE au niveau du cours d'eau.

2000 : Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (« DCE »).

2003-2004 : Débat national et décentralisé sur l'eau avec toutes les parties prenantes.

2004 : Transposition en droit français de la DCE, par la loi n° 2004-338 du 21 avril 2004.

2006 : Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (« LEMA ») qui rénove le cadre global défini par les lois de 1964 et 1992.

Quelques textes découlant de l'application de la « LEMA » :

- décret n° 2007-833 du 11 mai 2007 relatif au Comité national de l'eau ;
- décret n° 2007-443 du 25 mars 2007 relatif à l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques ;
- décret n° 2007-980 du 15 mai 2007 relatif aux comités de bassin ;
- arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface en application de l'art. R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'environnement (modifié par l'arrêté du 27 juillet 2015) ;
- arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'art. R. 212-22 du Code de l'environnement (modifié en 2011, 2015 et 2018) ;
- décret n° 2015-450 du 20 avril 2015 relatif au Comité national de l'eau ;
- décret n° 2018-847 du 4 octobre 2018 relatif aux schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux et schémas d'aménagement et de gestion des eaux ;
- loi Biodiversité du 8 août 2016 et loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 portant création de l'Office français de la biodiversité, modifiant les missions des fédérations des chasseurs et renforçant la police de l'environnement.

4.4 TEXTES SUR L'AIR

La réglementation française reprend les exigences de la réglementation européenne sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (règlement 2000/2037/CE du 29 juin 2000 qui interdit l'utilisation des CFC depuis 2001 et celle des HCFC à partir de 2015, pour la maintenance et l'entretien des équipements de réfrigération et de climatisation, le règlement n° 1005/2009 du 16/09/09 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone a abrogé ce règlement et prend sa place) et les gaz à effet de serre (règlement 2006/842/CE du 17 mai 2006, abrogé par le règlement (UE) n° 517/2014 – dit F-Gas – du 16/04/14 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n° 842/2006) utilisés dans les systèmes de climatisation et de réfrigération. Les INB et les centrales nucléaires sont tenues de s'y conformer.

Les centrales nucléaires sont également concernées par la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie dite « LAURE », aujourd'hui codifiée par l'ordonnance n° 2000-914 du 18 septembre 2000 au sein du Code de l'environnement (titre II Air et atmosphère), qui demande d'étudier l'impact des activités humaines sur la santé publique. Ceci vise les impacts des rejets industriels et en particulier, pour ce qui est des centrales nucléaires, les émissions atmosphériques gazeuses issues d'opérations de lessivage chimique (ammoniac) ou les gaz d'échappement des turbines à combustion (TAC) de secours et les moteurs diesels de secours définis, par ailleurs, dans la rubrique ICPE n° 2910.

La France a également ratifié l'amendement au protocole de Montréal adopté à Kigali le 15 octobre 2016 relatif à des substances appauvrissant la couche d'ozone, entré en vigueur au 1er janvier 2019, et qui intègre les hydrofluorocarbures dans le champ de ce protocole[1].

Enfin, la directive (UE) 2015/2193 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des installations de combustion moyennes, qui fixe des valeurs limites d'émission pour les installations de combustion de puissance comprise entre 1 et 50 MW, a été transposée en droit français par le décret n° 2018-704 du 3 août 2018 modifiant la nomenclature des installations classées et certaines dispositions du Code de l'environnement et 5 arrêtés ministériels de prescriptions générales, entrés en vigueur le 20 décembre 2018.

1. Le décret no 2019-708 du 4 juillet 2019 portant publication de l'amendement au protocole de Montréal du 16 septembre 1987 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, adopté à Kigali le 15 octobre 2016, a intégré cet amendement au droit français.

5. Textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF

Les textes réglementaires du régime INB (décret, arrêté, décision) évoluent continuellement en devenant, au fur et à mesure, plus complexes et plus contraignants pour l'exploitant d'INB.

Pour s'assurer du respect de la réglementation dans sa déclinaison opérationnelle, l'exploitant met en place une organisation assurant un suivi des évolutions réglementaires, dénommé « contrôle de conformité réglementaire », afin d'adapter en permanence ses pratiques aux nouvelles exigences. L'exploitant décline les exigences réglementaires environnement dans un outil informatique dédié.

5.1 ARTICULATION DES PRINCIPAUX TEXTES CONDUISANT AUX AUTORISATIONS DE PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET DE REJETS

(*cf.* figure 2)

Sur la base de la réglementation en vigueur, l'administration délivre des autorisations et l'ASN fixe par décision des prescriptions réglementant notamment :

- les prélèvements et la consommation d'eau ;
- les rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux ;
- les installations relevant d'un régime autonome (ICPE, IOTA) mais se trouvant dans le périmètre de l'INB et étant nécessaires à cette installation.

Ces autorisations sont délivrées, sous la forme de décret accordé par le ministre ou de décisions de l'ASN, après instruction de la demande d'autorisation déposée par le pétitionnaire.

Depuis 2006, le DAC couvre les aspects sûreté mais aussi, notamment, protection du public et de l'environnement. Ce décret est complété par deux décisions de l'ASN, l'une fixant les limites de rejets d'effluents dans l'environnement, l'autre portant sur les modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets d'effluents. La décision de l'ASN fixant les limites de rejet est homologuée par un arrêté signé du ministre chargé de la sûreté nucléaire. À cela s'ajoutent notamment les règles générales d'exploitation (RGE) rédigées par l'exploitant et validées par l'ASN avant la mise en service des installations et, le cas échéant, à chaque modification de celles-ci.

Par ailleurs, une centrale dispose d'autorisations délivrées par l'ASN ou le préfet pour les installations relevant des réglementations « ICPE », « eau », « air »... ou par l'administration chargée du domaine fluvial ou maritime pour l'occupation du domaine public. En outre, les autorisations délivrées pour les centrales frontalières doivent tenir compte des conventions ou accords internationaux passés entre les pays concernés.

Fig. 2 ▶ Articulation des principaux textes.

5.2 TEXTES PROPRES À CHAQUE CENTRALE NUCLÉAIRE D'EDF

Prélèvement d'eau et rejets d'effluents

La procédure administrative à engager par l'exploitant afin de solliciter les autorisations nécessaires est définie par la réglementation (Code de l'environnement). À l'issue de l'instruction de cette procédure, l'administration compétente délivre les autorisations au moyen des textes ci-après (*cf.* figure 3) :

- **le décret d'autorisation de création (DAC)** : ce décret précise, pour ce qui est de la maîtrise des impacts sur le public et l'environnement, que « *Toute disposition est prise dans la conception et l'exploitation de l'installation, en particulier par l'utilisation des meilleures technologies industrielles disponibles à un coût économiquement acceptable, pour limiter les prélèvements d'eau douce et l'impact des rejets sur les populations et l'environnement. L'exploitant assure la réalisation périodique de contrôles de l'environnement* » (ex. décret d'autorisation de création de Flamanville 3 du 10 avril 2007) ;

Le chantier EPR Flamanville 3, 27 août 2019
© EDF – Antoine Soubigou

- **la décision de l'ASN fixant les limites de rejet dans l'environnement des effluents liquides et gazeux :**
  Ces limites concernent :
  - les rejets des effluents radioactifs gazeux,
  - les rejets d'effluents radioactifs liquides,
  - les rejets chimiques liquides et gazeux,
  - les rejets thermiques.

  Cette décision est homologuée par un arrêté signé du ministre chargé de la sûreté nucléaire ;
- la décision de l'ASN fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux porte notamment sur :
  - les prélèvements et la consommation d'eau,
  - les rejets d'effluents dans l'environnement,
  - la surveillance de l'environnement autour du site,
  - le contrôle exercé par les autorités,
  - l'information du public.

Prélèvement d'eau et rejets d'effluents

Les autorisations de prélèvement d'eau et de rejets accordées aux centrales nucléaires sont délivrées par l'ASN et relèvent des dispositions de l'article R. 593-38 du Code de l'environnement, qui prescrit les conditions dans lesquelles l'installation peut procéder à des prélèvements d'eau ou à des rejets directs ou indirects d'effluents dans le milieu ambiant.

- **l'autorisation de mise en service et le dossier associé :**

L'article R. 593-30 du Code de l'environnement prévoit que l'exploitant adresse à l'ASN un dossier contenant « *les règles générales d'exploitation que l'exploitant prévoit de mettre en œuvre, dès la mise en service de l'installation, pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1* ». Auparavant orientées principalement « sûreté ». S'agissant des RGE, elles couvrent dorénavant un champ élargi, puisqu'elles portent également sur la sécurité, la santé et la salubrité publique ou la protection de la nature et de l'environnement (intérêts protégés visés à l'article L. 593-1 du Code de l'environnement).

Elles constituent, avec la mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté et les autres documents listés à l'article R. 593-30 du Code de l'environnement pré-cité (mise à jour ou actualisation le cas échéant de l'étude d'impact notamment), l'engagement que prend l'exploitant vis-à-vis de l'ASN pour exploiter ses installations dans de bonnes conditions. Le chapitre relatif à l'environnement couvre un champ plus large que les seuls prélèvements d'eau et rejets d'effluents puisqu'il porte aussi sur la gestion des déchets et la maîtrise des nuisances (bruit, odeurs...) et les risques d'incendie et de foudre.

Fig. 3 ▶ Les autorisations du régime INB.

Évolution des autorisations en matière de prélèvements d'eau et de rejets

Autorisations délivrées après le décret n° 2019-190 du 14 mars 2019 codifiant les dispositions applicables aux installations nucléaires de base issues de la loi « TSN » de 2006 et de son décret d'application du 2 novembre 2007

- Décret d'autorisation de création (DAC)
- Décision de l'ASN, homologuée par arrêté du ministre chargé de la sûreté nucléaire, fixant les limites de rejets dans l'environnement des rejets liquides et gazeux,
- Décision de l'ASN fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement d'effluents liquides et gazeux.

Autorisations délivrées avant 2006 au titre du décret du 4 mai 1995 (concerne plusieurs centrales) 1995 à 2006 au titre du décret n° 95-540 du 4 mai 1995 modifié relatif aux INB

- Décret d'autorisation de création (DAC) comprenant de prescriptions générales sur les rejets,
- Arrêté interministériel unique réglementant les prélèvements d'eau et les rejets.

Autres prescriptions applicables

Pour certaines activités, les centrales nucléaires sont réglementées au moyen :

- d'**arrêtés préfectoraux** pour les activités réalisées à **l'extérieur du périmètre de l'INB** (ex. opération de dragage et curage du cours d'eau qui relève du Code de l'environnement, réglementation ICPE/IOTA) ;
- de prescriptions particulières de l'ASN sous forme de décision en ce qui concerne les installations et des équipements situés à **l'intérieur de l'INB** mais **non nécessaires** à son fonctionnement (réglementation ICPE/IOTA).

Occupation du domaine public fluvial et maritime

Pour les centrales nucléaires dont les ouvrages de prises d'eau et de rejets sont construits sur le domaine public, il est nécessaire d'obtenir de la part de l'administration compétente une autorisation ou une concession d'occupation du domaine public au titre du Code général de la propriété des personnes publiques (*cf.* tableau I).

Tableau I Administration chargée du domaine public (*cf.* chapitre 6).

	Cours d'eau navigables (centrales sur le Rhône, la Moselle, la Meuse, la Seine, la Garonne)	Cours d'eau non navigable (centrales du Val de Loire)	Domaine maritime Centrales marines ou en estuaire
Administration compétente	Voies navigables de France (VNF)	Direction départementale des territoires (DDT)	Port autonome ou Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM)

POUR ALLER PLUS LOIN

- http://www.legifrance.gouv.fr
- https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/
- http://www.asn.fr
- http://www.eau-seine-normandie.fr/
- https://aida.ineris.fr/

Annexe 5.1

Tableau récapitulatif des principaux textes réglementaires

TYPE D'ACTIVITÉ OU D'ÉQUIPEMENT	TEXTES RÉGLEMENTAIRES S'APPLIQUANT DIRECTEMENT À L'EXPLOITANT	RÉGLEMENTATION FRANÇAISE	DROIT COMMUNAUTAIRE	TEXTES INTERNATIONAUX
Création et exploitation d'une INB	**Décret d'autorisation de création** (DAC) définissant le périmètre de l'INB et les aspects liés à la sûreté, à la radioprotection et à l'environnement **Décision de l'ASN** d'autorisation de mise en service de l'INB	**Droit nucléaire** Code de l'environnement : textes issus de la loi TSN et du décret Procédures Arrêté du 7/02/2012 fixant les règles générales relatives aux INB modifié – Maîtrise des nuisances et de l'impact pour le public et l'environnement – Information du public – Information de l'autorité de contrôle *Nota : cet arrêté abroge les arrêtés des 10/08/1984, 26/11/1999 et 31/12/1999 relatifs aux INB à compter du 1/07/2013. Date de son entrée en vigueur (sauf dispositions particulières)* Décisions réglementaires à caractère technique de l'ASN	**Domaine nucléaire** Traité EURATOM Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants **Information du public** Directive 2003/4 /CE concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement du 28 janvier 2003 Directive 2003/35/CE prévoyant la participation du public lors de l'élaboration de certains plans et programmes relatifs à l'environnement **Protection des écosystèmes** Directive 79/409/CEE du 2/04/79 « Oiseaux » Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 « Habitats » : – réseaux **NATURA 2000** Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 « cadre sur l'eau » (« DCE ») et directives « filles » sur notamment – les substances chimiques dangereuses – les normes de qualité de l'eau – la protection des eaux souterraines **Lutte contre les nuisances** Règlement 1907/2006/CE du 18 décembre 2006 « REACH » modifié (fabrication de substances chimiques) Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrée des pollutions par la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles Directives 82/501/CE ; 96/82/CE ; 2003/105/CE SEVESO (maîtrise des risques)	**Information du public** Convention Aarhus du 25 juin 1998 (*cf.* Chapitre 4) **Prise en compte des projets transfrontières** Convention d'Espoo du 10 septembre 1997, et ses amendements **Protection des écosystèmes** Convention de Ramsar du 2 février 1971 sur les zones humides (*cf.* Chapitre 3) Convention de Rio du 3 juin 1992 sur la diversité biologique (*cf.* Chapitre 3) Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, dite « OSPAR » (*cf.* Chapitre 3) Protocole d'Athènes du 17 mai 1980 (Méditerranée) **Prévention et réduction des nuisances** Protocole de Montréal du 16 septembre 1987 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (CFC ; HCFC…) et son amendement **Accords transfrontaliers** Accord de Gand sur la Meuse du 3 décembre 2002 (concerne la **centrale nucléaire de Chooz**) Convention de Berne du 12 avril 1999 pour la protection du Rhin (concerne les **centrales nucléaires de Fessenheim et de Cattenom**)
Exploitation d'une INB **Prélèvements et consommation d'eau et rejets d'effluents**	**Depuis 2006** **Décision de l'ASN homologuée** fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux. Cette décision est homologuée par arrêté signé par le ministre chargé de la sûreté nucléaire **Décision de l'ASN** sur les modalités de prélèvements et consommation d'eau et de rejets d'effluents liquides et gazeux dans l'environnement **Règles générales d'exploitation (RGE)** rédigées par l'exploitant et approuvées par l'ASN			
Exploitation d'équipement ou d'ouvrage **non nécessaire à l'exploitation de l'INB mais à l'intérieur du périmètre INB**	**Décision ASN**	**Droit commun** (Code de l'env. et Code de la santé publique) : Réglementation **ICPE** (prévention des nuisances…) ; **IOTA** (redevances, police de l'eau…) ; **AIR** ; Protection de la nature et de la **biodiversité** :; Réglementation des produits **biocides** ; **DÉCHETS**		
Exploitation d'équipement ou d'ouvrage situé à l'extérieur du périmètre INB	**Autorisation ou concession préfectorale**			
Occupation du domaine public fluvial ou maritime	**Arrêté de l'administration chargée de la gestion du domaine**			

Annexe 5.2

Nature des différents types de textes législatifs et réglementaires

DROIT INTERNATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT

Traité : Acte écrit par lequel des États établissent des règles créant des droits et obligations. Il doit être ratifié (par le Parlement ou par référendum en France) pour produire ses effets de droit et devenir ainsi un instrument obligatoire liant les parties signataires.

Convention : Accord de volonté entre deux ou plusieurs États sur un objet ou fait précis et qui oblige les signataires au respect de son contenu (ex. Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, dite « OSPAR »). On l'emploie actuellement d'une façon générale pour les traités multilatéraux formels dont les parties sont nombreuses.

Protocole : Acte retenu pour des accords moins formalistes que les conventions et traités. L'instrument peut revêtir différentes formes juridiques.

DROIT COMMUNAUTAIRE (Union européenne)

Traité : Acte écrit par lequel des États membres établissent des règles créant des droits et obligations et ayant force obligatoire pour les parties au traité (ex. traité EURATOM pour le développement de l'énergie nucléaire en Europe, 1957).

Règlement : Acte juridique de portée générale, obligatoire en tous ses éléments, d'application directe et uniforme dans tous les États membres. Contrairement à la directive, il ne nécessite pas, pour son entrée en vigueur, l'intervention des autorités nationales compétentes.

Directive : Acte juridique adressé aux États, qui fixe des objectifs à atteindre dans un domaine donné et dans un délai prescrit. La directive laisse aux États une « relative » liberté dans le choix de l'acte juridique de transposition en droit national dans la mesure où la directive contient une obligation de résultat et non une obligation de moyen. Si ses termes sont suffisamment clairs et précis, la directive est opposable aux tiers, même à défaut de transposition en droit national dans les délais requis.

Décision : Acte juridique à caractère individuel, applicable à l'État membre, à l'entreprise ou à l'individu visé par elle. Ce sont des mesures individuelles d'exécution qui n'ont pas de portée normative.

Avis et recommandation : Les avis et recommandation expriment une opinion du Parlement européen, ou de la Commission européenne. Ils n'ont pas de portée obligatoire.

Livre vert : Les groupes d'intérêt (ONG...) et les lobbies (entreprises, industriels) prennent une part importante dans le travail préparatoire à l'élaboration de la réglementation européenne. Ce travail peut conduire à la rédaction de livres verts qui rassemblent la réflexion menée dans ce cadre sur un thème donné.

Livre blanc : Le livre vert de réflexion peut déboucher sur un livre banc de stratégie adopté par les instances communautaires. Cette stratégie préfigure le cadre de la nouvelle réglementation européenne du domaine visé (ex. Livre Blanc sur l'Avenir de l'Europe, 2017).

DROIT FRANÇAIS

Loi : Règle écrite, générale et permanente, élaborée par le Parlement (Assemblée nationale et Sénat), promulguée par le Président de la République et publiée au Journal officiel de la République Française afin qu'elle entre en vigueur.

La loi est applicable à tous, elle définit les droits et les devoirs de chacun. Le domaine qui lui est réservé est délimité par la Constitution (article 34).

Ordonnance : Mesure prise par le pouvoir exécutif (gouvernement), dans un domaine qui relève normalement de la loi. Prévues par l'article 38 de la Constitution, les ordonnances doivent être autorisées par une loi d'habilitation votée par le Parlement, qui en fixe les domaines et la durée. L'ordonnance fait donc partie du domaine

législatif (une ordonnance peut également désigner une décision rendue par le Président d'un Tribunal ou par un Juge s'il a reçu délégation de celui-ci). L'ordonnance doit être ratifiée par le Parlement.

Décret : Acte réglementaire pris dans un domaine propre ou en application d'une loi pour en définir les modalités d'exécution. Il est signé par le Président de la République ou par le Premier ministre, pour toutes les matières qui ne sont pas expressément réservées à la loi, et est susceptible de recours juridictionnel devant le Conseil d'État (ex. décret d'autorisation création d'une INB).

Arrêté : Acte réglementaire pris par un ou des ministre(s), un préfet ou un maire (ex. arrêté homologuant les décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les rejets des centrales nucléaires).

Circulaire : Instructions de service écrites adressées par une autorité supérieure à des agents subordonnés en vertu de son pouvoir hiérarchique. (par ex. circulaire ministérielle, circulaire interministérielle, circulaire préfectorale). Elle contient généralement des instructions, recommandations, ou explications. Elle peut compléter un décret ou un arrêté, mais n'a pas de force obligatoire, étant qualifiée de circulaire interprétative. Néanmoins, dans certains cas, peu nombreux, elle peut avoir un caractère réglementaire lorsqu'elle présente le caractère de circulaire impérative (les circulaires applicables figurent sur le site Internet : www.circulaires.gouv.fr).

Décision individuelle de l'ASN : C'est un acte réglementaire envers l'exploitant d'une INB. Lorsque cette décision fixe les limites de rejet d'effluents, celle-ci est homologuée par le ministre chargé de la sûreté nucléaire. Les décisions sont publiées sur le site Internet de l'ASN (www.asn.fr).

Décision réglementaire de l'ASN : Acte réglementaire pris pour l'application des décrets et arrêtés ; elle est homologuée par le ministre chargé de la sûreté nucléaire.

Jurisprudence : Solution suggérée par un ensemble de décisions suffisamment concordantes rendues par des juridictions judiciaires ou administratives sur une question de droit. La jurisprudence constitue une source du droit.

Code : Ensemble de dispositions normatives faisant partie d'une même branche de droit, placées dans un ouvrage. Toutes les lois ne sont pas codifiées.

Annexe 5.3

Code de l'environnement

Le **Code de l'environnement** regroupe des textes juridiques relatifs au droit de l'environnement. Les articles qu'il contient sont scindés en deux parties : la partie législative (articles précédés de la lettre **L.**) ; la partie réglementaire (articles précédés de la lettre **R ou D.**). Les articles sont structurés en

7 livres et peuvent être facilement consultés sur le site Internet www.legifrance.gouv.fr

Table des matières (susceptible d'évoluer)

Livre Ier : Dispositions communes

Le premier livre du Code de l'environnement dispose des principes généraux du droit de l'environnement (principes de précaution, pollueur-payeur, etc.) et des objectifs de la nation à ce titre. Il instaure également le principe de l'information et la participation du public aux décisions et projets susceptibles d'impacter l'environnement, par l'institution de procédures d'évaluations environnementales et de consultations locales. Sont mises en place des institutions dont l'objet est de protéger l'environnement et de garantir le respect des principes posés, ainsi que de l'information et la participation du public (OFB, Conseil national de la transition écologique, etc.). Enfin, est visée la police administrative de l'environnement, dont la mission est l'organisation des procédures environnementales et la prévention des dommages causés à l'environnement.

Livre II : Milieux physiques

Les milieux physiques spécifiquement visés par le Code de l'environnement sont le milieu aquatique, l'air et l'atmosphère.

Le milieu aquatique est surveillé par de nombreuses institutions contrôlant sa qualité et son utilisation. Sont ainsi encadrés par ce Livre II les IOTA (installations, ouvrages, travaux et aménagements sur l'eau) qui disposent d'un régime comparable à celui des ICPE, ainsi que les droits sur les cours d'eau non domaniaux, et de sanctions pénales en cas de non-respect de la réglementation sur l'eau.

La gestion du milieu de l'air porte davantage sur la pollution atmosphérique due aux activités humaines, et sa protection.

Livre III : Espaces naturels

Les espaces naturels sont protégés et aménagés au regard de leurs spécificités: le littoral est protégé tout en permettant les activités maritimes, les parcs et réserves terrestres ou marins sont des hauts lieux de protection de la nature et la biodiversité mais ont également vocation à accueillir le public, les sites inscrits et classés allient également la protection du patrimoine et l'accueil du public, les paysages sont par nature évolutifs mais sont un volet important de tout projet immobilier. Ce titre évoque également les concepts de trame verte et bleu.

Livre IV : Patrimoine naturel

La gestion du patrimoine naturel français implique la préservation et la surveillance de ce patrimoine, qu'il soit végétal ou animal, pas le biais notamment de sites de protection comme Natura 2000. Son second volet nécessite la gestion de la ressource animale par l'encadrement de la chasse et de la pêche, qui doit permettre de réguler les populations sauvages, mais garantir en tout point leur sauvegarde voire leur protection intégrale.

Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances

Le Livre V encadre la majeure partie des activités humaines susceptibles de porter atteinte à l'environnement. Les ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) sont classées selon leur dangerosité et doivent répondre à des prescriptions de l'administration encadrant leur mise en service, fonctionnement, et arrêt définitif. Les produits chimiques dangereux doivent être approuvés pour pouvoir être mis sur le marché ainsi qu'utilisés. Les déchets sont également classés selon leur niveau de dangerosité et doivent être gérés conformément à la réglementation leur étant applicable. Enfin, la sécurité nucléaire et les INB (installations nucléaires de base) font l'objet d'un titre dédié, qui prévoit des institutions de contrôle (ASN), les procédures applicables (création, mise en service, mise à l'arrêt...). Ce titre évoque également les problématiques liées aux ESPN et au transport de substances radioactives.

D'autres aspects des activités humaines sont visés au titre de ce livre, à l'instar de la prévention des nuisances sonores ou des risques naturels (sismiques, volcaniques, etc.).

Livres VI et VII concernent respectivement les territoires d'outre-mer et l'antarctique

Ce livre vise l'application spécifique des dispositions du Code de l'environnement à la Nouvelle-Calédonie, la Polynésie française, Wallis-et-Futuna, dans les Terres Australes et Antarctiques française, Mayotte et Saint Martin.

Annexe 5.4

Institutions de l'Union européenne

L'Union européenne (UE) a pour institutions le Conseil européen, la Commission, le Parlement, le Conseil de l'UE et la Cour de Justice.

- Le **Conseil européen** regroupe les chefs d'États ou de Gouvernement des États membres. Il fixe les grandes orientations et donne les impulsions sur les sujets les plus importants mais n'exerce pas de fonction législative. Chaque État membre préside à son tour le Conseil européen pour une période de six mois.
- La **Commission européenne** est l'institution politiquement indépendante des gouvernements nationaux, qui représente et défend les intérêts de l'UE dans son ensemble. Elle est composée de 27 membres[1] nommés par les gouvernements. Elle élabore les propositions de nouvelles directives européennes, qu'elle soumet au Parlement européen et au Conseil de l'UE. C'est également le bras exécutif de l'Union. En d'autres termes, elle est responsable de l'exécution des décisions du Parlement et du Conseil.
- Le **Parlement européen** est composé de représentants des peuples élus au suffrage universel direct tous les 5 ans, et dispose en général d'une compétence législative partagée avec le Conseil de l'UE (procédure de codécision). Dans quelques domaines, par exemple l'agriculture, les politiques économiques, les visas et l'immigration, le Conseil est seul à décider, mais a l'obligation de consulter le Parlement. En outre, l'avis conforme du Parlement est requis pour une série de décisions importantes.
- Le **Conseil de l'UE** est composé des ministres issus de chaque gouvernement, et représente les États membres de l'UE. Le Conseil de l'UE est le principal organe de décision de l'UE et a pour missions entre autres, d'adopter les législations européennes et de conclure les accords internationaux. Il est aidé dans son travail par le Comité des représentants permanents des États membres (COREPER).
- La **Cour de Justice de l'Union européenne** (CJUE) est chargée d'assurer le respect du droit dans l'interprétation et l'application des Traités. Elle est composée de juges nommés d'un commun accord par les États membres.

1. Suite au retrait du Royaume-Uni de l'UE.

© EDF – Marc Didier/PWP

RÔLE
DE L'ADMINISTRATION

6

1. INTRODUCTION

2. MISSIONS DE L'AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

2.1 Réglementer

2.2 Contrôler/Inspecter

2.3 Informer

3. ORGANISATION DE L'ADMINISTRATION FRANÇAISE DANS LE DOMAINE DE L'EAU

3.1 Au niveau du bassin hydrographique

– Le préfet coordonnateur de bassin
– Le Directeur de la DREAL, délégué de bassin
– Les agences de l'eau
– Le comité de bassin
– Les établissements publics territoriaux de bassin (EPTB)

3.2 Au niveau régional (services déconcentrés sous l'autorité du préfet de région)

– Les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)

3.3 Au niveau départemental et local

– Le préfet de département
– La direction départementale des territoires (DDT)
– Le conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CoDERST)
– Le maire

4. LES REDEVANCES RELATIVES AUX PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET AUX REJETS

4.1 Redevances des agences de l'eau

Redevance pour prélèvement sur la ressource en eau
Redevance pour pollution de l'eau d'origine non domestique

4.2 Redevances de prise et de rejet d'eau dans le domaine public fluvial confié à Voies navigables de France

4.3 Redevances pour occupation du domaine public fluvial et maritime

4.4 Redevances pour service rendu pour le soutien d'étiage

5. RÔLE DES ORGANISMES EUROPÉENS ET INTERNATIONAUX

– Traité EURATOM
– EURELECTRIC
– Convention OSPAR (Oslo-Paris)
– Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)

Pour en savoir plus

© EDF-Alexis Morin

1. Introduction

S'agissant de l'environnement, les compétences de l'administration sont partagées suivant trois domaines (*cf.* figure 1) :

- les activités réalisées **dans le périmètre de l'INB**[1] et nécessaires à l'exploitation de l'installation (couvertes par le Code de l'environnement aux articles L. 593-3 et R. 593-1 et suivants du Code de l'environnement). Dans ce cadre, les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents des centrales nucléaires sont autorisés par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et contrôlés par elle. Les activités dans le périmètre de l'INB mais non nécessaires à son exploitation relèvent de la réglementation relative aux ICPE ou IOTA (Code de l'environnement : articles L. et R. 181-1 ; articles L. et R. 214-1 ; et articles L. et R. 511-9 et suivants) mais restent contrôlées par l'ASN ;
- les activités et équipements situés **à l'extérieur du périmètre de l'INB** relèvent du droit commun (réglementation ICPE, sur l'eau, sur l'air...) et sont sous l'autorité du préfet de région et de la DREAL ;
- **la protection du milieu aquatique** est contrôlée par les services déconcentrés de l'État, chargés de la police de l'eau (DDT principalement).
- Surveillance par les instances internationales et européennes

Les centrales nucléaires font l'objet d'une surveillance de la Commission européenne au titre du Traité EURATOM (article 35). Sur le plan international, la France doit rendre compte, au secrétariat de la Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, dite « OSPAR », des rejets radioactifs effectués par les centrales nucléaires concernées et de leur évolution. Par ailleurs, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) réalise périodiquement des missions de surveillance (OSART).

Centrale nucléaire de St-Alban sur le Rhône
(2 × 1300 MWe – 180 ha)
© EDF – Frederick Jacob

Fig. 1 ▶ Compétence des administrations concernées par les centrales nucléaires dans le domaine de l'environnement.

1 Le périmètre de l'INB est défini dans le décret d'autorisation de création (DAC).

2. Missions de l'Autorité de sûreté nucléaire

L'ASN est une autorité administrative indépendante (articles L. et R. 592-1 et suivants du Code de l'environnement) depuis 2006. En 2018, elle comptait 516 agents.

Autorité de sûreté nucléaire (ASN)

L'ASN est dirigée par un collège de cinq commissaires (dont le président) qui définit la politique générale de l'ASN en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection.
Les services de l'ASN, dirigés par le directeur général, sont notamment :

- au niveau central, les directions techniques dont une chargée spécialement des centrales nucléaires et une autre de l'environnement et des situations d'urgence.
- au niveau territorial, les onze divisions territoriales. Les responsables des services forment, avec les membres du comité exécutif, le comité de direction de l'ASN.

Elle succède aux organismes d'état chargés de la sûreté nucléaire des INB, à savoir le Service central de la sûreté des installations nucléaires (SCSIN) (années 1970–1980), la Direction de la sûreté nucléaire (DSIN) (années 90) et la Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR 2002–2006).

2.1 RÉGLEMENTER

L'ASN contribue à l'**élaboration de la réglementation**, en donnant son avis au Gouvernement sur les projets de décret et d'arrêté ministériel ou en prenant des décisions réglementaires à caractère technique.

On peut citer notamment l'arrêté INB modifié du 7 février 2012 ou les décisions de l'ASN qui en découlent : la décision environnement modifiée du 16 juillet 2013 ou encore la décision Modalités Parc du 6 avril 2017 (*cf.* chapitre 5 p. 83).

L'ASN instruit également l'ensemble des demandes d'autorisation individuelles des installations nucléaires. Les activités relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents font ainsi l'objet d'autorisations afin de mieux intégrer les questions d'environnement, de sûreté nucléaire et de radioprotection, et ceci dès la phase de conception de la centrale.

Après examen de la demande, l'ASN délivre sous la forme de « décisions » (appelées décision modalités) les prescriptions techniques sur les conditions de prélèvement d'eau, la limitation et l'optimisation des rejets, la surveillance de l'environnement et l'information du public. S'agissant des valeurs limites, les décisions sont soumises à l'homologation du ministre chargé de la sûreté nucléaire (encore appelés décision limites).

Au stade de la demande d'autorisation, l'ASN veille à ce que l'exploitant présente clairement dans son dossier les raisons objectives qui l'ont conduit à choisir entre plusieurs options, notamment entre celle de confiner les substances dans les déchets ou celle de les rejeter dans l'environnement. Dans cet esprit, l'ASN fixe des valeurs de rejet à ne pas dépasser (*principe de limitation*) et incite l'exploitant à optimiser ces procédés de gestion en utilisant les « meilleures techniques disponibles à coût économique acceptable » afin de garantir un impact sur la santé et sur l'environnement aussi bas que raisonnablement possible (*principe d'optimisation*).

Pour ce qui est de l'optimisation, l'ASN considère qu'elle doit être mise en œuvre pendant toute la durée de l'exploitation d'une centrale nucléaire. L'exploitant doit démontrer tous les 10 ans qu'il a optimisé ses rejets par l'utilisation des « meilleures techniques disponibles dans des conditions techniques et économiquement acceptables » ou la mise en œuvre de « bonnes pratiques », au même titre qu'il doit apporter la preuve que le niveau de sûreté de son installation est le meilleur.

Par ailleurs, la réglementation impose à l'exploitant d'établir, en début d'année, une prévision chiffrée des prélèvements et consommations d'eau et des rejets d'effluents auxquels il compte procéder. Cette prévision doit être communiquée à l'ASN et la CLI au plus tard le 31 janvier de chaque année[1].

2.2 CONTRÔLER/INSPECTER

Le contrôle des activités nucléaires exercé par l'ASN recouvre plusieurs aspects : examen et analyse de dossiers soumis par les exploitants, réunion technique, inspection... **L'inspection représente l'activité de contrôle essentielle de l'ASN**. L'ASN vérifie le respect des règles et des prescriptions auxquelles sont soumises les installations ou activités entrant dans son champ de compétences.

Le contrôle exercé par l'ASN sur les rejets porte principalement sur :

- la conformité, par rapport aux prescriptions réglementaires, des matériels et des procédures mises en

1. *Cf.* arrêté INB modifié du 7 février 2012 article 4.4.3.I.

place par l'exploitant pour effectuer les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents (efficacité des moyens de traitement, étanchéité des capacités de stockage, bon fonctionnement des appareils de mesure...) ;
- la cohérence des résultats des mesures réalisés par l'exploitant (auto-surveillance) que celui-ci consigne dans les registres réglementaires mensuels ;
- la qualité des analyses pratiquées par l'exploitant au travers des *contrôles dits croisés* confiés à des laboratoires extérieurs agréés (*cf*. encart) ;
- la chaîne de prélèvement et d'analyse des échantillons à l'occasion *d'inspections dites avec prélèvements* réalisées de façon inopinée ou non à raison d'une inspection par an et par centrale nucléaire (*cf*. encart).

Chaque inspection donne lieu à la rédaction d'une « lettre de suite » envoyée à l'exploitant par l'ASN dans un délai de deux mois et publiée sous quatre mois sur son site internet. Ce courrier constitue la suite obligatoire de toute inspection réalisée par l'ASN. Cette lettre, établie par les agents de contrôle, récapitule les constats établis lors de l'inspection et formule les demandes d'actions correctives, les demandes d'information et les observations qu'elle adresse à l'exploitant et qui doit apporter une réponse (article R. 596-5 du Code de l'environnement).

Contrôles croisés et inspections avec prélèvements

Contrôles croisés

L'Autorité de sûreté nucléaire fait réaliser de façon systématique, pour son propre compte, des contrôles par un organisme indépendant de l'exploitant. Ces contrôles dits croisés portent sur des prélèvements effectués en double sur les rejets radioactifs gazeux (à la cheminée) et sur les rejets radioactifs liquides (échantillons supplémentaires prélevés dans les réservoirs T avant rejet). Le financement des coûts induits par ces contrôles croisés est assuré par l'exploitant.

Toute anomalie dans l'exécution du programme de contrôle ou dans les résultats d'analyse est transmise par le laboratoire indépendant à l'ASN et à l'exploitant.

Pour les rejets radioactifs gazeux, les dispositifs redondants de prélèvement des halogènes (cartouche à charbon actif) et des aérosols (filtre) sont retirés 7 fois par an sur chacune des cheminées afin de procéder aux analyses des iodes et des produits de fission (PF) ou d'activation (PA). Le carbone 14 est mesuré 4 fois par an sur chacune des cheminées à partir des prélèvements par tamis moléculaires.

Pour les rejets les radioactifs liquides, les contrôles sont réalisés sur :
- un échantillon aliquote représentatif des rejets effectués dans le mois, pour la mesure du tritium et du carbone 14 ;
- un échantillon prélevé une fois par an en vue d'une analyse approfondie de la composition de l'effluent (alpha globale, bêta globale, spectrométrie gamma, fer 55, nickel 63 et strontium 90).

Inspections avec prélèvements

L'organisation des inspections fait l'objet d'un protocole tripartite signé entre l'ASN, le laboratoire extérieur chargé des prélèvements et des analyses et l'exploitant. Ce protocole définit notamment le lieu du prélèvement, le nombre de prélèvements à effectuer par point d'échantillonnage, le type de flaconnage, les analyses à réaliser.

Afin de permettre à ces inspections de se tenir un jour où des rejets ont lieu, l'exploitant informe périodiquement l'ASN du programme prévisionnel des rejets liquides. Le programme, établi chaque début de semaine, porte sur les rejets que l'exploitant pense pouvoir réaliser la semaine suivante. C'est sur la base de cette planification que l'ASN décide du jour de l'inspection inopinée.

L'inspection commence par la prise en charge des inspecteurs de l'ASN, accompagnés par une ou deux personnes de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et du personnel du laboratoire indépendant chargé d'effectuer les prélèvements et les analyses contradictoires.

Après avoir pris connaissance des rejets en cours ou prévus pour la journée, l'inspecteur de l'ASN indique à l'exploitant la nature et le nombre des prélèvements qu'il souhaite voir effectuer.

Trois échantillons sont systématiquement collectés par point de prélèvement :
- le premier échantillon est remis au laboratoire indépendant à des fins d'analyses ;
- le deuxième est confié au laboratoire de la centrale ;
- le troisième est conservé par le laboratoire indépendant pour contre-expertise éventuelle. Sur cet échantillon, des scellés sont placés en présence de l'inspecteur et de l'exploitant.

Les inspecteurs vérifient à cette occasion le bon respect des dispositions des autorisations et la prise en compte des observations formulées lors de l'inspection précédente. L'organisation des laboratoires fait aussi l'objet de questions sur leurs pratiques et sur leurs résultats. Pour compléter cette inspection, une visite des installations est effectuée.

Les observations et les éventuels écarts constatés lors de l'inspection sont formalisés par l'ASN dans un courrier adressé à la centrale environ un mois après l'inspection. À réception des résultats d'analyses du laboratoire indépendant, l'exploitant compare ses valeurs aux résultats du laboratoire indépendant. En cas d'écart, l'exploitant peut demander à l'ASN l'analyse de l'échantillon « scellé » pour contre-expertise.

Indépendamment de l'édiction de la lettre de suite, un « **rapport en manquement** » (ou rapport contradictoire) peut être établi par le ou les agents en charge du contrôle. Il s'agit d'un écrit formel adressé à l'exploitant à la suite d'un contrôle faisant état des faits contraires aux prescriptions applicables par lequel ce dernier est invité à s'expliquer sur les faits constatés. Il constitue le contradictoire légal indispensable à la procédure de mise en demeure (articles L. 171-6 et R. 596-6 du Code de l'environnement).

Postérieurement à la réponse adressée par l'exploitant au rapport contradictoire, **une mise en demeure** peut être décidée par l'ASN. Il s'agit d'une injonction adressée par l'ASN à EDF pour ordonner de prendre une mesure obligatoire ou de régulariser sa situation. Seul le collège de l'ASN est compétent pour adresser des mises en demeure sur une INB. Seul le non-respect d'une mise en demeure peut permettre à l'ASN de sanctionner administrativement EDF.

En effet, l'ASN peut **sanctionner administrativement** l'exploitant en cas de manquement et non-respect de la mise en demeure, ces **sanctions** sont mises en œuvre par une commission des sanctions indépendante du Collège afin de respecter le principe de séparation des fonctions d'instruction et de jugement (*cf.* encart). L'ASN peut participer à **sanctionner pénalement** EDF en dressant des **Procès-verbaux d'infraction** lors des inspections (les PV sont adressés dans les cinq jours qui suivent leur clôture au procureur de la République. Sauf instruction contraire du procureur de la République, une copie du procès-verbal de constatation de l'infraction est également transmise au contrevenant dans un délai de cinq jours au moins et de dix jours au plus suivant la transmission du PV au procureur de la République)[1].

Les sanctions de l'ASN

Créée avec l'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016 et le décret n° 2019-190 du 14 mars 2019) afin de renforcer l'efficacité du contrôle en matière de sûreté nucléaire, la Commission des sanctions de l'ASN a pour fonction unique de prononcer des amendes administratives à la suite du non-respect d'une mise en demeure prononcée par le Collège de l'ASN. Le montant maximal est de 10 millions d'euros et les astreintes journalières sont fixées à 15 000 euros maximum (articles L. 592-41 et R. 596-6 du Code de l'environnement).
Les autres sanctions et mesures administratives (suspendre le fonctionnement d'installations, la réalisation de travaux ou l'exécution forcée des activités jusqu'à l'exécution complète des conditions imposées) restent du ressort du Collège de l'ASN (articles L. et R. 596-6 du Code de l'environnement).

2.3 INFORMER

L'ASN informe le public et les parties prenantes (associations de protection de l'environnement, CLI, médias...) de son activité et de l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France.

L'ASN veille à ce que l'exploitant fournisse tant à l'administration qu'au public des informations intelligibles sur l'impact des prélèvements d'eau et les rejets d'effluents. Ceci concerne notamment les informations présentées à la création de la centrale lors de l'enquête publique (DAC) ou lors de la procédure de modification des autorisations de prélèvements d'eau et de rejets. Il s'agit également des données communiquées périodiquement par l'exploitant à l'administration et aux CLI sur le fonctionnement de son installation (*cf.* chapitre 4).

Commissions locales d'information (CLI)

En France, chaque installation nucléaire est pourvue d'une commission locale d'information (CLI). Le Code de l'environnement (articles R. 125-50 et suivants) définit le cadre juridique des CLI.

Les CLI ont une double mission : informer la population sur les activités nucléaires et assurer un suivi permanent de l'impact des installations nucléaires. Cette information porte sur la sûreté de l'exploitation, le suivi de l'impact environnemental des centrales nucléaires, la sécurité des populations dans le voisinage de celle-ci et la radioprotection des personnes travaillant sur le site. L'information peut également porter, à titre occasionnel, sur des sujets plus généraux relatifs au domaine de la production nucléaire d'électricité et du transport de matières nucléaires.

Chaque CLI est composée de 4 collèges (article R. 125-57 du Code de l'environnement) :

- les élus ;
- les représentants d'associations de protection de l'environnement ;
- les représentants des syndicats de salariés du nucléaire ;
- les experts : scientifiques, médecins, chefs d'entreprises, universitaires…

Les commissions locales d'information (CLI) auprès des centrales nucléaires, implantées dans un département frontalier d'un État étranger devront comprendre des membres issus de ce dernier. Cela concerne les centrales de Gravelines (Nord), Chooz (Ardennes) et Cattenom (Moselle).

1. Articles L. 172-16 et R. 172-9 du Code de l'environnement.

3. Organisation de l'administration française dans le domaine de l'eau

Le **Comité national de l'eau** (CNE), instauré en 1964, constitue l'instance nationale de consultation sur la politique de l'eau. En effet, ce comité est consulté sur les grandes orientations de la politique de l'eau, sur les projets d'aménagement et de répartition des eaux ayant un caractère national ou régional, ainsi que sur l'élaboration de la législation ou de la réglementation en matière d'eau. Il comprend 161 membres, dont des représentants des usagers, des collectivités territoriales, de l'État et de ses établissements publics. EDF y siège au titre de l'Union Française de l'Électricité (UFE).

3.1 AU NIVEAU DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE

La directive-cadre européenne sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 modifiée renforce la gestion de l'eau par bassins hydrographiques qui existe en France depuis 1964 (*cf.* chapitre 5). Elle fixe notamment un objectif de bon état des eaux avec obligation de résultats, sauf impossibilité technique ou coût démesuré, et prévoit pour cela la mise en œuvre de plans de gestion et de programmes de mesures.

En France, ce sont les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) qui constituent les plans de gestion et qui ont été révisés en conséquence. Par ailleurs, un programme de mesures et un programme de surveillance de l'état des eaux vont être élaborés.

Fig. 2 ▸ Carte des six grands bassins hydrographiques français.

Ce changement est accompagné par une réforme de l'organisation de l'administration française dans le domaine de l'eau. Celle-ci confère un pouvoir renforcé au préfet coordonnateur de bassin et harmonise la politique de l'eau au niveau régional et au niveau départemental.

La France métropolitaine est divisée en six « bassins hydrographiques » (*cf.* figure 2). Pour chaque bassin, est créée une agence de l'eau.

Le préfet coordonnateur de bassin

Le préfet coordonnateur de bassin (préfet de région dans laquelle le comité de bassin a son siège) anime et coordonne la politique de l'État en matière de police et de gestion des ressources en eau afin de réaliser l'unité et la cohérence des actions déconcentrées de l'État dans les régions et départements concernés. Il approuve le SDAGE préalablement adopté par le comité de bassin.

Pour assurer ses missions, le préfet coordonnateur de bassin s'appuie sur la DREAL de bassin et l'agence de l'eau.

Le Directeur de la DREAL, délégué de bassin

Dans chacun des six bassins hydrographiques, le **directeur régional de l'environnement** placé auprès du préfet coordonnateur de bassin assure, sous son autorité, la fonction de délégué de bassin. Il assiste le préfet coordonnateur de bassin dans l'exercice de ses missions, anime et coordonne l'action des services déconcentrés de l'État intervenant dans le domaine de l'eau et apporte conseil et assistance technique aux organismes de bassin.

Les agences de l'eau

Les **six agences de l'eau** sont des établissements publics à caractère administratif du ministère de la transition écologique. Leur conseil d'administration est composé d'un président nommé par décret pour trois ans, de représentants de collectivités territoriales, de représentants de l'État et de ses établissements publics, ainsi que des représentants des usagers de l'eau. Leurs missions sont principalement de :

- faciliter les actions visant à préserver et améliorer la ressource en eau et à lutter contre les pollutions ;

- établir et percevoir des redevances pour les prélèvements d'eau et pour la détérioration de la qualité des milieux ;
- attribuer des subventions ou des avances remboursables (aux collectivités locales, aux industriels et aux agriculteurs) pour l'exécution de travaux d'intérêt commun ;
- informer le public sur l'eau.

Le comité de bassin

Le comité de bassin regroupe les différents acteurs, publics ou privés, agissant dans le domaine de l'eau. Le comité est composé de représentants des régions et des collectivités locales, de représentants des usagers et de personnes compétentes, ainsi que de représentants désignés par l'État. À l'initiative du préfet coordonnateur, il définit de façon concertée les grands axes de la politique de gestion de la ressource en eau et de protection des milieux naturels aquatiques à l'échelle du bassin.

Le comité de bassin est consulté par le président du conseil d'administration de l'agence de l'eau sur le taux des redevances susceptibles d'être perçues par l'agence. Chargé d'élaborer le SDAGE, avant qu'il ne soit soumis à l'approbation de l'État, le comité de bassin en suit l'exécution et donne son avis sur les périmètres du SAGE (schéma d'aménagement et de gestion de l'eau).

En tant que représentant des usagers de l'eau, EDF est présent dans les six comités de bassin, le délégué de bassin EDF y siège au titre de l'Union française de l'électricité (UFE)[1].

Les établissements publics territoriaux de bassin (EPTB)

Les EPTB ont été créés (article L. 213-12 du Code de l'environnement) pour faciliter, à l'échelle d'un bassin ou d'un sous-bassin hydrographique, la prévention des inondations et la gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que la préservation et la gestion des zones humides. Le préfet coordonnateur de bassin délimite le périmètre d'intervention de cet établissement public. Les EPTB sont regroupés au sein de l'Association française des établissements publics territoriaux de bassin (AFEPTB).

L'EPTB Seine Grands Lacs agit à l'échelle du bassin versant amont de la Seine, facilite et coordonne l'action publique des collectivités territoriales sur l'ensemble du territoire à travers ses missions :

- gérer le risque lié aux inondations dans le bassin de la Seine en écrêtant les crues ;
- soutenir le débit des rivières pendant la saison sèche ;
- agir pour la réduction de la vulnérabilité aux inondations ;
- assurer un rôle de conseil, d'animation et de coordination auprès des collectivités du bassin ;
- préserver l'environnement.

Le CNPE de Nogent-sur-Seine est un des représentants des usagers au sein de l'EPTB Seine Grands Lacs.

3.2 AU NIVEAU RÉGIONAL (SERVICES DÉCONCENTRÉS[2] SOUS L'AUTORITÉ DU PRÉFET DE RÉGION)

Les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)

Les DREAL sont les services régionaux du ministère de la transition écologique. Sous l'autorité du préfet de région et des préfets de départements, elles participent notamment à l'élaboration et la mise en œuvre de la politique régionale de l'eau. Elles s'organisent pour répondre aux enjeux de la directive-cadre européenne sur l'eau en se coordonnant avec les agences de l'eau et les directeurs régionaux de l'environnement délégués de bassin.

3.3 AU NIVEAU DÉPARTEMENTAL ET LOCAL

Le préfet de département

Le préfet anime et coordonne la politique de l'État en matière de police et de gestion des ressources en eau. Le préfet de département est notamment chargé de désigner les services uniques de police et de gestion des eaux superficielles et souterraines. Il en est de même pour les services chargés de la police de la pêche en eau douce. Pour les cas particuliers du service chargé de la police des eaux marines et du service chargé de la police sur certains grands axes du domaine public fluvial, leur désignation ne relève pas du préfet mais des ministres concernés.

La direction départementale des territoires (DDT)

La DDT intervient dans plusieurs domaines notamment :

- la lutte contre la pollution des milieux aquatiques (contrôler l'assainissement et les pollutions diffuses, assurer l'équilibre entre les besoins et les ressources en eau pour tous les usages, réduire les risques d'inondation et sécuriser les populations) ;
- la préservation de la biodiversité par la protection des espèces.

La DDT exerce aussi des actions de contrôles pour veiller à la bonne application des règles dans le domaine de l'eau et de la nature.

Dans les départements du littoral, le service prend le nom de direction départementale des territoires et de la mer (DDTM).

1 L'Union française de l'électricité (UFE) est l'association professionnelle du secteur de l'électricité. Elle représente les employeurs du secteur au sein de la branche des industries électriques et gazières.

2 Le ministère en charge de l'environnement s'appuie sur des services et des directions présents dans les régions et les départements. Leurs appellations peuvent évoluer au gré des réformes.

Le conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CoDERST)

Les articles R. 1416-1 et suivants du Code de la santé publique fixent le champ de compétence du conseil départemental. Il concourt à l'élaboration, à la mise en œuvre et au suivi, dans le département, des politiques publiques dans les domaines de la protection de l'environnement, de la gestion durable des ressources naturelles et de la prévention des risques sanitaires et technologiques.

Il est également chargé d'émettre un avis sur les projets d'actes réglementaires en matière d'ICPE et d'INB, de déchets, de protection de la qualité de l'air et de l'atmosphère, de police de l'eau et des milieux aquatiques, de polices administratives spéciales liées à l'eau, d'eaux destinées à la consommation humaine et de baignades, de risques sanitaires.

Le maire

Le maire peut prendre toutes les mesures nécessaires à la police des eaux, et dans le cas de dangers graves, il peut prescrire l'exécution des mesures de sûreté exigées par les circonstances, à charge d'en informer le préfet de département.

Missions de police de l'eau

La police de l'eau a pour objectifs de :

- lutter contre la pollution des eaux des cours d'eau, lacs, plans d'eau et de la mer, ainsi que des eaux souterraines, en particulier celles destinées à l'alimentation humaine ;
- contrôler la construction d'ouvrages faisant obstacle à l'écoulement des eaux et de prévenir les inondations ;
- protéger les milieux aquatiques et les zones humides ;
- concilier les différents usages de l'eau.

Les acteurs des missions de police de l'eau sont :

- le service en charge de la police de l'eau et des milieux aquatiques de la DDT ;
- l'OFB (Office français de la biodiversité[1]) ;
- la gendarmerie et la police ;
- les maires.

La direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) assure la coordination de la police de l'eau au niveau régional.

L'exercice de la police de l'eau contient également un volet répressif. En dehors du pouvoir de police administrative exercé par les agents des services de police, énumérés dans les textes réglementaires (arrêté, décisions de l'ASN), un pouvoir de police judiciaire a pour objet la recherche et la constatation d'éléments d'infractions débouchant le cas échéant sur des poursuites pénales. Pour ce faire, les agents de l'OFB et les agents de police judiciaire (gendarmerie notamment) sont compétents pour constater les infractions ou les pollutions et dresser un procès-verbal.

1. L'OFB au 1er janvier 2020 a repris les missions de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS).

4. Les redevances relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets

4.1 REDEVANCES DES AGENCES DE L'EAU

L'agence de l'eau a pour missions d'améliorer la qualité de l'eau, de favoriser une gestion plus rationnelle de cette ressource et de préserver les milieux aquatiques. Pour cela, elle perçoit des redevances auprès de tous les utilisateurs d'eau, en application du principe de prévention et du principe de réparation des dommages à l'environnement.

Chaque centrale nucléaire doit envoyer chaque année sa déclaration à son agence de l'eau avant le 31 mars, au titre de l'année N – 1.

Redevance pour prélèvement sur la ressource en eau

Cette redevance est payée par chaque centrale nucléaire en fonction du volume d'eau prélevée sur une année civile (assiette) et du taux fixé par chaque agence de l'eau sur la base des taux plafonds prévus par la loi (article L. 213-10-9 du Code de l'environnement).

Redevance = assiette (m^3) × taux (€/m^3)

Ce volume est mesuré par compteur d'eau ou à défaut estimé forfaitairement. Pour les **prélèvements en eau de surface**, cette redevance distingue deux cas de figure :

- celui des prélèvements en circuit ouvert où l'eau prélevée est restituée en quasi-totalité : taux plafond = 0,5 c€/m^3 ;
- celui des prélèvements en circuit dit « fermé » où une partie de l'eau prélevée est évaporée et donc non restituée au cours d'eau : taux plafond = 5,4 c€/m^3.

Les **prélèvements effectués en mer** sont exonérés de la redevance.

La redevance concerne aussi les **prélèvements d'eau en nappe souterraine** ; les taux fixés par les agences de l'eau dépendent des zones de prélèvement (zone de base ou zone renforcée).

Redevance pour pollution de l'eau d'origine non domestique

La redevance pour pollution de l'eau d'origine non domestique est à payer lorsque le rejet d'au moins un élément constitutif de la pollution est supérieur au seuil défini par l'article L. 213-10-2 du Code de l'environnement. La redevance est déterminée sur la base du flux net rejeté au milieu naturel (assiette) pour chaque élément constitutif de la pollution (MES, DCO, DBO_5, NO, NR, P, métaux, matières inhibitrices, substances dangereuses pour l'environnement, AOX, chaleur).

Pour ce qui concerne les rejets de chaleur des centrales nucléaires, la réglementation fixe des taux différents selon que le rejet est réalisé en mer ou en rivière :

- chaleur rejetée en mer : 8,5 €/Mthermie[1] ;
- chaleur rejetée en rivière (d'avril à décembre) : 85 €/Mthermie.

La loi encadre les règles d'assiette et plafonne les taux de redevances, mais les agences de l'eau fixent chacune pour leur bassin les taux applicables.

Les redevances perçues par les agences de l'eau (*cf.* tableau I) permettent de financer les actions de lutte contre la pollution, de protection des ressources en eau et des milieux naturels aquatiques. Les usagers de l'eau peuvent bénéficier d'aides financières selon les travaux qu'ils réalisent.

En 2017, les redevances prélèvements représentent environ 39 M€ pour le parc nucléaire et 4,3 M€ pour les redevances pour pollution d'origine non domestique, dont 3,5 M€ pour le seul paramètre lié à la « chaleur ».

Les agences de l'eau peuvent être amenées à contrôler les déclarations et les documents produits pour l'établissement des redevances ainsi que les installations, ouvrages ou activités ayant un impact sur celles-ci et les appareils susceptibles de fournir des informations utiles pour leur détermination (article L. 213-11-1 du Code de l'environnement).

1. 1 thermie = 4,18 MJ.

Le suivi régulier des rejets (SRR)

Le suivi régulier des rejets est devenu en 2008 le régime fiscal de référence pour le calcul de la redevance pour pollution de l'eau d'origine non domestique. Conformément à l'article L. 213-10-2 du Code de l'environnement, sa mise en œuvre est obligatoire pour les industriels dépassant certains seuils de pollution appelés « seuil de suivi régulier des rejets » dont les valeurs sont définies à l'article R. 213-48-6 du Code de l'environnement.

La mise en œuvre du SRR par les industriels requiert la réalisation de mesures physicochimiques au rejet des installations industrielles. Ceci permet, en principe, des redevances plus justes sur la base des pollutions réellement émises par les industriels. Les mesures doivent être réalisées sous couvert d'un agrément délivré par les agences de l'eau.

En cas d'absence de dépassement des seuils de pollution SRR, les industriels sont à la campagne de mesures 24 h ou au forfait.

En fonction de leurs rejets, les centrales ont comme régime fiscal, soit la campagne de mesures, soit le forfait, soit le SRR.

Tableau I Redevances perçues par l'agence de l'eau Loire-Bretagne – 11e programme 2019–2024 (en millions d'euros).

REDEVANCE SUR LES PRÉLÈVEMENTS D'EAU	399,1
Prélèvement pour l'eau potable	*197,4*
Prélèvements refroidissement industriel	*15*
Prélèvements usage économique	*139,3*
Irrigation	*42,6*
Prélèvement pour l'hydroélectricité	*4,8*
REDEVANCE SUR LA POLLUTION	1710,9
Pollution domestique et réseaux collecte domestique	*1 405,8*
Pollution industrielle et réseaux collecte industrielle	*70,9*
Pollutions diffuses	*217,1*
Pollution due à l'élevage	*17,1*
TOTAL DES REDEVANCES : PRÉLÈVEMENT + POLLUTION	2110

4.2 REDEVANCES DE PRISE ET DE REJET D'EAU DANS LE DOMAINE PUBLIC FLUVIAL CONFIÉ À VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

La loi de finances pour 1991 avait confié la gestion d'une partie du domaine public fluvial à Voies navigables de France (VNF). Pour assurer sa mission, VNF percevait à son profit une taxe sur les titulaires d'ouvrages de prise d'eau, rejet d'eau ou autres ouvrages hydrauliques destinés à prélever ou à évacuer des volumes d'eau sur le domaine public fluvial, appelée aussi « taxe VNF ». La loi de finances pour 2019 a remplacé la taxe VNF par un régime de redevances domaniales de droit commun. En effet, le décret[1] du 13 décembre 2019 établit la nouvelle redevance pour prise et rejet d'eau qui remplace la taxe hydraulique à compter de 2020.

La redevance prévue par l'article R. 4316-6 du Code des transports repose (comme auparavant sur la taxe VNF) :

- sur une part foncière fondée sur l'emprise au sol des ouvrages implantés sur le domaine fluvial, et ;
- sur une part assise sur le volume maximal prélevable ou rejetable annuellement par l'ouvrage.

Les centrales concernées par cette redevance sont Bugey, Saint-Alban, Cruas, Tricastin, Cattenom, Chooz et Nogent.

4.3 REDEVANCES POUR OCCUPATION DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL ET MARITIME

Toute occupation ou utilisation du domaine public (notamment maritime ou fluvial) donne lieu au paiement d'une redevance, sauf dérogation particulière (article L 2125-1 du Code général de la propriété des personnes publiques – CGPPP). Il appartient à l'autorité chargée de la gestion du domaine public en cause, de fixer les modalités de la redevance d'usage du domaine public. Les centrales nucléaires d'EDF sont concernées par cette disposition, sauf les centrales qui acquittent par ailleurs la redevance payée à VNF.

4.4 REDEVANCES POUR SERVICE RENDU POUR LE SOUTIEN D'ÉTIAGE

Les établissements publics territoriaux de bassin (EPTB) peuvent percevoir une redevance pour service pour soutien d'étiage.

Le produit de cette redevance payée chaque année par les usagers de l'eau est destiné à financer l'entretien, l'exploitation et les aménagements des ouvrages hydrauliques (retenues, lacs...) ; elle est calculée sur les volumes d'eau prélevés. Le soutien d'étiage permet aux différents usagers résidant à l'aval des ouvrages de prélever de l'eau, en rivière ou dans la nappe d'accompagnement, selon leurs besoins à tout moment de l'année grâce à l'exploitation des ouvrages exploités par les EPTB.

Cette redevance est payée par les centrales nucléaires de Belleville, Dampierre, Saint-Laurent et Chinon à l'établissement public Loire, par Nogent à l'EPTB Seine Grands Lacs, et par Golfech au SMEAG (syndicat mixte d'études et d'aménagement de la Garonne).

5. Rôle des organismes européens et internationaux

Les droits international et européen confèrent à certains organismes des missions d'inspection et d'évaluation en matière de sûreté nucléaire et d'environnement (*cf.* chapitre 5).

Traité EURATOM

Quatre articles du Traité se réfèrent aux rejets radioactifs et à la radioactivité dans l'environnement. Au titre de l'article 35, la Commission a le droit d'accéder aux dispositifs de contrôle de la radioactivité et des rejets radioactifs des centrales nucléaires afin d'en vérifier le fonctionnement et l'efficacité. Chaque inspection fait l'objet d'un rapport technique et de conclusions générales qui sont mis à la disposition du public sur le site internet de la Commission européenne.

EURELECTRIC

L'Union de l'industrie de l'électricité est l'association sectorielle qui représente les intérêts communs de l'industrie de l'électricité au niveau européen, ainsi que de ses filiales et associés sur plusieurs autres continents. Elle compte actuellement plus de 34 membres

1. Décret n° 2019-1356 du 13 décembre 2019 relatif aux redevances de prise et de rejet d'eau dans le domaine public fluvial confié à Voies navigables de France.

à part entière, représentant le secteur de l'électricité dans 32 pays européens. Eurelectric dispose d'une structure d'expertise bien définie composée d'une trentaine de groupes de travail.

EDF participe à des groupes techniques de mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau (CIS DCE), en tant qu'expert nommé et représentant d'Eurelectric, ou à titre d'échanges avec d'autres délégués de pays étrangers, sur des sujets à enjeux pour le métier nucléaire :

- prélèvements et consommation d'eau ;
- produits chimiques (rejets/surveillance) ; qualification du bon état des eaux, indicateurs de pression ;
- eaux souterraines ;
- hydro-morphologie.

Convention OSPAR (Oslo-Paris)

OSPAR est le mécanisme par lequel quinze gouvernements des côtes et îles occidentales d'Europe, avec l'Union européenne, coopèrent pour protéger l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est. Les quinze gouvernements (ou pays contractants) concernés sont : Belgique, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Islande, Irlande, Luxembourg, Pays-Bas, Norvège, Portugal, Espagne, Suède, Suisse, Royaume-Uni (Angleterre & Irlande du Nord).

Cette coopération a débuté en 1972 avec la Convention d'Oslo sur les immersions de déchets (chimiques et/ou radioactifs) pour s'étendre aux pollutions d'origines telluriques et à l'industrie pétrolière *via* la convention de Paris en 1974. Ces deux conventions ont été unifiées en 1992 pour devenir la convention OSPAR (Oslo-Paris). Cette dernière contribue à identifier les menaces pesant sur l'environnement marin (surveillance et évaluation de l'état de santé des mers et des actions nationales) dans la zone géographique concernée *via* des programmes et des campagnes de mesures. Par ces actions et en fixant des objectifs approuvés au niveau international, OSPAR est devenu un outil important pour aider les gouvernements à coopérer et un partenaire clé pour obtenir des efforts/actions des parties contractantes dans l'objectif d'améliorer la protection de l'Atlantique du Nord-Est.

Entrée en vigueur en 1998, la convention OSPAR prévoit une évaluation régulière de la qualité du milieu marin et des dispositions prises par les pays contractants pour prévenir et réduire les sources telluriques de pollution. Cinq stratégies thématiques abordant les principales « menaces » ont été identifiées dont une, le RSC (Radioactive Substances Committee) concerne les substances radioactives au sujet duquel les pays contractants doivent :

- fournir des plans nationaux indiquant les modifications apportées aux autorisations de rejet, les améliorations visant à réduire les rejets et les prévisions des baisses de rejet jusqu'en 2020 ;
- remettre tous les quatre ans des rapports nationaux sur l'application des meilleures techniques disponibles (*i.e.* Rapports BAT [*Best Available Technology*]) ;
- transmettre des données annuelles sur les rejets d'effluents radioactifs liquides.

Les progrès accomplis par les pays contractants sont appréciés au regard d'une référence constituée par le niveau des rejets entre 1995 et 2001. Ce niveau est décomposé suivant trois paramètres :

- les rejets d'effluents radioactifs liquides ;
- les concentrations (activités massiques ou volumiques) dans la mer ;
- l'impact dosimétrique qui en résulte pour les « personnes du public ».

C'est à partir de cette référence (ligne de base) que sera évalué, en 2020, le respect des engagements pris par les pays contractants à Sintra (Portugal) en 1998 pour « prévenir la pollution par des réductions progressives et substantielles des rejets, émissions et pertes de substances radioactives ».

Le comité OSPAR en charge du suivi des substances radioactives réfléchit à la poursuite des actions engagées *via* la mise en place d'une nouvelle stratégie qui couvrira la période 2020–2030.

Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)

L'AIEA a été fondée par les Nations Unies en 1957 et son siège est localisé à Vienne (Autriche). L'AIEA est chargée de promouvoir le développement des applications et utilisations civiles de l'énergie nucléaire. Elle regroupe actuellement 170 pays membres.

Parmi ses nombreuses activités, l'AIEA réalise des missions dites OSART (*Operating Safety Review Team*) dans les centrales nucléaires dans le but de repérer les écarts entre l'exploitation de la centrale et les prescriptions figurant dans les normes de sûreté de l'AIEA et de renforcer la performance opérationnelle en matière de sûreté par la mise en commun de l'expérience d'exploitation (REX).

POUR EN SAVOIR PLUS

- http://www.sante.gouv.fr
- http://www.vnf.fr
- http://www.asn.fr
- http://www.irsn.fr
- https://www.ospar.org
- https://www.iaea.org
- https://www.eurelectric.org

PRÉLÈVEMENTS
D'EAU ET SOURCE FROIDE

7

1. ENJEUX LIÉS À LA RESSOURCE EN EAU (PRÉLÈVEMENT/CONSOMMATION)

2. BESOINS EN EAU D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE
2.1 Centrale refroidie en circuit ouvert
2.2 Centrale refroidie en circuit dit « fermé »
2.3 Besoin en eau déminéralisée
2.4 Besoin en eau potable

3. ÉVALUATION DES DÉBITS ET VOLUMES D'EAU PRÉLEVÉE ET CONSOMMÉE (ÉVAPORÉE)
3.1 Débits prélevés
3.2 Débits consommés (évaporés)
3.3 Débits rejetés (restitués)

4. MAÎTRISE DES SALISSURES BIOLOGIQUES DANS LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT
4.1 Nature des salissures biologiques
4.2 Procédés de lutte contre les salissures biologiques
– Procédés physiques
– Procédés chimiques par électrochloration sur les sites marins

5. ENVASEMENT ET DRAGAGE (OU CURAGE) DES PRISES D'EAU

6. QUALITÉ DE L'EAU PRÉLEVÉE VIS-À-VIS DU RISQUE D'ENCRASSEMENT DES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT
6.1 Formation du tartre dans les circuits (condenseurs et aéroréfrigérants)
6.2 Traitement antitartre des circuits de refroidissement des condenseurs

7. MAÎTRISE DU DÉVELOPPEMENT DES ORGANISMES PATHOGÈNES DANS LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT
7.1 Amibes et légionelles dans les circuits d'eau douce
– Provenance des micro-organismes
– Traitement pour lutter contre la prolifération des micro-organismes dans les circuits
7.2 Vibrions dans les circuits de réfrigération à l'eau de mer (sites marins)

8. PROTECTION DES INSTALLATIONS CONTRE LES RISQUES CLIMATIQUES
8.1 Inondation
8.2 Canicule – sécheresse
8.3 Grand froid

Pour en savoir plus

© EDF-Marc Didier

1. Enjeux liés à la ressource en eau (prélèvement/ consommation)

Qu'elle soit prélevée en mer ou dans un cours d'eau voire en nappe souterraine, l'eau est indispensable au fonctionnement d'une centrale nucléaire.

Les prélèvements d'eau de surface sont réalisés pour assurer le refroidissement des condenseurs et alimenter en eau brute ou industrielle les différents circuits nécessaires au fonctionnement. L'eau brute ou industrielle est une eau douce sommairement traitée (filtration, clarification) qui fournit les appoints aux échangeurs de chaleur, au réseau d'incendie, le cas échéant à la station de production d'eau déminéralisée... Elle assure en particulier le refroidissement des échangeurs de chaleur du réacteur lorsque celui-ci est à l'arrêt.

Sur certains sites non reliés au réseau communal, de l'eau prélevée en sous-sol sert à alimenter le réseau d'eau potable (Cruas, Saint-Laurent et Belleville) et/ou les installations en eau industrielle (ex. Chinon). Par ailleurs, sur certains sites, des puits de prélèvement d'eau souterraine sont installés afin de constituer une source d'eau ultime mobilisable en cas de situations d'urgence qui le nécessiteraient.

La mer ou la rivière dans laquelle est prélevée l'eau constitue ce qu'il est convenu d'appeler la **source froide**.

L'eau douce prélevée **en surface** ou **en sous-sol** fait l'objet d'une réglementation. Les quantités prélevées sont limitées en débit et en volume et doivent, à ce titre, pouvoir être évaluées par l'exploitant. L'eau prélevée est majoritairement (à 98,5 %) restituée au milieu naturel.

Le besoin d'une eau de qualité et en quantité suffisante détermine l'emplacement de la centrale et la conception des circuits de refroidissement.

Pour les centrales implantées en bord de fleuve ou de rivière, le débit du cours d'eau doit être suffisant pour garantir tout au long de l'année les volumes nécessaires au fonctionnement des installations.

La qualité d'eau prélevée (caractère entartrant, salinité, matières en suspension, température) et son évolution possible dans le temps sont des paramètres à prendre en considération tant à la conception des ouvrages qu'en exploitation. Elle conditionne le dimensionnement des circuits de refroidissement, la mise en place ou non de dispositifs de traitement (antitartre, biocide) et/ou de nettoyage en continu de ces circuits. En exploitation, l'encrassement des circuits, dû à la mauvaise qualité de l'eau, peut réduire la performance des installations.

Par ailleurs, la température de l'eau est un facteur qui détermine le rendement des centrales refroidies en circuit ouvert (cycle de Carnot) ; son élévation accentue les phénomènes d'entartrage et la prolifération des micro-organismes dans les centrales refroidies en circuit dit « fermé ».

2. Besoins en eau d'une centrale nucléaire

Le refroidissement des condenseurs des groupes turbo-alternateurs et des circuits auxiliaires est assuré par de l'eau brute prélevée dans un cours d'eau ou en mer. Les quantités d'eau prélevées sont fonction du type de circuit de refroidissement (circuit ouvert ou circuit dit « fermé »).

En circuit ouvert, (*cf.* figure 1) l'eau prélevée au milieu parcourt l'intérieur des tubes du condenseur en s'échauffant à leur contact puis retourne directement au milieu aquatique. Dans ce cas, l'énergie thermique extraite au condenseur est intégralement transférée au milieu aquatique (mer ou rivière).

En circuit dit « fermé » au contraire, l'énergie thermique extraite est cédée en quasi-totalité à l'atmosphère au moyen d'un aéroréfrigérant. Ce circuit fait l'objet d'un appoint d'eau prélevée en rivière et d'une purge continue

par laquelle une faible partie de l'énergie thermique est transférée au cours d'eau (*cf.* figure 2).

L'eau prélevée par les 18 centrales nucléaires est restituée à 98,5 % au milieu naturel et à proximité du lieu du prélèvement d'eau. La restitution au milieu de l'eau prélevée est de 100 % pour les centrales situées en bord de mer, et de 96,3 % pour les centrales situées en bord de rivière.

2.1 CENTRALE REFROIDIE EN CIRCUIT OUVERT

Fig. 1 ▶ Schéma simplifié d'une unité de production refroidie en circuit ouvert.

Refroidissement des condenseurs des groupes turbo-alternateurs

Le débit d'eau (Q) nécessaire au refroidissement des condenseurs en circuit ouvert dépend de la puissance thermique (P_{th}) à évacuer et de la contrainte qu'on se fixe en termes d'échauffement (ΔT°C) suivant la relation : $P_{th\ condenseur} = Q.C.\Delta T$[1] (*cf.* encart).

L'échauffement de l'eau et le débit prélevé sont donc directement liés. Ils sont déterminés à la conception des ouvrages en fonction notamment des contraintes environnementales (*cf.* chapitre 9 §3.2).

Pour le parc d'EDF en exploitation les ordres de grandeur des débits de prélèvement d'eau sont fournis pour les différents paliers de puissance électrique (*cf.* tableau I).

Tableau I Ordre de grandeur des débits de fonctionnement des pompes pour le prélèvement d'eau des centrales en circuit ouvert

ORDRE DE GRANDEUR DES DÉBITS D'EAU PRÉLEVÉS PAR RÉACTEUR (Nb DE RÉACTEURS PAR PALIER)	
Sites fluviaux	
Palier 900 MWe (6 réacteurs)	45 m³/s
Palier 1300 MWe (2 réacteurs)	57 m³/s
Sites marins + estuaire	
Palier 900 MWe (10 réacteurs)	38–40 m³/s
Palier 1300 MWe (8 réacteurs)	45 m³/s
EPR 1650 MWe (1 réacteur)	61 m³/s

En circuit ouvert, les volumes annuels d'eau prélevés varient de 900 à 1900 millions de m³ par réacteur selon l'importance des installations de refroidissement. Mais cette eau est **restituée en totalité au milieu aquatique à proximité du lieu de prélèvement. La consommation d'eau pour le refroidissement d'une tranche en circuit ouvert est donc nulle.** L'eau est détournée, mais de façon très locale, entre la prise d'eau et les rejets.

Les volumes prélevés en circuit ouvert ne sont pas proportionnels à l'énergie produite par la centrale car le fonctionnement des pompes ne dépend pas du niveau de puissance de la centrale.

Refroidissement des circuits auxiliaires en circuit ouvert

Une partie de l'eau prélevée en surface est utilisée pour alimenter de nombreux matériels tels que les échangeurs de chaleur assurant le refroidissement du réacteur à l'arrêt, le circuit de protection contre l'incendie, le cas échéant la station de production d'eau déminéralisée (*cf.* § 2.3). L'eau brute est une eau qui n'a subi qu'un simple traitement par filtration. Les débits prélevés pour ces usages sont d'environ 1 m³/s par réacteur.

2.2 CENTRALE REFROIDIE EN CIRCUIT DIT « FERMÉ »

Le refroidissement en circuit dit « fermé » utilise des tours aéroréfrigérantes où l'échange thermique ne s'opère plus avec l'eau de la rivière comme en circuit ouvert mais avec l'air de l'atmosphère. L'énergie thermique extraite des condenseurs des turbo-alternateurs est dissipée à 75 % sous forme de vapeur d'eau (panache) et par convection à hauteur de 25 %. L'eau prélevée en rivière sert alors à compenser la quantité d'eau évaporée dans l'aéroréfrigérant et la purge du circuit (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts des prélèvements d'eau et de rejet). Globalement, **96 à 98 % de la puissance thermique du condenseur est évacuée dans l'air** *via* **l'aéroréfrigérant** et les 2 à 4 % restants sont dissipés dans la purge, rejetée dans la rivière.

La purge est pratiquée en continu afin de limiter la concentration de sels minéraux dans le circuit de refroidissement.

Sur la Vienne, cours d'eau à faible débit, cette technique est aussi utilisée à la centrale de Civaux pour assurer le refroidissement des échangeurs des circuits auxiliaires nucléaires.

Selon l'importance des débits des cours d'eau, il existe trois configurations pour alimenter en eau brute les centrales nucléaires refroidies en circuit dit « fermé ». Le débit d'eau prélevée par réacteur varie ainsi de 4,6 m³/s pour des centrales implantées sur de grands fleuves (Rhône) à 2 m³/s pour la centrale de Civaux sur la Vienne.

1. P_{th} = puissance thermique en MJ/s ; C = chaleur massique de l'eau à 15 °C : 4, 186 $MJ.m^{-3}.°C^{-1}$; ΔT en °C.

Fig. 2 ▶ Schéma de principe présentant des ordres de grandeurs de débit d'eau pour un réacteur fonctionnant en circuit dit « fermé »

Refroidissement des condenseurs des groupes turbo-alternateurs

Les quantités d'eau prélevées sont plus faibles qu'en circuit ouvert : elles varient de 40 à 140 millions de m³ par unité et par an suivant la configuration des circuits (*cf.* figure 2) et la qualité de l'eau (nécessité d'augmenter les appoints et les purges aux aéroréfrigérants en cas d'eau entartrante (*cf.* § 6). Une partie de l'eau prélevée s'évapore à l'atmosphère et n'est donc pas restituée au cours d'eau. La quantité évaporée est proportionnelle à l'énergie produite par la centrale à raison de 2,5 L/kWh$_{net}$ environ.

Les quantités d'eau prélevée et évaporée sont données, ci-après, pour chaque palier de puissance électrique. Ces valeurs ne sont que des ordres de grandeur ; elles dépendent de la conception des circuits et varient d'une centrale à l'autre. Par ailleurs, le débit évaporé est une moyenne ; sa valeur évolue en fonction de la température de l'air ambiant (principalement) et de son humidité (pour une valeur moyenne de 0,75 m³/s) – *cf.* tableau II.

Tableau II Ordre de grandeur des débits de fonctionnement des pompes pour le prélèvement d'eau des centrales en circuit dit « fermé ».

ORDRE DE GRANDEUR DES DÉBITS D'EAU PRÉLEVÉS ET ÉVAPORÉS PAR RÉACTEUR (Nb DE RÉACTEURS PAR PALIER)	
Palier 900 MWe (16 réacteurs)	2 m³/s dont 0,67 m³/s évaporé
Palier 1300 MWe (10 réacteurs)	2 m³/s dont 0,75 m³/s évaporé
Palier 1450 MWe (4 réacteurs)	2 m³/s dont 0,85 m³/s évaporé

Refroidissement des circuits auxiliaires

Pour les centrales implantées sur de grands cours d'eau (Cruas...), les circuits des matériels **auxiliaires nucléaires** sont refroidis en boucle ouverte. Le débit prélevé est alors de 0,6 m³/s environ par réacteur (*cf.* figure 2a).

Sur les centrales prélevant sur des cours d'eau à débit moyen (Nogent, Cattenom...), l'eau alimentant les circuits des auxiliaires est réutilisée pour effectuer les appoints aux tours aéroréfrigérantes. Ceci permet de réduire le besoin en eau brute (*cf.* figure 2b).

Sur la Vienne (Civaux), les matériels auxiliaires **non nucléaires** sont refroidis suivant la configuration adoptée à Nogent ou Cattenom. Mais, compte tenu du faible débit de la Vienne, les matériels **auxiliaires nucléaires** sont refroidis en boucle fermée au moyen d'aéroréfrigérants. Le débit prélevé pour cet usage est de ce fait presque nul (*cf.* figure 2c).

2.3 BESOIN EN EAU DÉMINÉRALISÉE

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire requiert de l'eau chimiquement pure notamment pour alimenter le circuit primaire et le circuit secondaire.

Cette eau peut être produite à partir de l'eau douce prélevée en rivière puis traitée dans une chaîne de déminéralisation (*cf.* chapitre 8 §4.1). Elle peut aussi être produite par dessalement de l'eau de mer avec une installation d'ultrafiltration et d'osmose inverse (*cf.* chapitre 8 §4.1).

Dans certains cas, l'eau douce nécessaire à la production d'eau déminéralisée est prélevée dans les eaux souterraines (cas de Nogent) ou directement dans le réseau urbain d'eau potable (Cattenom, Gravelines).

Les besoins annuels d'eau déminéralisée s'élèvent à environ 180 000 m³ en moyenne par réacteur.

Changement climatique et ressource en eau : quels enjeux pour les centrales nucléaires ?

Les évolutions climatiques sont aujourd'hui un élément de contexte fondamental à prendre en compte pour l'exploitation des installations de production d'électricité. Les évolutions liées au changement climatique vont en effet modifier l'état de l'environnement (aquatique ou terrestre) et sont susceptibles d'interagir avec le fonctionnement de la centrale (notamment en termes de prélèvements et de rejets). Ce contexte de changement climatique soulève donc de nombreuses questions, en lien avec le fonctionnement de nos ouvrages en phase d'exploitation, notamment au niveau de la source froide :

- **usage de l'eau et soutenabilité** : il existe un enjeu fort sur la gestion de la ressource en eau lors des épisodes de sécheresse intense. Ces situations nécessitent donc d'avoir une vision prospective de la gestion de ces épisodes, en termes de partage de la ressource en eau et des évolutions futures des usages de l'eau, en lien avec les prélèvements d'eau nécessaire au fonctionnement des installations (*vs.* tous les autres usages de l'eau sur un bassin) ;
- **disponibilité de la source froide** : ces dernières années ont été marquées par des situations caniculaires et d'étiages prolongés de plus en plus fréquentes (2003, 2006, 2015, 2017, 2018, 2019). Dans ces situations, le fonctionnement des centrales nucléaires a pu être adapté pour respecter les limites réglementaires sur les rejets thermiques et/ou sur le débit minimum à respecter en aval. Les pertes de production n'ont toutefois jamais dépassé quelques pourcents de la production électrique annuelle du parc nucléaire. Ces situations montrent que le fonctionnement des installations n'est pas indépendant de la disponibilité de la source froide, que ce soit en termes de températures d'eau atteintes en amont des installations ou débit d'étiage rencontrés dans le cours d'eau. Elles confirment aussi la nécessité de démontrer la maîtrise de nos rejets et de leurs impacts dans ces situations climatiques extrêmes. Un des enjeux forts est donc de connaître les évolutions futures de la disponibilité de la source froide et de la sensibilité des écosystèmes, d'étudier comment s'y préparer, par exemple par des mesures d'adaptations, que ce soit en termes réglementaires, techniques ou de gestion de la ressource en eau ;
- **gestion des épisodes en conditions climatiques exceptionnelles :** en cas de situations caniculaires ou d'étiages prolongés, des demandes d'autorisations temporaires des limites de rejets thermiques sont possibles, ce qui nécessite la justification des limites demandées et des mesures de surveillance renforcées de l'environnement ;
- **réexamen périodique décennal des installations** : ce réexamen décennal est l'occasion de démontrer notre maîtrise des inconvénients, avec un bilan des prélèvements et des rejets réalisés sur une période de 10 ans et des actions qui ont été engagées pour justifier sur la durée de la robustesse de cette démonstration de maîtrise des inconvénients.

Ainsi, ces enjeux soulèvent de nombreuses questions :

- Quelles évolutions de la **ressource en eau,** de sa gestion et des usages futurs ?
- Quelles évolutions des **températures d'eau** et des **débits en amont des centrales** nucléaires en climat futur ?
- Quelles évolutions de la **disponibilité de la source froide** et comment s'y préparer ?
- Quelles **adaptations** : réglementaires, techniques ou de gestion de la ressource en eau ?

Toutes ces questions se sont traduites par des actions, notamment de R&D, afin d'anticiper au mieux les effets à venir du changement climatique.

Un exemple de réponse est la réalisation de **projections hydro-climatiques régionalisées** sur le 21e siècle, permettant de caractériser les évolutions des températures d'air, des débits et des températures d'eau en amont des centrales nucléaires sur les prochaines décennies (voir encart chapitre 9).

2.4 BESOIN EN EAU POTABLE

L'eau potable dans une centrale nucléaire alimente les sanitaires, les vestiaires, la laverie des tenues de travail utilisées en zone nucléaire.

L'eau potable provient :

- soit directement du **réseau d'eau potable urbain** (Blayais, Bugey, Cattenom, Chinon, Chooz, Civaux, Dampierre, Flamanville, Golfech, Gravelines, Nogent, Paluel, Penly, St-Alban et Tricastin). Dans ce cas, comme l'exige la réglementation en vigueur, « Les ouvrages de raccordement sur le réseau public de distribution d'eau potable sont équipés d'un ou de plusieurs réservoirs de coupure ou de tout autre dispositif permettant d'éviter, notamment à l'occasion de retour d'eau, une perturbation du fonctionnement du réseau ou une contamination de l'eau distribuée » ;
- soit d'un **forage dans les eaux souterraines** (Belleville, Cruas, St-Laurent). Dans ce cas, « Les ouvrages de prélèvement dans les eaux souterraines sont équipés d'un clapet anti-retour ou de tout autre dispositif équivalent de protection de ces eaux. Les forages sont réalisés de façon à empêcher la mise en communication des nappes souterraines distinctes ».

La qualité de l'eau potable distribuée sur le site fait l'objet de contrôles réguliers comme l'exige la réglementation sanitaire (nature et fréquence des contrôles).

La consommation d'eau potable sur une centrale nucléaire est liée au volume des activités de maintenance (nombre d'arrêts de tranche) et dépend du nombre de travailleurs présents sur le site ; elle se situe en moyenne à 25 000 m³ par unité de production.

Afin de maîtriser la consommation d'eau potable et éviter les gaspillages, la consommation d'eau est suivie au moyen de compteurs. En cas de consommation élevée non justifiée, des recherches de fuites sont systématiquement entreprises.

3. Évaluation des débits et volumes d'eau prélevée et consommée (évaporée)

La connaissance des débits prélevés, évaporés (pour les centrales refroidies en circuit dit « fermé ») et rejetés est nécessaire pour les raisons suivantes :

- répondre aux exigences de la réglementation (respect des limites autorisées) ;
- évaluer les redevances à payer au titre des prélèvements d'eau (*cf.* chapitre 6) ;
- connaître le débit de rejet dans l'ouvrage de rejet avant dispersion dans le milieu récepteur à partir des débits prélevés et évaporés (*cf.* chapitre 8) ;
- évaluer les risques d'entartrage du circuit.

3.1 DÉBITS PRÉLEVÉS

En général, les débits prélevés sont déterminés à partir des compteurs horaires des pompes et de leur débit nominal. Le volume d'eau souterraine prélevé est mesuré par des compteurs volumétriques. Ces méthodes garantissent une incertitude type inférieure à 5 %, comme demandé par la réglementation. Les débits et quantités d'eau douce prélevée sont limités par la réglementation.

Centrale nucléaire de Cruas Meysse en bord de Rhône, en circuit dit « fermé » © EDF - Matthieu Collin/TOMA

Extrait de la décision ASN n° 2016-DC-0549 du 8 mars 2016 fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejet d'effluents et de surveillance de l'environnement des installations nucléaires de base n° 111 et n° 112 exploitées par Électricité de France.

La centrale de Cruas-Meysse (4 unités de production de 900 MW) est refroidie en circuit dit « fermé ». [EDF-CRU-189] Les volumes prélevés n'excèdent pas les valeurs maximales suivantes :

ORIGINE DU PRÉLÈVEMENT	VOLUME MAXIMAL		DÉBIT MAXIMAL
	ANNUEL	JOURNALIER	
Rhône	631 millions de m³	1,728 millions de m³	20 m³/s
Nappe phréatique	340 000 m³	2000 m³ (1)	188 m³/h (1)

(1) Le volume maximal journalier et le débit maximal instantané sont portés respectivement à 3600 m³ et 248 m³/h lors de la réalisation d'essais ou de travaux sur l'installation de pompage d'appoint ultime en eau prévue pour le respect de la prescription [EDF-CRU-15] [ECS-16] de la décision du 26 juin 2012 susvisée.

3.2 DÉBITS CONSOMMÉS (ÉVAPORÉS)

En circuit dit « fermé », le débit évaporé est calculé en référence à la norme NF EN 14705. Trois méthodes fondées sur cette norme sont appliquées :

- la méthode TEFERI (mode 1) : méthode de calcul polynomiale utilisée à Nogent, Cattenom, Chooz, Civaux ;

- la méthode TEFERI (mode 2) : méthode de calcul à partir des paramètres thermodynamiques (puissance par réacteur, température de l'air, hygrométrie...) ; cette méthode est utilisée sur les sites de bord de Loire et à Golfech ;
- la méthode à « coefficient » permet de calculer le débit évaporé à partir de l'énergie produite, via un coefficient multiplicatif qui peut varier en fonction de la saison. Cette méthode est utilisée sur les autres centrales en circuit dit « fermé » (Bugey, Cruas).

3.3 DÉBITS REJETÉS (RESTITUÉS)

(*CF.* CHAPITRE 8)

Dans les **circuits ouverts**, le débit rejeté est égal au débit prélevé puisque l'eau prélevée est entièrement restituée au milieu.

En **circuits dit « fermés »**, le débit rejeté (ouvrage de rejet) est déterminé par différence (débit prélevé – débit évaporé).

Palo Verde, centrale nucléaire « zero discharge »

La centrale de Palo Verde, de par sa localisation en plein désert de l'Arizona, est la première et la seule au monde à utiliser exclusivement des eaux usées traitées pour le refroidissement de ses circuits. En effet, en 1969, l'état de l'Arizona a anticipé un accroissement de la population mais ne disposait pas de ressources suffisantes pour alimenter en électricité cette population et ses industries. L'*Arizona Public Service* (APS) a alors proposé de construire une centrale nucléaire en plein milieu du désert. Or, ce type d'installation nécessite d'importantes quantités d'eau, notamment pour les circuits de refroidissement. En 1973, les villes de Phoenix, Glendale, Mesa, Scotsdale et Tempe, membres de base de l'*Arizona Municipal Water Users Association* (AMWUA), ont négocié un accord avec l'APS pour transférer une partie de ses eaux usées, de l'ordre de 100 millions de mètres cubes par an, vers la future centrale nucléaire de production d'électricité. Ainsi, en 1976, a débuté la construction de la centrale nucléaire de Palo Verde dans le Comté de Maricopa. Les deux premières tranches ont démarré en 1986 (type réacteur à eau pressurisée puissance nominale 1300 MW), soit dix ans plus tard, et la troisième tranche en 1988.
Depuis, les eaux usées de la station de traitement de la 91e avenue à Phoenix (91st Avenue Wastewater Treatment Plant) sont traitées et réutilisées, notamment, pour le refroidissement des trois réacteurs de la centrale munis chacun de trois tours de refroidissement. L'eau usée traitée issue de cette station d'épuration répond aux standards de l'*Environmental Protection Agency* (EPA), et est également utilisée pour l'irrigation, les lacs de pêche, le stockage des eaux en milieu souterrain pour des utilisations futures.
L'eau est ainsi transportée par gravité puis par pompage dans des conduites souterraines pendant 46 km jusqu'au site de Palo Verde où elle est stockée dans deux réservoirs de surface. Ces bassins constituent la source en eau pour répondre aux besoins du site : eau des circuits primaire et secondaire, eau potable, eau de refroidissement, etc. Après passages dans les aérorefrigérants, l'eau de refroidissement est déversée dans des bassins artificiels d'évaporation creusés à cette fin. Le site ne rejette donc pas d'effluents dans un point d'eau naturel et de fait, ne déclare aucun rejet liquide.
L'eau de la centrale de Palo Verde peut subir jusqu'à 23 cycles de concentration dans les tours – le taux de purge étant très faible, de l'ordre de 0,05 % – avant d'être déversée dans les bassins d'évaporation.
Malgré ces conditions très particulières, des espèces animales se sont développées dans les bassins d'évaporation.

Centrale nucléaire de Palo Verde, Arizona, États-Unis

4. Maîtrise des salissures biologiques colmatantes dans les circuits de refroidissement

Les circuits d'eau brute sont soumis à deux types de salissures biologiques pouvant provoquer leur colmatage. Il s'agit :

- d'organismes vivants de grande taille (moules, bryozoaires...) qui se fixent sur les parois des circuits véhiculant l'eau brute (tambours filtrants des stations de pompages, boîtes à eau des condenseurs, bassins de recueil des eaux de ruissellement des aéroréfrigérants..) ;
- d'un « biofilm » se formant sur la surface interne des tubes de condenseurs et pouvant réduire les échanges thermiques.

Par ailleurs, les stations de prise d'eau peuvent s'envaser (*cf.* § 5) voire être obstruées par les glaces en hiver (*cf.* § 8.3) et par les arrivées massives d'algues, de débris végétaux, de méduses.

Il est également à signaler la présence de déchets d'origine anthropique en quantités croissantes depuis une vingtaine d'années, principalement dans les prises d'eau des stations de pompage des sites marins.

Pour lutter contre les salissures biologiques et le colmatage des circuits, des **procédés physiques** et/ou de **traitements chimiques** sont mis en œuvre (*cf.* figure 3).

Fig. 3 ▶ Procédés de traitement pour lutter contre les salissures biologiques colmatantes.

4.1 NATURE DES SALISSURES BIOLOGIQUES

En bord de rivière

Les principales espèces de salissures biologiques en eau douce sont des coquillages bivalves (moules zébrées, clams asiatiques), des gastéropodes et des colonies de bryozoaires. La nature des salissures dépend du bassin fluvial. Ainsi, les bryozoaires abondent en Loire, en Moselle et dans le Rhône. Des espèces exotiques sont apparues dans les cours d'eau français comme le clam asiatique en Garonne depuis 1989. La présence de plantes exotiques envahissantes est également constatée depuis le milieu de la première décennie des années 2000 (élodée de Nuttal, jussie) sur la majorité des cours d'eau tels que le Rhône, la Loire, la Vienne. La surveillance hydrobiologique pratiquée par les centrales permet de les détecter et de les identifier.

En bord de mer

Les principaux organismes marins à l'origine des colmatages sont les moules pour les canalisations, les algues pour les grilles fixes et les tambours filtrants, les poissons et le plancton « gélatineux » (cténaires ou groseilles de mer, méduses) pour les tambours filtrants et les débris d'algues ou de coquilles pour les échangeurs. Entre 1995 et 2005, on a observé une recrudescence des problèmes liés aux algues sur les sites de Paluel, Flamanville et Penly. Certains épisodes de colmatage ont provoqué à Paluel, en 2004, l'arrêt de deux réacteurs et des dégâts importants sur les tambours filtrants. Ces phénomènes surviennent essentiellement au printemps et en été. Ils ont lieu principalement lors des « coups de vent » qui provoquent un arrachage des algues des fonds marins et leur transport vers les prises d'eau des centrales.

4.2 PROCÉDÉS DE LUTTE CONTRE LES SALISSURES BIOLOGIQUES

Procédés physiques

La lutte contre les salissures biologiques porte sur :

- les circuits conçus de manière à garantir une bonne vitesse de circulation de l'eau : les larves d'organismes marins ne se fixent pas lorsque la vitesse est supérieure à 2 m/s ;
- la filtration de l'eau au moyen de filtres à mailles rotatifs et autonettoyants qui collectent des débris et les organismes vivants ;
- le nettoyage mécanique continu des tubes de condenseurs au moyen de boules abrasives en mousse ;
- le nettoyage occasionnel des parois des circuits lors des phases d'arrêt des installations ;
- la filtration fine à l'entrée des faisceaux de tubes de condenseurs.

Pour se prémunir contre les conséquences d'un colmatage des prises d'eau par les débris végétaux ou d'algues, des améliorations ont été apportées aux dégrilleurs au niveau des peignes de raclage et des goulottes de récupération.

Procédés chimiques par électrochloration sur les sites marins

Pour lutter contre le développement d'espèces biologiques dans les circuits de refroidissement, on pratique une chloration. À cette fin, des unités de production d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) par électrolyse de l'eau de mer ont été installées.

Chaque station d'électrochloration comporte :
- des cellules d'électrolyse dans lesquelles l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) est produit à partir du chlorure de sodium, contenu dans l'eau de mer, selon la réaction : $NaCl + H_2O \Rightarrow NaClO + H_2$;
- une cuve assurant un entreposage temporaire de courte durée de l'hypochlorite concentré à environ 1 g/L en chlore avant son injection ;
- un dispositif d'injection de la solution dans l'eau de circulation (*cf.* figure 4).

La chloration est réalisée lorsque la température de l'eau de mer dépasse 10 °C (températures favorables au développement des espèces biologiques). Ces stations d'électrochloration permettent d'optimiser les injections de chlore. La concentration de chlore après mélange est comprise entre 0,5 et 1 mg/L. Sur certains sites, une chloration intermittente (séquentielle) est suffisante. Ceci permet de réduire les rejets de substances chimiques dérivées du chlore (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts des prélèvements d'eau et des rejets).

Fig. 4 ▶ Circuit d'électrochloration d'eau à la centrale nucléaire de Penly (deux réacteurs de 1300 MWe).

5. Envasement et dragage (ou curage) des prises d'eau

Les prélèvements d'eau transportent des sédiments qui se déposent dans le chenal d'amenée mais aussi dans les zones « mortes » des ouvrages de prise d'eau entraînant ainsi leur envasement. Lorsque celui-ci devient trop important dans les ouvrages, il peut obstruer les tuyauteries d'alimentation en eau brute des circuits et perturber fortement leur fonctionnement.

Pour ces raisons, l'envasement des prises d'eau ou des chenaux d'amenée d'eau fait l'objet d'un suivi régulier au moyen de mesures bathymétriques permettant d'évaluer les sections d'écoulement le long des chenaux.

Lorsque ces mesures décèlent un risque d'obstruction des ouvrages de prise d'eau, les opérations de dragage sont programmées. Les volumes de sédiments mobilisés par dragage et la fréquence des opérations sont variables selon les sites. Par exemple, à :
- Cruas, entre 20 000 et 30 000 m³ de sédiments sont dragués tous les 2 à 4 ans ;
- Dampierre, environ 30 000 m³ tous les 8 ans ;
- Saint-Laurent, environ 1000 m³ tous les ans ;
- Tricastin, environ 20 à 30 000 m³ tous les ans.

Ces opérations, dont la durée s'étale sur plusieurs semaines, sont réglementées (*cf.* encart p. 119). Selon le volume de sédiments dragués, ces opérations nécessitent soit une déclaration soit une demande d'autorisation auprès de l'autorité compétente (ASN ou autre autorité compétente si le dragage a lieu hors du périmètre de l'INB).

Désensablement partiel de la plage de Penly en septembre 2018

La digue du chenal d'amenée de la centrale de Penly constitue un obstacle au transit littoral naturel. Depuis 1982, le sable s'accumule jusqu'à l'extrémité de la digue. Des épisodes de formation de « tas de sable » sur certains profils se produisent en particulier l'hiver lors des tempêtes ou par forte houle. Ceci oblige alors la centrale de Penly à réaliser des opérations de dragage du chenal en décembre ou janvier alors que les conditions météo ne sont pas favorables.
Ainsi, ce chantier de désensablement de la partie Est de la plage de Saint-Martin doit faciliter l'entretien du chenal pour lequel il est difficile de faire intervenir une barge. L'objectif est de réaliser un seul dragage du chenal par an, l'été, et de garantir une profondeur suffisante pour la production tout au long de l'année.
La solution technique du désensablement de la plage consiste en deux séquences : une phase de dragage sur la plage et une phase de clapage en mer afin de draguer un volume de 300 000 m³ de sable.
L'acceptabilité du projet est une question cruciale en raison des multiples usages de la plage (tourisme, baignade, pêche), de la mer (pêche professionnelle, extraction de granulats, projet de parc éolien off-shore) et des enjeux environnementaux (Natura 2000, espèces à enjeu sur le périmètre du projet et ensablement en augmentation sur l'ensemble du littoral dont le port du Tréport). C'est pourquoi EDF a mené une démarche volontaire de co-construction du projet avec les parties-prenantes, ce qui a conduit, entre autres, à adapter le planning de travaux, modifier le point de clapage en mer, confirmer les propositions de mesures ERC (Éviter – Réduire – Compenser) et communiquer sur les enjeux écologiques du projet. Concernant les opérations de dragage :

- le remplissage de la drague a été limité à 60 % de sa capacité afin de limiter la turbidité ;
- une nouvelle zone de clapage, à moindre enjeu écologique, a été retenue pour éviter que les sables ne reviennent à la côte ;
- le plan de clapage a été adapté en fonction des courants pour éviter la dispersion hors de la zone de clapage.

Les mesures d'évitement et de réduction suivantes ont été mises en œuvre :

- optimisation et réduction des emprises et des zones d'installation de chantier et contournement des zones sensibles ;
- déplacement des choux marins ;
- installation d'une aire de dépotage et d'un déshuileur pour les camions.

Les mesures de compensation ont consisté au déplacement des espèces floristiques protégées (Chou marin – environ 110 pieds déplacés) et patrimoniales (2 stations de Criste déplacées) sur les plages de Criel et de Ste Marguerite-sur-Mer, préalable indispensable à la réalisation des travaux.
La démarche globale d'EDF permet de concilier les travaux et la préservation de la biodiversité, dans le strict respect de la réglementation environnementale et conserver la confiance des acteurs locaux.

Chou marin
© EDF – Delphine Cuenot

Conditions de dragage des cours d'eau ou canaux

(Arrêté du 30/05/2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien des cours d'eau ou canaux,
Circulaire du 04/07/2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux)

Aspects administratifs liés aux opérations de dragage

Les extractions de matériaux dans le lit mineur ou l'espace de mobilité des cours d'eau sont interdites. Seuls peuvent être effectués les retraits ou déplacements de matériaux liés au curage d'un cours d'eau ou du plan d'eau traversé par un cours d'eau.

L'opération de dragage doit être dûment justifiée au regard des risques d'envasement ou d'ensablement et des objectifs de qualité fixé pour le milieu aquatique concerné. Le nombre, l'étendue, la durée et la fréquence sont limités au strict nécessaire afin de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement.

L'impact prévisible de l'opération est étudié par l'exploitant et présenté dans le dossier administratif d'autorisation ou de déclaration. L'étude de l'exploitant s'appuie sur un diagnostic initial du milieu (situation hydro-biologique, biologique et chimique), sur le volume et la nature des sédiments mobilisés, sur la période de dragage envisagée et sur le devenir des sédiments.

Réalisation des opérations de dragage et devenir des sédiments

L'exploitant établit un plan de chantier précisant la localisation des travaux de dragage, les moyens techniques mis en œuvre (pompes aspirantes, pelleteuses, barges), le calendrier prévu, les modalités d'enlèvement des sédiments et les dispositions mises en œuvre pour éviter tout risque de pollution accidentelle pendant l'opération.

L'autorité compétente peut fixer des périodes pendant lesquelles les travaux sont interdits ou doivent être restreints pour tenir compte de la migration ou de la reproduction des poissons, des loisirs nautiques ou de pêche.

Le plan de chantier est accompagné d'un protocole de surveillance décrivant les actions et les mesures envisagées pendant la phase de travaux pour limiter les impacts prévisibles sur l'écosystème aquatique et suivre la qualité de l'eau (notamment l'oxygène dissous).
En cas d'incident susceptible de provoquer une pollution accidentelle, les travaux sont interrompus et les autorités compétentes en sont informées dans les meilleurs délais. En cas de régalage ou de mise en dépôt, même provisoire, des sédiments à proximité du cours d'eau, des dispositions sont prises par l'exploitant pour éviter toute contamination par ruissellement.

Pour les **sites en bord de rivière**, les matériaux mobilisés par l'opération de dragage doivent être remis dans le cours d'eau afin de ne pas altérer le transport naturel des sédiments et le maintien du lit dans son profil d'équilibre. La restitution des sédiments au cours d'eau est réalisée au regard de la contamination des sédiments, et des effets sur l'écosystème à l'aval.

Lorsque la remise dans le cours d'eau n'est pas possible du fait de leur forte contamination, ou des mauvaises conditions de dilution dans le milieu aquatique, les sédiments sont mis en épandage ou traités comme déchets conventionnels.

Sur les sites marins, les chenaux d'amenée d'eau sont soumis à l'ensablement sous l'effet conjugué de la houle et des courants d'aspiration des stations de pompage. Les sédiments prélevés lors des dragages sont disposés sur une barge en vue d'être acheminés jusqu'au lieu de rejet en mer (clapage) dans une zone bien définie et autorisée (meilleur compromis entre impact environnemental et facilité de mise en œuvre)[1].

Information de l'administration à la fin des travaux

À la fin des travaux, un rapport est remis aux autorités compétentes évaluant l'efficacité du dragage et les éventuels écarts avec les impacts présentés dans l'étude initiale.

1. En conformité avec la convention OSPAR, l'article L. 218-43 du Code de l'environnement dispose que l'immersion en mer de déchets ou d'autres matières est interdite, cependant, l'immersion des déblais de dragage peut être autorisée (article L. 218-44). La procédure de permis d'immersion des déblais de dragage en milieu marin a été simplifiée par l'ordonnance n° 2005-805 du 18 juillet 2005. Depuis, les autorisations ou déclarations valent permis d'immersion des déblais de dragage.

6. Qualité de l'eau prélevée vis-à-vis du risque d'encrassement des circuits de refroidissement

Les circuits de refroidissement sont soumis au risque d'encrassement du fait :

- de la présence de sels de calcium et de magnésium (mesurés par le TH)[1] et d'hydrogénocarbonates (mesurés par le TAC)[2] dans l'eau douce prélevée, à l'origine de la formation de tartre ;
- des matières en suspension ou colloïdes susceptibles de se déposer sur les surfaces d'échange ;
- de la formation d'un biofilm sur les parois des circuits.

6.1 FORMATION DU TARTRE DANS LES CIRCUITS (CONDENSEURS ET AÉRORÉFRIGÉRANTS)

La présence de sels de calcium dans l'eau prélevée dans le cours d'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau. Ainsi, plus la teneur en sels de calcium (dureté de l'eau) est élevée, plus il y a prédisposition au dépôt de calcaire ou tartre (carbonate de calcium) sur les parois en contact avec l'eau.

Mais la présence de sels de calcium dans l'eau n'est pas à elle seule suffisante pour provoquer l'entartrage. La précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, faisant diminuer la teneur de gaz carbonique dissous dans l'eau, accélère la précipitation du tartre. Il n'y a pas ou très peu d'entartrages sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eau tiède (circuit de refroidissement des condenseurs) ou d'eau chaude sanitaire présentent un terrain favorable à l'entartrage (*cf.* encart ci-après).

6.2 TRAITEMENT ANTITARTRE DES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT DES CONDENSEURS

Circuit ouvert

La propreté des tubes de condenseurs est assurée en permanence par la circulation de boules en mousse qui, par leur passage répété, limitent les dépôts de toute nature, y compris de tartre (mesure préventive). En cas d'encrassement, le dépôt est retiré mécaniquement au moyen d'hydro-lasers à très haute pression lors des opérations de maintenance (mesure curative). Aucun traitement mettant en œuvre des substances chimiques antitartre n'est nécessaire.

Circuit dit « fermé »

Dans les circuits dits « fermés », les sels contenus dans l'eau naturelle prélevée (en particulier le carbonate de calcium) se concentrent du fait de l'évaporation partielle de l'eau dans la tour aéroréfrigérante. Ceci est propice à la formation de tartre notamment dans les zones d'échange de chaleur que sont les tubes de condenseurs et les corps d'échange des aéroréfrigérants (packings).

À la mise en service des centrales au début des années 1980, des études ont permis de définir, en fonction de la qualité de l'eau prélevée, les facteurs de concentration[3] à ne pas dépasser et les débits d'appoint et de purge appropriés pour éviter le phénomène d'entartrage. Des traitements chimiques antitartre sont, malgré tout, nécessaires sur plusieurs centrales (*cf.* encart).

Lorsque la centrale est en fonctionnement, les **traitements préventifs** de lutte contre le tartre consistent à :

- injecter en continu de l'acide sulfurique, ce qui permet de diminuer le risque de formation de tartre dans les circuits alimentés en eau très entartrante comme l'eau de la Meuse à Chooz, de la Moselle à Cattenom, de la Garonne à Golfech et de la Seine à Nogent, et plus récemment Chinon et Cruas suite à une évolution de la qualité d'eau ;
- ajouter le cas échéant des antitartres organiques qui agissent sur la formation des cristaux de tartre et empêchent ces derniers ainsi que les matières en suspension de se déposer sur les corps d'échanges des aéroréfrigérants (en complément du traitement à l'acide comme à Nogent, ou en traitement unique comme à Bugey et dans le futur à Belleville et à Dampierre).

1. TH titre hydrotimétrique *cf.* chapitre 10 §4.
2. TAC titre alcalimétrique complet *cf.* chapitre 10 §4.
3. Le facteur de concentration de sel dans le circuit de refroidissement est défini par la formule : Fc = débit d'appoint/débit de purge.

Pour assurer la meilleure efficacité de ces traitements, le maintien en propreté des circuits est primordial : nettoyage des tubes de condenseurs par des boules en mousse, nettoyage des grilles en sortie des aéroréfrigérants, des tambours filtrants, de la propreté des séparateurs de gouttes dans les aéroréfrigérants.

Le degré d'encrassement des corps d'échange de l'aéroréfrigérant peut être suivi en fonctionnement par :
- la mesure des performances des circuits (contrôle économique de fonctionnement) ;
- la pesée du corps d'échange.

En cas de prise de poids marquée, des actions curatives peuvent être réalisées à l'arrêt tel le secouage des corps d'échange (packings) des aéroréfrigérants. Mais ces actions surviennent sur des phénomènes déjà établis. Le suivi de la chimie de l'eau permet, *via* l'utilisation d'indicateurs de risque d'entartrage, d'anticiper la formation de tartre dans le circuit et de mettre en œuvre rapidement les actions nécessaires en cas de dérive de ces indicateurs (*cf.* encart).

Les traitements contre le tartre engendrent des rejets chimiques qui sont réglementés (*cf.* chapitre 8 sur la nature et le contrôle des rejets), mais aussi des déchets solides en cas de secouages mécaniques des corps d'échange. Les déchets produits sont hygiénisés si besoin avant d'être évacués dans des filières classiques de gestion des déchets.

Écaille de tartre déposé dans un aéroréfrigérant.
Centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine

Traitements antitartre des centrales refroidies en circuit dit « fermé »

Contrôle de l'entartrage des circuits

Des essais réalisés sur des boucles d'essai (TERA), avant la conception des circuits, ont permis d'étudier l'influence des caractéristiques physico-chimiques de l'eau sur la formation de tartre.

Mais d'autres facteurs peuvent aussi favoriser l'apparition de tartre.
- la température de l'eau et son pH ;
- le dégazage du CO_2 dissous dans l'eau ;
- la présence de certains constituants de l'eau naturelle ou émis par l'abrasion des tubes en laiton des condenseurs (ions cuivre, zinc et ferreux) ;
- la géométrie et de l'état de surface du matériau constitutif du corps d'échange (condenseurs, packings).

À la conception des ouvrages, le dimensionnement des circuits (pompes….) tient compte d'un facteur très important dans le risque de formation de tartre, à savoir le facteur de concentration (Fc) entre le débit d'eau d'appoint (A) et débit de purge (P) : Fc = A/P.

En exploitation, le risque d'entartrage est évalué par le suivi du facteur de concentration et par l'indice de Ryznar déterminé par la formule suivante :

$$Ir = pH\ de\ saturation - pH$$

Le pH de saturation dépend de la température de l'eau, de la teneur en bicarbonates dans l'eau (TAC), de la teneur en calcium (dureté de l'eau) et de la salinité de l'eau.

Le tableau ci-après donne la correspondance entre l'indice de Ryznar et la tendance entartrante ou corrosive de l'eau.

Ir	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Équilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante

Des seuils d'alerte ont été définis pour chaque centrale.

Traitements anti-tartre

Injection d'acide fort

L'injection d'acide sulfurique (1) dans l'eau à traiter permet de déplacer l'équilibre chimique de façon à rendre l'eau moins entartrante en diminuant la concentration en bicarbonate de calcium.

[1] Acide sulfurique : $Ca^{2+} + 2HCO_3^- + H_2SO_4 \Leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2CO_2 + 2H_2O$

Sur les centrales concernées, l'injection est réalisée en continu en amont des pompes de circulation et les volumes injectés dépendent des caractéristiques physico-chimiques de l'eau du cours d'eau et des conditions de fonctionnement du circuit (mise en service de la recirculation d'hiver). Ces traitements engendrent des rejets de sels tels que les sulfates.

Antitartres organiques

L'usage d'inhibiteurs d'entartrage (polyacrylates, polyphosphonates, poly-phosphocarbonates…) est répandu dans l'industrie pour le traitement des circuits d'eau. L'emploi de ces inhibiteurs permet d'augmenter le facteur de concentration en repoussant la limite de solubilité de sels entartrants (carbonate de calcium) mais aussi en permettant la précipitation des sels sous une forme non entartrante si la limite de solubilité est dépassée. Les polymères organiques s'adsorbent sur le cristal de carbonate de calcium en formation et entravent son grossissement. Ils empêchent ainsi les cristaux de tartre de s'incruster. Une boue non adhérente se forme et s'élimine avec le flux d'eau.

L'emploi de ce type de produit comme dispersant est aussi recommandé lorsque l'eau de refroidissement est chargée en matières en suspension.

À Nogent et Bugey, le traitement est réalisé au moyen de polyacrylate injecté tout au long de l'année. Ce traitement conduit à des rejets de polyacrylates et de sodium.

7. Maîtrise du développement des micro-organismes pathogènes dans les circuits de refroidissement

7.1 AMIBES ET LÉGIONELLES DANS LES CIRCUITS D'EAU DOUCE

Provenance des micro-organismes

L'eau douce prélevée dans l'écosystème aquatique contient naturellement des micro-organismes qui se développent ensuite dans les installations où la température de l'eau est comprise entre 25 °C et 50 °C. Certains de ces micro-organismes sont pathogènes. C'est le cas des espèces d'amibes *Naegleria fowleri* et des légionelles *Legionella pneumophila*. Dans le cas de l'amibe *Naegleria fowleri*, l'exposition se fait par contact avec la muqueuse nasale. En ce qui concerne la légionelle, la voie d'exposition est liée à l'inhalation d'aérosols fins contenant la bactérie. Les circuits susceptibles de produire des aérosols contaminés par des légionelles sont les systèmes de refroidissement équipés d'aéroréfrigérants.

Le développement des légionelles et des amibes dans les circuits fermés est favorisé par la température, l'importance des surfaces d'échange – où le biofilm est le siège du développement des micro-organismes – l'apport de matières organiques et l'oxygénation naturelle du circuit.

Les amibes de l'espèce *Naegleria fowleri* sont des protozoaires (animaux unicellulaires) qui peuvent être à l'origine de méningo-encéphalite amibienne primitive (MEAP) maladie très rare mais généralement mortelle. Quant aux légionelles, ce sont des bactéries responsables de la légionellose dite maladie du légionnaire (pneumonie) et de la fièvre de Pontiac (syndrome grippal).

Du fait des plus faibles surfaces d'échange et les temps de séjour plus courts, les circuits ouverts ne sont pas le siège d'un développement de micro-organismes pathogènes (*cf.* §4.2).

Amibe Naegleria fowleri

Légionelles

Traitement pour lutter contre la prolifération des micro-organismes dans les circuits

- Circuits de refroidissement des condenseurs équipés de tours aéroréfrigérantes (TAR)

Les micro-organismes présents dans l'eau des circuits peuvent atteindre l'être humain par l'intermédiaire :
- des aérosols présents dans le panache de vapeur (cas des légionelles) issu des tours aéroréfrigérantes où des gouttelettes d'eau brute sont susceptibles de se disperser dans le flux d'air ambiant (phénomène limité par la performance du taux de primage des aéroréfrigérants des centrales nucléaires supérieure à celle des installations ICPE) ;
- des baignades et loisirs aquatiques pratiqués à l'aval des rejets (cas des amibes).

Pour se prémunir du risque d'exposition, des actions sont mises en place sur les 11 centrales nucléaires concernées, soit sur 30 circuits équipés de tours aéroréfrigérantes : Belleville (2), Bugey (2 circuits dits « fermés » équipés chacun de 2 aéroréfrigérants), Cattenom (4), Chooz (2), Civaux (2), Chinon (4), Cruas (4), Dampierre (4), Golfech (2), St-Laurent (2), Nogent (2). La hauteur des tours varie selon les centrales de 28 m à Chinon à 178 m à Civaux.

Les actions identifiées, notamment par une analyse méthodique des risques de prolifération et de dispersion propre à chaque CNPE, reposent sur :
- le maintien d'un état satisfaisant de propreté des circuits (maîtrise de l'entartrage des circuits en fonctionnement – *cf.* §6.2, nettoyage mécanique à l'arrêt) ;
- la surveillance et le suivi rigoureux de la présence de ces micro-organismes dans les circuits telles les analyses régulières des teneurs en amibes et légionelles dans les circuits selon un protocole bien défini (*cf.* chapitre 11) ;
- la mise en œuvre de traitements biocides (*cf.* figure 5), en action préventive ou curative, pour maintenir les concentrations dans les circuits ou dans l'environnement aquatique en aval des rejets sous les seuils fixés par la réglementation (une concentration de 100 *Nf*/L (*Naegleria fowleri*/L) en fleuve, à l'aval de la centrale, pour les amibes ; 10 000 UFC/L (unité formant colonie/L) en 1er seuil d'action et 100 000 UFC/L en seuil d'arrêt sous conditions, dans les circuits CRF, pour les légionelles).

Depuis le 1er avril 2017, les CNPE concernés appliquent la décision ASN n° 2016-DC-0578 relative à la prévention des risques résultant de la dispersion de micro-organismes pathogènes (légionelles et amibes) par les installations de refroidissement du circuit secondaire des réacteurs électronucléaires à eau sous pression, dite décision « Amibes Légionelles ». Cette décision a pour objectif de traduire les cibles de colonisations de légionelles pour les installations nucléaires de production d'électricité en cohérence avec la réglementation applicable aux ICPE, tout en prenant en compte les impacts environnementaux et les impacts sanitaires. Elle prévaut sur les décisions individuelles des CNPE (*cf.* chapitre 5).

Les déchets produits (tartres, boues, *packings* d'aéroréfrigérant, EPI) lors des opérations de maintenance des circuits de refroidissement (détartrage mécanique, curage des bassins froids des aéroréfrigérants) sont susceptibles d'être colonisés par des micro-organismes ; ils sont, le cas échéant, traités (hygiénisation) avant d'être éliminés comme déchets industriels banals.

Autres circuits susceptibles de présenter un risque lié aux micro-organismes

Les autres installations pouvant être colonisées sur un CNPE par des légionelles pathogènes sont :
- la tour aéroréfrigérante de petite hauteur située sur les purges des grandes tours de réfrigération de Civaux (CVP) ;
- les aéroréfrigérants permettant le refroidissement des circuits auxiliaires de l'îlot nucléaire de Civaux (SEC) ;
- les échangeurs de circuits auxiliaires (TRI) du bâtiment de traitement des effluents,
- les chantiers sur lesquels ont été déposés des matériels en contact avec de l'eau contaminée (tubes de condenseurs, packings...) ;
- les eaux chaudes sanitaires des douches.

Ces installations font l'objet d'analyses régulières permettant de déceler l'éventuelle présence de risque et d'initier dès lors les actions de désinfection ou d'arrêt des installations. Par ailleurs, des dispositions sont prises pour protéger le personnel intervenant sur les matériels à risque (port d'équipements de protection individuels, masques notamment).

Aéroréfrigérants de la centrale nucléaire de Bugey.
© EDF – Bruno Conty

Traitements biocides pratiqués sur les centrales refroidies en circuits dits « fermés »

Les définitions

L'activité antimicrobienne d'un biocide résulte de l'effet qu'il produit sur les espèces sensibles (inhibition de croissance ou effet létal). Cet effet peut être produit par des composés oxydants comme le chlore ou par méthodes physiques (rayons ultra-violets par ex.). L'activité biocide est déterminée par des essais standardisés (ex. NF EN 1040). Ceci permet d'effectuer des comparaisons entre biocides et de définir les paramètres conditionnant leur action (pH, température, turbidité, DCO, COT, présence de matières organiques, flore totale…) et donc d'optimiser l'efficacité du traitement.

L'efficacité du traitement biocide est définie par sa faculté à atteindre l'objectif fixé (ex. seuil réglementaire). Elle peut être déterminée en comparant les micro-organismes dénombrés avant et après un traitement de 48 h à 72 h dans le circuit.

Fig. 5 ▶ Traitement biocide à la monochloramine.

Les traitements biocides

L'injection en **continu de monochloramine est réalisée pendant la période à risque** (oxydant produit in situ par un mélange d'ammoniaque et d'eau de Javel) à l'amont des condenseurs. Ce traitement est pratiqué à Chooz, Dampierre (tranches 1 et 3) et Golfech depuis 1999, à Nogent depuis 2001, à Bugey depuis 2002, à Chinon depuis 2006 et à St-Laurent depuis 2010, Cattenom depuis 2014 et Cruas 2016 (à venir sur les CNPE de Belleville, Civaux et les tranches 2 et 4 de Dampierre).

L'injection séquentielle à la monochloramine vise, tout en conservant l'efficacité du traitement, à réduire les quantités de monochloramine injectées (injection réduite de moitié lorsque le traitement est pratiqué 12 h par 24 h) et les rejets chimiques induits. Ce traitement est pratiqué depuis 2005 à Bugey, 2008 à Golfech et 2011 à Nogent. Progressivement, il est mis en place sur les CNPE après des phases de test. À noter néanmoins que la qualité d'eau des fleuves génère une application très disparate, de la réduction de l'injection de monochloramine, pour conserver l'efficacité. De plus, les conditions climatiques exceptionnelles rencontrées ces dernières années nous conduisent à limiter cette réduction lors des périodes caniculaires pour conserver la maîtrise du risque microbiologique.

La chloration massive à pH contrôlé (CMA) consiste à injecter une quantité d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) dans le bassin froid des aéroréfrigérants avec acidification de l'eau soit pour lutter contre les salissures biologiques, soit pour faire face à une prolifération ponctuelle de micro-organismes en cas de défaillance ou d'indisponibilité du système de traitement à la monochloramine (secours). Dans ce cas, la purge du circuit reste fermée durant la durée nécessaire à la décroissance du résiduel de chlore jusqu'à l'atteinte des seuils de rejets acceptables.

Le traitement des amibes aux rayonnements ultra-violets (UV) à Civaux (*cf.* figure 6)

Depuis l'apparition d'amibes pathogènes (*Nf*) dans l'eau de refroidissement de la centrale de Civaux, un système de traitement utilisant les propriétés biocides des rayonnements ultra-violets (UV) a été installé en 2002 sur les purges des deux tours aéroréfrigérantes (débit d'eau par purge de 1 à 1,4 m³/s).

Les rayonnements UV sont produits par des lampes délivrant une dose minimale d'insolation de 60 mJ/cm² en moyenne journalière à l'eau de purge qui s'écoule en lame dans les bancs de traitement vers le rejet en Vienne. Il vise à abattre la concentration en amibes *Nf* mesurées dans les circuits, de sorte à respecter la concentration réglementaire à ne pas dépasser en Vienne à l'aval de la centrale.

Fig. 6 ▶ Schéma du circuit de traitement UV de Civaux.

L'efficacité du traitement par UV dépend de la propreté des lampes UV afin d'assurer la dose minimale d'insolation : celles-ci sont donc nettoyées régulièrement au moyen de dispositifs mécaniques et/ou chimiques par injection d'acide phosphorique (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts des prélèvements d'eau et des rejets). L'efficacité de traitement est aussi fonction de l'épaisseur de la lame d'eau formée dans les bancs de traitement (environ 1 cm) et de la qualité de l'eau à traiter (transmittance). La présence en quantité

élevée de matières en suspension dans l'eau brute réduit l'efficacité du traitement. Ceci peut se produire notamment à la suite d'un orage.

Traitements alternatifs

En tenant compte de l'expérience à l'étranger, d'autres types de traitement ont été étudiés et testés sur des boucles d'essai, tels que le traitement de l'eau d'appoint par décarbonatation, clarifloculation, l'utilisation de dioxyde de chlore…

Au vu des résultats, le traitement à la monochloramine sur de l'eau brute reste, pour l'instant, la meilleure technique disponible pour lutter efficacement contre le développement des micro-organismes dans les circuits de refroidissement, en minimisant les impacts sanitaire et environnemental ; la veille technologique sur des traitements alternatifs se poursuit.

7.2 VIBRIONS DANS LES CIRCUITS DE RÉFRIGÉRATION À L'EAU DE MER (SITES MARINS)

Les vibrions sont des bactéries thermophiles (2 à 3 µm de long) présentes dans les eaux naturelles, en particulier dans les eaux saumâtres et salées. Ils se caractérisent par leur grande mobilité dans l'eau. Certaines espèces (*Vibrio parahaemolyticus, Vibrio cholerae...)* peuvent être pathogènes pour les hommes ou les animaux (poissons, crustacés). Ils sont présents dans l'eau de mer et se développent très rapidement dans le biofilm des ouvrages et canaux de rejet, là où la température est élevée et la concentration en chlore résiduel est trop faible.

Ce sujet a fait l'objet d'une surveillance sur le site de Gravelines depuis les années 1980, puis sur les autres sites de centrales nucléaires en bord de mer. Les données recueillies *in situ* comme les résultats d'études expérimentales n'imposent pas de mettre en place un traitement particulier en plus de la chloration pratiquée pour contrôler les salissures biologiques.

Vibrions

8. Protection des installations contre les risques climatiques

8.1 INONDATION

Le risque

Les risques inondations sont associés à des risques de débordement de la source froide (crue, rupture d'ouvrage de retenue), d'arrivée directe d'eau sur la plateforme de l'INB (pluies, rupture d'équipements ou de bâches non qualifiées au séisme) ou des remontées de la nappe phréatique.

Ces risques sont pris en compte à la conception et régulièrement réévalués durant toute la vie de l'installation. Ils peuvent conduire à des infiltrations d'eau dans des locaux renfermant des éléments importants pour la protection des intérêts liés à la sûreté nucléaire.

Les inondations peuvent s'accompagner d'un apport de débris de toutes sortes qui sont susceptibles de s'accumuler dans les prises d'eau de la station de pompage rendant difficile l'alimentation des circuits de refroidissement.

La protection

La conception des centrales nucléaires respecte en sus des dispositions juridiquement contraignantes des règles fondamentales de sûreté (RFS) ou des guides édictés par l'ASN. Cela se traduit notamment par une protection des bâtiments ou équipements en infra et en superstructure jusqu'à une cote dite majorée de sécurité (CMS) définie pour les centrales côtières, fluviales ou en estuaire en fonction des phénomènes météorologiques ou assimilés (séismes).

L'objectif des parades et protections développées est de garantir, en autonomie, les capacités de gestion de l'événement sur le site (risque d'isolement), l'absence de survenue d'eau sur la plateforme de l'INB, le maintien des sources électriques, la sauvegarde de la source froide. Ces protections sont complétées par la prise en compte d'un cas de charge Post-Fukushima dont l'objectif est la sauvegarde des équipements nécessaires au maintien en état d'arrêt sûr des installations.

Lorsque cela se justifie, les centrales sont protégées par des digues ou murets en périphérie du site (cas de la centrale de Blayais). Ces ouvrages sont éventuellement complétés par des écrans étanches à l'intérieur du site pour se prémunir des infiltrations d'eau sous les digues ou des remontées d'eau de la nappe phréatique.

Vue aérienne de la centrale nucléaire du Blayais
© EDF Didier Marc/PWP

La protection contre les inondations repose sur un système d'alerte afin d'anticiper les actions préventives (fermeture d'accès sur la digue, surveillance de la station de pompage, acheminement des ressources humaines et du matériel nécessaire, si le site devait être momentanément isolé). Elle fait l'objet d'un examen périodique pour tenir compte des évolutions réglementaires ou climatiques et s'assurer ainsi de son efficacité permanente. Si nécessaire, les dispositifs sont rehaussés, renforcés voire complétés.

À la suite de l'inondation de la centrale nucléaire de Fukushima, provoquée par le tsunami consécutif au séisme de magnitude 9 survenu le 11 mars 2011, le niveau de protection des installations nucléaires en France a été réévalué.

Ainsi, la protection des équipements nécessaires au maintien à l'arrêt sûr des installations a été complétée par des murets ou batardeaux permanents à proximité immédiate de ces équipements ; et par des batardeaux de protection rapprochée haute résistance pour les ouvrages associés à des séismes dit de Noyau Dur (séisme majoré de sécurité re-majoré).

La gestion des conséquences

La gestion des eaux résultant d'une inondation externe prend en compte les points suivants :

- l'annulation des causes de l'inondation (étancher, colmater les brèches...) ;
- l'inventaire des zones inondées (volumes d'eau récupérée, nature de la pollution radioactive et/ou chimique de ces eaux...) ;
- la définition, en concertation avec les autorités, des actions appropriées à mettre en œuvre en les priorisant (analyses des eaux, traitement éventuel des eaux, mise en œuvre de moyens mobiles de pompage, de traitement,..) ;
- le contrôle de la bonne exécution des actions ;
- le bilan de la situation après retour à la normale (comptabilisation des volumes et quantités rejetés, évaluation de l'impact de ces rejets sur l'environnement...).

Il n'y a pas de contrôle *a priori* des eaux qui sont rejetées par pompage lors d'un événement d'inondation externe. Un prélèvement est effectué afin de pouvoir caractériser ultérieurement la qualité de l'eau qui aura été pompée vers l'extérieur. Dans le principe, les eaux pompées sont orientées vers des réservoirs de stockage tant que ceux-ci ne sont pas pleins. Une fois pleins les eaux sont alors rejetées.

Inondation du site du Blayais en 1999

La tempête très violente qui s'est produit dans la nuit du 27 au 28 décembre 1999 a provoqué une inondation partielle de la plate-forme du site de la centrale du Blayais. Les équipes de secours (pompiers) sont intervenues dès l'enclenchement du plan d'urgence interne (PUI) pour procéder aux opérations de pompage. Environ 100 000 m³ d'eau ont été pompés et régulièrement contrôlés avant d'être rejetés dans la Gironde avec l'accord de l'Administration. Aucune radioactivité n'a été décelée dans les échantillons prélevés. À la suite de cet événement, plusieurs dispositions ont été prises pour renforcer la protection du site contre les inondations (rehausse de la digue, mise en place d'enrochements, amélioration du système d'alerte, modélisation du phénomène de propagation de l'eau dans l'estuaire de la Gironde par le Code Télémac).

8.2 CANICULE – SÉCHERESSE

Des situations exceptionnelles

Les canicules de 2003, 2006, 2015, 2018 et 2019 ont constitué des événements climatiques majeurs par leur ampleur géographique, leur durée, les niveaux

élevés de température observés tant dans l'air ambiant que dans l'eau des rivières qui ont subi une forte réduction de leur débit. Cette situation a imposé une gestion particulière des centrales nucléaires avec trois objectifs :

- assurer en priorité la réfrigération des locaux sensibles ;
- respecter les limites thermiques en rivières fixées par la réglementation ;
- gérer les rejets radioactifs en rivières en fonction des obligations réglementaires relatives au débit (*cf.* chapitre 8 Nature et contrôles des rejets).

Les mesures préventives et la conduite à tenir

Pour limiter les conséquences des périodes de canicule et de sécheresse sur le fonctionnement des installations, il est très important de maintenir la propreté des échangeurs thermiques (condenseurs et échangeurs). Ainsi, le nettoyage et le contrôle du développement des salissures biologiques permettent d'éviter une dégradation des échanges thermiques (*cf.* § 4.1 et § 6.4). Par ailleurs, une attention particulière est apportée au rendement thermique des circuits fermés équipés de tours de refroidissement, qui est très sensible aux dépôts de tartre (*cf.* §6.2). En cas d'entartrage massif et irréversible, le *packing* est remplacé.

Il s'agit également de se préparer à l'éventuelle survenue de ces situations liées au changement climatique. Après la canicule de 2003, EDF a mis en œuvre des modifications basées sur un nouveau référentiel fixant les règles de dimensionnement des installations et les dispositions organisationnelles. Les objectifs sont de mettre les installations en configuration « été » et de veiller particulièrement au fonctionnement des matériels sensibles aux Grands Chauds selon quatre niveaux d'action : phase de veille, de vigilance, de pré-alerte et d'alerte. La veille mise en place permet ainsi de suivre les évolutions climatiques et s'interroger régulièrement sur la pertinence et l'efficacité des moyens mis en place.

La gestion des épisodes de canicule et sécheresse

En période de canicule et de sécheresse, des modèles prévisionnels de la température des eaux et du débit des cours d'eau, élaborés par EDF, sont utilisés pour aider à la gestion de la situation.

Dans certains cas, les évaporations d'eau sont réduites au prix d'une baisse de production d'électricité pour garantir le partage équitable de la ressource en eau entre les utilisateurs (alimentation en eau potable, agriculture, loisirs, maintien de la qualité d'eau...).

La réglementation sur les rejets thermiques peut contraindre l'exploitant à réduire la production d'électricité voire à l'interrompre. Sur ce plan, des dispositions particulières peuvent être définies par l'Autorité de sûreté nucléaire conformément à l'article R. 593-40 alinéa II du Code de l'environnement (*cf.* chapitre 5 § 4.1).

En période d'étiage, des lâchers d'eau en provenance des retenues sur des bassins fluviaux sont effectués pour compenser le débit évaporé dans les aéroréfrigérants ; ces lâchers d'eau sont augmentés, dans la mesure des réserves disponibles, pour renflouer les cours d'eau dont les débits sont anormalement bas.

Les rejets radioactifs sont gérés par une coordination entre les centrales nucléaires situées sur le même bassin hydrographique (cas de la Loire). Ils sont interrompus lorsque le débit descend sous le seuil réglementaire.

Les sites marins sont moins sensibles aux épisodes de fortes chaleurs qui ont une moindre incidence sur la température de l'eau de mer.

8.3 GRAND FROID

Le risque

Les périodes de grand froid (plusieurs jours au-dessous de -15 °C) affectent particulièrement les prises d'eau, les stations de pompage et les aéroréfrigérants. Ces ouvrages sont sujets :

- à la formation d'un couvert de glace sur les structures réduisant les sections de passage de l'eau ou de l'air ;
- au frasil (phénomène de prise en glace de l'eau au contact de l'air froid).

Centrale nucléaire de Cattenom en hiver, sous la neige (prévention et sécurité aux alentours de la centrale)
© EDF David Queyrel

Les réservoirs d'eau ou d'effluents situés à l'extérieur sont aussi touchés (formation de glace dans les évents) ainsi que les capteurs de pression (pression différentielle des tambours filtrants) et de niveau exposés au froid.

La vague de froid peut être suivie de pluie verglaçante ou de neige qui amplifie les risques liés au grand froid.

Périodes de canicule – sécheresse de 2003 à 2019 : bilan et mesures prises

Plusieurs épisodes de canicules se sont produits depuis celle qui a marqué l'été 2003. Chaque période de canicule est caractérisée par une durée (nombre de jours) et une intensité (associée aux températures d'air atteintes en France). Depuis 2003 et 2006, d'autres vagues de chaleur se sont produites, comme en 2015, en 2018 ou en 2019, mais les deux étés 2003 et 2006 restent marquants (voir figure 7) : 2003 par son intensité combinée à sa durée, ce qui la maintient dans la vague de chaleur la plus sévère de ces 20 dernières années, 2006 par sa durée, la plus longue depuis celle de 1983. L'année 2019 a été marquée par deux périodes de canicules plus intenses, mais aussi beaucoup plus courtes, l'été 2019 étant surtout marqué par la succession rapprochée de deux épisodes très intenses.

Fig. 7 ▶ Analyse des vagues de chaleur au niveau national par Météo-France depuis 1947 au regard de l'été 2019 (source Météo-France, 2019).

Retour sur les canicules marquantes de ces deux dernières décennies

La **canicule de 2003** a été exceptionnelle par sa durée (deux semaines), son intensité et son extension géographique. Couplée à une période de sécheresse, cette situation a affecté les moyens de production d'électricité par l'élévation de la température des rivières et des fleuves, ainsi que par des baisses de débit. Les températures atteintes sur certains fleuves ont conditionné la production d'électricité au respect des limites réglementaires des rejets thermiques ; 6 centrales thermiques classiques ont ainsi été arrêtées, tandis que la production de plusieurs des 58 réacteurs nucléaires a été réduite.
Pour garantir l'équilibre du système électrique qui était menacé, le gouvernement a pris en août 2003, un arrêté interministériel autorisant, temporairement et sous conditions, le dépassement des températures maximales des rejets thermiques pour les CNPE situés sur la Garonne, le Rhône, la Seine et la Moselle, avec des échauffements après mélange restant limités (de 1 °C à 1,5 °C pour les installations en circuit dit « fermé », 3 °C pour les autres).
L'utilisation de cet arrêté a permis le maintien en production de plusieurs centrales, en particulier Blayais sur la Gironde, Golfech sur la Garonne, Tricastin sur le Rhône et Cattenom sur la Moselle.

En juillet 2006, les conditions météorologiques exceptionnelles – semblables à celles de 2003 – ont conduit le gouvernement à prendre à nouveau, à la demande d'EDF, un arrêté temporaire pour permettre aux centrales nucléaires implantées sur le Rhône, la Moselle, la Meuse, la Garonne et la Seine de continuer à pratiquer ces rejets tout en limitant l'échauffement moyen journalier après mélange à 0,3 °C sur la Garonne, 1,5 °C sur la Meuse, la Moselle ou la Seine, 1 °C sur le Rhône pour les centrales équipées, partiellement ou en totalité, de tours aéroréfrigérantes, 3 °C pour les sites en circuit ouvert.
En 2003 comme en 2006, l'utilisation de ces arrêtés temporaires a conduit l'exploitant à renforcer son **programme de surveillance de l'environnement aquatique**, notamment de la faune (poissons…) et à évaluer l'incidence des rejets, notamment sur les baignades et les activités de loisirs nautiques en aval.
Ces situations exceptionnelles ont nécessité la **coordination** des différents acteurs concernés (ministères, RTE, EDF et autres producteurs). Celle-ci s'est à chaque fois révélée efficace, contribuant ainsi à réduire les conséquences de ces épisodes climatiques.

Canicules de 2015 et 2018

Depuis, **d'autres épisodes de canicules** (en 2015 et en 2018) se sont produits, conduisant également à des contraintes de productions sur les CNPE, notamment sur le Rhône, mais sans utilisation d'arrêté temporaire. Depuis 2014, les nouvelles autorisations de rejets propres à chaque CNPE (décision individuelle de l'ASN) incluent en effet des limites de rejets thermiques en conditions climatiques exceptionnelles. À **la demande du gestionnaire du réseau électrique**, pour préserver l'équilibre entre la production et les besoins en électricité, la centrale concernée est autorisée à fonctionner à un niveau de puissance correspondant au besoin du réseau, dans le cadre de ces limites thermiques adaptées. Leur application conduit à la mise en place d'un **programme de surveillance renforcé de l'environnement**.

D'un point de vue réglementaire, deux leviers permettent aujourd'hui à l'exploitant le maintien à un niveau de puissance minimal d'une centrale, en cas de besoin avéré du système électrique :

- en application des **conditions climatiques exceptionnelles** lorsqu'elles sont prévues dans sa décision individuelle fixant les limites de rejets ;
- en application de l'article R. 593-40-alinéa II du Code de l'environnement **pour une situation exceptionnelle**, *via* une **modification temporaire** des autorisations de rejets du CNPE, décidée par l'ASN.

Bilan des canicules de 2003, 2006, 2015 et 2018

Suite à ces différents épisodes caniculaires, plusieurs **enseignements** ont été tirés et EDF a pris de nombreuses mesures pour anticiper ces épisodes et assurer l'approvisionnement en électricité même en cas de fortes chaleurs :

- une **préparation** de la période d'été est réalisée plusieurs mois à l'avance et affinée au fur et à mesure que les périodes potentiellement sensibles approchent ;
- des équipes dédiées réalisent en continu une **surveillance de la météo et de l'hydraulicité** (avec notamment des prévisions des débits des cours d'eau et des températures d'eau en période estivale) afin d'évaluer les ressources en eau disponibles, de suivre les périodes de forte sécheresse et de canicule et de prendre, en lien avec les pouvoirs publics et le gestionnaire du réseau, les décisions adaptées ;
- en fonction de la situation, plusieurs **leviers** peuvent être utilisés dont l'achat d'électricité sur les marchés de gros, incluant les imports *via* les interconnexions avec les pays limitrophes ;
- des travaux sur les tours aéroréfrigérantes ont été réalisés, augmentant leurs performances pour assurer un refroidissement plus efficace de l'eau avant son rejet dans le milieu.

La protection

Protéger les centrales nucléaires contre les vagues de grand froid est une nécessité pour des raisons de sûreté nucléaire et de disponibilité des installations à une période de l'année où la demande en énergie est forte.

Les vagues de grand froid rencontrées ont conduit à définir un référentiel fixant les règles de dimensionnement des matériels pour résister à ces situations. Ces règles ont nécessité de renforcer la protection des installations en réalisant des modifications (protection des prises d'eau par recirculation d'eau tiède, chauffage des équipements de filtration et de dégrillage à la station de pompage d'eau, protection des aéroréfrigérants et des évents des réservoirs d'eau et d'effluents, calorifugeage voire chauffage des tuyauteries de capteurs de pression et de niveau...).

Conduite à tenir

Une règle de conduite a été mise à la disposition des exploitants. Ses objectifs sont de mettre les installations en configuration « hiver » et de veiller particulièrement au fonctionnement des matériels sensibles au grand froid selon trois niveaux d'action : phase de veille, de vigilance, de pré-alerte.

POUR EN SAVOIR PLUS

- DGS, Direction générale de la santé, CSHPF, Le risque lié aux légionelles. Guide d'investigation et d'aide à la gestion, 1er juillet 2005.
- AFSSET, Risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau, octobre 2007.
- SFEN, Phénomènes climatiques extrêmes et sûreté des installations nucléaires, Revue RGN n° 5 septembre-octobre 2008.

NATURE ET
CONTRÔLE DES REJETS

8

1. INTRODUCTION

2. INSTALLATIONS DE COLLECTE, DE TRAITEMENT ET DE REJET DES EFFLUENTS

3. DOMAINE RADIOACTIF
3.1 Origine de la radioactivité des effluents rejetés
3.2 Effluents radioactifs gazeux
3.3 Effluents radioactifs liquides
3.4 Eaux d'exhaure des salles des machines
3.5 Rejets gazeux diffus

4. DOMAINE CHIMIQUE
4.1 Origine des substances chimiques rejetées
4.2 Collecte et traitement des effluents chimiques liquides
4.3 Rejets chimiques liquides
4.4 Rejets gazeux non radioactifs

5. REJETS THERMIQUES
5.1 Caractéristiques des rejets thermiques en circuit ouvert
5.2 Caractéristiques des rejets thermiques en circuit dit « fermé »
5.3 Rejets thermiques

6. UTILISATION DES EAUX TIÈDES
6.1 Objectif
6.2 Aspects réglementaires et applications

Annexes

Annexe 8.1 Fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisée

Annexe 8.2 Installation de collecte et de traitement des effluents radioactifs liquides et gazeux

Annexe 8.3 Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides – Site sur cours d'eau

Annexe 8.4 Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides – Site marin

Annexe 8.5 Comptabilisation des activités rejetées

Annexe 8.6 Fonctionnement d'un aéroréfrigérant

Annexe 8.7 Limites de rejets thermiques des centrales EDF mentionnées dans les décisions ASN

© EDF-Pierre Triep-Hourguet

1. Introduction

L'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents radioactifs, chimiques et thermiques dont les rejets dans l'environnement sont strictement réglementés (*cf.* figure 1).

Chaque centrale est équipée de dispositifs de collecte, de traitement et de contrôle des effluents avant rejet. Par ailleurs, une organisation est mise en œuvre afin d'assurer une gestion des effluents dite « optimisée » visant notamment à :

- réduire à la source la production d'effluents, notamment par le recyclage ;
- éliminer les rejets des substances radioactives ou chimiques au moyen de traitements appropriés ;
- valoriser, si possible, les résidus de traitement.

Rejets radioactifs

Le réacteur nucléaire est le siège de la formation de produits radioactifs (produits de fission, produits d'activation, actinides) dont seule une infime partie se retrouve dans les effluents gazeux et liquides rejetés dans l'environnement. Qu'ils soient rejetés par voie atmosphérique (à la cheminée) ou par voie liquide (vidange de réservoirs), les effluents radioactifs sont systématiquement collectés et traités selon leur nature afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Leur rejet est contrôlé par des analyses préalables ainsi qu'au moyen de dispositifs de mesure de la radioactivité en continu pendant le rejet.

Depuis la mise en exploitation des premières centrales dans les années 1980, des améliorations ont été apportées aux systèmes de collecte et de traitement des effluents, et une gestion optimisée a été mise en œuvre tant en phase de fonctionnement qu'en phase d'arrêt pour maintenance ou renouvellement du combustible.

Par ces actions conjuguées, les rejets d'activité de gaz rares ont été réduits de plus d'un facteur 50 et les rejets liquides hors tritium et carbone 14 l'ont été d'un facteur 100. Les rejets radioactifs ont ainsi atteint un niveau qualifié de « plancher » traduisant la volonté de l'exploitant d'agir pour réduire les rejets d'effluents « *aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des aspects économiques et sociaux* », en vertu du principe d'optimisation (*cf.* chapitres 5 et 9).

Rejets chimiques

Les substances chimiques rejetées par une centrale nucléaire se classent en deux catégories :

- les substances associées aux effluents radioactifs liquides issus du circuit primaire et des circuits auxiliaires nucléaires ainsi que les eaux d'exhaure des salles des machines (circuit secondaire) ;
- les produits provenant des autres circuits non nucléaires (circuit de refroidissement des condenseurs, station de déminéralisation, station d'épuration...).

Dans le premier cas, il s'agit de substances utilisées pour le contrôle de la réaction nucléaire (acide borique) ou pour le conditionnement chimique des circuits afin de les protéger de la corrosion (lithine, hydrazine, morpholine, ammoniaque, éthanolamine, phosphates...).

Dans le second cas, les substances en question sont issues du traitement antitartre des circuits de refroidissement (sulfates[1], polyacrylates) et des sous-produits issus du traitement biocide (oxydants résiduels, nitrates, nitrites, AOX[2], THM[3] pour les sites en bord de rivière ; oxydants résiduels et substances organohalogénées bromées pour les sites en bord de mer). À cela s'ajoutent, pour les centrales concernées, les rejets de cuivre et de zinc dus à l'usure des tubes en laiton des condenseurs.

Pour limiter les rejets chimiques, les substances peuvent être recyclées (cas de l'acide borique), voire éliminées en partie par traitement (cas de l'hydrazine). Dans le cas contraire, elles sont rejetées conformément aux dispositions réglementaires.

Par ailleurs, le fonctionnement d'une centrale produit également des rejets chimiques gazeux non radioactifs provenant essentiellement du circuit secondaire (ammoniac, hydrazine...), mais également des installations de combustion de secours et des traitements biocides des circuits de refroidissement.

Rejets thermiques

Le fluide « eau-vapeur » du circuit secondaire d'une centrale nucléaire suit un cycle thermodynamique dit cycle de Carnot. Au cours du cycle, le fluide « eau-vapeur » échange de l'énergie thermique avec deux sources de chaleur :

- **l'une « chaude »** constituée de l'eau du circuit primaire dont la température varie en fonctionnement de 286 °C à 323 °C ;
- **l'autre « froide »** assurée par l'eau du circuit tertiaire de refroidissement du condenseur dont la température peut varier entre zéro et une trentaine de degrés Celsius.

L'eau brute assurant le refroidissement du condenseur est prélevée soit en mer, soit en rivière, et peut être utilisée :

- en circuit ouvert dissipant toute l'énergie thermique extraite au condenseur ;
- en circuit dit « fermé » où l'eau brute du circuit tertiaire est à son tour refroidie par un aéroréfrigérant.

1. En 2015–2016, le traitement à l'acide chlorhydrique a été remplacé par un traitement à l'acide sulfurique sur le CNPE de Cattenom.
2. AOX composés organohalogénés adsorbables sur charbon actif.
3. THM composés organohalogénés volatils (notamment chloroforme).

Les centrales refroidies en circuit ouvert sont implantées en bord de mer et en bordure de fleuve à gros débit (Rhône). L'échauffement du milieu aquatique est dans ce cas de quelques degrés en aval des rejets après mélange. Alors que les centrales des cours d'eau à faible ou moyen débit (Seine, Loire, Vienne, Garonne, Meuse, Moselle) sont refroidies en circuit dit « fermé », ce qui limite l'échauffement à quelques dixièmes de degrés en aval du rejet après mélange.

Fig. 1 ▶ L'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents radioactifs, chimiques et thermiques dont les rejets dans l'environnement sont strictement réglementés. Les schémas de principe ci-dessous présentent les circuits de rejet de ces effluents.

2. Installations de collecte, de traitement et de rejet des effluents

Les centrales nucléaires sont conçues pour permettre une collecte sélective des effluents. Celle-ci permet de séparer les effluents selon leur origine et leur composition afin d'adapter le mode de traitement à leurs caractéristiques. Après collecte et traitement éventuel, les effluents sont analysés avant d'être rejetés dans l'environnement selon des règles définies par la réglementation.

Parmi les différents types de rejet, on distingue :

- les rejets **radioactifs** liquides et gazeux issus des circuits nucléaires (circuit primaire, auxiliaires nucléaires, piscine de désactivation du combustible usé...) qui contiennent également des substances chimiques ;
- les rejets **chimiques non radioactifs** provenant :
  - des salles des machines (circuit « secondaire » renfermant les groupes turbo-alternateur, les postes d'eau...),
  - des circuits d'eau brute de refroidissement des condenseurs et des autres circuits de refroidissement (circuit « tertiaire »),
  - de la fosse de neutralisation des effluents de la station de déminéralisation,
  - de la station d'épuration des eaux usées (eaux vannes),
  - des égouts collectant notamment les eaux de pluie ;
- les rejets **thermiques** liés à l'échauffement de l'eau brute (circuit tertiaire) traversant les tubes de condenseurs et les échangeurs de chaleur.

Si la configuration des circuits d'effluents peut varier selon les paliers de puissance et le mode de refroidissement des condenseurs (*cf.* annexe 8.2), les principes de conception sont identiques pour toutes les centrales (*cf.* figure 2). Ceci vaut aussi pour les circuits d'effluents du réacteur EPR, à l'exception toutefois du circuit de traitement des effluents radioactifs gazeux hydrogénés qui présente des particularités (*cf.* § 3.2).

Fig. 2 ▶ Les centrales nucléaires sont conçues pour permettre une collecte sélective des effluents, qui sont ainsi séparés en fonction de leur origine et de leur composition afin d'adapter leur traitement à leurs caractéristiques ; les effluents sont analysés avant d'être rejetés dans l'environnement, selon des règles définies par la réglementation. Le schéma simplifié ci-dessous présente les principes de collecte, traitement et contrôle des effluents.

3. Domaine radioactif

3.1 ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DES EFFLUENTS REJETÉS

L'énergie produite par un réacteur nucléaire provient de la fission nucléaire (*cf.* annexe 8.1). Le réacteur est donc le siège de la formation de substances radioactives (radionucléides) dont seule une infime partie se retrouve dans les effluents gazeux et/ou liquides.

Parmi les substances radioactives susceptibles d'être présentes dans les effluents, on distingue (*cf.* figure 3) :

- les produits créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium ou de plutonium. Les radionucléides dits produits de fission (PF), tels que les iodes 131 et 133, les césiums 134 et 137, le krypton 85, le tritium, le carbone 14, le strontium 90 restent en quasi-totalité confinés dans le combustible. Ils peuvent toutefois migrer dans l'eau du circuit primaire, en cas d'inétanchéité du gainage du combustible, et donc se retrouver dans les effluents ;
- les produits créés à l'extérieur du combustible par l'action des neutrons de fission sur les structures en acier du réacteur (cuve, tuyauteries, grappes de commandes ou sources de neutrons) ainsi que sur les éléments chimiques contenus dans l'eau du circuit primaire, tels que le bore et le lithium. On les appelle les produits d'activation (PA) dont les principaux sont les cobalts 58 et 60, le manganèse 54, l'antimoine 124, l'antimoine 125, le nickel 63, le chrome 51, l'argent 110 m, mais aussi le tritium et le carbone 14 ;
- les actinides formés dans le combustible par capture de neutrons (américium 241, curium 242, plutonium 239...). Ces radionucléides se caractérisent par l'émission d'un rayonnement alpha. Comme les produits de fission, les actinides restent confinés en quasi-totalité dans le combustible.

Fig. 3 ▶ Parmi les substances radioactives formées par la fission nucléaire au sein du réacteur, on distingue les produits de fission et les actinides (créés dans les crayons de combustible et qui y restent confinés en quasi-totalité) ainsi que les produits d'activation (créés à l'extérieur du combustible et présents dans l'eau du circuit primaire). Seule une infime partie de ces radionucléides se retrouve dans les effluents gazeux et/ou liquides des centrales nucléaires.

Principaux radionucléides des effluents radioactifs

Formation des produits de fission (PF)

La fission de l'uranium 235 ou du plutonium 239 engendre généralement la production de deux noyaux de masse intermédiaire appelés produits de fission. Chaque fission dégage une énergie de 200 MeV, soit $3{,}2 \times 10^{-11}$ Joules (*cf.* figure 3.1). La fission de 1 kg de matière produit une énergie thermique de $8\ 10^{13}$ Joules, soit l'équivalent de 1900 tonnes de pétrole. Un réacteur de 1000 MWe consomme environ 4 kilogrammes de matières fissiles par jour.

Fig. 3.1 ▶ La fission de l'uranium 235 produit généralement deux produits de fission, de masse plus faible que celle de l'uranium et dégage une énergie importante.

Les produits de fission (PF) sont confinés, en quasi-totalité, dans le combustible nucléaire composé de 40 000 à 50 000 crayons regroupés en assemblages (*cf.* figure 3.2).

Principaux PF

(Légende : p = période radioactive ou demi-vie ; β, γ = type de rayonnement émis ; énergie *du rayonnement keV,* (%) *pourcentage par désintégration)*

Famille des gaz rares

- Le krypton 85, p = 10,7 ans, β 687 keV (99,6 %), γ 514 keV (0,44 %).
- Le xénon 133, p = 5,3 jours, β 346 keV (99,1 %), γ 81 keV (99,8 %).

Famille des halogènes gazeux

- L'iode 131, p = 8 jours, l'iode 132, p = 2,3 heures, l'iode 133, p = 20,9 heures, l'iode 134, p = 53 minutes et l'iode 135, p = 6,6 heures ont des périodes très courtes et émettent des rayonnements β et γ très énergétiques.
- L'iode 129 produit dans le réacteur reste confiné dans le combustible en quasi-totalité.

Fig. 3.2 ▶ Opération de manutention du combustible au cours de l'arrêt pour rechargement du réacteur n° 2 de Nogent-sur-Seine (crédit photo : © EDF – Thomas d'ARAM de VALADA).

Autres radionucléides

- Le césium 134, p = 2,1 ans et le césium 137, p = 30 ans émettent des rayonnements β et γ très énergétiques.
- Le strontium 90, p = 29,1 ans, émet des rayonnements β très énergétiques ; c'est un émetteur β pur.
- Le carbone 14, p = 5700 ans, β 156 keV (100 %), est produit en très faible quantité par fission ternaire. C'est un émetteur dit « β pur ».
- Le tritium, p = 12,3 ans, β pur d'énergie (18,6 keV), est également formé dans les réacteurs des centrales nucléaires par fission ternaire de certains isotopes d'uranium et de plutonium. Dans le cas des réacteurs à eau sous pression, le tritium reste confiné en quasi-totalité dans le combustible. La diffusion du tritium au travers du gainage en zircaloy est minime (<< 1 %).

Formation des produits d'activation (PA)

Lorsque le noyau d'un atome est frappé par un neutron, ce dernier peut être absorbé par le noyau qui devient instable donc radioactif. Pour retrouver sa stabilité, le noyau va se désintégrer en émettant des rayonnements (*cf.* figure 3.3).

Principaux PA

- Le cobalt 60, p = 5,3 ans, provient du cobalt 59 qui compose certains matériaux inoxydables (portées de robinets utilisés sur le circuit primaire), β 317 keV (99,9 %), γ 1170 (99,8 %), 1330 keV (100 %).
- Le cobalt 58, p = 71 jours, provient du nickel 58 de l'inconel (alliage présent notamment au niveau des tubes des générateurs de vapeur), β 475 keV (15 %), γ 811 keV (99,5 %).
- L'antimoine 124, p = 60 jours, provient de l'antimoine 123 qui est présent notamment dans les grappes source de neutrons en alliage d'antimoine et de béryllium. Il émet des rayonnements β, 211 keV (8,7 %), 611 keV (51,2 %), 2302 keV (23,4 %) et des rayonnements γ, 603 keV (98,2 %), 1691 keV (47,5 %).
- L'antimoine 125, p = 2,73 ans, émet des rayonnements β, 767 keV (77 %), 622 keV (23 %) et des rayonnements γ, 35,5 keV (88,5 %), 109,3 keV (23,1 %).
- L'argent 110 métastable, p = 250 jours, provient de l'argent 109 présent notamment dans les grappes de commande de la réaction nucléaire en alliage d'argent, d'indium et de cadmium. Il émet des rayonnements β, 83 keV (67,5 %), 530 keV (30,8 %) et des rayonnements γ de 658 keV (94,7 %) et 885 keV (74,1 %).
- Le manganèse 54, p = 312 jours, provient du chrome 52 et du chrome 53 présents dans les aciers. Il n'émet qu'un rayonnement γ 835 keV (100 %) ; c'est un radionucléide dit gamma pur.
- Le fer 59, p = 45 jours, provient du fer 58 et du cobalt 59 des aciers, β 274 keV (45,2 %), 466 keV (53,3 %), et γ 1099 keV (56,6 %) et 1292 keV (43,2 %).
- Le chrome 51, p = 28 jours, provient du fer 54, du chrome 50 et du chrome 52 des aciers inoxydables ; c'est un radionucléide dit gamma pur, γ de 320 keV (9,9 %).
- Le nickel 63, p = 99 ans, provient du nickel 62 des aciers inoxydables, β 67 keV (100 %) ; c'est un radionucléide dit β pur.
- Le carbone 14, p = 5700 ans, est essentiellement formé par activation neutronique de l'oxygène 17 et de l'azote 14 contenu dans l'eau du circuit primaire et de l'oxygène 17 dans le combustible. La quantité de carbone 14 formée dépend de l'énergie produite par le réacteur. C'est un émetteur β pur de 156 keV (100 %).
- Le tritium, p = 12,3 ans, est aussi produit par activation neutronique d'éléments légers, tels que le bore 10 et le lithium 6 présents dans le circuit primaire des réacteurs à eau sous pression (environ 86 % pour le bore et 14 % pour le lithium). Dans ce cas, la formation de tritium est liée à l'énergie produite par le réacteur. Le tritium est aussi produit par activation des grappes sources de neutrons utilisées dans les réacteurs du palier 1300 MWe et 1450 MWe. De même propriété chimique que l'hydrogène, il se combine avec l'oxygène pour former notamment de l'eau tritiée (HTO). Il n'existe pas de moyens industriels[1] permettant d'éliminer le tritium contenu dans les effluents. Celui-ci est donc rejeté dans l'environnement par voies liquide et gazeuse. C'est un émetteur β pur 18,6 keV (100 %).

Fig. 3.3 ▶ Exemple de désintégration radioactive du noyau de cobalt 60 qui va générer un rayonnement gamma en donnant un noyau de nickel 60 non radioactif.

Actinides émetteurs de rayonnement alpha

La réaction nucléaire s'accompagne aussi de la formation de noyaux lourds sous l'effet des neutrons émis par la fission. Ces noyaux lourds regroupent les actinides majeurs (isotopes de l'uranium et du plutonium) et les actinides mineurs (isotopes du neptunium, de l'américium, et du curium). Les analyses réalisées sur les effluents liquides et gazeux permettent de vérifier l'absence de ces substances dans les rejets.

Unités de la radioactivité

La radioactivité (propriété de certains corps à se désintégrer en émettant des rayonnements) s'exprime en **becquerel (Bq)**. Le becquerel correspondant à une désintégration par seconde est une unité très petite. On utilise alors des multiples de Bq pour exprimer les activités des radionucléides.

1 kilobecquerel (1 kBq) = 1 000 Bq = 10^3 Bq
1 megabecquerel (1 MBq) = 1 000 000 Bq = 10^6 Bq
1 gigabecquerel (1 GBq) = 1 000 000 000 Bq = 10^9 Bq
1 terabecquerel (1 TBq) = 1 000 000 000 000 Bq = 10^{12} Bq

Pour chaque substance, il existe une correspondance entre l'activité exprimée en Bq et la masse en gramme (*cf.* figure 3.4).

Fig. 3.4 ▶ Exemple de correspondance entre l'activité en becquerel (Bq) et la masse en gramme : 0,2 microgrammes d'iode 131, 3 microgrammes de tritium ou 6 milligrammes de carbone 14 génèrent une activité de 1 gigabecquerel.

1. Des techniques permettant de concentrer le tritium ont été développées en laboratoire sur des effluents fortement tritiés (plusieurs TBq/L) ; elles ne sont pas applicables aux effluents peu tritiés des centrales nucléaires d'EDF (quelques MBq/L).

Piscine de désactivation du combustible usé à la centrale de Belleville sur Loire. La piscine où le combustible usé séjourne pendant plusieurs années avant d'être évacué à l'usine de retraitement, est équipée d'un circuit de refroidissement et de purification qui lui est propre – © EDF – Bruno Conty.

3.2 EFFLUENTS RADIOACTIFS GAZEUX

Nature, collecte et traitement

Les effluents radioactifs gazeux se divisent en deux grandes catégories (*cf.* figure 4) :

- les effluents gazeux dits « **hydrogénés** » proviennent du dégazage des effluents liquides issus du circuit primaire. Ces effluents contiennent de l'hydrogène dissous car l'eau du circuit primaire est volontairement saturée en hydrogène afin d'éviter sa décomposition sous l'effet des rayonnements (radiolyse). La radioactivité des effluents gazeux est due à la présence dans l'eau primaire de produits de fission gazeux (krypton, xénon, iode...) ou de produits d'activation (tritium...).

Afin d'éviter tout mélange avec l'oxygène de l'air, ces effluents hydrogénés sont collectés et stockés dans des réservoirs dénommés RS, préalablement remplis d'azote, gaz inerte. La capacité minimale du stockage est fixée par la réglementation à au moins 2000 Nm^3(1) par paire d'unités sur le palier 900 MWe, au moins 1500 Nm^3 par unité sur le palier 1300 MWe et au moins 2000 Nm^3 par unité sur le palier 1450 MWe. Les effluents sont entreposés pendant au moins 30 jours, durée réglementaire, pour permettre à la radioactivité de décroître suffisamment avant rejet. Les gaz radioactifs ont pour la plupart des périodes radioactives inférieures à la semaine. Un stockage de 30 jours diminue leur radioactivité initiale d'un facteur 10 au moins.

Ces effluents sont analysés avant leur rejet qui s'effectue par la cheminée après passage sur des filtres absolus à très haute efficacité (THE), pour la rétention des aérosols, et sur des pièges à iodes à charbon actif (PI). L'efficacité des dispositifs de filtration (> 1000 pour les THE ; > 100 pour les pièges à iodes) est testée périodiquement. Ces rejets occasionnels, dits « **concertés** », représentent un volume annuel d'environ 2000 Nm^3 pour une unité de production (entre 1300 Nm^3 pour le palier 900 MWe et 4100 Nm^3 pour le palier 1450 MWe).

Sur le réacteur EPR, la conception des circuits est quelque peu différente. Les effluents « **hydrogénés** » sont directement orientés vers un circuit de traitement spécifique ;

- les effluents gazeux dits « **aérés** » proviennent :
  - de la collecte des évents des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du bâtiment du réacteur dénommé BR,
  - de l'air de la ventilation des locaux de l'îlot nucléaire. La ventilation maintient les locaux en légère dépression par rapport à l'extérieur et évite ainsi les fuites de gaz ou de poussières contaminées vers l'environnement.

Ces effluents constituent, en volume, l'essentiel des rejets gazeux radioactifs, soit 1 à 2 milliards de Nm^3 par unité et par an.

L'air de ventilation transite par des filtres absolus à très haute efficacité (THE) et, dans certains circuits, sur des pièges à iodes à charbon actif avant d'être rejeté en continu à la cheminée. Ces rejets sont dits « **permanents** ».

Les opérations de dépressurisation de l'air du bâtiment réacteur (BR), en phase d'arrêt, conduisent à des rejets dits « **concertés** » qui représentent un volume moyen d'environ 180 000 Nm^3 par unité et par an.

Les gaz incondensables extraits des condenseurs des turbo-alternateurs sont susceptibles d'être radioactifs en cas de défaut d'étanchéité des tubes de générateurs de vapeur ; les gaz radioactifs et le tritium du circuit primaire pouvant alors migrer vers le circuit secondaire. Ces incondensables sont contrôlés par une chaîne de mesure de la radioactivité en continu et orientés vers la cheminée.

Enfin, l'air de ventilation de certains bâtiments non raccordés à la cheminée (laverie, atelier chaud, bâtiment des auxiliaires de conditionnement des déchets « BAC », laboratoire chaud de chimie, laboratoire « Effluents »...) est filtré avant évacuation par son exutoire spécifique.

Contrôles des effluents radioactifs gazeux avant rejet (rejets dits concertés)

Les effluents des réservoirs RS et l'air du bâtiment du réacteur sont contrôlés avant rejet. Les analyses sont effectuées au laboratoire « Effluents » sur des prélèvements d'air et d'aérosols et portent notamment sur l'activité β globale et l'analyse des constituants. Par ailleurs, il est contrôlé que ces effluents ne contiennent pas d'émetteurs alpha d'origine artificielle dont le rejet n'est pas autorisé(2) (*cf.* chapitre 11 § 3.2).

1. Nm^3 : normal mètre cube ; volume de gaz déterminé aux conditions normales de température et de pression.
2. L'arrêté du 14 juin 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0588 de l'ASN du 06 avril 2017 précise que la mesure de l'activité alpha globale d'origine artificielle doit être réalisée par une méthode garantissant un seuil de décision ne dépassant pas 1.10^{-3} Bq/m^3.

Fig. 4 ▶ Les effluents radioactifs gazeux des centrales nucléaires se divisent en deux grandes catégories : les effluents hydrogénés (qui proviennent du dégazage des effluents liquides du circuit primaire) et les effluents aérés (qui proviennent des évents des circuits de traitement des effluents radioactifs liquides, de la dépressurisation du bâtiment réacteur et de l'air de ventilation des locaux de l'îlot nucléaire). Ces effluents sont traités et contrôlés avant rejet, selon le schéma de principe ci-dessous.

Contrôles des rejets gazeux à la cheminée

Chaque cheminée de rejet est instrumentée pour permettre les contrôles des rejets radioactifs gazeux (*cf.* chapitre 11 § 3.2).

Les contrôles des rejets sont réalisés **en permanence** par :

- une mesure enregistrée en continu de la radioactivité bêta globale de l'air rejeté au moyen de deux appareils redondants, dont les alimentations électriques sont secourues en cas de perte de la source électrique principale. Ces appareils retransmettent la mesure et une alarme en salle de commande en cas de dépassement d'un seuil fixé réglementairement à 4 MBq/m^3 ;
- une mesure continue du débit de rejet des effluents à la cheminée. Cette mesure est doublée, secourue électriquement et enregistrée en salle de commande.

Les contrôles **périodiques**, effectués sur quatre périodes mensuelles définies par la réglementation à savoir : 1er au 7, du 8 au 14, du 15 au 21, du 22 à la fin du mois, concernent :

- **les principaux gaz rares** sur un prélèvement instantané ;
- les **aérosols** prélevés sur filtre pour la mesure de l'activité bêta globale, la détermination des principaux radionucléides (PF et PA) et la mesure α globale d'origine artificielle (par une méthode garantissant un seuil de décision ne dépassant pas 1 × 10^{-3} Bq/m^3) ;
- **les halogènes (iodes)** prélevés en continu pour l'analyse γ globale et la détermination des iodes 131 et 133 ;
- le **tritium** gazeux prélevé en continu sur barboteur ;
- le **carbone 14** capté en continu sur un tamis moléculaire analysé tous les trimestres.

Effluents radioactifs gazeux issus du circuit primaire hydrogéné sur l'EPR

Sur l'EPR, le traitement de ces effluents gazeux radioactifs issus du circuit primaire est différent de celui des autres centrales françaises. Ce circuit régule le taux d'oxygène et d'hydrogène des gaz au moyen d'un recombineur. Les gaz recombinés sont réutilisés dans les circuits ou orientés vers les « lits à retard » avant rejet à la cheminée. Les « lits à retard » permettent la décroissance radioactive des gaz rares (xénons, kryptons) et la rétention quasi-totale des iodes et des aérosols radioactifs (*cf.* figure 5). Ces rejets sont assimilés à des **rejets permanents**.

Fig. 5 ▶ La conception et l'exploitation du circuit de collecte et de traitement des effluents gazeux hydrogénés du réacteur EPR sont différentes de celles des autres réacteurs français. Le schéma de principe ci-dessous illustre la collecte et le traitement des effluents issus du circuit primaire et de ses auxiliaires réalisés en boucle fermée ; les gaz en excès sont envoyés sur des lits à retard pour permettre leur décroissance radioactive avant contrôle et rejet.

Limites de rejet

Pour les rejets radioactifs gazeux, la réglementation fixe (*cf.* encart p. 141) :

- une limite annuelle à ne pas dépasser pour chacune des cinq catégories de radionucléides réglementés. Celle-ci s'exprime en multiple de Bq (GBq ou TBq) ;
- des limites visant à assurer une bonne diffusion des rejets dans l'atmosphère en définissant :
  - un **débit d'activité** à ne pas dépasser à la cheminée, exprimé en Bq/s,
  - une **activité volumique maximale** pour l'air ambiant au niveau du sol, en Bq/m³.

Niveau des rejets d'effluents radioactifs gazeux

La déclaration des rejets par catégories de radionucléides est établie sur la base des mesures réalisées dans le cadre des contrôles réglementaires et des règles de comptabilisation fixées par l'administration (*cf.* annexe 8.4).

Pour les cinq catégories de radionucléides réglementés, les **rejets annuels moyens ramenés à un réacteur** sont les suivants :

- les rejets de gaz rares (krypton, xénon, argon) varient généralement de 300 GBq à 1000 GBq environ (*cf.* figure 6). Les gaz rares étant inertes, ils ne sont pas retenus par les systèmes de filtration (filtres THE et pièges à iodes). Les valeurs plus élevées de 2003, 2007, 2008 et 2013, pouvant atteindre 2300 GBq, sont dues à des défauts d'étanchéité du gainage du combustible ; les assemblages de combustible défectueux ont été remplacés ;

Fig. 6 ▶ L'activité moyenne des rejets annuels de gaz rares à la cheminée, rapportés à un réacteur, varie habituellement de 300 à 1000 GBq environ, les valeurs les plus élevées étant dues à des défauts d'étanchéité du gainage du combustible. Les assemblages défectueux ont été remplacés.

- le **tritium gazeux** est rejeté à 90 % sous la forme de vapeur d'eau tritiée. L'activité des rejets est d'environ 350 GBq/réacteur pour le palier de 900 MWe et 650 GBq/réacteur pour les paliers 1300 et 1450 MWe (*cf.* figure 7). Les rejets de tritium par voie atmosphérique sont issus de l'évaporation de l'eau tritiée de la piscine BK et de la piscine BR en arrêt de tranche. Sur le palier 1300 MWe, la ventilation des bâches TEP intermédiaires est un contributeur significatif aux rejets atmosphériques de tritium.

Fig. 7 ▶ L'activité moyenne des rejets annuels de tritium gazeux à la cheminée, rapportés à un réacteur, est d'environ 350 GBq pour le palier 900 MWe et 650 GBq pour les paliers 1300 et 1450 MWe. Des modifications sur le prélèvement de ces rejets ont permis d'améliorer leur contrôle, entraînant une hausse des activités comptabilisées sans toutefois modifier les rejets réels. D'autres modifications sur le palier 1300 MWe ont permis de diminuer les rejets dans l'environnement.

Des modifications relatives aux prélèvements du tritium à la cheminée ont été déployées sur l'ensemble des sites. Elles concernent :

- un prélèvement en continu avec des barboteurs réfrigérés (modification déployée entre 2005 et 2010),
- un piquage à la cheminée du BAN (modification déployée entre 2008 et 2010).

Limites de rejet pour les effluents radioactifs gazeux de la centrale nucléaire de Civaux sur la Vienne (deux unités de 1450 MWe)

D'après la décision ASN n° 2011-DC-0233 du 5 juillet 2011 modifiant la décision n° 2009-DC-0139 du 2 juin 2009, et la décision ASN n° 2009-DC-0139 et n° 2009-DC-0138 du 2 juin 2009

CATÉGORIE DE RADIONUCLÉIDES	LIMITE ANNUELLE POUR 2 RÉACTEURS (GBq)	LIMITE DE DÉBIT D'ACTIVITÉ PAR CHEMINÉE 2 CHEMINÉES À CIVAUX (Bq/s)
Gaz rares	25 000	5×10^7 (en moyenne sur 24 h)
Iodes	0,8	5×10^2 (en moyenne sur la période de prélèvement)
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta ou gamma	0,1	5×10^2 (en moyenne sur la période de prélèvement)
Tritium	5000	5×10^6 (en moyenne sur la période de prélèvement)
Carbone 14	1400	–

CATÉGORIE DE RADIONUCLÉIDES	LIMITE D'ACTIVITÉ VOLUMIQUE MESURÉE DANS L'AIR AU NIVEAU DU SOL (Bq/m³)
Tritium	50
Activité bêta globale pour les aérosols d'origine artificielle	0,01

Ces modifications ont amélioré la représentativité et la qualité des prélèvements et entraîné une hausse des rejets comptabilisés sans toutefois modifier les rejets réels.

Enfin, une modification relative à la diminution du débit de ventilation des réservoirs de stockage des effluents primaires TEP a également été déployée sur le palier 1300 MWe (entre 2007 et 2009, la conception de ces réservoirs étant différente sur ce palier par rapport aux autres réacteurs du parc EDF), se traduisant par une baisse réelle des rejets ;

- le **carbone 14**[1] est essentiellement rejeté à la cheminée sous la forme de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2). Le carbone 14 est mesuré sur un prélèvement réalisé par un tamis moléculaire (*cf.* chapitre 11 sur la métrologie). Jusqu'en 2016, ces rejets pouvaient aussi être calculés à partir de l'énergie électrique brute produite à raison de

1. Avant 1999, le carbone 14 ne figurait pas dans l'inventaire des substances radioactives à comptabiliser. Depuis 1999, la réglementation demande de le comptabiliser. Cette exigence a été introduite à l'occasion de la publication des nouvelles décisions limites et modalités des centrales nucléaires.

0,200 GBq/MWe.an[1]. Les rejets annuels d'activité de carbone 14 sont en moyenne compris entre 120 GBq et 270 GBq par unité de production ;

- les rejets d'**iodes** sont infimes (< 0,04 GBq/an/réacteur en moyenne) compte tenu du bon confinement des circuits nucléaires et de l'efficacité des systèmes de piégeage ;
- les rejets de **produits de fission (PF) et de produits d'activation (PA)** émetteurs β ou γ, présents sous forme de **poussières** (aérosols), sont, comme les rejets d'iodes, extrêmement faibles (0,004 GBq/réacteur en moyenne).

3.3 EFFLUENTS RADIOACTIFS LIQUIDES

Nature et origine

Les **effluents radioactifs** liquides sont classés selon leur provenance. On distingue :

- les effluents provenant du circuit primaire dits « **effluents primaires hydrogénés** » contiennent des gaz de fission (xénons, iodes, césiums...), des produits d'activation (cobalts, manganèse, tritium, carbone 14...) mais aussi des substances chimiques telles que l'acide borique et le lithium et de l'hydrogène dissous (*cf.* § 4). Ces effluents sont essentiellement produits en phase d'exploitation du fait des mouvements d'eau primaire effectués lors des variations de puissance ou de l'ajustement des paramètres chimiques de l'eau du réacteur ;
- les effluents issus des circuits auxiliaires dits « **effluents usés** » constituent le reste des effluents. Ils résultent principalement des opérations de maintenance (sur filtres, déminéraliseurs, échangeurs...) nécessitant des vidanges de circuit, des opérations d'évacuation du combustible usé et de conditionnement des résines usées, des actions de maintien de la propreté des installations (lavage du sol et du linge).

Nota : Les eaux issues des salles des machines (groupe turbo-alternateur) ne sont pas considérées comme des effluents radioactifs *au sens de la réglementation dès lors que leurs activités volumiques n'excèdent pas 4000 Bq/L en* tritium *et 4 Bq/L en activité bêta globale* (*cf.* § 3.4).

Collecte et traitement

Les effluents radioactifs liquides sont collectés de façon sélective avant d'être orientés vers les systèmes de traitement appropriés afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Ils sont ensuite acheminés vers des réservoirs de stockage où ils subissent un contrôle, tant sur le plan radioactif que sur le plan chimique, avant d'être rejetés (*cf.* figure 8).

Fig. 8 ▶ Les effluents radioactifs liquides des centrales nucléaires sont classés en deux grandes catégories selon leur provenance : les effluents primaires hydrogénés (provenant du circuit primaire) et les effluents aérés usés (provenant des circuits auxiliaires). Ces effluents sont collectés, traités et contrôlés avant rejet, selon le schéma de principe ci-dessous.

1. MWe.an : unité d'énergie correspondant à la production électrique d'une centrale de 1 MWe pendant un an. Ainsi, une centrale de 1000 MWe rejette : 0,200 GBq/MWe.an × 1000 MWe × 1 an = 200 GBq de carbone 14.

Les effluents primaires hydrogénés

Les effluents issus du circuit primaire sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Primaires (TEP) qui comporte :

- des réservoirs de collecte dits « réservoirs de tête » car situés en amont du traitement. Ces réservoirs sont maintenus sous atmosphère inerte d'azote en raison du dégazage de l'hydrogène contenu dans l'eau primaire. Si le réservoir contenait de l'air, donc de l'oxygène, il existerait un risque d'explosion lié au mélange « hydrogène-oxygène » ;
- une chaîne de filtration et de déminéralisation visant à piéger les produits radioactifs, à l'exception du tritium, ainsi que les substances chimiques sauf l'acide borique ;
- un dégazeur ayant pour fonction d'extraire les gaz dissous (gaz rares radioactifs, hydrogène, azote) vers le circuit de collecte des effluents radioactifs gazeux ;
- une chaîne d'évaporation permettant de séparer l'effluent traité en un distillat (eau) d'activité volumique faible pouvant être rejeté, voire recyclé le cas échéant, et un concentrat renfermant le bore qui est généralement recyclé vers le circuit primaire.

Les effluents usés

Les effluents liquides usés recueillis dans des puisards situés dans les locaux sont dirigés vers le circuit de traitement des effluents usés (TEU) où ils sont traités.

Collectés sélectivement suivant quatre catégories, le traitement de ces effluents est approprié à leurs caractéristiques physico-chimiques, ainsi :

- les drains résiduaires (DR) issus du circuit primaire ou de la piscine de désactivation du combustible usé sont traités par filtration pour retenir les matières en suspension et par déminéralisation (résines échangeuses d'ions) pour retenir les substances radioactives et chimiques en solution, sauf le tritium et l'acide borique ;
- les drains ou effluents chimiques (DC ou EC) passent sur une chaîne d'évaporation. On obtient alors, d'une part, un distillat épuré chimiquement et d'activité faible (quelques dizaines de Bq/L à peine en activité bêta globale) et, d'autre part, un concentrat composé principalement d'acide borique jusqu'à des teneurs de 50 g/kg en bore et de substances radioactives dont l'activité bêta/gamma peut varier généralement de 5 MBq/L à 15 MBq/L. Pour éviter le risque de cristallisation de l'acide borique dans l'évaporateur, une quantité de soude est ajoutée à l'effluent afin de former du borate de sodium plus soluble que l'acide borique ;
- les drains de planchers (DP) qui sont filtrés ;
- les effluents de servitudes (laverie du linge, douches...) peu radioactifs subissent une filtration avant d'être aiguillés vers les réservoirs (T) de contrôle avant rejet.

Ces traitements permettent en outre de retenir les particules solides, de diamètre supérieur à 5 µm, en suspension dans les effluents avant leur entreposage dans les réservoirs dénommés réglementairement (T), dits réservoirs de traitement.

Les réservoirs (S) dits « réservoirs de santé » doivent rester vides ; ils ne peuvent être utilisés en secours des réservoirs (T) qu'après accord préalable de l'ASN.

Dans ces réservoirs (T) ou (S), les effluents sont analysés avant d'être rejetés dans les conditions fixées par la réglementation.

La capacité minimale d'entreposage (T) et (S) est fixée par la réglementation (ex. à Tricastin le volume minimal (T) est fixé à 3000 m^3 répartis en au moins 6 réservoirs de 500 m^3 ; le volume (S) est de 1500 m^3 répartis en au moins 3 réservoirs de 500 m^3).

Contrôle des rejets radioactifs liquides

Tout effluent susceptible d'être radioactif ne peut être rejeté sans avoir été au **préalable** contrôlé dans les conditions fixées par la réglementation.

Rejets radioactifs liquides issus des réservoirs T (KER) ou S (TER)

- ***Avant rejet***

Le rejet d'un réservoir T ou S ne peut être réalisé sans que les résultats d'analyse soient connus (tritium, activité alpha globale, activité bêta globale, activité gamma globale, composition isotopique par spectrométrie gamma). Si l'activité bêta globale excède 20 kBq/L (activités en tritium et potassium 40 exclues), l'effluent ne peut être rejeté et doit être retraité. Pour le carbone 14 et le nickel 63 dont les analyses sont longues et nécessitent des techniques de mesure complexes, il est admis de ne disposer des résultats qu'*a posteriori*. Ces effluents font aussi l'objet d'analyses chimiques (acide borique...).

- ***Conditions de rejet***

Le débit de rejet doit être calculé pour permettre une pré-dilution minimale réglementaire dans les eaux de refroidissement avant le rejet dans le milieu aquatique.

Pour les sites implantés en bordure de cours d'eau, le rejet radioactif n'est autorisé que si le débit du cours d'eau est compris dans la plage fixée par la réglementation. En dehors de cette plage de débit (cas des étiages ou des crues), les rejets sont interdits. Toutefois, si les décisions limites et modalités de site le prévoient, le rejet peut être réalisé, à titre exceptionnel, après accord préalable de l'ASN et sous certaines conditions dûment précisées par l'ASN.

- ***Pendant le rejet***

Une mesure de radioactivité est effectuée en continu sur la canalisation de rejet au moyen d'une chaîne de mesure γ globale, doublée et secourue électriquement. En cas de dépassement d'un seuil d'alarme (40 kBq/L en activité γ globale), le rejet est stoppé automatiquement. Pendant la durée du rejet, l'opérateur contrôle le débit de rejet et l'évolution du niveau

du réservoir. Il ajuste, si nécessaire, le débit de rejet en fonction de celui du cours d'eau afin de respecter les limites de rejet fixées par la réglementation.

En période d'étiage, une coordination des rejets est mise en place entre les centrales situées sur un même bassin hydrographique (Loire-Vienne et Rhône) afin de minimiser les impacts des rejets (*cf.* chapitre 9 § 5.3).

▪ ***Contrôle du milieu récepteur***
Des contrôles (activité tritium et bêta globale) sont effectués à la station de prélèvement située en aval dans une zone de mélange. Les prélèvements des échantillons sont réalisés tous les jours pendant ou en dehors des périodes de rejet, à l'aide d'un hydrocollecteur. Des prélèvements sont aussi réalisés en amont du site en vue d'être éventuellement analysés en cas de problèmes (*cf.* annexe 8.3).

Pour les sites marins où la notion d'amont et d'aval n'existe pas, les contrôles sont effectués dans les puits ou bassins de rejets ou dans le canal de rejet (Gravelines) ainsi que dans la prise d'eau censée représenter l'amont (*cf.* annexe 8.4).

Limites de rejet (réservoirs T ou S)

Les contrôles effectués par l'exploitant visent à s'assurer du bon respect des limites fixées par la réglementation (*cf.* chapitre 6 sur le rôle de l'administration).

Les décisions limites et modalités fixent pour les rejets liquides :
- une **limite annuelle** à ne pas dépasser pour chacune des quatre catégories de radionucléides réglementés (tritium, carbone 14, iodes, autres PF ou PA). Celle-ci s'exprime en multiples de Bq (GBq ou TBq) ;
- des limites visant à assurer une bonne diffusion des rejets dans le milieu aquatique en définissant :
  - un **débit d'activité** à ne pas dépasser, exprimé en Bq/s,
  - une **activité volumique maximale** en aval des rejets, exprimée en Bq/L.

Cas d'une centrale implantée sur un cours d'eau

L'exemple des limites de rejets d'effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Dampierre est illustré par l'encart ci-contre.

Cas d'une centrale implantée en bord de mer

L'exemple des limites de rejets d'effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Penly est illustré par l'encart p. 145.

Niveau annuel des rejets d'effluents radioactifs liquides

Les rejets radioactifs liquides effectués par la vidange des réservoirs (T) ou (S) représentent un volume annuel moyen par unité de production de 11 000 m³ environ (*cf.* figure 9).

La déclaration des activités rejetées est établie, par catégorie de radionucléides, sur la base des mesures réalisées dans le cadre des contrôles réglementaires et des règles de comptabilisation fixées par l'administration (*cf.* annexe 8.5). Pour les quatre catégories de radionucléides réglementés, le niveau des rejets annuels est le suivant :
- le tritium dans l'eau du circuit primaire provient essentiellement de l'activation du bore 10 et du lithium 6. Par ailleurs, les réacteurs des paliers

Limites de rejet pour les effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Dampierre sur la Loire (4 unités de 900 MWe)

D'après les décisions ASN n° 2011-DC-0210 et n° 2011-DC-0211 du 3 mars 2011

CATÉGORIE DE RADIONUCLÉIDES	LIMITE ANNUELLE POUR 4 RÉACTEURS (GBq)	LIMITE DE DÉBIT D'ACTIVITÉ AU POINT DE REJET (Bq/s)
Tritium	100 000	80 × D*
Carbone 14	260	–
Iodes	0,6	0,1 × D*
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma	36	0,7 × D*

** D = Débit de la Loire.*

CATÉGORIE DE RADIONUCLÉIDES	LIMITE D'ACTIVITÉ VOLUMIQUE MESURÉE À L'HYDROCOLLECTEUR SITUÉ À QUELQUES km EN AVAL DU REJET (Bq/L)	
	LIMITE HORAIRE À MI-REJET	LIMITE EN MOYENNE JOURNALIÈRE
Tritium	280	140 (100 en l'absence de rejets radioactifs)
Émetteurs bêta (hors tritium et potassium 40)	2	–

Limites de rejet pour les effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Penly sur la Manche (2 unités de 1300 MWe)

D'après l'arrêté d'autorisation du 15 février 2008 et la décision ASN *n°2008-DC-0090 du 10 janvier 2008*

CATÉGORIE DE RADIO-NUCLÉIDES	LIMITE ANNUELLE POUR 2 RÉACTEURS (GBq)	LIMITE DE DÉBIT D'ACTIVITÉ AU POINT DE REJET EN MER (Bq/s)
Tritium	80 000*	800 × D**
Carbone 14	190	–
Iodes	0,1	1 × D**
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta ou gamma	25	7 × D**

** Portée à 100 000 GBq en cas d'utilisation de combustible dit à haut taux de combustion sur les deux réacteurs.*
*** D = Débit des eaux de refroidissement.*

CATÉGORIE DE RADIO-NUCLÉIDES	LIMITE D'ACTIVITÉ VOLUMIQUE MESURÉE À L'HYDROCOLLECTEUR SITUÉ DANS LE PUITS OU BASSIN DE REJET (Bq/L)	
	LIMITE HORAIRE À MI-REJET	LIMITE EN MOYENNE JOURNALIÈRE
Tritium	1800	900 (100 en l'absence de rejets radioactifs)
Émetteurs bêta hors tritium et potassium 40	18	–

Fig. 9 ▶ Le volume annuel moyen d'effluents radioactifs rejeté par les réservoirs T ou S, rapporté à un réacteur, est d'environ 11 000 m³.

1300 MWe et 1450 MWe comportent des grappes sources secondaires de neutrons à l'origine d'une production supplémentaire de tritium comprise entre 4 et 12 TBq par an et par réacteur.

Le tritium du circuit primaire se retrouve dans les effluents sous forme d'eau tritiée ; du fait de son niveau de concentration très faible, il n'existe pas de procédé industriel permettant son élimination, contrairement à d'autres radionucléides. Étant très peu radiotoxique (émetteur bêta de faible énergie), le tritium est rejeté dans l'environnement.

Les rejets sont en moyenne par réacteur d'environ 10 000 GBq (10 TBq) à 35 000 GBq (35 TBq), selon le palier de puissance du réacteur, le mode de gestion de combustible et la présence ou non de grappes sources secondaires de neutrons (*cf.* figure 10) ;

Fig. 10 ▶ Du fait du niveau de concentration très faible du tritium dans l'eau du circuit primaire, il n'existe pas de procédé industriel permettant une élimination de ce radionucléide. L'activité moyenne des rejets annuels de tritium liquides, rapportés à un réacteur, est de l'ordre de 10 à 35 terabecquerels selon la puissance du réacteur, le mode de gestion du combustible et la présence ou non de grappes sources secondaires de neutrons.

- les rejets de **carbone 14,** présent dans l'effluent sous forme de CO_2 dissous, représentent entre 8

et 20 GBq par réacteur, soit environ 10 % des rejets de carbone 14 par voie atmosphérique ;

- les rejets d'**iodes** (PF) sont très faibles, inférieurs à 0,01 GBq par réacteur. Ceci s'explique par plusieurs raisons :
  - les iodes formés dans le combustible restent confinés en quasi-totalité au sein du combustible grâce au gainage. En cas d'inétanchéité de ce dernier, les iodes et d'autres produits de fission peuvent migrer dans l'eau primaire. La radioactivité de l'eau du circuit primaire, et particulièrement celles des iodes, est suivie et ne peut dépasser les niveaux fixés par les spécifications radiochimiques. Le circuit primaire est équipé d'un circuit de purification en continu (circuit RCV) qui maintient le niveau de radioactivité de l'eau primaire le plus bas possible,
  - les iodes de l'eau issue du circuit primaire sont piégés efficacement par les systèmes de traitement d'effluents,
  - les iodes 131 et 133 ont des périodes radioactives courtes (respectivement 8 jours et 21 heures) et disparaissent rapidement par décroissance radioactive.
- les **produits de fission (PF) et d'activation (PA)** sont éliminés en grande partie par les systèmes de traitement. Les rejets d'activité de ces radionucléides par unité de production ont diminué d'un facteur 100 depuis la mise en service du parc nucléaire d'EDF. Les améliorations apportées aux circuits de collecte et de traitement et les efforts réalisés par l'exploitant pour réduire à la source la production d'effluents expliquent ce résultat (*cf.* figure 11). Les cobalts 58 et 60, l'argent 110 m et le nickel 63 sont prépondérants dans ces rejets qui représentent en moyenne moins de 0,5 GBq par réacteur (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts des rejets).

Fig. 11 ▶ Les produits de fission et d'activation présents dans l'eau des circuits de l'îlot nucléaire sont éliminés en grande partie par les systèmes de traitement des effluents. Les efforts réalisés pour réduire ces effluents à la source et les améliorations apportées à leur collecte et leur traitement ont permis de réduire d'un facteur 100 (depuis la mise en service du parc nucléaire EDF) l'activité moyenne des rejets annuels de produits de fission et d'activation, rapportés à un réacteur. Aujourd'hui, cette activité représente moins de 0,5 gigabequerel par an et par réacteur.

3.4 EAUX D'EXHAURE DES SALLES DES MACHINES

Nature et collecte

Les eaux issues du circuit secondaire (non radioactif) et les eaux des puisards des salles des machines contiennent des substances chimiques utilisées pour le conditionnement chimique du circuit secondaire contre la corrosion, à savoir : la morpholine, l'éthanolamine, l'ammoniaque, l'hydrazine notamment (*cf.* § 4).

Ces eaux sont collectées sans traitement préalable vers des réservoirs dénommés Ex (appellation réglementaire, Ex signifiant « exhaure ») où elles sont contrôlées avant d'être rejetées. La capacité minimale d'entreposage Ex est fixée par la réglementation. À titre d'exemple, la capacité est fixée à 2000 m³ répartis en au moins deux réservoirs de 1000 m³ à la centrale de Tricastin.

Réservoirs Ex et leurs cuvelages de rétention : centrale du Blayais
© EDF – Gabrielle Balloffet

Les eaux issues des salles des machines ne sont pas classées dans les effluents radioactifs. Elles peuvent toutefois présenter des traces de radioactivité lorsque les tubes des générateurs de vapeur (qui constituent la deuxième barrière entre l'eau radioactive du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire) ne sont pas parfaitement étanches. Dans ce cas, des radionucléides, comme le tritium, peuvent migrer du circuit primaire vers le circuit secondaire et contaminer les eaux d'exhaure qui ne pourront pas être rejetées et devront être traitées comme un effluent radioactif. Le volume annuel moyen d'eau d'exhaure rejeté est d'environ 55 000 m³ pour une unité de production (*cf.* figure 12).

Fig. 12 ▶ Le volume annuel moyen d'eaux d'exhaure rejeté par les réservoirs Ex, rapporté à un réacteur, est d'environ 55 000 m³.

Limites relatives à la radioactivité des eaux issues des salles des machines (Ex)

Les valeurs de radioactivité, au-delà desquelles les eaux d'exhaure des salles des machines sont considérées comme des effluents radioactifs, sont indiquées dans les décisions limites et modalités des sites (*cf.* tableau I).

Tableau I Les eaux issues de la salle des machines ne sont pas classées dans les effluents radioactifs mais peuvent présenter des traces de radioactivité lorsque les tubes des générateurs de vapeur ne sont pas parfaitement étanches. Les valeurs de radioactivité au-delà desquelles ces eaux doivent être traitées et rejetées dans les mêmes conditions qu'un effluent radioactif sont réglementaires ; le tableau ci-dessous en donne un exemple.

CATÉGORIE DE RADIONUCLÉIDES	LIMITE D'ACTIVITÉ VOLUMIQUE DANS LE RÉSERVOIR Bq/L
Tritium	4 000
Activité bêta globale (hors tritium et potassium 40)	4

Si l'activité en tritium est comprise entre 400 Bq/L et 4000 Bq/L, le rejet tritium par cette voie doit être pris en compte dans le calcul du débit d'activité (Bq/s) exigé pour les rejets radioactifs liquides. Au-dessus de 4000 Bq/L en tritium ou 4 Bq/L en activité bêta globale, ces eaux sont rejetées dans les mêmes conditions qu'un effluent radioactif, après traitement éventuel, dans le cadre de dispositions particulières de rejet après accord préalable de l'ASN.

3.5 REJETS GAZEUX DIFFUS

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- les évents de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S et Ex), le réservoir de stockage de l'eau borée pour le remplissage des piscines ;
- les rejets de vapeur du circuit secondaire par le système de décharge à l'atmosphère, susceptibles de renfermer de la radioactivité en cas d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur.

Ces rejets, ne transitant pas par la cheminée instrumentée, font l'objet d'une estimation mensuelle par calcul visant notamment à s'assurer qu'ils sont conformes aux hypothèses retenues dans l'étude d'impact de l'installation. Les résultats de ces estimations, qui portent en particulier sur les volumes et activités rejetés (tritium, iodes...), sont mentionnés dans les registres réglementaires communiqués mensuellement à l'administration.

Réservoirs T d'entreposage des effluents radioactifs avant rejet : centrale de Cruas – © EDF – Christel Sasso

4. Domaine chimique

4.1 ORIGINE DES SUBSTANCES CHIMIQUES REJETÉES

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire nécessite l'utilisation de substances chimiques et donne lieu à des rejets chimiques par voie liquide dans l'environnement et, dans une moindre mesure, à des rejets gazeux non radioactifs.

Chaque substance chimique assure une fonction bien précise tant en phase d'exploitation (contrôle de la réaction nucléaire, protection des circuits contre la corrosion, lutte contre le tartre et le développement de micro-organismes, production d'eau déminéralisée...), que lors des opérations de maintenance (lessivage chimique...).

La présence d'impuretés dans les produits chimiques commerciaux et l'usure des tubes en laiton des condenseurs (pour les centrales qui en sont équipées) conduisent à des rejets de métaux.

Substances utilisées pour l'exploitation

Contrôle de la réaction nucléaire

L'**acide borique** (H_3BO_3), en solution dans l'eau du circuit primaire, participe, avec les grappes de commande, au contrôle de la réaction nucléaire. Seul le bore 10, isotope présent à hauteur de 20 % environ dans le bore naturel, permet d'absorber les neutrons en formant du tritium (radioactif) ou du lithium 7 (stable). C'est un acide faible qui se retrouve dans les effluents radioactifs lorsqu'il est déchargé du circuit primaire. La concentration en bore dans l'eau du circuit primaire varie au cours du cycle de fonctionnement du réacteur[1]. La teneur en bore en début de cycle est déterminée en fonction de paramètres neutroniques et de la longueur de cycle souhaitée. Sa concentration est ensuite progressivement abaissée, au cours du cycle, pour compenser l'épuisement du combustible ; elle évolue, à titre d'exemple, d'environ 1200 à 1800 mg/kg (ppm) en début de cycle à presque 0 mg/kg (ppm) en fin de cycle (*cf.* figure 13).

Conditionnement chimique du circuit primaire

La lithine (LiOH) est utilisée en faible quantité (quelques dizaines de kilos par an et par réacteur) pour assurer un pH de moindre corrosion des structures métalliques du circuit primaire. La lithine est enrichie en lithium 7 (> 99,9 %) pour éviter la formation de tritium par activation du lithium 6 présent dans le lithium naturel.

Fig. 13 ▶ Le bore est utilisé dans le circuit primaire pour contrôler la réaction nucléaire. La concentration en bore est d'environ 1200 à 1800 mg/kg en début de cycle ; elle est abaissée régulièrement au cours du cycle, en fonction de l'épuisement du combustible, pour atteindre presque 0 mg/kg en fin de cycle.

L'hydrazine (N_2H_4) est injectée, sous forme d'hydrate d'hydrazine (N_2H_4, H_2O), pendant la phase de démarrage du réacteur (palier chimique) afin d'éliminer l'oxygène dissous dans l'eau du circuit primaire.

Conditionnement chimique du circuit secondaire (eau-vapeur) en fonctionnement

Le conditionnement chimique du circuit secondaire vise à éviter la corrosion des matériels par l'utilisation de substances chimiques choisies pour leur efficacité mais aussi pour leur moindre impact sur la santé et l'environnement.

L'hydrazine (N_2H_4) est une base faible utilisée en fonctionnement et pour la conservation en eau des matériels lors des arrêts de tranche. Elle permet de minimiser la corrosion des matériaux en réagissant avec l'oxygène dissous dans l'eau. Injectée sous forme d'hydrate d'hydrazine (N_2H_4, H_2O), l'hydrazine se décompose thermiquement en ammoniaque (NH_4OH) qui joue un rôle sur le pH de l'eau du circuit secondaire. L'hydrazine agit donc tant sur l'oxygène dissous que sur le pH de l'eau du circuit. L'hydrazine est une substance classée CMR (cancérogène, mutagène et repro-toxique) ; toutefois, dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de substitut efficace à l'hydrazine pour le conditionnement chimique du circuit secondaire des centrales REP.

La morpholine (C_4H_9NO), **l'éthanolamine** (C_2H_7NO) sont des amines volatiles. Ces amines et **l'ammoniaque** (NH_4OH) peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir un pH de moindre

1. Cycle de fonctionnement : un réacteur à eau sous pression doit être rechargé en combustible périodiquement. La durée de fonctionnement du réacteur entre deux rechargements de combustible est appelée « cycle de fonctionnement » ; elle peut varier de 12 mois à 18 mois.

Évolution du mode de conditionnement chimique du circuit secondaire

Jusqu'au milieu des années 1980, pour prévenir les risques de corrosion, l'eau du circuit secondaire des centrales nucléaires REP d'EDF était conditionnée à l'ammoniaque. Cette substance avait été retenue pour différentes raisons (mise en œuvre facile, produit courant bénéficiant d'un bon retour d'expérience, absence de formation de produits de décomposition, faible coût). Pour éviter la corrosion ammoniacale des matériels renfermant du cuivre (tubes en laiton des condenseurs et des réchauffeurs basse pression), le pH dans l'eau alimentaire des générateurs de vapeur des unités concernées était volontairement limité à 9,2 à 25 °C (mode « bas pH »).

À partir des années 1983–1984, l'ammoniaque a été remplacée par la morpholine sur les unités « à alliages cuivreux » pour traiter plus efficacement le phénomène de corrosion-érosion rencontré sur les structures en acier au carbone.

Sur les autres unités, sans cuivre, le pH a été remonté entre 9,6 et 9,8 (mode « haut pH ») pour mieux maîtriser la corrosion généralisée, notamment celle des aciers au carbone, et réduire la quantité de produits de corrosion véhiculés dans les circuits (générateurs de vapeur…). Ammoniaque ou morpholine pouvaient être utilisées indifféremment avec toutefois une préférence pour la morpholine, plus efficace pour diminuer les produits de corrosion véhiculés dans les circuits.

En 2010, sur les 58 unités en exploitation, 50 utilisent la morpholine, les autres l'ammoniaque. Il convient aussi de noter que certaines unités fonctionnant à haut pH à la morpholine utilisent, en complément, de l'ammoniaque (cas de Gravelines).

Depuis 2011, la morpholine est progressivement remplacée par l'éthanolamine, dont les caractéristiques sont favorables à une meilleure protection des aciers non ou faiblement alliés contre les phénomènes de corrosion-érosion. L'éthanolamine étant par ailleurs une base plus forte que la morpholine et l'ammoniaque, l'obtention du pH requis dans l'eau d'alimentation des générateurs de vapeur nécessite des concentrations molaires plus faibles. Outre sa moindre toxicité, l'éthanolamine présente une meilleure stabilité thermique que la morpholine.

En 2020, la majorité des centrales françaises est conditionnée à l'éthanolamine. Le conditionnement chimique cible du circuit secondaire est de 4 mg/L en éthanolamine et 1,5 mg/L en ammoniaque dans l'eau alimentaire des générateurs de vapeur, afin de maîtriser également les risques de colmatage des GV.

corrosion dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le conditionnement chimique du circuit secondaire fait l'objet de spécifications chimiques. Celles-ci sont établies en tenant compte notamment de la nature des matériaux à protéger contre la corrosion (aciers au carbone, aciers inoxydables, alliages cuivreux) mais aussi des questions de santé et d'environnement, car ces substances et leurs dérivés se retrouvent en partie dans les rejets. Le mode de conditionnement chimique du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger (*cf.* encart ci-contre).

L'éthanolamine (ETA) est désormais utilisée sur la majorité des centrales françaises, en remplacement de la morpholine, afin de limiter les phénomènes de corrosion-érosion en tout point du poste d'eau et d'obtenir le meilleur compromis entre la protection des matériels et les rejets. En effet, grâce à sa plus forte basicité, les quantités nécessaires d'ETA sont plus faibles que celles de morpholine pour maintenir le pH de moindre corrosion ; l'ETA génère donc moins de rejets. Par ailleurs, l'ETA est plus biodégradable que la morpholine.

Conditionnement chimique des circuits de refroidissement intermédiaires

Le **phosphate trisodique** (Na_3PO_4) est utilisé pour le conditionnement chimique des circuits de refroidissement intermédiaires (circuits RRI, SRI, TRI). Ces circuits sont dits « intermédiaires » car ils assurent l'échange de chaleur entre un circuit radioactif (circuit primaire par exemple) et un circuit d'eau brute ouvert sur l'environnement. Le conditionnement chimique de ces circuits doit permettre de minimiser la corrosion des matériaux et les appoints-rejets à mettre en œuvre pour conserver une chimie correcte. En cas d'inétanchéité des échangeurs, ce circuit intermédiaire peut être contaminé en particulier par le tritium. Lorsque l'activité du circuit dépasse la limite des spécifications radiochimiques, des investigations sont à engager sur le circuit afin de localiser une éventuelle inétanchéité. L'eau du circuit peut également être le siège d'une carbonatation du fait de la présence de gaz carbonique dans l'air du réservoir tampon. Dans les deux cas, une vidange du circuit peut être nécessaire, produisant des effluents phosphatés (*cf.* figure 14).

Lavage du linge contaminé (laverie)

Le lavage du linge utilisé par le personnel intervenant en zone contrôlée fait appel à des lessives commerciales. Les fabricants de lessive sont tenus, par le cahier des charges, de fournir des lessives biodégradables, exemptes de phosphates et de produits chélatants tels que l'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) et le NTA (acide nitrilotriacétique). Les effluents issus du lavage du linge sont filtrés ce qui permet de retenir la radioactivité mais pas les détergents. Ces effluents ainsi traités sont ensuite aiguillés vers les réservoirs T de contrôle avant rejet. Les quantités de détergents rejetés varient en fonction du volume de linge lavé. Ainsi, l'ordre de grandeur des volumes d'effluents de laverie varie de quelques dizaines de m^3 par an et par réacteur à environ

Fig. 14 ▶ Principe d'un circuit intermédiaire assurant l'échange de chaleur entre un circuit nucléaire radioactif et un circuit d'eau brute ouvert sur l'environnement. Pour minimiser la corrosion de leurs matériaux, ces circuits sont conditionnés au phosphate.

2000 m³/an/réacteur. Les quantités de détergents rejetés sont en moyenne d'une dizaine de kg par an et par réacteur ; elles peuvent atteindre une centaine de kilos par an en pointe, ramenées à un réacteur. Les sites s'engagent dans la maîtrise de la propreté radiologique *via* le basculement en mode EVEREST (Évoluer VERs une Entrée Sans Tenue universelle). Le mode EVEREST implique l'entrée en bleu de travail dans les zones propres puis en tenue adaptée dans les zones contaminées. Une des conséquences du basculement est une baisse de la quantité de tenues lavées et donc des quantités de détergents rejetées.

Traitement contre le tartre des circuits dits « fermés » de refroidissement des condenseurs

L'acide sulfurique (H_2SO_4) est utilisé pour prévenir la formation du tartre. L'injection d'acide permet de baisser le pH de l'eau du circuit de refroidissement et ainsi de déplacer l'équilibre des ions hydrogénocarbonates, empêchant la formation de tartre :

$$H^+ + HCO_3^- \rightarrow \overrightarrow{CO_2} + H_2O$$

Les sulfates, associés à l'utilisation d'acide sulfurique, se retrouvent dans la purge du circuit et donc dans l'ouvrage de rejet principal.

Les antitartres organiques peuvent également être utilisés pour lutter contre l'encrassement des aéroréfrigérants, en complément de l'acide sulfurique. Ils se retrouvent alors en partie dans l'ouvrage de rejet. L'injection de ces substances est ajustée en fonction de la qualité d'eau à traiter et des contraintes fixées sur les rejets (*cf.* tableau II).

Traitement biocide des circuits dits « fermés » de refroidissement des condenseurs

La monochloramine utilisée pour le traitement biocide est produite *in situ* en mélangeant de l'eau de Javel (NaClO) à de l'ammoniaque (NH_4OH) dans de l'eau utilisée comme fluide moteur. Celle-ci est directement injectée dans le circuit d'eau de refroidissement. Elle réagit, au cours du traitement, pour former différentes substances chimiques qui se retrouvent dans les purges de l'aéroréfrigérant et donc dans l'ouvrage de rejet principal (*cf.* figure 15). Il s'agit principalement de chlore combiné, de produits azotés (ammoniaque, nitrates, nitrites), de substances organiques chlorées (AOX),de chlorures et de sodium issus de l'eau de Javel. Par ailleurs, la monochloramine est sujette à un phénomène de dégazage dans les tours aéroréfrigérantes, générant des pertes dans l'atmosphère. La concentration en chlore combiné résiduel à la sortie du condenseur est maintenue à environ 0,25 mg/L éq.Cl_2.

Le traitement biocide par chloration massive à pH contrôlé est déclenché en cas de développement d'algues filamenteuses ou en secours du traitement à la monochloramine ou, en l'absence de traitement à la monochloramine, en cas de prolifération de micro-organismes pathogènes (*cf.* chapitre 7 sur les prélèvements d'eau et la source froide). Il fait appel à de l'**eau de Javel** injectée en une fois, à forte teneur, pour provoquer un choc chloré ; une concentration de 50 mg/L de chlore libre est généralement visée dans le circuit. Cette opération est pratiquée après avoir fermé les purges de l'aéroréfrigérant afin d'éviter le rejet massif de chlore libre ; une injection continue **d'acide sulfurique** pendant l'opération permet de maintenir le pH de l'eau du circuit entre 7,2 et 7,6 pour maîtriser l'entartrage (*cf.* figure 16). Pendant l'opération qui dure plusieurs heures, l'eau de Javel réagit avec la matière organique du circuit et se transforme en chlore combiné, en AOX (composés organohalogénés) et en THM (composés organohalogénés volatils dont principalement le chloroforme). Ces substances sont rejetées à l'ouverture de la purge dans l'ouvrage de rejet principal (*cf.* tableau III). La purge n'est ouverte que lorsque la concentration en chlore libre dans le bassin de l'aéroréfrigérant est inférieure à 0,1 mg/L éq. Cl_2. Par ailleurs, l'eau de Javel est sujette à un phénomène de dégazage dans les tours aéroréfrigérantes, générant des pertes d'acide hypochloreux et de THM dans l'atmosphère.

Tableau II Le tableau suivant présente les limites journalières de rejets autorisés pour le traitement antitartre à Bugey (Arrêté du 6 août 2014 portant homologation de la décision n° 2014-DC-0443 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 15 juillet 2014).

	FLUX JOURNALIER MAXIMAL AJOUTÉ
Sulfates (1)	25 000 kg
Antitartre organiques	4500 kg au maximum 107 jours par an 3000 kg le reste de l'année
DCO	5800 kg au maximum 107 jours par an 3900 kg le reste de l'année

(1) Les rejets de sulfates sont associés au traitement antitartre et au traitement biocide.

Fig. 15 ▶ La monochloramine utilisée pour le traitement biocide des circuits dits « fermés » de refroidissement avec des tours aéroréfrigérantes est produite *in situ* par mélange d'eau de Javel et d'ammoniaque. Elle est injectée dans le circuit à l'amont du condenseur.

Tableau III Le tableau ci-dessous donne un exemple de limites journalières de rejet autorisées lors de la mise en œuvre d'un traitement biocide. Il s'agit d'un extrait de l'arrêté du 19 mars 2015 portant homologation de la décision ASN 2015-DC-0498 du 19 février 2015 concernant la centrale de St-Laurent sur la Loire (deux unités de 900 MWe).

SUBSTANCES	CHLORATION MASSIVE À pH CONTRÔLÉ FLUX 24 H AJOUTÉ	TRAITEMENT À LA MONOCHLORAMINE UNITÉS 1 ET 2 FLUX 24 H AJOUTÉ
Ammonium	–	70 kg
Nitrates	–	1470 kg 1840 kg en cas de traitement renforcé
Nitrites	–	70 kg *(10 % des valeurs peuvent dépasser 70 kg sans toutefois dépasser 230 kg)*
CRT	100 kg	45 kg 65 kg en cas de traitement renforcé
AOX éq Cl_2	85 kg	15 kg 20 kg en cas de traitement renforcé
THM (chloroforme)	9,5 kg	–

Ces traitements s'accompagnent de rejets de sulfates, de chlorures et de sodium réglementés avec les rejets provenant d'autres circuits (station de déminéralisation, réservoirs T, S et Ex)

Les purges des aéroréfrigérants principaux du CNPE de Civaux sont également équipées d'un traitement physique anti-amibien par rayonnements ultraviolets (UV) depuis 1999 pour la tranche 1 et depuis 2000 pour la tranche 2. Sur chaque purge, en période estivale, l'eau passe dans des canaux parallèles remplis de lampes monochromatiques montées en bancs, émettant des UV qui détruisent les micro-organismes. Le nettoyage de ces bancs est réalisé avec de l'acide phosphorique et génère des rejets de phosphates réglementés dans les décisions limites et modalités du site.

Fig. 16 ▶ Le traitement biocide par chloration massive à pH contrôlé est utilisé en cas d'absence ou d'indisponibilité du traitement à la monochloramine. Il consiste en une injection ponctuelle d'eau de Javel associée à une injection continue d'acide sulfurique permettant de maîtriser l'entartrage du circuit pendant l'opération.

Traitement biocide des circuits ouverts de refroidissement des sites marins

Pour lutter contre les salissures biologiques, l'eau de mer alimentant les circuits de refroidissement des sites marins est traitée, dès que la température de l'eau de mer est supérieure à 10 °C, à **l'eau de Javel** (hypochlorite de sodium) produite *in situ* par électrolyse de l'eau de mer. Ce traitement par électrochloration conduit à des rejets d'oxydants résiduels chlorés et bromés (généralement moins de 1000 kg par jour pour une unité de production) ainsi qu'à des rejets de composés organohalogénés dont le principal est le bromoforme (généralement moins de 100 kg par jour pour une unité de production).

Production d'eau déminéralisée à partir d'eau douce brute

Les stations de production d'eau déminéralisée se composent (*cf.* figure 17) :

- d'une unité de prétraitement qui peut être, selon les besoins, de différents types :
  - décarbonatation et floculation,
  - clarification et décantation ou flottation,
  - filtration sur filtre à sable ;
- d'une unité de déminéralisation composée, selon les besoins :
  - d'un déchloreur,
  - de déminéraliseurs (résines échangeuses d'ions pour les cations et résines échangeuses d'ions pour les anions),
  - dans certains cas, des déminéraliseurs à lits mélangés (résines anions/cations).

De plus, la mise en œuvre de membranes d'osmose inverse permet, par l'action mécanique d'une pression supérieure à la pression osmotique de l'effluent, de retenir la plus grande partie des sels dissous en solution. Dans le cadre de la production d'eau déminéralisée, l'étape d'osmose inverse ne se substitue pas à la déminéralisation par résines échangeuses d'ions, mais intervient comme une étape de déminéralisation supplémentaire, en tête de chaîne. Cette étape, mise en œuvre en amont des résines échangeuses d'ions, réduit la salinité de l'eau à déminéraliser, et permet par conséquent, d'augmenter la durée du cycle des résines. Il en résulte des volumes produits par cycle plus importants et une utilisation moyenne de régénérants moindre. Toutefois, les membranes d'osmose inverse sont sujettes à l'entartrage ainsi qu'au colmatage biologique et minéral pouvant requé-

Fig. 17 ▶ Les stations de production d'eau déminéralisée équipant les centrales françaises d'EDF sont équipées d'une unité de prétraitement et d'une unité de déminéralisation. Le schéma de principe ci-dessous en présente la configuration.

rir des nettoyages réguliers. Leur exploitation implique aussi nécessairement des pertes en eau sous forme de concentrats (de l'ordre de 25 % du débit d'eau brute pompée). Cette adjonction peut être réalisée de manière fortuite lors d'une indisponibilité de production sur la station. Elle est mise en œuvre de manière pérenne à Cattenom, Tricastin et Flamanville.

Le fonctionnement d'une station de production d'eau déminéralisée produit :

- des boues provenant de l'unité de prétraitement ;
- des effluents chimiques issus du lavage du déchloreur et des éventuelles membranes d'osmose inverse et de la régénération des résines échangeuses d'ions au moyen d'acide sulfurique ou chlorhydrique (résines cationiques) et de soude (résines anioniques).

Les effluents de régénération sont composés essentiellement de chlorures ou de sulfates, de sodium et de métaux ; ils sont orientés vers la fosse de neutralisation pour y être analysés et, le cas échéant, neutralisés, avant rejet (*cf.* tableau IV).

Tableau IV Le tableau ci-dessous donne un exemple de limites journalières de rejet autorisées associées à l'exploitation d'une station de production d'eau déminéralisée. Il s'agit d'un extrait de l'arrêté du 15 février 2008 portant homologation de la décision ASN 2008-DC-0090 du 10 janvier 2008 concernant à la centrale de Penly (deux unités de 1300 MWe).

SUBSTANCES	FLUX 24 H AJOUTÉ
Sodium	830 kg
Chlorures	1100 kg
Fer	56 kg
Matières en suspension	1800 kg

Les boues de décantation et de nettoyage des fosses de neutralisation sont selon leur composition, soit utilisées comme amendement agricole, soit traitées comme des déchets.

Production d'eau déminéralisée par dessalement de l'eau de mer à Flamanville

L'eau prélevée en mer subit :

- une pré-filtration afin d'éviter le colmatage des matériels situés en aval ;
- une filtration accompagnée d'une coagulation par injection de chlorure ferrique ($FeCl_3$) et éventuellement d'acide sulfurique pour ajustement du pH ;
- une ultrafiltration assurée par deux unités en parallèle dont le nettoyage est réalisé automatiquement au moyen d'eau de Javel (NaClO, neutralisée avec du bisulfite de sodium $NaHSO_3$ avant évacuation vers la fosse de neutralisation) ou d'acide sulfurique (H_2SO_4). Un nettoyage complémentaire est à réaliser environ 4 fois par an au moyen de soude et de bisulfite de sodium ou de détergents ;
- un traitement par osmose inverse (avec injection de soude pour augmenter la rétention du bore par les membranes) permettant d'obtenir, d'une part, de l'eau douce et, d'autre part, un concentrat de sels (saumure) qui est rejeté ; ce traitement est accompagné :
  - d'une injection de bisulfite de sodium ($NaHSO_3$) afin d'éliminer le chlore et l'oxygène présents dans l'eau de mer à traiter,
  - d'un ajout de produits anti-incrustants pour empêcher la précipitation de composés tels que le carbonate de calcium et le sulfate de calcium.

Les membranes d'osmose se colmatent lentement sous l'effet des colloïdes et de la précipitation des sels. Pour restaurer la propreté des membranes, un nettoyage chimique au moyen d'une solution de soude et de bisulfite de sodium ou de détergents est nécessaire.

L'eau douce sortant des osmoseurs subit une déminéralisation finale (polishing) sur un lit mélangé de résines échangeuses d'ions. Les résines sont périodiquement régénérées par de la soude et de l'acide sulfurique et les effluents produits sont orientés vers la fosse de neutralisation pour contrôle avant rejet (*cf.* figure 18 et tableau V).

Fig. 18 ▶ Le schéma de principe ci-dessous présente la configuration de la station de dessalement d'eau de mer à Flamanville. L'eau de mer prélevée subit un prétraitement, une ultrafiltration et un traitement par osmose inverse permettant d'obtenir une eau douce présentant une qualité adaptée à son utilisation dans les différents circuits d'eau de refroidissement du réacteur.

Tableau V Le tableau ci-dessous donne les ordres de grandeur des quantités de produits utilisés quotidiennement pour l'exploitation de l'unité de dessalement de l'eau de mer à Flamanville (environ 1500 m³/j).

SUBSTANCES REJETÉES PAR L'UNITÉ	QUANTITÉS JOURNALIÈRES
Chlorure ferrique	80 kg
Bisulfite de sodium	90 kg
Acide sulfurique	720 kg
Eau de Javel	20 L
Soude	850 kg
Anti-incrustant	20 kg
Détergents	125 kg

Substances utilisées pour les opérations de maintenance

Conditionnement chimique des générateurs de vapeur en phase d'arrêt de tranche

Lorsque l'unité de production est mise à l'arrêt pour procéder au rechargement du combustible nucléaire, les générateurs de vapeur (côté secondaire) doivent être conditionnés pour assurer leur conservation et éviter leur endommagement pendant toute la durée de l'arrêt (plusieurs semaines). Cette conservation à l'arrêt peut être réalisée à sec ou en eau. En cas de conservation humide, l'eau est conditionnée au moyen d'un mélange d'**hydrazine** et d'**ammoniaque** ou d'hydrazine et d'éthanolamine ou de **morpholine**. En fin d'arrêt, deux cas de figure peuvent se présenter :

- soit les générateurs de vapeur sont exceptionnellement vidangés en l'état ; l'eau de vidange contenant encore une forte teneur d'hydrazine (au moins 75 mg/L) conduit à des rejets chimiques ;
- soit l'eau des générateurs de vapeur est conservée pour la phase de démarrage, ce qui évite les rejets.

Les autres parties du circuit secondaire (poste d'eau, condenseurs) sont vidangées en début d'arrêt et maintenues sous air avec une humidité relative inférieure à 40 %. Cette vidange de circuit en début d'arrêt de tranche produit environ 2000 m^3 d'eau contenant de faibles concentrations d'hydrazine (50 à 100 µg/L), d'ammoniaque (1 à 2 mg/L) et d'éthanolamine (4 mg/L) ou de morpholine (6 mg/L) correspondant aux concentrations du circuit secondaire.

Lessivage chimique des générateurs de vapeur à l'arrêt

Le colmatage par des produits de corrosion issus du circuit secondaire a été constaté sur les générateurs de vapeur de certaines centrales. Ce phénomène pouvant affecter la tenue mécanique des tubes et impacter la sûreté, un lessivage chimique de ces matériels peut être nécessaire (*cf.* figure 19).

Cette opération de lessivage met en œuvre des substances chimiques différentes selon les procédés qualifiés par EDF (notamment éthylènediamine – EDA, acide éthylènediaminetétraacétique – EDTA, ammoniaque, hydrazine, acide oxalique, peroxyde d'hydrogène) qui vont dissoudre les oxydes métalliques (fer, cuivre, zinc) qui se sont déposés au fil du temps au niveau des plaques entretoises des générateurs de vapeur. Les effluents produits sont stockés dans des réservoirs prévus à cet effet et sont contrôlés. Selon leurs caractéristiques chimiques, les effluents liquides produits (plusieurs centaines de m^3) sont ensuite transférés dans les réservoirs T pour y être contrôlés avant rejet (eaux de rinçage de l'opération), ou font l'objet d'un traitement spécifique permettant leur rejet ultérieur ou leur évacuation comme déchets. Les

Fig. 19 ▶ Un phénomène de colmatage est observé dans les générateurs de vapeur (GV) de certaines centrales. Ce phénomène correspond à l'obturation des trous qui permettent le passage de l'eau à travers les plaques entretoises de maintien des tubes des GV et est dû à la présence de dépôts dans ces passages d'eau. Des opérations de lessivage chimique peuvent être mises en œuvre pour remédier à ce phénomène. ©EDF

rejets de substances réglementées par les décisions limites et modalités du site se font dans le respect des autorisations réglementaires. Les substances non réglementées par les décisions limites et modalités du CNPE font l'objet d'une évaluation d'impact environnemental et de risques sanitaires transmise à l'ASN dans le dossier d'autorisation de l'opération, afin de démontrer l'absence d'impact environnemental et sanitaire de ces rejets.

Nettoyage des échangeurs d'eau brute des circuits de réfrigération intermédiaires (circuits RRI, SRI, TRI)

L'encrassement des échangeurs alimentés en eau brute (eau douce ou eau de mer) est inéluctable dans le temps et dégrade leurs performances thermiques, diminuant leur capacité à transférer l'énergie thermique. La nature des dépôts peut être d'origine organique (algues, boues) ou minérale (tartre, argile). Dans certains cas, ces dépôts peuvent contenir des traces d'hydrocarbures dues aux activités portuaires (cas de Gravelines). Le nettoyage peut être réalisé mécaniquement en démontant l'échangeur ou chimiquement. Les dépôts et les effluents produits sont, soit récupérés et traités comme déchets, soit rejetés après neutralisation dans les fosses de station de déminéralisation dans le respect des exigences réglementaires définies dans les décisions limites et modalités des sites concernés.

Substances issues de l'usure des matériels ou d'impuretés des produits utilisés

Usures des tubes en laiton des condenseurs

Les parois internes des tubes en laiton[1] des condenseurs s'usent sous l'effet de l'érosion-corrosion provoquée par l'eau brute de refroidissement. La perte de matière se traduit par une diminution de l'épaisseur des tubes et conduit à des rejets de cuivre et de zinc.

1. Laiton : alliage composé de cuivre (70 %) et de zinc (30 %).

Seules quelques centrales refroidies en circuit dit « fermé » sont encore équipées de condenseurs dont les tubes sont totalement ou partiellement en laiton (*cf.* encart p. 159). Depuis 2011, plus aucune centrale refroidie en circuit ouvert ne possède de condenseurs en laiton.

Pour les centrales en circuit dit « fermé », les rejets journaliers par unité peuvent varier d'une dizaine à une centaine de kg pour le cuivre et de quelques kg à une cinquantaine de kg pour le zinc. L'usure dépend beaucoup de la qualité de l'eau brute qui peut être plus ou moins abrasive et corrosive selon les cours d'eau et selon les conditions météorologiques. Notons par ailleurs que la présence de cuivre soluble dans l'eau de refroidissement a un effet biocide vis-à-vis des amibes et évite leur développement dans les circuits (*cf.* chapitre 7 sur les prélèvements d'eau).

L'épaisseur des tubes de condenseurs est contrôlée périodiquement par des mesures par courants de Foucault. Ces contrôles montrent que les tubes en acier inoxydable et en titane ne présentent pas d'usure significative. Ces condenseurs ne donnent donc pas lieu à des rejets de métaux.

Impuretés des produits commerciaux utilisés pour le conditionnement chimique et le traitement

Certains produits chimiques commerciaux utilisés pour le traitement des circuits (acide sulfurique, soude caustique, acide chlorhydrique) renferment des impuretés telles que le plomb et le mercure. Pour réduire au maximum le rejet de ces substances très toxiques, l'exploitant impose dans le cahier des charges transmis aux fournisseurs, des spécifications adaptées.

Substances chimiques exogènes

Les substances chimiques présentes dans l'eau prélevée en amont de la centrale et qui ne font que transiter par les circuits de refroidissement (sels dissous, métaux lourds...) se retrouvent aussi dans l'ouvrage de rejet principal. Les circuits dits « fermés » refroidis par aéroréfrigérants tendent à concentrer ces substances au rejet du fait de l'évaporation de l'eau (facteur de concentration de 1,5 environ). Ce phénomène de surconcentration est pris en compte dans les études d'impact (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts).

4.2 COLLECTE ET TRAITEMENT DES EFFLUENTS CHIMIQUES LIQUIDES

Collecte vers l'ouvrage de rejet principal

À l'exception des eaux de pluie collectées par certains émissaires, tous les effluents, qu'ils soient radioactifs ou non, sont orientés vers un ouvrage de rejet unique qui constitue le **rejet principal du site**. Cet ouvrage collecte les retours d'eau brute (eau douce ou eau de mer) des circuits de refroidissement (condenseurs des turbo-alternateurs, purges des tours aéroréfrigérantes, échangeurs) dans lesquels les effluents sont prédilués. À cette fin, un débit minimal d'eau brute est assuré en permanence dans cet ouvrage de rejet (*cf.* figure 20).

Par l'ouvrage de rejet principal, sont rejetées les substances chimiques en provenance :

- des vidanges des **réservoirs T** (capacité unitaire 300 à 750 m³) collectant les effluents radioactifs (10 à 20 vidanges par an et par réacteur). Ces réservoirs contiennent, en plus des substances radioactives, des substances chimiques telles que :
  - acide borique, lithine, hydrazine, phosphates, détergents provenant du lavage du linge contaminé ou des douches,
  - les produits de conditionnement chimique du circuit secondaire (morpholine ou éthanolamine, hydrazine, ammoniaque, et leurs dérivés azotés tels que nitrates et nitrites) si les réservoirs ont collecté les purges des générateurs de vapeur,
  - les matières en suspension (boues) voire quelques métaux à l'état de trace dus à l'usure des circuits ;
- des vidanges des **réservoirs Ex**, (capacité unitaire 500 à 1000 m³) collectant les eaux d'exhaure des salles des machines (40 à 150 vidanges par an et par réacteur). Ces réservoirs renferment essentiellement :
  - les produits de conditionnement chimique du circuit secondaire et du circuit de production de vapeur auxiliaire (morpholine ou éthanolamine, hydrazine, ammoniaque, et leurs dérivés azotés tels que nitrates et nitrites),
  - les matières en suspension (issues de la récupération des eaux brutes de désurchauffe des fonds « basse-pression » des turbines) voire quelques métaux à l'état de trace dus à l'usure des circuits,
  - les phosphates issus des vidanges des circuits de refroidissement intermédiaire ;
- des **purges continues** des aéroréfrigérants, qui contiennent les substances chimiques liées aux traitements antitartre et biocide lorsqu'ils sont pratiqués, et à l'usure des tubes de condenseurs si ces derniers sont en laiton ;
- des **retours d'eau brute** des condenseurs refroidis en circuit ouvert qui peuvent être chargés de substances liées au traitement antisalissure sur les sites marins ;
- des vidanges des **fosses de neutralisation** (170 à 700 m³) de la station de déminéralisation comportant notamment les sels issus de la régénération des résines échangeuses d'ions (sulfates ou chlorures) ;
- des sorties des **stations d'épuration des eaux usées STEP** (eaux vannes) ;
- des sorties des **déshuileurs** installés pour la collecte des eaux susceptibles d'être polluées par de l'huile ou des hydrocarbures ;
- des **eaux de pluie** collectées par les toitures des bâtiments et les voiries.

Fig. 20 ▶ Le schéma simplifié ci-dessous présente le principe de collecte des effluents liquides. Tous les effluents, radioactifs ou non, sont orientés vers un ouvrage de rejet unique qui constitue le rejet principal du site. Dans cet ouvrage, les effluents sont pré-dilués et contrôlés avant d'être rejetés.

Traitement des effluents chimiques

Des actions sont mises en œuvre au quotidien par l'exploitant pour réduire autant que possible les rejets de substances chimiques. Celles-ci visent en premier lieu à réduire la production d'effluents à la source en limitant notamment les fuites d'eau sur les circuits puis en agissant sur le traitement des effluents avant rejet (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts).

Réduction des rejets d'acide borique

Les effluents radioactifs borés issus du circuit primaire peuvent être, après traitement, recyclés, c'est-à-dire réutilisés comme eau d'appoint au circuit primaire. Mais le recyclage se heurte à des difficultés en raison de la teneur en silice présente à l'état de trace dans l'effluent à recycler. Comme celui-ci subit un traitement sur évaporateur qui concentre l'acide borique mais aussi la silice, la teneur en silice dans l'eau à recycler peut atteindre la limite fixée par les spécifications chimiques définies pour l'eau d'appoint au réacteur. Dans ce cas, le recyclage de l'eau borée n'est pas possible et elle doit être rejetée (*cf.* figure 21). C'est ce qui explique en partie les variations importantes des rejets d'acide borique entre sites. L'acide borique non recyclé est enfûté en coque béton ou incinéré à l'usine Centraco de Marcoule comme un déchet radioactif.

Fig. 21 ▶ Lorsqu'ils ne peuvent pas être recyclés, les effluents contenant de l'acide borique, issus du circuit primaire, doivent être rejetés. Les rejets annuels moyens d'acide borique ramenés à une unité de production sont inférieurs à 5 tonnes depuis une dizaine d'années.

Élimination de l'hydrazine

Lorsque la centrale est en fonctionnement, l'hydrazine du circuit secondaire (eau-vapeur) chemine par les purges des circuits jusqu'aux réservoirs d'entreposage **T ou Ex d'entreposage** avant rejet. Dans ces réservoirs, l'hydrazine se décompose au contact de l'oxygène de l'air ambiant. De ce fait, les rejets d'hydrazine sont faibles (quelques centaines de grammes par réacteur et **par an**).

En arrêt de tranche, le conditionnement chimique à l'hydrazine des générateurs de vapeur (côté secondaire)

et du poste d'eau pouvait être à l'origine de rejets plus importants (jusqu'à quelques dizaines de kilos d'hydrazine par jour) lors de la vidange des circuits. Pour réduire ces rejets, les actions suivantes ont été prises :

- le **poste d'eau** et les générateurs de vapeur sont dorénavant conservés de manière privilégiée **à sec** sous air avec une humidité relative inférieure à 40 %, après avoir été vidangés en début d'arrêt de tranche alors que la teneur en hydrazine dans le circuit secondaire est faible (50 à 100 µg/L) ;
- si la conservation à sec des générateurs de vapeur n'est pas possible, la mise en œuvre préférentielle du cracking thermique de l'hydrazine résiduelle issue du conditionnement humide permet, lors de la montée en température au redémarrage du réacteur, la décomposition thermique de l'hydrazine dans les GV et évite les rejets liquides ; l'azote issu de cette opération est alors rejeté à l'atmosphère ;
- en dernier recours, l'hydrazine des effluents produits par la vidange des **générateurs de vapeur** en fin d'arrêt (300 et 400 m^3 à la concentration d'au moins 75 mg/L) est éliminée en quasi-totalité dans les réservoirs d'entreposage par un bullage à l'air comprimé ou par la mise en brassage prolongé des réservoirs, avec l'ajout possible de quelques centaines de grammes de sulfate de cuivre jouant le rôle de catalyseur de la réaction.

Par ailleurs, les matériels (pompes d'injection...) véhiculant de l'hydrazine concentrée font l'objet d'une attention particulière afin de déceler toute fuite de produit et d'y remédier.

En définitive, les rejets d'hydrazine ne représentent plus au total que quelques centaines de grammes par réacteur et par an. Ainsi, les rejets liquides d'hydrazine ont été divisés par un facteur 30 en 12 ans (*cf.* figure 22).

Fig. 22 ▶ Les rejets annuels moyens d'hydrazine ont diminué d'un facteur 30 en 12 ans, grâce à la réduction à la source des effluents, à la mise en œuvre préférentielle d'une conservation sèche des matériels à l'arrêt ou au cracking thermique de l'hydrazine résiduelle issue du conditionnement humide des générateurs de vapeur à l'arrêt, ainsi qu'à la destruction de l'hydrazine contenue dans les réservoirs d'entreposage des effluents par bullage à l'air. Aujourd'hui, les rejets d'hydrazine sont faibles, de l'ordre de quelques centaines de grammes par an et par réacteur en moyenne.

Réduction des rejets d'azote total (hors hydrazine, morpholine, éthanolamine)

Le conditionnement chimique du circuit secondaire et le traitement biocide des circuits dits « fermés » de refroidissement engendrent des rejets de substances azotées telles que l'ammoniaque, les nitrates et les nitrites. L'azote de l'hydrazine (N_2H_4), de la morpholine (C_4H_9NO) et de l'éthanolamine (C_2H_7NO) n'est pas pris en compte dans le vocable « azote » ou « azote total » ; celui-ci étant considéré au travers des teneurs en hydrazine, en morpholine et en éthanolamine des effluents (*cf.* chapitre 11 § 4).

L'ammoniaque (NH_4OH) dans les effluents provient principalement :

- de la décomposition thermique de l'hydrazine ;
- de l'ammoniaque utilisée pour le conditionnement chimique du circuit secondaire sur les unités sans alliages cuivreux ;
- du traitement biocide à la monochloramine des circuits de refroidissement dits « fermés ».

L'**ammoniaque** se concentre fortement dans les purges des pompes à vide extrayant les gaz incondensables du circuit secondaire « eau-vapeur ». Ces purges contribuent pour une grande part au rejet d'ammoniaque d'une centrale nucléaire. Ces rejets peuvent être réduits en pratiquant le recyclage des purges des pompes à vide au condenseur. Mais ce recyclage pouvant entraîner une « pollution chimique » du circuit secondaire préjudiciable à la bonne tenue des matériels, des modifications sont réalisées pour sécuriser sa mise en œuvre sur le palier 1450 MWe.

Les **nitrates** (NO_3^-) et les **nitrites** (NO_2^-) sont principalement produits par le traitement biocide à la monochloramine des circuits de refroidissement dits « fermés ». Les rejets de nitrates peuvent être réduits en optimisant les paramètres de traitement (injection au plus juste des quantités de réactifs en fonction du risque de colonisation des micro-organismes pathogènes, traitement séquentiel). L'expérience montre que les pics de rejet de nitrites surviennent lorsque le traitement est lancé pendant la phase de redémarrage de l'unité. Afin d'éviter ces pics de rejet, il est préconisé d'attendre que l'unité ait atteint la pleine puissance avant de démarrer le traitement biocide. Les nitrates et les nitrites sont aussi présents dans les eaux d'exhaure des salles des machines où ils se forment par oxygénation des produits azotés contenus dans ces eaux, notamment de l'ammoniaque.

Réduction des rejets de détergents

Les détergents proviennent du circuit de laverie du linge contaminé. Ces effluents ne font généralement l'objet que d'une filtration qui n'a pas d'efficacité vis-à-vis des détergents. Par ailleurs, la composition des détergents n'est pas précisément fournie par le fabricant, mais on sait qu'ils sont

Tableau VI La rénovation des condenseurs, engagée par EDF depuis plusieurs années, a permis de réduire significativement les rejets de cuivre et de zinc sur tous les bassins hydrographiques.

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	SEINE	LOIRE	MOSELLE	RHÔNE
Réduction des rejets de cuivre et zinc par les condenseurs en laiton[1] en %, de 1990 à 2018	≅ 100 %	≅ 77 %	≅ 87 %	≅ 100 %

Nota : Il n'existe pas de techniques industriellement et économiquement utilisables pour retenir ou piéger ces métaux dans les eaux de refroidissement en raison de leur très faible concentration dans les rejets.

Fig. 23 ▸ Le schéma ci-dessous présente le principe de la STEP Sud de Flamanville (800 éq-hab) dans laquelle les eaux usées sont traitées par un procédé biologique basé sur des cultures bactériennes fixées sur des membranes filtrantes et activé par oxygénation.

biodégradables, sans EDTA, ni NTA, ni phosphates. Des efforts sont réalisés afin de limiter autant que possible l'utilisation des détergents. Les mesures de propreté radiologique mises en œuvre dans les centrales depuis le début des années 2000 et une gestion efficace des équipements ont permis de réduire les quantités de linge à laver ainsi que la fréquence de lavage des sols.

Réduction des rejets de métaux liés à l'usure des tubes de condenseurs en laiton

À l'origine, le parc nucléaire en exploitation (19 sites) comportait des installations avec des condenseurs dont les tubes pouvaient être soit en titane (bord de mer), soit en inox (sites fluviaux récents, Golfech, Chooz, Civaux), soit en laiton pour les autres sites.

Depuis les années 1990, la plupart des condenseurs en laiton ont été rénovés soit en totalité par des tubes en acier inoxydable, soit partiellement par des tubes en titane ou en acier inoxydable (*cf.* encart p. 159). Cette rénovation engagée a permis de **réduire significativement les rejets de cuivre et de zinc** sur tous les bassins hydrographiques (*cf.* tableau VI).

Traitement des eaux usées ou eaux vannes (STEP)

Les eaux usées d'origine domestique (sanitaires, eaux vannes) sont collectées par un réseau particulier puis dirigées vers une station d'épuration (STEP) avant rejet. Le traitement est assuré biologiquement par culture bactérienne et oxygénation. Les eaux épurées sont rejetées tandis que les boues récupérées dans les bassins de décantation sont éliminées comme déchets ou consommées *in situ* par des lits de roseaux. Sur certains sites nucléaires (Nogent), les eaux usées sont orientées vers le réseau urbain de collecte pour y être traitées.

À la centrale de Flamanville, les eaux usées sont d'abord filtrées sur un tamis rotatif de maille 0,75 mm afin d'éliminer les sables et éléments grossiers ; elles sont ensuite dirigées vers deux filières de traitement fonctionnant en parallèle. Une première filière assure une épuration biologique ; elle dispose d'une capacité de traitement de 800 équivalents-habitants et permet de traiter un volume journalier d'effluent jusqu'à 120 m³ (*cf.* figure 23). Une seconde filière, d'une capacité de 1000 équivalents-habitants, épure le volume restant dans un réacteur biologique à membranes (microfiltration 0,4 µm). Les rejets de cette station d'épuration sont donnés au tableau VII.

Tableau VII Le tableau ci-dessous présente les limites de rejets autorisées pour la station d'épuration des eaux usées de Flamanville (station sud). Sa capacité de traitement est de 1800 équivalents-habitants (EQH) répartis sur deux filières (1000 EQH en traitement membranaire et 800 EQH en traitement cultures fixées) (décision ASN n°2018-DC-0640 du 19 juillet 2018).

PARAMÈTRES	CONCENTRATIONS INSTANTANÉES À RESPECTER SUR DES MESURES RÉALISÉES MENSUELLEMENT
Phosphore total	–
Azote global	–
DBO5	30 mg/L
DCO	120 mg/L
MES	30 mg/L

1. Calculé au prorata du nombre de tubes en laiton remplacés.

Rénovation des condenseurs en laiton

Depuis les années 1990, les condenseurs ont été rénovés ; les tubes en laiton ont été remplacés, en partie ou en totalité, par des tubes en acier inoxydable ou en titane (situation mi-2019), permettant de réduire significativement les rejets de cuivre et de zinc sur tous les bassins hydrographiques.

BASSIN DE LA LOIRE	TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN LAITON	TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN ACIER INOXYDABLE	TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN TITANE
Belleville			
Unité 1	55 %	45 % depuis 2014	
Unité 2	65 %	35 %	
Dampierre			
Unité 1		100 % depuis 1990	
Unité 2	80 %		20 %
Unité 3		100 % depuis 1995	
Unité 4	80 %	20 %	
Saint-Laurent			
Unité 1		50 % depuis 2009	50 % depuis 2005
Unité 2		100 % depuis 2011	
Chinon			
Unité 1		100 % depuis 2009	
Unité 2		100 % depuis 2010	
Unité 3		100 % depuis 2009	
Unité 4		100 % depuis 2010	
BASSIN DU RHÔNE	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN LAITON**	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN ACIER INOXYDABLE**	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN TITANE**
Bugey			
Unité 2		100 % depuis 1991	
Unité 3		100 % depuis 1990	
Unité 4		100 % depuis 1999	
Unité 5		100 % depuis 1993	
Saint-Alban			
Unité 1		100 % depuis 2007	
Unité 2		100 % depuis 2008	
Cruas			
Unité 1		40 % depuis 2017	60 % depuis 2004
Unité 2		40 % depuis 2017	60 % depuis 2004
Unité 3		40 % depuis 2016	60 % depuis 2004
Unité 4		40 % depuis 2018	60 % depuis 2003
Tricastin			
Unité 1		100 % depuis 1994	
Unité 2		100 % depuis 1994	
Unité 3		100 % depuis 1992	
Unité 4		100 % depuis 1993	
BASSIN DE LA MOSELLE	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN LAITON**	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN ACIER INOXYDABLE**	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN TITANE**
Cattenom			
Unité 1			100 % depuis 2016
Unité 2			100 % depuis 2017
Unité 3			100 % depuis 2019
Unité 4			100 % depuis 2018
BASSIN DE LA SEINE	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN LAITON**	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN ACIER INOXYDABLE**	**TAUX DE TUBES DE CONDENSEURS EN TITANE**
Nogent-sur-Seine			
Unité 1		100 % depuis 1998	
Unité 2		100 % depuis 1999	

Traitement des eaux huileuses

Même rejetés en faible quantité, les hydrocarbures ont un impact visuel très marqué dans l'environnement (irisations à la surface de l'eau). Pour éviter les rejets huileux, les circuits présentant un risque de fuite d'hydrocarbures (circuit d'huile du groupe turbo-alternateur, réservoirs de gasoil des groupes électrogènes de secours...) sont équipés de rétentions étanches et les réseaux d'égouts situés à proximité de ces matériels sont orientés vers un dispositif de traitement approprié tel que des déshuileurs (*cf.* figure 24).

Les réseaux de collecte des eaux pluviales des parkings extérieurs au site sont également équipés de rétentions et de systèmes de traitement (déshuileurs, débourbeurs) pouvant faire face à l'afflux d'eau dû à un gros orage. Ceci permet d'éviter le rejet de matières en suspension et d'hydrocarbures qui imprègnent les parkings de voitures.

Des mesures sont réalisées périodiquement à la sortie des systèmes de traitement afin de s'assurer qu'il n'y a pas de traces d'hydrocarbures supérieures à la limite réglementaire (5 ou 10 mg/L dans les effluents rejetés, selon le type d'effluents et les décisions limites et modalités des CNPE).

Fig. 24 ▶ Les eaux susceptibles de contenir des hydrocarbures sont, avant leur rejet, traitées par des dispositifs adaptés, les déshuileurs, permettant de piéger les hydrocarbures. Ces dispositifs séparent les hydrocarbures et l'eau selon le schéma de principe présenté ci-dessous, en utilisant la densité des hydrocarbures inférieure à celle de l'eau (source : Eau du Grand Reims). Source : Techneau.

4.3 REJETS CHIMIQUES LIQUIDES

Contrôle des rejets

Les contrôles effectués sur les effluents chimiques par l'exploitant découlent directement des impositions réglementaires qui fixent notamment :

- la localisation, la nature, la technique de mesure, la périodicité ;
- les règles de comptabilisation des rejets ;
- les limites à ne pas dépasser ;
- les modalités de transmission des résultats de mesure à l'administration et au public.

Ces contrôles portent tant sur les concentrations des substances dans l'émissaire de rejet que sur les débits de rejet (contrôle des flux de rejet). La nature et la fréquence des contrôles tiennent compte des enjeux environnementaux en termes de quantité rejetée et de toxicité de la substance (*cf.* figure 25).

Les contrôles sont définis en distinguant :

- **les réservoirs ou capacités de collecte** (réservoirs T, S et Ex, fosse de neutralisation). Pour certaines substances, les résultats d'analyse doivent être connus avant chaque rejet car ils déterminent les conditions de rejet (contrôle *a priori*) ; pour d'autres, les résultats n'interviennent qu'une fois le rejet effectué, au titre de la comptabilisation des flux de rejet journalier ou annuel (contrôle *a posteriori*). Les analyses sur les effluents sont réalisées après avoir mis en brassage le réservoir afin d'obtenir un échantillon représentatif sur lequel seront effectuées les analyses requises. Les quantités de substances rejetées (flux) sont déterminées d'après les analyses de concentration, les volumes des réservoirs ou les débits de rejet associé au temps de rejet. Le réservoir ne peut être rejeté que si les conditions réglementaires de rejet sont respectées (cf. § 4.5) ;
- **les émissaires** des stations d'épuration des eaux usées (STEP) et de déminéralisation, des purges des aéroréfrigérants ainsi que du traitement des eaux huileuses et de la collecte des eaux pluviales ;
- **l'ouvrage de rejet principal** où le contrôle est réalisé :
  - par des mesures en continu de paramètres physico-chimiques. L'ouvrage de rejet principal des centrales implantées en bord de rivière est équipé d'une station multiparamètres permettant de relever en continu, le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité,
  - par des prélèvements périodiques sur lesquels des analyses de laboratoire sont opérées,
  - en déterminant le débit de rejet par mesure ou par calcul d'après les paramètres de fonctionnement des installations (*cf.* chapitre 7 sur les prélèvements d'eau).

Les analyses chimiques sont effectuées par le laboratoire « Effluents » de la centrale en référence à des normes (*cf.* chapitre 11 sur la métrologie environnementale). Certaines analyses peuvent être sous-traitées à des laboratoires extérieurs après information préalable de l'ASN. Les résultats des mesures sont consignés dans les synthèses mensuelles et annuellement dans le registre national des émissions ainsi que dans le rapport environnemental du site, communiqués à l'administration et au public (*cf.* chapitre 4 sur l'information du public et chapitre 6 sur le rôle de l'administration).

Contrôle des rejets de cuivre et de zinc des condenseurs en laiton

Les rejets de cuivre et de zinc peuvent être déterminés de deux façons :

- d'après l'évaluation de la perte de matière mesurée par courants de Foucault dans le cadre des

Fig. 25 ▶ Les contrôles effectués sur les effluents chimiques liquides sont fixés dans les décisions modalités et limites de chaque site. Ils portent sur les capacités de collecte, les émissaires de différents équipements et l'ouvrage de rejet principal, comme l'indique le schéma de principe ci-dessous.

programmes de maintenance. Ces contrôles permettent d'estimer la perte d'épaisseur des tubes sur la durée de fonctionnement ;

- à partir de mesures chimiques pratiquées dans le rejet général et à l'amont afin de déterminer les valeurs ajoutées (déduction faite des métaux déjà présents à l'amont).

Contrôle des rejets par bilan matière

Lorsqu'il n'est pas possible de mesurer les substances chimiques dans l'effluent en particulier si les concentrations y sont trop faibles, le rejet est déterminé à partir des quantités de produits injectés dans les circuits et de la connaissance des transformations de ces produits lors de la réaction chimique. Cette pratique est notamment utilisée pour les rejets de substances issues de la station de production d'eau déminéralisée (sodium, chlorures, sulfates) ou pour certains rejets des traitements antitartre et biocides.

Contrôle dans le milieu aquatique en aval du rejet principal

Des mesures sont pratiquées dans le milieu récepteur en aval des rejets :

- périodiquement sur des substances faisant l'objet de limites à ne pas dépasser ;
- en continu par la station multiparamètres aval (pH, O_2 dissous, conductivité, T°).

Sur les sites en bord de rivière, des mesures sont aussi réalisées ponctuellement ou en continu en amont du site (MES, métaux...) pour tenir compte de l'éventuelle présence de ces substances dans le calcul des rejets « ajoutés » dans l'ouvrage principal.

Limites de rejet

Les limites à ne pas dépasser dans les rejets pour les substances chimiques sont fixées par les décisions limites accordées à chaque centrale nucléaire par l'ASN (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation). Ces limites peuvent porter sur :

- les concentrations maximales ajoutées dans les émissaires de rejet ;
- les concentrations maximales ajoutées dans l'ouvrage principal de rejet ;
- les flux de rejet annuels, mensuels, journaliers, et/ou sur 2 heures (flux ajoutés) ;
- les concentrations ajoutées dans le milieu aquatique en aval des rejets.

Le choix des substances réglementées est fait sur la base des informations relatives aux rejets et à leur impact sur l'environnement et la santé présentées dans le dossier de demande d'autorisation (*cf.* chapitre 9).

Par ailleurs, les effluents rejetés ne doivent dégager aucune odeur, ni provoquer une quelconque coloration de l'eau.

Compte tenu des différences de conception entre les centrales, s'agissant des circuits non nucléaires et de la particularité liée à l'environnement de chaque site, les limites autorisées par la réglementation diffèrent d'un site à l'autre. À titre d'exemple, l'encart ci-après fournit les limites chimiques fixées pour la centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux.

Extrait de l'arrêté du 19 mars 2015 portant homologation de la décision no 2015-DC-0498 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 19 février 2015 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux (2 unités de 900 MWe)

a) Ouvrage de rejet principal :
Les limites en concentration se calculent par différence entre la concentration mesurée ou calculée à l'ouvrage de rejet principal et la concentration mesurée en amont corrigée afin de prendre en compte le phénoméne d'évaporation des eaux pompées dans les aéroréfrigérants.

SUBSTANCES	PRINCIPALES ORIGINES	FLUX 2 H AJOUTÉ (kg)	FLUX 24 H AJOUTÉ (kg)	FLUX ANNUEL AJOUTÉ (kg)	CONCENTRATION MAXIMALE AJOUTÉE DANS L'OUVRAGE DE REJET PRINCIPAL (mg/L)
Acide borique (1)	Réservoirs T, S	250	1400	10 000	29
Morpholine (1)	Réservoirs T, S et Ex Réseau SEO	–	11	500	0,71
Ethanolamine (2)	Réservoirs T, S et Ex Réseau SEO	–	9,5 (3)	400	1,7
Hydrazine	Réservoirs T, S et Ex	–	1,5 (4)	16	0,10
Azote (ammonium, nitrites, nitrates	Réservoirs T, S et Ex	–	54	6 000	3,5 (5)
Ammonium	Traitement à la monochloramine	–	70	–	
Nitrates		–	1 470 (6)	–	
Nitrites		–	70 (6)	–	
Phosphates	Réservoirs T, S et Ex Réseau SEO	10	90	710	1,7
Détergents	Réservoirs T, S	30	100	1 500	3,5
Métaux totaux (cuivre, zinc, manganèse, nickel titane, chrome, fer aluminium (8)	Réservoirs T, S et Ex	–	–	62 (9)	0,14
DCO	Réservoirs T, S et Ex	–	165	–	1,7
MES	Réservoirs T, S et Ex Station de déminéralisation	–	80	–	5,3
Chlorures (10)	Station de déminéralisation Traitement à la monochloramine Chloration massive	–	1 740	–	14
Sodium (11)	Réservoirs T, S et Ex Station de déminéralisation Traitement à la monochloramine Chloration massive	–	1 900	–	20
Chlore résiduel total (CRT)	Traitement à la monochloramine Chloration massive	–	45 (12)	4 500	0,31
AOX	Traitement à la monochloramine Chloration massive	–	15 (13)	1 000 (14)	0,11
THM	Chloration massive	2,5	9,5	–	0,3
Sulfates (15)	Station de déminéralisation Chloration massive	–	1 925	–	41

(1) Lors d'une vidange complète ou partielle d'un réservoir d'acide borique (réservoir REA bore ou PTR), les limites des flux 2 h, 24 h et annuel sont portées respectivement à 500 kg, 1 900 kg et 13 000 kg. La concentration maximale ajoutée au rejet est portée à 59 mg/L. Cette vidange ne peut être pratiquée qu'après démonstration que ces réservoirs ne peuvent être ramenés dans le cadre des spécifications.
(2) En cas de changement du conditionnement du circuit secondaire, les limites du flux 24 h de l'ancien conditionnement restent applicables jusqu'à la fin de cycle des deux réacteurs Dans les cas où les deux modes de conditionnement du circuit secondaire (morpholine ou éthanolamine) seraient utilisés durant la même année calendaire, les limites annuelles sont calculées :
– pour l'ancien conditionnement, au prorata temporis de la durée de fonctionnement jusqu'à la fin de cycle du dernier réacteur ;
– pour l'ancien conditionnement, au prorata temporis de la durée de fonctionnement à partir de la date de basculement.
(3) Sur l'année, 5% des flux 24 h peuvent dépasser cette valeur sans toutefois dépasser 23 kg.
(4) Sur l'année, 2 % des flux 24 heures peuvent dépasser 1,5 kg sans toutefois dépasser 2kg. Dans cette configuration, la concentration moyenne ajoutée en Loire est portée à 0,0005 mg/L.
(5) Les concentrations sont exprimées en azote.
(6) La limite du flux 24 heures est portée à 1 840 kg en cas de traitement à la monochloramine renforcé.
(7) Lors de la période de traitement à la monochloramine, 10 % des flux 24 heures peuvent dépasser 70 kg sans toutefois dépasser 230 kg.
(8) Les flux annuels de chacun des métaux nickel et chrome n'excèdent pas 30 % des rejets annuels de métaux totaux.
(9) Les flux annuels de chacun des métaux nickel et chrome n'excèdent pas 30 % des rejets annuels de métaux totaux.
(10) Les limites du flux 24 h et de la concentration ajoutée dans l'ouvrage de rejet sont portées respectivement à :
2 140 kg et 17 mg/L en cas de traitement à la monochloramine renforcé ;
2 400 kg et 42 mg/L en cas de chloration massive.
(11) Les limites du flux 24 h et de la concentration ajoutée dans l'ouvrage de rejet sont portées respectivement à :
2 160 kg et 22 mg/L en cas de traitement à la monochloramine renforcé ;
2 330 kg et 43 mg/L en cas de chloration massive.
(12) La limite du flux 24 h est portée à 65 kg en cas de traitement à la monochloramine renforcé et à 100 kg en cas de chloration massive. Dans ces configurations, ajoutée dans l'ouvrage de rejet est portée à 2 mg/l. Lorsqu'une chloration massive est réalisée quand le débit de la Loire est inférieur à 60 m3/s, la concentration moyenne ajoutée en Loire est limitée à 0,019 mg/L.
(13) La limite du flux 24 h est portée à 20 kg en cas de traitement à la monochloramine renforcé et à 85 kg en cas de chloration massive. Dans ces configurations, la concentration ajoutée dans l'ouvrage de rejet est portée à 2,3 mg/L. Lorsqu'une chloration massive est réalisée quand le débit de la Loire est inférieur à 60 m3/s, la concentration moyenne ajoutée en Loire est limitée à 0,016 mg/L.
(14) La limite du flux annuel d'AOX est augmentée de 75 kg par opération de chloration massive sans toutefois excéder 1 220 kg.
(15) Les limites du flux 24 h et de la concentration ajoutée dans l'ouvrage de rejet sont portées respectivement à 6 950 kg et 195 mg/L en cas de chloration massive

b) Ouvrage secondaire de rejet en Loire :
Les effluents provenant du ruissellement des eaux pluviales doivent respecter, après traitement éventuel, une concentration limite de 5 mg/L en hydrocarbures.
c) Ouvrage SEO-SLA :
Les effluents provenant du ruissellement des eaux pluviales doivent respecter, après traitement éventuel, une concentration limite de 5 mg/L en hydrocarbures.

Niveau annuel des rejets chimiques liquides

Contrairement aux rejets radioactifs – assez homogènes –, les rejets annuels des principales substances chimiques sont très variables d'un site à l'autre (*cf.* tableau VIII), en raison notamment des différences de conception de certains circuits et des difficultés rencontrées du fait de la qualité d'eau brute utilisée pour les besoins du site (présence de silice, eau entartrante...).

4.4 REJETS GAZEUX NON RADIOACTIFS

Rejets gazeux non radioactifs liés au conditionnement chimique du circuit secondaire

Les produits de conditionnement chimique du circuit secondaire, à savoir l'ammoniaque, l'éthanolamine, la morpholine et l'hydrazine sont volatils et donc susceptibles d'être rejetés sous forme gazeuse. Les sources potentielles d'émissions de ces rejets gazeux sont les suivantes :

- le système GCTa et l'échappement de la turbopompe ASG dans les phases d'arrêt et de redémarrage de la tranche ;
- l'extraction du ventilateur des buées du CET ;
- la cheminée du BAN *via* DVN à laquelle le collecteur commun d'extraction d'air du système CVI est relié.

Ces rejets sont caractérisés dans les études d'impact.

Rejets gazeux non radioactifs liés au lessivage chimique des générateurs de vapeur

L'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques gazeux (ammoniac, dioxyde de carbone...). Ces rejets sont estimés et font l'objet d'une étude d'impact transmise à l'ASN dans le dossier de demande d'autorisation de l'opération. Selon le procédé de nettoyage mis en œuvre, des mesures de la concentration en ammoniac sont réalisées dans l'atmosphère.

Rejets gazeux non radioactifs liés aux traitements biocides des circuits de refroidissement dits « fermés »

Le traitement à la monochloramine engendre des rejets gazeux liés au phénomène de dégazage au niveau de la tour aéroréfrigérante, en particulier de monochloramine (CRT) et d'ammoniac.

Par ailleurs, les rejets chimiques gazeux résultant de l'injection d'hypochlorite de sodium lors d'une opé-

Tableau VIII le tableau ci-dessous présente l'ordre de grandeur des rejets annuels ramenés par unité de production pour les substances chimiques, en fonction de leur provenance.

PROVENANCE	SUBSTANCES CHIMIQUES	QUANTITÉ ANNUELLE REJETÉE POUR UNE UNITÉ EN kg
Substances chimiques associées aux effluents radioactifs et aux eaux d'exhaure des salles des machines	Acide borique	500 à 7000
	Hydrazine	≤ 6
	Lithine	≤ 3
	Morpholine	20 à 350
	Éthanolamine	2 à 20
	Ammonium	≤ 7000
	Phosphates	≤ 700
Usure des tubes de condenseurs en laiton (Belleville, Cattenom, Cruas, Dampierre)	Cuivre	≤ 10 500
	Zinc	≤ 4000
Traitement antitartre des aéroréfrigérants	Sulfates (Cruas, Cattenom, Golfech, Nogent, Chooz)	130 000 à 6 600 000
	Chlorures (Cattenom jusqu'en 2016)	530 000 à 800 000
	Polyacrylates (Bugey, Nogent)	24 000 à 120 000
Traitement biocide des circuits de refroidissement dits « fermés » à la monochloramine. (Bugey, Dampierre, Chinon, Cruas, St-Laurent, Cattenom, Golfech, Nogent, Chooz)	Ammonium	≤ 3500
	Nitrates	6200 à 100 000
	Nitrites	≤ 4000
	AOX	≤ 500
	THM	0
	Sodium	6500 à 80 000
	Chlorures	10 000 à 110 000
	Chlore Résiduel Total	≤ 2400
Traitement biocide à l'eau de Javel des sites marins	Bromoformes	2500 à 13 000
Station d'épuration STEP	Azote K	≤ 1000
	DBO5	≤ 2400
	DCO	≤ 5800
	P	≤ 210
	Matières en suspension	≤ 4200
Station de production d'eau déminéralisée	Sulfates	≤ 78000
	Chlorures	800 à 110 000
	Sodium	5200 à 81 000
	Matières en suspension	120 à 55 000

ration de chloration massive à pH contrôlé sont de plusieurs types :

- l'acide hypochloreux HClO : au pH de l'eau du CRF, l'hypochlorite de sodium s'hydrolyse instantanément dans l'eau en acide hypochloreux (HClO) et en hydroxyde de sodium (NaOH). De par ses propriétés de volatilité, l'acide hypochloreux (HClO) peut être dégazé dans la tour aéroréfrigérante ;
- les THM : la mise en œuvre de chloration massive sur CRF est génératrice de THM, dont une part importante peut être dégazée dans la tour aéroréfrigérante.

Émissions des groupes électrogènes de secours

Les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel ou de turbine à combustion (TAC) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en

cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SOx, NOx) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents (les émissions d'une TAC de 24 MWth sont de l'ordre de 50 kg/h pour les SOx et 100 kg/h pour les NOx). Une évaluation annuelle de ces émissions est demandée par l'administration.

Émissions de produits pouvant affecter la couche d'ozone stratosphérique

Une centrale nucléaire est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée permettant de réfrigérer les locaux techniques et administratifs. La grande majorité des groupes froids qui contenaient des fluides pouvant appauvrir la couche d'ozone stratosphérique ont été remplacés par des matériels contenant des fluides sans impact sur la couche d'ozone (essentiellement du R. 134a). Cependant ces nouveaux fluides de type HFC peuvent accroître l'effet de serre.

Émissions de produits pouvant accroître l'effet de serre

Les principaux fluides utilisés en centrale et pouvant accroître l'effet de serre en cas d'émission dans l'environnement sont :

- les nouveaux fluides frigorigènes utilisés dans les groupes frigorifiques ;
- l'hexafluorure de soufre utilisé dans les appareils de commutation électrique.

Les émissions annuelles de ces fluides pouvant accroître l'effet de serre étaient de l'ordre de 6000 kg pour l'ensemble des centrales en 2018. Ces émissions sont comptabilisées et déclarées suivant les modalités définies dans la réglementation, et des actions d'amélioration sont prises pour réduire progressivement ces rejets. Ces émissions converties en équivalent CO_2 pour l'ensemble des centrales nucléaires du parc français correspondent à 2 jours de fonctionnement d'une seule centrale thermique de 1000 MW en rejets de CO_2 générés (coefficient ADEME).

5. Rejets thermiques

Dans une centrale nucléaire, le fluide « eau-vapeur » du circuit secondaire suit un cycle thermodynamique dit cycle de Carnot (*cf.* figure 26) au cours duquel il échange de l'énergie thermique avec deux sources de chaleur, l'une chaude, l'autre froide.

La source chaude est constituée par l'eau du circuit primaire chauffée par l'énergie nucléaire du réacteur ; selon les points du circuit, la température de l'eau primaire varie de 284 °C à 323 °C. La haute pression régnant dans le circuit primaire (155 bars) permet à l'eau de rester en phase liquide. L'énergie thermique est extraite du circuit primaire par les générateurs de vapeur. La vapeur produite sous pression (58 à 77 bars) entraîne le groupe turbo-alternateur puis s'échappe de celui-ci pour se condenser au contact des tubes froids du condenseur. Le circuit assurant le refroidissement du condenseur (circuit tertiaire) constitue la **source froide** dont la température varie entre 0 °C et 30 °C environ.

La source froide, nécessaire au fonctionnement, peut être apportée :

- soit directement par l'eau prélevée en rivière ou en mer dans un circuit ouvert ;
- soit indirectement par l'air ambiant au moyen d'un aéroréfrigérant dans un circuit dit « fermé » (*cf.* annexe 8.6).

Le rendement théorique d'un tel cycle (rapport η entre l'énergie utilisable pour la production d'électricité et l'énergie fournie par le réacteur) dépend uniquement de la température, exprimée en Kelvin, des sources chaude et froide ; il est de 48 % environ[1]. Du fait des pertes thermiques et mécaniques, le rendement réel n'est que de 32 à 33 %, ce qui signifie que l'énergie thermique à évacuer au condenseur par la source froide représente les 2/3 de l'énergie fournie par le réacteur ou le double de l'énergie électrique produite par la centrale.

5.1 CARACTÉRISTIQUES DES REJETS THERMIQUES EN CIRCUIT OUVERT

Lorsque la centrale est située sur un cours d'eau à grand débit (Bugey 2-3, St-Alban, Tricastin sur le Rhône), en bord de mer (Gravelines, Paluel, Penly, Flamanville) ou sur un estuaire (Blayais), l'eau prélevée à l'aide de pompes de circulation passe dans les nombreux tubes du condenseur où elle s'échauffe avant d'être restituée intégralement au milieu aquatique (*cf.* figure 27 et tableau IX).

1. $\eta = (T°_{\text{source chaude}} - T°_{\text{source froide}})/T°_{\text{source chaude}}$; (300 – 25)/573 K = 0,48.

Fig. 26 ▶ La figure présente le principe du cycle eau-vapeur dans une centrale nucléaire. L'énergie thermique du circuit primaire est extraite par les générateurs de vapeur. La vapeur entraîne le groupe turbo-alternateur pour produire l'électricité puis elle est condensée. Le circuit de refroidissement tertiaire assure le refroidissement du condenseur.

Fig. 27 ▶ Selon le schéma de principe présenté ci-dessous, en circuit ouvert, le refroidissement du condenseur est réalisé en pompant l'eau du milieu naturel ; celle-ci s'échauffe avant d'être restituée au milieu naturel.

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : ΔT (°C) est lié à la puissance thermique (P_{th}) à évacuer au condenseur et au débit d'eau brute au condenseur (Q) par la relation : ΔT[1] = $P_{th\ condenseur}$/Q.C. La connaissance du rendement thermique (η) de l'installation permet d'exprimer l'échauffement en fonction de la puissance électrique produite par l'alternateur $\Delta T = P_{électrique}/Q.C.\eta$. Signalons, par ailleurs qu'en bord de mer, le débit d'eau de circulation dans les condenseurs varie de 10 % à 15 % avec la marée.

Les ouvrages de rejet sont conçus pour minimiser l'impact des rejets de chaleur sur l'écosystème (*cf.* chapitre 9 sur la maîtrise des impacts).

Tableau IX L'échauffement de l'eau dans le condenseur en fonctionnement nominal ($T°_{sortie} - T°_{entrée}$) est de l'ordre de 10 °C en rivière et de 10 à 15 °C en mer.

PALIER 900 MWe		PALIER 1300 MWe		EPR 1650 MWe
Rivière	Mer	Rivière	Mer	Mer
10 °C	10–12 °C	10 °C	12–15 °C	12–14 °C

5.2 CARACTÉRISTIQUES DES REJETS THERMIQUES EN CIRCUIT DIT « FERMÉ »

Afin de réduire le volume d'eau prélevée et limiter l'échauffement du milieu aquatique, le refroidissement des centrales comportant plusieurs unités de production implantées sur des cours d'eau à faible ou moyen débit est assuré en circuit dit « fermé » au moyen d'aéroréfrigérants (*cf.* figure 28).

Dans un aéroréfrigérant, une grande part de la chaleur extraite du condenseur (Q) est transférée directement à l'atmosphère (Q'> 0,9 Q) sous forme de chaleur latente de vaporisation (75 %) et sous forme de chaleur sensible (25 %).

Le reste de la chaleur est rejeté au cours d'eau par la purge (q). La purge de l'aéroréfrigérant constitue donc le **rejet thermique** de l'installation.

La température de l'eau de la purge répond à la relation : $T°_{purge} = T°_{ha} + A$, où $T°_{ha}$ est la température humide de l'air et A l' « approche » qui est un paramètre de dimensionnement de l'aéroréfrigérant fixé à la conception (*cf.* figure 29). Pour les aéroréfrigérants des centrales nucléaires d'EDF, l'approche est de l'ordre de 11 °C.

1. P_{th} = puissance thermique en MJ/s ; C = chaleur massique de l'eau à 15 °C : 4,186 MJ/m³/°C ; ΔT en °C ; Q en m³/s.

Fig. 28 ▶ Selon le schéma de principe ci-dessous, en circuit dit « fermé », le refroidissement du condenseur est réalisé au travers d'un circuit tertiaire muni de tour(s) aéroréfrigérante(s). Ces tours permettent de réduire la quantité d'eau prélevée et de limiter l'échauffement du milieu naturel lorsque les centrales sont implantées sur des rivières présentant des débits moyens ou faibles.

Fig. 29 ▶ La température de l'eau à la purge d'un aéroréfrigérant dépend des conditions atmosphériques, et notamment de la température et de l'humidité de l'air ambiant.

Lorsqu'en été par exemple, la température de l'air chute brutalement à 12 °C, alors que la température de l'eau du cours d'eau (qui est environ égale à la moyenne des températures des 15 derniers jours) reste à 25 °C, la température de l'eau de purge peut être inférieure à celle du cours d'eau :

$$T°_{purge} = 12\ °C + 11\ °C = 23\ °C.$$

Dans le cas général, la température de la purge est supérieure à celle du cours d'eau. Cet écart est plus marqué en hiver qu'en été. Ainsi, si l'air hivernal devient subitement doux (10 °C) alors que la température du cours d'eau est basse (1 °C ou 2 °C), l'écart de température entre la purge et la prise d'eau peut atteindre une vingtaine de degrés (*cf.* chapitre 2 §3.4).

Le fonctionnement d'un aéroréfrigérant conduit « naturellement » à réduire voire à annuler le rejet thermique dû à la purge durant les périodes chaudes, ce qui est favorable à l'écosystème aquatique. L'efficacité des aéroréfrigérants dépend également de la propreté des installations, d'où la nécessité d'éviter les dépôts de tartre et de matières organiques sur les corps d'échanges (packing).

5.3 REJETS THERMIQUES

Respect des valeurs limites relatives aux rejets thermiques

Les contrôles destinés à s'assurer du respect des limites réglementaires s'appuient sur des mesures de température réalisées dans le rejet et dans l'en-

vironnement ou sur des calculs effectués à partir de paramètres physiques tels que le rendement thermodynamique, l'énergie électrique produite, les débits de rejet et du cours d'eau (*cf.* encart ci-dessous).

Limites de rejet

Au niveau européen, les rejets thermiques ont été réglementés pour la première fois par la directive n° 78/659/CEE du 18 juillet 1978 (aujourd'hui abrogée), puis par la directive n° 2006/44/CE du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation). La directive de 2006 (aujourd'hui abrogée) fixait les limites suivantes :

- T° aval < 28 °C ; échauffement < 3 °C pour les eaux cyprinicoles ;
- T° aval < 21,5 °C ; échauffement < 1,5 °C pour les eaux salmonicoles.

La directive précisait que ces valeurs pouvaient être dépassées pendant 2 % du temps (soit 7,3 jours par an) et des dérogations limitées géographiquement pouvaient être accordées par les États-membres dans des conditions particulières, et s'il était prouvé que ces dérogations n'avaient pas de conséquences nuisibles pour le développement équilibré des peuplements de poissons.

Sites fluviaux

Ces valeurs limites sont reprises par l'arrêté INB (article 4.1.2 –II) qui renvoie à l'article 31 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des ICPE soumises à autorisation.

Valeurs limites relatives aux rejets thermiques

Centrales implantées sur des cours d'eau

Les valeurs limites relatives aux rejets thermiques sont vérifiées à partir de mesures de température et de paramètres de fonctionnement de la centrale. Ces données permettent de suivre :

- l'échauffement du cours d'eau entre l'amont et l'aval après mélange, noté : $\Delta T°$;
- la température aval après mélange, notée : $T°_{\text{aval après mélange}}$;
- la température du rejet, le cas échéant : $T°_{\text{rejet}}$

a) **Les mesures de température en amont et en aval après mélange**

Dans ce cas, le $\Delta T°$ est calculé par la formule [1] et les $T°_{\text{amont}}$ et $T°_{\text{aval après mélange}}$ sont données par la mesure.

[1] $\Delta T° = T°_{aval} - T°_{amont}$ ***; cas de la centrale de Nogent refroidie en circuit dit « fermé ».***

b) **Lorsque les mesures ne permettent pas de connaître avec précision la température « aval après mélange »,** $\Delta T°$ et $T°_{\text{aval après mélange}}$ sont calculés à partir des formules [2], [3] et [4] en fonction du débit du rejet principal (Q_{rejet}), du débit du cours d'eau en aval ($Q_{\text{rivière}}$) et de la puissance de la centrale ($P_{\text{thermique}}$).

[2] $\Delta T° = (T°_{rejet} - T°_{rivière\ amont}) \times Q_{rejet}/Q_{rivière}$ *; cas des centrales de Golfech, Dampierre, St-Laurent et Chinon, Belleville, Chooz, Civaux refroidies en circuit dit « fermé ». Les formules de calcul sont semblables pour Cattenom et Cruas (cf. décisions modalités des sites).*

[3] $\Delta T° = (P_{site} \times \text{rendement thermique})/(Q_{canal\ de\ Donzère} \times \text{chaleur massique de l'eau})$ *à Tricastin,*

[4] $\Delta T° = (P_{thermique})/(Q_{rivière} \times \text{chaleur massique de l'eau})$ *à St-Alban et Bugey.*

Connaissant l'échauffement ΔT, la $T°_{\text{aval après mélange}}$ est déduite de la température « amont » par la formule [5].

[5] $T°_{\text{aval après mélange}} = T°_{amont} + \Delta T°$

Centrales en bord de mer et en estuaire (refroidies en circuit ouvert)

Les valeurs limites relatives aux rejets thermiques sont vérifiées par :

- la mesure en continu de la température à l'entrée du condenseur (prise d'eau) pour Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines, ou, pour Blayais, de la température de la Gironde en amont des prises d'eau,
- la mesure en continu dans le canal de rejet ou dans le puits ou bassin de rejet pour Paluel, Gravelines et Blayais, ou un calcul dans les bassins de rejets pour Flamanville et Penly.

Ces mesures permettent de calculer l'écart de température (échauffement ou ΔT) entre le rejet et l'amont (prise d'eau en mer ou Gironde pour Blayais).

[7] $\Delta T° = T°_{rejet} - T°_{prise\ d'eau}$; cas des centrales de Gravelines, Paluel et Blayais.

Lorsqu'il n'est pas possible de connaître cet écart de température par des mesures, celui-ci est calculé en fonction de la puissance de l'installation et du débit de rejet.

[8] $\Delta T° = k.\ P_{électrique\ brute}/Q_{rejet}$ (k étant un coefficient dépendant de la chaleur massique de l'eau et du rendement thermique de la centrale) ; cas des centrales de Penly et de Flamanville.

Ainsi, la réglementation en vigueur relative aux rejets thermiques des centrales nucléaires doit être conforme aux limites fixées ci-dessus, sauf en cas de dispositions contraires fixées par l'ASN. Les limites relatives aux rejets thermiques spécifiques aux centrales nucléaires sont définies dans les décisions limites de chaque site (*cf.* annexe 8.7).

Les limites imposées aux centrales nucléaires françaises sont semblables à celles appliquées aux autres centrales européennes (*cf.* encart ci-contre).

Conditions climatiques exceptionnelles

À la suite de la canicule de 2003, des dispositions relatives aux conditions climatiques exceptionnelles ont été introduites dans les décisions limites de certains CNPE. Si des conditions climatiques exceptionnelles ne permettent pas de respecter les limites définies en conditions climatiques normales ET si le réseau de transport d'électricité (RTE) ou si l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité requiert le fonctionnement de(s) la(les) centrale(s), les valeurs limites applicables aux rejets sont alors fixées selon :

- un delta de température entre l'amont et l'aval (échauffement) après mélange des effluents ;
- et/ou une température en aval après mélange à ne pas dépasser supérieure à la maximale autorisée en conditions climatiques normales, pouvant être relaxée de +1 °C à +2 °C selon les sites.

Les valeurs limites applicables aux rejets en conditions climatiques exceptionnelles sont prévues dans les décisions limites des sites concernés.

Les centrales possédant des exigences associées aux conditions climatiques exceptionnelles sont Bugey, Cattenom, Cruas, Golfech, Nogent, Saint-Alban et Tricastin.

Situations exceptionnelles

Si du fait d'une situation exceptionnelle (ex. canicule et/ou sécheresse), la poursuite du fonctionnement d'une INB nécessite une modification temporaire de certaines prescriptions (ex. en cas de températures en amont supérieures aux prescriptions des CNPE, seul un échauffement sera retenu) et si ce fonctionnement constitue une nécessité publique, un dossier au titre de l'article R. 593-40 alinéa II du Code de l'environnement sera déposé auprès de l'ASN et du ministère de ministère de la Transition écologique. Les consultations du CODERST et de la CLI ne seront pas exigées. Cependant, les centrales continueront d'informer leurs parties prenantes, comme cela est demandé pour les conditions climatiques exceptionnelles.

Les centrales qui pourraient être concernées par l'article R. 593-40 alinéa II du Code de l'environnement seraient Bugey, Cattenom, Cruas, Chooz, Golfech, Nogent, Saint-Alban et Tricastin.

Exemples de limites thermiques en Europe

La réglementation des rejets thermiques des pays européens est, comme en France, fondée sur la directive européenne de 1978 (aujourd'hui abrogée) et remplacée par la directive européenne n° 2006/44/CE. Les limites imposées aux centrales nucléaires européennes sont semblables à celles appliquées à nos installations, comme illustré ci-dessous pour les réacteurs en Belgique et au Royaume-Uni.

La réglementation applicable aux réacteurs belges de Tihange situés sur la Meuse et équipés de tours aéro-réfrigérantes est la suivante :

- $T°_{aval} \leq 28$ °C en moyenne tri-horaire (29 °C avec dérogation 2 % du temps) ;
- et DT ≤ 4 °C en moyenne journalière (dérogation 2 % du temps entre le 01/07 et le 31/03 : ΔT ≤ °C si $Q_{Meuse} < 300$ m³/s et $T_{amont} \leq 21$ °C et ΔT instantané (max 15 min) ≤ 5 °C).

La température est mesurée en continu sur les eaux de refroidissement de ces réacteurs, aux points de déversement et dans le canal d'amenée. Par ailleurs, cette centrale est reliée au réseau régional de télésurveillance des eaux.

La réglementation applicable aux réacteurs belges de Doel situés dans l'estuaire de l'Escaut est la suivante, les réacteurs 1 et 2 étant en circuit ouvert et les réacteurs 3 et 4 étant en circuit dit « fermé » **:**

- $T°_{Rejet} \leq 33$ °C ;
- $T°_{Rejet} \leq 32$ °C en moyenne journalière ;
- $T°_{Rejet} \leq 30$ °C en moyenne sur 30 jours.

La température est mesurée en continu sur les eaux de refroidissement de ces réacteurs, au niveau de l'ouvrage général de rejet.

La réglementation applicable au réacteur britannique de Sizewell B, en circuit ouvert sur la mer du Nord est la suivante :

- l'échauffement ne doit pas dépasser celui équivalent à un rejet de 58 m3/s à une température de 9,9 °C ;
- la température au rejet doit être inférieure ou égale à 45 °C.

Sites marins

Il n'existe pas de directive européenne limitant les rejets thermiques pour les sites situés en bord de mer. En France, les valeurs limites indiquées dans l'arrêté INB (article 4.1.2 –II) renvoient à l'article 31 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation qui indique une limite de température au rejet de 30 °C et une élévation de température limitée à 2 °C pour les masses d'eau conchylicoles.

Des limites spécifiques existent toutefois dans les décisions propres à chaque site marin.

Niveau des rejets thermiques

Circuit ouvert en mer

Les rejets thermiques en mer sont donnés à titre d'exemple pour la centrale de Gravelines qui rejette en mer du Nord (*cf.* tableau X).

Circuit ouvert en rivière

L'échauffement du canal de Donzère-Mondragon dû au fonctionnement de la centrale nucléaire de Tricastin refroidie en circuit ouvert est fourni au tableau XI.

Circuit dit « fermé »

L'échauffement des cours d'eau dû au fonctionnement d'une centrale nucléaire refroidie en circuit dit « fermé » est de quelques dixièmes de degrés (*cf.* tableau XII).

Le refroidissement en circuit dit « fermé » au moyen d'aéroréfrigérant permet de réduire le volume d'eau prélevé et l'échauffement du milieu aquatique par rapport à un circuit ouvert. À ce titre, ce procédé de refroidissement par aéroréfrigérants constitue, pour les centrales installées sur ce type de cours d'eau à débit moyen à faible, ce qu'il est convenu d'appeler la meilleure technique disponible (MTD) au sens réglementaire du terme (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).

Tableau X Le tableau suivant présente la température maximale journalière au rejet et l'échauffement moyen journalier de la centrale nucléaire de Gravelines (6 unités de 900 MWe).

CENTRALE DE GRAVELINES	VALEUR MOYENNE SUR LA PÉRIODE 2008–2017	VALEUR MAXIMALE SUR LA PÉRIODE 2008–2017	LIMITE AUTORISÉE SUR LA PÉRIODE 2008–2017
Température mesurée dans le canal de rejet *du 1er novembre au 31 mai* (max. journalier)	20,5 °C	27,2 °C	30 °C
Température mesurée dans le canal (max. journalier) de rejet *du 1er juin au 31 octobre*	28,0 °C	33,1 °C	35 °C
Échauffement entre le canal de rejet et la prise d'eau (moy. journalière)	9,5 °C	12 °C	12 °C
Température mesurée en mer au thermographe n° 7 (max. journalier)	14,9 °C	26,5 °C	30 °C

Tableau XI le tableau suivant présente l'échauffement moyen journalier du canal de Donzère-Mondragon dû au rejet de la centrale nucléaire de Tricastin et la température journalière en aval après mélange (4 unités de 900 MWe).

CENTRALE DE TRICASTIN	VALEUR JOURNALIÈRE MOYENNE MESURÉE SUR LA PÉRIODE 2008–2017	VALEUR JOURNALIÈRE MAXIMALE MESURÉE SUR LA PÉRIODE 2008–2017	LIMITE AUTORISÉE SUR LA PÉRIODE 2008–2017 (EN CONDITIONS CLIMATIQUES NORMALES)
Échauffement amont – aval calculé (ΔT°après mélange)	1,4 °C	5,5 °C	4°C–6 °C*
Température aval après mélange calculée	15,7 °C	27,8 °C	28 °C

** si $Q_{canal} < 480\ m^3/s$.*

Tableau XII le tableau suivant présente l'échauffement moyen journalier du cours d'eau à Dampierre, St-Laurent et Chinon.

SITES SUR LA LOIRE (ÉCHAUFFEMENT MOYEN JOURNALIER)	PÉRIODE ANALYSÉE	VALEUR MOYENNE CALCULÉE SUR LA PÉRIODE ANALYSÉE	VALEUR MAXIMALE CALCULÉE SUR LA PÉRIODE ANALYSÉE	LIMITE AUTORISÉE
Dampierre	[2013–2017]	0,09 °C	0,8 °C	1 °C
Belleville	[2012–2017]	0,15 °C	0,7 °C	1 °C
Chinon	[2009–2018]	0,13 °C	0,55 °C	1 °C

6. Utilisation des eaux tièdes issues des circuits de refroidissement

6.1 OBJECTIF

Dans une centrale refroidie en circuit dit « fermé » ou en circuit ouvert fonctionnant à pleine puissance, la température de l'eau tiède à la sortie des condenseurs est supérieure de quinze à vingt degrés à celle de l'air ambiant.

Cette source de chaleur peut être mise à profit pour alimenter des serres maraîchères ou horticoles, des fermes aquacoles, voire d'autres industries. Elle permet à ces installations de réaliser des économies d'énergie et limite le recours à des moyens de chauffage faisant appel à des énergies fossiles émettrices de gaz à effet de serre.

La fourniture gratuite d'eau tiède n'est garantie ni en température ni en débit. Elle peut être interrompue pour des raisons techniques (arrêt de la centrale). Le raccordement des installations bénéficiaires à plusieurs unités de la centrale améliore la continuité de la fourniture en eau. Pour maîtriser leur outil de production, les utilisateurs doivent disposer d'installations de secours.

6.2 ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET APPLICATIONS

La loi du 15 juillet 1980 sur les économies d'énergie et l'utilisation de la chaleur demandait aux exploitants de centrales électriques de contribuer à la production combinée d'électricité et de chaleur, notamment en favorisant, en accord avec les collectivités locales, la création et le développement de réseau de chaleur. Le décret n° 81-542 du 13 mai 1981 précisait en particulier que la chaleur provenant des rejets thermiques est gratuite mais que les charges d'équipement, d'exploitation, d'entretien et de renouvellement des installations de récupération incombent à l'utilisateur. Ces dispositions sont désormais codifiées dans le Code de l'énergie. Les exigences relatives à la production de chaleur figurent désormais aux articles L. 711-1 à L. 711-3 et R. 711-1 à R. 711-4 du Code de l'énergie.

L'arrêté du 7 février 2012 modifié précise dans son article 4.1.4 que « *tout transfert d'*effluents liquides *[...] à une autre installation, nucléaire de base ou non, dépendant d'un autre exploitant, fait préalablement l'objet d'une convention passée* » entre le CNPE et l'autre installation. Cette convention fixe les caractéristiques et les quantités d'effluents ou des eaux transférées. Elle doit comporter également les obligations des deux exploitants en matière de contrôle et de surveillance.

Six centrales nucléaires valorisent la chaleur issue de l'eau sortant des condenseurs : Chinon, Civaux, Dampierre, Golfech, Gravelines et Saint-Laurent (*cf.* encart ci-dessous). Pour ces sites, il existe des conventions entre le producteur d'énergie thermique (les centrales) et l'exploitant du réseau de chaleur.

Centrales fournissant leurs eaux tièdes

Saint-Laurent

Le site de St-Laurent a servi de zone d'expérimentation et de démonstration des possibilités d'utilisation des eaux tièdes en aquaculture et en agriculture de 1975 à 1982. Une zone de 32 ha a été aménagée par une coopérative à usage agricole en 1984. Elle est alimentée par les eaux tièdes des deux unités de la centrale.

Chinon

La communauté de communes du Véron a créé une zone d'activité agro-industrielle de 40 ha, alimentée par les quatre unités de la centrale de Chinon B (1 m^3/s). Des entreprises horticoles et maraîchères s'y sont installées ainsi qu'une usine de séchage du bois en 1989.

Dampierre

La coopérative d'utilisation de matériels agricoles a signé une convention en 2009 avec la centrale pour alimenter un lotissement agricole de 120 ha (1 à 2 m^3/s).

Civaux

Signée en 2001, une convention avec la commune de Civaux permet d'alimenter en eau tiède (1000 m^3/h) un élevage de crocodiles, une salle omnisport, une maison d'accueil pour personnes âgées et une piscine.

Golfech

Une convention a été signée en 1991 avec la commune de Golfech pour la fourniture de 300 m^3/h d'eau destinée au chauffage d'une piscine, d'un groupe scolaire, d'une maison de retraite et d'une salle polyvalente.

Gravelines

Centre aquacole

Le centre aquacole de Gravelines, créé en 1983, a pris une dimension industrielle à partir de 1987. La société d'économie mixte Gravelines aquaculture, devenue Aquanord SA en 1988, a fait réaliser des travaux d'adduction d'eau qui permettent de prélever 18 m^3/s d'eau tiède à la sortie de quatre des six unités de la centrale. Ce prélèvement alimente une écloserie marine (alevins de bars essentiellement) et une ferme de grossissement de bars et de daurades royales.

Conduites d'amenée d'eau tiède depuis le CNPE de Gravelines vers la ferme aquacole voisine
© EDF – Bruno Conty

Terminal méthanier

Depuis 2015, l'eau tiède de la centrale nucléaire de Gravelines est utilisée pour réchauffer le gaz liquéfié du port méthanier. Cet apport d'énergie permet au port méthanier de se passer de la construction d'une centrale thermique au gaz de 250 MWth et donc d'éviter des émissions de gaz à effet de serre. Une convention a été signée en 2010 avec DK LNG pour fournir entre 8 et 12 m^3/s d'eau tiède.

Vue aérienne de la centrale de Gravelines alimentant
en eaux tièdes la ferme aquacole (au premier plan) et le terminal méthanier de Dunkerque (arrière-plan à gauche)
© EDF – Jean-Louis Burnod

ANNEXE 8.1

Fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisée

La centrale nucléaire utilise l'énergie libérée par la fission nucléaire pour produire de l'électricité. Dans les réacteurs à eau sous pression (REP), le cœur du réacteur avec le combustible nucléaire est placé dans une cuve remplie d'eau. Cette eau, dont la température est d'environ 300 °C, est maintenue sous forte pression par le pressuriseur (155 bars) pour éviter son ébullition ; elle est mise en circulation par des pompes dans un circuit fermé appelé « circuit primaire ». L'énergie thermique de l'eau primaire est transférée à un autre circuit d'eau dit « circuit secondaire » au moyen d'échangeurs de chaleur : les « *générateurs de vapeur* ». La vapeur issue des générateurs de vapeur actionne une turbine qui entraîne un alternateur produisant de l'électricité.

Les réacteurs nucléaires d'EDF en exploitation sont du type REP. Les réacteurs EPR (*European Pressurized Reactor*) sont du même type (*cf.* figure 30).

Le combustible nucléaire

Dans le cœur d'un réacteur de type REP, l'uranium se trouve sous forme de petites pastilles (environ 1 cm de diamètre et 1 cm de long) empilées dans un tube métallique étanche appelé *gaine* du combustible. Cette gaine métallique (en alliage de zirconium « zircaloy ») empêche les radionucléides de s'échapper dans l'eau du circuit primaire. Elle constitue la **« première barrière »** entre le combustible et l'environnement.

Ces tubes ou crayons sont assemblés de façon régulière dans une structure appelée assemblage combustible, qui regroupe quelques centaines de crayons (*cf.* figure 31). C'est entre ces tubes que circule l'eau primaire qui, au contact des crayons, va extraire la chaleur dégagée par la fission.

Fig. 30 ▶ Le schéma ci-dessous présente le principe d'un réacteur à eau pressurisée : l'eau du circuit primaire, maintenue à 155 bars et 300 °C environ, transporte la chaleur produite dans la cuve du réacteur par les réactions de fission qui ont lieu à l'intérieur des crayons de combustible. L'énergie thermique de cette eau est transférée au circuit secondaire dans les générateurs de vapeur (GV). La vapeur produite dans les GV actionne un groupe turbo-alternateur pour produire l'électricité.

Dans ce type de réacteur, la réaction nucléaire en chaîne n'est possible dans la durée que si le combustible composé d'oxyde uranium est enrichi à hauteur de 3 à 5 % en uranium 235 qui seul est fissile. L'uranium naturel n'en contient qu'environ 0,7 % le reste étant de l'uranium 238. La fission peut aussi être obtenue sur des isotopes du plutonium. Certains combustibles sont donc réalisés à partir d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (appelé MOX).

Fig. 31 ▶ Les assemblages de combustible nucléaire neufs sont stockés dans une piscine après leur arrivée sur site, avant leur chargement dans le cœur du réacteur (© EDF – Damien CHARFEDDINE).

Le modérateur

La fission d'un noyau de l'uranium 235 ou d'autres atomes fissiles est beaucoup plus facile si les neutrons ont une faible énergie ou vitesse (2 km/s). Or, les neutrons produits par la fission sont émis à très grande vitesse (20 000 km/s). Il est donc nécessaire de les ralentir en les faisant « rebondir » sur des atomes légers. L'eau du circuit primaire, composée d'atomes d'oxygène mais surtout d'atomes d'hydrogène très légers, permet de ralentir les neutrons. Dans un réacteur à eau légère, l'eau assure à la fois la fonction de caloporteur et de modérateur.

Le contrôle de la réaction nucléaire en chaîne

Pour entretenir une réaction en chaîne, il est nécessaire qu'à chaque instant le nombre de neutrons produits par fission soit égal au nombre de neutrons qui disparaissent par capture dans le combustible et les structures du réacteur ou en s'échappant du cœur.

Pour assurer cet équilibre, il est possible d'agir :

- soit sur les grappes de commande que l'on introduit plus ou moins dans le combustible pour modifier le flux de neutrons ;
- soit en injectant dans l'eau du circuit du bore 10 sous la forme d'acide borique qui a la propriété de capturer les neutrons en produisant du tritium.

Évolution du combustible nucléaire en fonctionnement

Au fur et à mesure que les fissions se produisent dans le cœur, le nombre de noyaux fissiles d'uranium ou de plutonium diminue. Au bout de quelque temps, appelé cycle de fonctionnement (12 à 18 mois), le combustible doit être renouvelé par tiers ou par quart de cœur. Cette opération nécessite l'arrêt du réacteur.

ANNEXE 8.2

Installation de collecte et de traitement des effluents radioactifs liquides et gazeux

La maîtrise et l'optimisation des rejets constituent des principes fondamentaux de la conception et du fonctionnement des centrales nucléaires, consistant à mettre en œuvre, à un coût raisonnablement acceptable, les meilleures pratiques d'exploitation et les meilleurs procédés de traitement et de rejet des effluents. La gestion optimisée des effluents et des rejets consiste à :

- réduire à la source la production d'effluents, notamment *via* une analyse relative aux effluents lors de la préparation des opérations d'exploitation (par exemple lors de vidanges, rinçages), une limitation des fuites par la surveillance et la maintenance préventive des équipements, et une limitation de l'activité des effluents par le maintien en propreté des installations de collecte et de traitement de ces derniers ;
- collecter sélectivement les divers effluents selon leur nature chimique et radiochimique, afin de traiter chacun d'eux le plus efficacement possible, voire dans certains cas les recycler, en maintenant un équilibre entre la production d'effluents et de déchets ;
- entreposer et contrôler les effluents avant leur rejet pour garantir le respect des exigences réglementaires.

Ces principes sont illustrés sur les schémas suivants pour les paliers 900 MWe et 1300 MWe.

SCHÉMA DES INSTALLATIONS 900 MW CP1-CP2 E

SCHÉMA DES INSTALLATIONS 1 300 MW P'4

ANNEXE 8.3

Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides – Site sur cours d'eau

Les figures ci-dessous schématisent les modalités de rejet des effluents radioactifs liquides d'un site en bord de rivière.

L'hydrocollecteur placé en aval du rejet permet de prélever automatiquement 24 échantillons dans la journée (un échantillon par heure). Le prélèvement réglementaire appelé "mi-rejet" est effectué dans le milieu récepteur à l'instant où la moitié du volume d'effluent contenu dans le réservoir à rejeter a atteint la station multiparamètres aval.

L'heure du « mi-rejet » est déterminée par la formule suivante :

Date et heure mi-rejet = Date et heure du mi-volume du réservoir atteint en sortie du canal de rejet + temps de transit

Le temps de transit de l'effluent entre le point de rejet et l'hydrocollecteur est fonction du débit du cours d'eau ; il est obtenu au moyen d'un abaque.

Avant rejet, le réservoir T d'effluent radioactif est mis en brassage et des analyses sont réalisées sur un échantillon représentatif de l'effluent à rejeter. Une fois les résultats des analyses connus, le rejet est réalisé en ouvrant la vanne de réglage de débit de sorte à respecter la limite de débit d'activité (Bq/s), le facteur de pré dilution, les flux et concentrations demandés par la réglementation ainsi que les activités volumiques à la station multiparamètres aval.

Sur l'échantillon **aliquote** constitué des 24 échantillons horaires de la journée J
tritium < 140 Bq/L,

Sur l'échantillon **aliquote** constitué des 24 échantillons horaires de la journée J
tritium < 100 Bq/L

ANNEXE 8.4

Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides – Site marin

Les figures ci-dessous schématisent les modalités de rejet des effluents radioactifs liquides d'un site en bord de mer ou d'estuaire.

L'hydrocollecteur est placé dans le puits, bassin ou canal de rejet. Il permet de prélever automatiquement 24 échantillons dans la journée (un échantillon par heure). Le prélèvement réglementaire appelé « mi-rejet » y est effectué à l'instant où la moitié du volume d'effluent contenu dans le réservoir à rejeter a été vidangée.

Avant rejet, le réservoir T d'effluent radioactif est mis en brassage et des analyses sont réalisées sur un échantillon représentatif de l'effluent à rejeter. Une fois les résultats des analyses connus, le rejet est réalisé en ouvrant la vanne de réglage de débit de sorte à respecter la limite de débit d'activité (Bq/s), le facteur de pré dilution, les flux et concentrations demandés par la réglementation ainsi que les activités volumiques au niveau de l'hydrocollecteur placé dans le puits, bassin ou canal de rejet en fonction de la configuration du site.

Sur l'échantillon **aliquote** constitué des 24 échantillons horaires de la journée J :
analyse tritium **< 900 Bq/L**

Sur l'échantillon **aliquote** constitué des 24 échantillons horaires de la journée J :
tritium < 100 Bq/L

ANNEXE 8.5

Comptabilisation des activités rejetées

La réglementation relative aux INB, introduite en 1995 par le décret du 4 mai 1995, a créé de nouvelles catégories de radionucléides nécessitant de modifier le système de comptabilisation des effluents radioactifs.

Cette comptabilisation a été mise en application sur le site de Saint-Laurent en 1999 ; elle est utilisée sur l'ensemble des centrales du parc nucléaire d'EDF depuis 2002.

L'ancienne comptabilisation s'appuyait, notamment pour les rejets gazeux, sur des indicateurs globaux (par exemple la mesure bêta gaz globale à la cheminée) ; elle ne permettait pas de distinguer les différents radionucléides entre eux.

La comptabilisation actuelle est fondée sur une analyse radionucléide par radionucléide et fait apparaître dorénavant, de manière explicite, les iodes dans les rejets liquides, le carbone 14 et le nickel 63.

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquide : réservoir T, réservoir Ex ; gazeux : rejets permanents et concertés BR et RS). Ces spectres consistent en une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Toutes les substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides, présents à l'état de trace comme l'iode figurent également dans cette liste pour des raisons historiques.

REJETS RADIOACTIFS GAZEUX

Il a été défini des « spectres de référence » pour chaque type de rejet en distinguant les rejets permanents des rejets concertés.

Gaz rares

- Pour les rejets permanents : ^{133}Xe et ^{135}Xe,
- Pour les rejets concertés type BR : ^{41}Ar, ^{133}Xe et ^{135}Xe,
- Pour les rejets concertés type RS : ^{85}Kr, ^{133}Xe et ^{131m}Xe ajouté en 2002.

Iodes (ex. halogènes)

- À la cheminée pour l'ensemble des rejets : ^{131}I et ^{133}I.

Produits de fission ou d'activation émetteurs β/γ (ex : Aérosols)

- À la cheminée pour l'ensemble des rejets : ^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs.

Tritium et carbone 14

- À la cheminée pour l'ensemble des rejets.

Nota : Si ces radionucléides ne sont pas détectés, ils sont néanmoins comptabilisés comme ayant une activité volumique égale au « seuil de décision ».

REJETS RADIOACTIFS LIQUIDES

Iodes

- Réservoir T : ^{131}I,
- Réservoir Ex : l'iode 131 n'est pas comptabilisé si l'activité bêta globale mesurée préalablement au rejet est inférieure à la limite mentionnée dans l'arrêté et si l'analyse de l'échantillon aliquote mensuel ne met pas en évidence d'activité significative de ce radionucléide.

Autres radionucléides émetteurs b/γ

- Réservoir T : ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag, ^{124}Sb, ^{134}Cs, ^{137}Cs plus le ^{133m}Te et le ^{125}Sb ajoutés en 2000 et le ^{63}Ni ajouté en 2002,
- Réservoir Ex : les radionucléides du spectre de référence ne sont pas comptabilisés si l'activité bêta globale mesurée préalablement au rejet est inférieure à la limite mentionnée dans l'arrêté et si l'analyse de l'échantillon aliquote mensuel ne met pas en évidence d'activité significative.

Tritium

- Réservoirs T : analyse avant rejet,
- Réservoir Ex : analyse avant rejet et comptabilisation sur échantillon aliquote mensuel.

Carbone 14

- Réservoir T : sur chaque réservoir à partir de l'analyse d'un échantillon représentatif, en fonction des demandes stipulées dans les décisions limites et modalités du site.

Nota : pour les réservoirs T, si les radionucléides *de référence ne sont pas détectés, ils sont néanmoins comptabilisés comme ayant une activité volumique égale au « seuil de décision ».*

RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA D'ORIGINE ARTIFICIELLE DANS LES REJETS LIQUIDES ET GAZEUX

Le rejet de radionucléides émetteurs alpha d'origine artificielle est interdit. L'absence de radionucléides est déclarée dès lors que le résultat fourni par la mesure est inférieur à un seuil dit de décision fixé dans la réglementation. Ces seuils garantissent, dans le cas le plus pénalisant, un impact dosimétrique potentiel faible vis-à-vis du public (groupes de référence) par rapport aux autres rejets.

En résumé :

- tous les radionucléides détectés sont systématiquement comptabilisés,
- certains radionucléides fréquents (dits appartenant au spectre de référence) sont comptabilisés au minimum détectable même s'ils n'ont pas été physiquement détectés.

ANNEXE 8.6

Fonctionnement d'un aéroréfrigérant

Les échangeurs utilisés par EDF dans les centrales nucléaires sont de type« humide ». L'échange de chaleur se fait par contact direct entre l'air ambiant et l'eau à refroidir. Dans ce corps d'échange, il se produit deux types d'échanges de chaleur :

- un échange par évaporation d'une partie de l'eau dans l'air (prélèvement de la chaleur latente de vaporisation) ;
- un échange par convection lié à la différence de température entre l'eau et l'air.

Dans un aéroréfrigérant, environ 75 % de la chaleur est évacuée par évaporation, le restant par convection.

Trois sortes d'aéroréfrigérants sont utilisées dans les centrales refroidies en circuit dit « fermé » :

- aéroréfrigérant à contre-courant. Dans le corps d'échange de l'aéroréfrigérant, l'air circule par tirage naturel de bas en haut et l'eau à refroidir est dispersée dans un packing puis tombe en pluie pour être récupérée dans le bassin d'eau froide (Bugey, Dampierre, Cruas, Civaux, Golfech, Belleville, Chooz, Nogent) ;
- aéroréfrigérant à courant croisé, l'air pénètre horizontalement dans la partie basse de la tour (persienne) et croise l'eau à refroidir qui ruisselle sur un lit de lattes (Cattenom, St-Laurent) ;
- aéroréfrigérant à ventilation forcée ; lorsqu'il n'est pas possible de construire de tours de grande hauteur (paysage), il est nécessaire de recourir à un tirage forcé au moyen de puissants ventilateurs (Chinon).

ANNEXE 8.7

Limites de rejets thermiques des centrales EDF mentionnées dans les décisions ASN

SITES BORD DE RIVIÈRE

Limites à respecter en valeurs moyennes journalières sauf prescriptions particulières des décisions limites et modalités (cf. § 5.3)

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Loire	Belleville	≤ 1 (1)	–	–	Décision ASN n° 2014-DC-0413 & n° 2014-DC-0414
	Dampierre	≤ 1 (1)	–	–	Décisions ASN n° 2011-DC-0210 & n° 2011-DC-0211
	Chinon	≤ 1 (1)	–	–	Décision ASN n° 2015-DC-0527 & n° 2015-DC-0528
	St-Laurent	≤ 1 (1)	–	–	Décision ASN n° 2015-DC-0499 & n° 2015-DC-0498

(1) porté à 1,5 °C si le débit de la Loire est inférieur à 100 m³/s et si la température de la Loire à l'amont est inférieure à 15 °C.

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	PÉRIODE	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Vienne	Civaux	≤ 2 (1)	–	≤ 25 (1)	–	Décisions ASN n° 2009-DC-0139 & n° 2009-DC-0138
		≤ 0 (2)	–	≤ $T°_{amont}$	–	
		≤ 1 (3)	–	≤ 28	–	
		≤ 3 (4)		≤ 25 (4)	Étiage exc. d'hiver du 01/11 au 30/04	

(1) Si $T°_{amont}$ < 25 °C ; (2) Si $T°_{amont}$ ≥ 25 °C **et** *si aéroréfrigérant des purges disponible ; (3) Si $T°_{amont}$ ≥ 25* **et** *si indisponibilité fortuite de l'aéroréfrigérant des purges* **et** *sous conditions particulières ; (4) Après accord du directeur général de l'ASN.*

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	PÉRIODE	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Rhône	Bugey	≤ 5	–	≤ 26	Du 01/05 au 15/09	Décision ASN n° 2014-DC-0443 & n° 2014-DC-0442
		≤ 7	–	≤ 24	Du 16/09 au 30/04	
		≤ 1 (1)	–	≤ 27	Conditions climatiques exceptionnelles (2)	
	St-Alban	≤ 3	–	≤ 28	Du 16/05 au 30/09	Décision ASN n° 2014-DC-0469 & n° 2014-DC-0470
		≤ 4	–	≤ 26	Du 01/10 au 15/05	
		≤ 3 ou 4 selon la période	–	≤ 29	Conditions climatiques exceptionnelles (2)	
	Cruas	≤ 1	–	≤ 28	–	Décision ASN n° 2016-DC-0548 & n° 2016-DC-0549
		–	–	≤ 29	Conditions climatiques exceptionnelles (2)	
Rhône Canal de Donzère-Mondragon	Tricastin	≤ 4 (3)	–	≤ 28	–	Décisions ASN n° 2008-DC-0102 & n° 2008-DC-0101
		≤ 6 (4)	–	≤ 28	–	
		≤ 3	–	≤ 29	Conditions climatiques exceptionnelles (2)	

(1) Pour 26 °C < T aval < 27 °C, les tranches 2 et 3 sont mises à l'arrêt ; (2) Les conditions climatiques exceptionnelles ne sont applicables que si le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement de la centrale nucléaire à un niveau de puissance minimal, ou si l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite son fonctionnement ; (3) Si le débit canal > 480 m³/s ; (4) Si le débit canal < 480 m³/s.

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	CONDITIONS	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Moselle Retenue du Mirgenbach	Cattenom	≤ 1,5	≤ 28	–	Si T_{amont} ≤ 28 °C	Décision ASN n° 2014-DC-0416 & n° 2014-DC-0415
		0	-	–	Si 28 °C < T_{amont} < 30 °C	
		0	Rejets interdits	–	Si T_{amont} > 30 °C	
		0	–	–	Conditions climatiques exceptionnelles (1)	

(1) L'entrée en conditions climatiques exceptionnelles n'est applicable que si le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement de la centrale nucléaire à un niveau de puissance minimal, ou si l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite son fonctionnement.

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Meuse	Chooz	≤ 3(1)	–	≤ 28(1)	Décisions ASN n° 2009-DC-0165 & n° 2009-DC-0164

(1) 5 jours par an du 1/05 au 30/09 si $T°_{amont}$ ≥ 26 °C, on pourra avoir DT max 2 °C et T aval max < 30 °C.

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	PÉRIODE	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Seine	Nogent	≤ 3	–	≤ 28		Arrêté min. du 29/12/2004
		≤ 4 (1)				
		≤ 1,5	–	≤ 30	Conditions climatiques exceptionnelles (2)(3)	

(1) ΔT 4 °C de novembre à février si Q Seine < 20 m³/s ; (2) autorisé 2 % du temps sur une année calendaire en situation climatique exceptionnelle et sous conditions particulières ; (3) L'utilisation des conditions climatiques exceptionnelles sera limitée aux situations où le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement de la centrale nucléaire de Nogent à un niveau de puissance minimal ou pour lesquelles l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite le fonctionnement de la centrale de Nogent.

COURS D'EAU	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	PÉRIODE	RÉFÉRENCE DES AUTORISATIONS DE REJET
Garonne	Golfech	≤ 1,25	–	≤ 28	De 01/06 au 30/09	Arrêté ministériel du 18/09/2006
		≤ 2	–	≤ 28	Du 01/10 au 31/05	
		≤ 1,25	–	≤ 30	Conditions climatiques exceptionnelles (1)	

(1) l'utilisation des valeurs sera limitée aux situations où le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement de la centrale nucléaire de Golfech à un niveau de puissance minimal ou quand l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite le fonctionnement de la centrale nucléaire de Golfech.
L'utilisation est conditionnée à des besoins du réseau, avec : si T aval ≥ 29 °C => lâcher d'eau de 3 m³/s dans une limite de 3 millions de m³.
Règles des lâchés d'eau en situation exceptionnelle : barrage de St Peyres privilégié dans la limite de 1 million de m³, les retenues de l'Ariège et de Lunax venant en complément dans la limite de 2 millions de m³.

SITE SUR ESTUAIRE ASSIMILÉ À UN SITE BORD DE MER

ESTUAIRE	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT PRISE – REJET °C	$T°_{REJET}$ °C	$T°_{AVAL}$ °C	PÉRIODE	RÉFÉRENCE DES AUTORISATIONS DE REJET
Gironde	Blayais	≤ 11	≤ 36,5	≤ 30	Du 15/05 au 15/10	Arrêté ministériel du 18/09/2003
		≤ 11	≤ 30	≤ 30	Du 16/10 au 15/05	

SITES BORD DE MER

MER	CENTRALE	ÉCHAUFFEMENT °C	$T°_{REJET}$ MAX °C	$T°_{AVAL}$ MAX °C	PÉRIODE	RÉFÉRENCE DES DÉCISIONS ASN
Manche	Flamanville 1-2	≤ 15	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Décision ASN n° 2018-DC-0639 & n° 2018-DC-0640
		≤ 15	≤ 30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
	Flamanville 3	≤ 14	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	
		≤ 14	≤ 30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
	Flamanville 1-2-3	≤ 21	–	–	Situation particulière (1)	
	Paluel	≤ 15	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Décision ASN n° 2019-DC-067 & n° 2019-DC-0677
		≤ 15	≤ 30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
		≤ 21	–		20 jours par an	
	Penly	≤ 15	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Décisions ASN n° 2008-DC-0090 & n° 2008-DC-0089
		≤ 15	≤ 30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
		≤ 21			Situation particulière (1)	
Mer du Nord	Gravelines	≤ 12	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Décision ASN n° 2018-DC-0646 & n° 2018-DC-0647
		≤ 12	≤ 30	≤ 30	Du 01/11 au 31/05	

(1) Exemples : indisponibilité d'une pompe de circulation alimentant les condenseurs ; nettoyage de la station de pompage… La durée cumulée de ces situations particulières n'excède pas vingt jours par an.

© EDF - Sophie Brandstrom/PWP

MAÎTRISE
DES IMPACTS DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU ET DES REJETS

9

1. CADRE GÉNÉRAL ET ÉTUDE D'IMPACT

2. INTERACTIONS AVEC L'ENVIRONNEMENT
2.1 Contexte environnemental
2.2 Prélèvements d'eau
2.3 Rejets thermiques
2.4 Rejets d'effluents

3. ÉVALUATION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT
3.1 Évaluation des impacts des prélèvements d'eau
3.2 Évaluation de l'impact des rejets thermiques
3.3 Évaluation de l'impact des rejets d'effluents chimiques
3.4 Évaluation de l'impact des rejets d'effluents radioactifs
3.5 Retour d'expérience *via* la surveillance hydroécologique de l'environnement

4. ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LA SANTÉ HUMAINE
4.1 Évaluation de l'impact dosimétrique
4.2 Évaluation des risques sanitaires des rejets chimiques

5. PRÉVENTION ET RÉDUCTION DES IMPACTS
5.1 Choix du site
5.2 Conception des ouvrages de prise d'eau et de rejet
5.3 Gestion optimisée des effluents
5.4 Organisation – management de l'environnement
5.5 Actions d'études et de recherches (R&D)

6. INFLUENCE DU FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE SUR SON ENVIRONNEMENT ET SUR LA SANTÉ (SYNTHÈSE)

Pour en savoir plus

Annexe 9.1 - Recommandations nationales et internationales pour la protection radiologique de l'environnement

Annexe 9.2 - Régimes thermiques des grandes rivières

Annexe 9.3 - Évaluation de l'impact des rejets d'effluents radioactifs sur le public

Annexe 9.4 - Évaluation des risques des substances chimiques sur l'écosystème

Annexe 9.5 - Évaluation des risques des substances chimiques sur la santé humaine

Annexe 9.6 - Organismes d'expertise dans l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux

© EDF-Didier Marc

1. Cadre général et étude d'impact

Longtemps, les préoccupations de protection de l'environnement se sont focalisées sur la santé humaine. Ainsi dès le 19e siècle, la réglementation relative aux installations insalubres et incommodes répondait à l'objectif de protéger la santé, la sécurité et la salubrité publique. Depuis les années 1960, les objectifs de la protection environnementale se sont étendus aux milieux naturels et aux espèces qui les peuplent (loi sur l'air, loi sur l'eau, loi sur la protection de la nature...).

Les exploitants de centrales nucléaires sont donc tenus de considérer les exigences sanitaires et environnementales applicables à leurs activités (normes de base en radioprotection, normes environnementales, réglementation relative aux INB et aux ICPE...). S'agissant des rejets radioactifs, la protection l'environnement s'est longtemps trouvée réduite au seul objectif de protéger l'homme contre les effets de la radioactivité. Le besoin de protéger l'environnement en tant que tel est assez récent. Ce n'est qu'au début des années 2000 que la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a défini un cadre pour protéger les organismes vivants non humains à l'image de ce qui est réalisé pour l'homme. Cette démarche est appliquée dans les études d'impact des centrales nucléaires.

Avant d'engager la construction d'une centrale nucléaire, une étude d'impact environnemental est réalisée ; il s'agit d'une obligation légale pour tout projet de grande envergure. Cette étude s'intéresse à toutes les phases du projet, depuis le stade du chantier jusqu'à la déconstruction. Elle décrit notamment les caractéristiques du milieu naturel pressenti et évalue les effets possibles des futures installations sur les écosystèmes, le paysage, la santé des populations avoisinantes ainsi que la vie économique locale. Le cas échéant, elle propose les mesures conservatoires et/ou compensatoires pour limiter voire éviter les effets négatifs du projet. Le contenu des études d'impact est fixé par la réglementation (*cf.* encart ci-contre).

Lorsque la centrale est en exploitation, un programme de surveillance de l'environnement – portant également sur des zones situées hors influence de la centrale – est mis en place conformément à la réglementation. Cette surveillance vise à vérifier que l'impact de la centrale reste dans les limites de l'étude initiale ayant conditionné l'autorisation de fonctionnement des installations.

Afin de minimiser cet impact, l'exploitant ne se contente pas de respecter les limites réglementaires en toute circonstance, il agit pour réduire, autant que

Étude d'impact pour les INB

(articles R. 122-5 et R. 593-17 du Code de l'environnement)

L'étude d'impact constitue une pièce essentielle des dossiers réglementaires et doit permettre aux différentes parties prenantes (autorités compétentes, associations, public) d'apprécier l'impact des installations sur la santé humaine et l'environnement. C'est sur la base de cette étude, et après avis récoltés lors des consultations locales, que l'ASN fixe des prescriptions aux exploitants notamment en termes de limites de rejets et de modalités de surveillance de l'environnement.

L'étude d'impact doit notamment présenter :

- une analyse de l'état initial de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet (population, faune, flore, habitats naturels, sites et paysages, biens matériels, continuités écologiques, équilibres biologiques, facteurs climatiques, sol, eau, air, bruit…, ainsi que les interrelations entre ces éléments) ;
- une analyse des incidences négatives et positives, directes et indirectes, temporaires (y compris pendant une phase de travaux) et permanentes, à court, moyen et long terme du projet ;
- une analyse des incidences cumulées du projet avec d'autres projets existants ou approuvés.

L'étude doit aussi décrire les mesures prises par l'exploitant pour :

- éviter les incidences négatives notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine et réduire les incidences n'ayant pu être évitées ;
- compenser lorsque cela est possible, les incidences négatives notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être suffisamment réduites.

Par ailleurs, l'exploitant d'INB doit (R. 593-17 du Code de l'environnement) :

- décrire les moyens de contrôle des rejets et de surveillance de l'environnement ;
- évaluer l'exposition du public aux rayonnements ionisants du fait de l'installation, en prenant en compte l'irradiation directe par les bâtiments et celle par les différents vecteurs (rejets liquides et atmosphériques, chaîne alimentaire) ;
- évaluer l'incidence de son installation sur l'environnement.

Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, l'importance et la nature des travaux, ouvrages et aménagements projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine (article R. 122-5 du Code de l'environnement).

raisonnablement possible, les prélèvements d'eau et les rejets, en vertu du principe d'optimisation (*cf.* § 5). Ce faisant, les données collectées depuis plusieurs décennies montrent que les écosystèmes au voisinage des installations présentent des évolutions temporelles ayant des causes naturelles (réchauffement climatique) ou artificielles (autres industries ou activités) indépendantes du fonctionnement des centrales.

Nota :

Ne sont abordés ici que les impacts liés aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents d'une centrale nucléaire en exploitation. Les phases de chantier et de déconstruction ne sont pas traitées.

2. Interactions avec l'environnement

2.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

L'analyse du contexte hydro-morphologique et thermique du milieu aquatique est un élément important permettant de comprendre l'état de l'environnement dans lequel les rejets sont réalisés. Ce contexte dépend de chaque bassin et de la position de chaque centrale nucléaire sur le bassin.

Le Rhône

- *Hydro-morphologie* : Le Rhône, né dans les glaciers alpins, se jette dans la Méditerranée. Long de 810 km, le Rhône est un fleuve à fort débit (le débit module interannuel est d'environ 460 m³/s à la confluence avec l'Ain, environ 1500 m³/s en amont du delta). Son régime thermique (évolution des températures sur plusieurs années) est fortement influencé par son passage dans le lac Léman et par ses affluents. C'est un fleuve dit à transfert thermique de l'amont vers l'aval. Il se distingue en cela des fleuves de plaine, comme la Seine, soumis aux conditions météorologiques locales (*cf.* annexe 8.2). Par ailleurs, le Rhône a été aménagé pour la navigation et la production d'électricité. La création de canaux, de retenues, de sections court-circuitées à débit régulé a modifié le milieu naturel et l'habitat des espèces animales et végétales. Le Rhône bénéficie également d'apports d'eau provenant des nappes souterraines alluviales.

- *Températures* : Une vaste étude a été menée sur le Rhône « l'Étude thermique du Rhône ». Cette étude[1] a montré que le régime thermique du Rhône s'est échauffé sur la période 1920–2010, avec une augmentation plus marquée des moyennes annuelles sur sa partie aval (de +0,4 °C sur le Haut-Rhône à Pougny, en amont de Bugey à +2,1 °C à Tricastin en aval) et avec une rupture depuis les années 1980. Cette évolution s'explique principalement par le réchauffement climatique, et dans une moindre mesure, par les rejets thermiques des centrales électriques mises en service dans le courant des années 1980.

La Seine

- *Hydro-morphologie* : La Seine s'étend sur 776 km entre sa source (plateau de Langres) et la Manche où elle se jette. Elle est alimentée par de nombreux affluents (Aube, Marne, Oise, Eure, Yonne…). Trois lacs-réservoirs, l'un sur la Seine en amont de Troyes (205 Mm³), un deuxième sur l'Aube (170 Mm³) et un troisième (Lac-réservoir Marne ou lac du Der-Chantecoq de 350 Mm³ construit aussi et surtout pour protéger Paris contre le risque d'inondation) permettent de réguler son débit et, en particulier, de le soutenir en période d'étiage. Le débit moyen annuel de la Seine est d'environ 77 m³/s en amont de la centrale de Nogent-sur-Seine.

- *Températures* : Contrairement au Rhône, la Seine est un fleuve de plaine et, de ce fait, les températures de l'eau sont fortement dépendantes des conditions météorologiques (*cf.* annexe 8.2). Les relevés de température d'eau effectués en amont de la centrale de Nogent montrent que les températures moyennes annuelles sont en très faible augmentation depuis 1984 (augmentation moyenne de 0,4 °C entre 1984–2001 et 2001–2017). L'évolution moyenne constatée est donc d'environ 0,01 °C par an sur les 3 dernières décennies. L'influence des rejets thermiques de la centrale de Nogent, refroidie en circuit dit « fermé », n'est rapidement plus perceptible en aval. Notons aussi que la charge thermique (énergie thermique) dissipée en Seine a baissé du fait de l'arrêt définitif ou partiel des centrales thermiques à flamme (Montereau, St-Ouen, St-Denis, Porcheville) refroidies en circuit ouvert, implantées en bord de Seine ou sur ses affluents.

1. Synthèse de l'étude thermique du Rhône – Mai 2016.

La Loire et la Vienne

- *Hydro-morphologie* : La Loire est le plus long fleuve français (1012 km). Il prend sa source en Ardèche (Mont Gerbier de Jonc) et se jette dans l'Océan Atlantique. Le débit moyen annuel de la Loire est d'environ 300 m³/s au droit de la centrale de Belleville et de 450 m³/s au droit de la centrale de Chinon, en amont de la confluence avec la Vienne. Les retenues de Villerest (230 Mm³) sur la Loire et de Naussac (190 Mm³) sur l'Allier assurent un débit objectif d'étiage de 60 m³/s à Gien. Ce débit de soutien d'étiage peut être abaissé lors de période d'étiage sévère pour atteindre 55 m³/s à Gien (voire 50 m³/s) afin de préserver la ressource en eau (comme lors de l'été 2019). La Loire reçoit également, en période d'étiage, de l'eau en provenance de la nappe alluviale de la Beauce.
  Le débit moyen annuel de la Vienne à Cubord en aval du CNPE de Civaux est d'environ 81 m³/s. En période d'étiage, le débit de la Vienne est principalement soutenu par la retenue de Vassivière (110 Mm³).

CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux : la Loire et les aéroréfrigérants en arrière-plan
© EDF – Didier Marc

- *Températures* : Cinq centrales nucléaires ont été construites, à partir des années 1980, sur les rives de la Loire (Belleville, Dampierre, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon) et sur la Vienne, un de ses affluents (Civaux). Toutes les installations sont refroidies en circuit dit « fermé » afin de réduire les échauffements dus aux rejets thermiques. Ces échauffements n'excèdent pas, après mélange, quelques dixièmes de degré en été et un peu moins de 1 °C en hiver. La centrale nucléaire de Civaux dispose d'aéroréfrigérants dont l'eau tiède issue des purges est refroidie avant rejet au moyen d'un aéroréfrigérant complémentaire (dit « de purge ») qui permet de supprimer tout échauffement dès que la température de la Vienne atteint 25 °C en été.

Depuis les années 1970, la charge thermique dissipée au fleuve a diminué avec l'arrêt définitif des centrales nucléaires de Saint-Laurent-des-Eaux A et de Chinon A (filière UNGG[1]) ainsi que celui de la centrale thermique à flamme de Nantes-Cheviré, toutes refroidies en circuit ouvert. Les températures de la Loire ont cependant globalement augmenté en raison du réchauffement climatique.

Vue aérienne du barrage et de la retenue de Vassivière
© EDF – Didier Marc

La Garonne et l'estuaire de la Gironde

- *Hydro-morphologie* : La centrale de Golfech est située en bordure de Garonne entre le bras naturel du fleuve et le canal de fuite de l'usine hydroélectrique de Golfech, à 15 km en aval de la confluence avec le Tarn. Le prélèvement d'eau se fait dans le canal de fuite de l'usine et le rejet est réalisé au point de jonction de ce canal et de la Garonne. Le débit annuel moyen (module) en ce point est de 400 m³/s environ et peut atteindre ponctuellement plus de 4000 m³/s (débit journalier). En étiage, le débit journalier descend jusqu'à 60 m³/s. Le débit évaporé par la centrale est compensé par le barrage de Lunax situé en amont (10 Mm³), lorsque, du 1er juillet au 31 octobre, le débit de la Garonne mesuré à Lamagistère descend au-dessous de 85 m³/s.
  Avec 75 km de long et jusqu'à 12 km de large, la Gironde est le plus vaste estuaire d'Europe occidentale. Par la Garonne et la Dordogne, il arrive chaque seconde de 800 à 1000 m³ d'eau douce chargée de sédiments ; dans le même temps, les deux marées quotidiennes introduisent 15 000 à 25 000 m³ d'eau de mer à l'embouchure. La rencontre de l'eau douce, riche en limons, avec l'eau salée fait floculer les particules argileuses qui forment un bouchon vaseux caractéristique des eaux estuariennes. Le bouchon vaseux est un piège pour les polluants et notamment pour les métaux.

- *Températures* : La Garonne est un fleuve de plaine dont la température dépend des conditions météo-

1. UNGG : uranium naturel, graphite, gaz

rologiques. Les rejets thermiques de la centrale de Golfech ont peu d'influence sur la température de l'eau compte tenu de l'existence d'aéroréfrigérants. En été, l'échauffement après mélange dû aux rejets thermiques est très faible du fait de la grande efficacité des aéroréfrigérants (il peut même être quasiment nul).

La Meuse

- *Hydro-morphologie* : La Meuse est un fleuve international de 950 km de long qui prend sa source en Haute-Marne (région Champagne-Ardenne) et se jette en mer du Nord (Pays-Bas). La Meuse n'est pas un fleuve très régulier ; son débit est fortement influencé par les pluies (régime type pluvial). Le débit moyen annuel (module) du fleuve à Chooz est de 144 m³/s et en d'étiage, le débit instantané peut chuter jusqu'à 11 m³/s. Quant aux crues, elles peuvent être extrêmement importantes (1610 m³/s le 30 janvier 1995 à Chooz). Le fleuve est navigable de l'estuaire jusqu'à Givet. La Meuse alimente l'usine de Taillefer, située en Belgique en aval de Chooz, pour la production d'eau potable de la ville de Bruxelles.

- *Températures* : La température de l'eau de la Meuse (en moyenne journalière) varie entre 25 °C en été et 0 °C en hiver où le fleuve peut charrier de la glace. Les relevés de température d'eau effectués en amont de la centrale de Chooz montrent que les températures moyennes annuelles de la Meuse sont en augmentation depuis la fin des années 1970, avec une augmentation moyenne de +0,4 °C par décennie, en lien avec les effets du réchauffement climatique. L'influence des rejets thermiques de la centrale de Chooz, refroidie en circuit dit « fermé », n'est rapidement plus perceptible en aval.

Vue aérienne de la centrale nucléaire de Chooz, située dans une boucle de la vallée de la Meuse, Ardennes
© EDF – Jean-Louis Burnod

La Moselle

- *Hydro-morphologie* : Affluent du Rhin, la Moselle prend sa source dans le massif des Vosges à Bussang et se jette dans le Rhin à Coblence en Allemagne. Sa longueur totale est de 560 km.
Les différences saisonnières de débit se traduisent habituellement par un maximum en janvier, (environ 1,8 fois le débit moyen annuel, appelé module) et un minimum en juillet (0,4 fois le module). Les crues hivernales peuvent s'avérer dévastatrices si un important épisode neigeux est suivi d'un redoux avec fortes pluies sur un sol saturé. À l'inverse, de graves étiages estivaux sont également fréquents. La Moselle a été canalisée en 1964 : elle est accessible aux chalands de 3000 tonnes jusqu'à Nancy. De plus, un lac a été créé, en 1985, pour soutenir le cours de la Moselle en cas de sécheresse dans la vallée de Pierre-Percée, en bordure du massif des Vosges (retenue de Vieux-Pré).

- *Températures* : La centrale de Cattenom, refroidie en circuit dit « fermé », prélève l'eau dans la Moselle pour alimenter notamment les aéroréfrigérants. Les rejets thermiques sont effectués par l'intermédiaire de la retenue du Mirgenbach, lac artificiel où les eaux de refroidissement transitent avant de rejoindre la Moselle. Cette retenue joue un rôle « tampon » et permet d'atténuer les échauffements dus aux rejets thermiques.

Vue aérienne de la centrale nucléaire de Cattenom dans son environnement
© EDF – Jean-Louis Burnod

La Manche et la mer du Nord

La **Manche** au bord de laquelle sont implantées les centrales de Flamanville, Penly et Paluel refroidies en circuit ouvert, est longue de 500 kilomètres, large de 250 km (au maximum) et profonde de 172 mètres en son point le plus bas. Dans sa partie nord, les courants marins sont parmi les plus puissants au monde. L'eau y est turbide mais reste suffisamment oxygénée. C'est une zone riche et diversifiée sur le plan biologique (nombreuses espèces et individus). C'est aussi un important couloir de migration pour les oiseaux et certains poissons et mammifères marins.

La **mer du Nord** (centrale de Gravelines refroidie en circuit ouvert) est alimentée par les eaux riches venues de l'Atlantique par la Manche. Les eaux constituent un milieu varié qui nourrit une grande diversité d'animaux. Plus de 170 espèces de poissons fréquentent les eaux grises de la mer du Nord.

La centrale nucléaire de Gravelines et la mer du Nord
© EDF – Jean-Louis Burnod

2.2 PRÉLÈVEMENTS D'EAU

Les prélèvements d'eau de surface sont réalisés en majeure partie pour assurer le refroidissement par les condenseurs et, dans une moindre mesure, pour alimenter en eau industrielle les différents circuits nécessaires au fonctionnement et les circuits d'alimentation de secours.

De conception, et selon la disponibilité de l'eau, le circuit de refroidissement fonctionne, en règle générale :

- soit en circuit ouvert, pour les centrales situées en bord de mer ou sur des grands fleuves ;
- soit en circuit dit « fermé », en utilisant des tours aéroréfrigérantes, pour les centrales situées en bord des cours d'eau de moindre débit ; les tours aéroréfrigérantes permettent :
  - la réduction de la quantité d'eau prélevée,
  - la diminution de la température de l'eau restituée au milieu.

Toutefois, une partie de l'eau prélevée s'évapore dans la tour en émettant un panache de vapeur et ne regagne pas le cours d'eau. Cette consommation d'eau est comptabilisée par l'exploitant.

2.3 REJETS THERMIQUES

Dans une centrale nucléaire, le fluide « eau-vapeur » du circuit secondaire (suit un cycle thermodynamique dit cycle de Carnot. Au cours du cycle, le fluide « eau-vapeur » échange de l'énergie thermique avec la source « chaude » constituée de l'eau du circuit primaire et avec la source « froide » assurée par l'eau du circuit de refroidissement du condenseur.

Dans un circuit de refroidissement ouvert, l'énergie non transformée en électricité est cédée en totalité au milieu aquatique (fleuve ou mer).

Pour les centrales en bord de mer, qui sont toutes en circuit ouvert du fait de la disponibilité de l'eau, le panache thermique dans le champ proche des rejets est stratifié sur la verticale (c'est surtout la surface qui est impactée par les échauffements), avec une homogénéisation rapide au fur et à mesure que l'on s'éloigne des rejets (dès quelques centaines de mètres).

Pour les centrales de bord de fleuve en circuit ouvert, l'homogénéisation de la température de l'eau après dilution du rejet varie suivant la configuration hydraulique spécifique de chaque site.

En circuit dit « fermé », 95 % de l'énergie non transformée en électricité est transférée à l'atmosphère par l'intermédiaire d'un aéroréfrigérant où elle se dissipe par évaporation (principalement) et par convection. Seule 5 % de l'énergie restante environ est libérée dans le cours d'eau.

Quel que soit le mode de refroidissement, l'échauffement du milieu aquatique qui en résulte (l'écart entre la température de l'eau à l'entrée des installations et celle à l'aval du rejet après mélange) est limité par les prescriptions de rejets propres à chaque site. Sur les cours d'eau, l'échauffement entre l'aval et l'amont, exprimé en valeur moyenne journalière, est de quelques degrés pour les centrales refroidies en circuit ouvert et de quelques dixièmes de degré dans le cas des centrales équipées d'aéroréfrigérants.

2.4 REJETS D'EFFLUENTS

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire nécessite l'utilisation de substances chimiques et donne lieu à des rejets d'effluents chimiques par voie liquide dans l'environnement et, dans une moindre mesure, à des rejets par voie atmosphérique. Les rejets d'effluents chimiques sont présentés au chapitre 8 – Nature et contrôle des rejets.

L'énergie produite par un réacteur nucléaire provient de la fission nucléaire. Lors de cette réaction, les atomes lourds du combustible nucléaire se scindent en de nouveaux nucléides plus légers. Cette réaction libère une grande quantité d'énergie et s'accompagne de l'émission de neutrons de fission pouvant entraîner la formation de substances radioactives (radionucléides). Le réacteur est donc le siège de la formation de radionucléides dont seule une infime partie se retrouve dans les effluents atmosphériques et/ou liquides. Les rejets d'effluents radioactifs sont présentés au chapitre 8 – Nature et contrôle des rejets.

La figure 2 schématise les interactions entre les rejets et l'homme et l'environnement.

Prise en compte des évolutions liées au changement climatique

Un élément de contexte fondamental à prendre en compte

Les évolutions climatiques sont aujourd'hui un élément de contexte fondamental à prendre en compte pour l'exploitation des installations de production d'électricité. Les évolutions liées au changement climatique vont en effet modifier l'état de l'environnement dans lequel les prélèvements et les rejets sont réalisés et sont susceptibles d'avoir une influence sur les résultats de l'étude d'impact. Les principales évolutions hydro-climatiques considérées sont l'augmentation de la **température de l'eau et les évolutions de débit des cours d'eau,** en lien avec les questions d'évolution de la disponibilité de la ressource en eau et du régime thermique du cours d'eau en amont de chaque centrale.

Les travaux de recherche en cours

Ces évolutions climatiques peuvent être caractérisées par l'évolution observée dans le passé récent, mais aussi *via* la réalisation de **projections climatiques régionalisées**, réalisées en général à l'échelle de plusieurs décennies. L'étude des impacts locaux du changement climatique est en effet un thème sur lequel de nombreux travaux de recherches sont en cours pour établir des méthodologies permettant de réaliser des projections climatiques à une échelle locale.

Ainsi, depuis plus de 10 ans, EDF a engagé un programme de R&D sur les impacts du changement climatique sur ses activités. Le dernier projet en cours, le **Service Climatique pour EDF**, lancé en 2018, a notamment pour objectif d'améliorer les méthodes et de mettre à jour les études sur l'évolution des principales variables climatiques telles que la température ou les précipitations et de fournir des projections climatiques régionalisées.

Fig. 1 ▶ Exemple d'évolution des températures d'air moyennes annuelles à Reims jusqu'à 2100 pour le scénario RCP8.5.

Source : EDF R&D « Service Climatique pour EDF », 2017

Ainsi, des **projections hydro-climatiques** sont en train d'être réalisées en amont de chaque centrale de bord de rivière, sur une **période allant** jusqu'à 2100. Ces projections sont obtenues sur la base des simulations issues de l'exercice CMIP5 (*5th Coupled Model Intercomparison Project*) utilisées par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), pour rédiger son dernier rapport de recommandations (AR5 – *5th Assessment Report*). Deux scénarios d'émissions des gaz à effet de serre ont été retenus : celui correspondant à la stabilisation des émissions à horizon 2100 (scénario RCP4.5) et celui, le plus pessimiste, correspondant à une augmentation de ces émissions au-delà de 2100 (scénario RCP8.5). Les projections des modèles climatiques globaux ont été désagrégées à l'échelle du bassin à l'aide d'une méthode de descente d'échelle statistique afin d'obtenir les évolutions des 3 principales variables hydro-climatiques au droit de chaque centrale : **température d'air, température d'eau et débit du cours d'eau**.

Prise en compte dans les études d'impact

Ces travaux de recherche ont pour objectif d'étudier les évolutions du climat à une échelle temporelle représentative des échelles de temps permettant de caractériser un climat ou une hydrologie donné, soit sur plusieurs décennies (*a minima* 30 ans) et pouvant aller jusqu'à plus de 100 ans.

Or, dans le cadre du réexamen sur le parc en exploitation et compte tenu des **révisions décennales** de l'étude d'impact, la durée associée à ces études est de l'ordre d'une dizaine d'années, ce qui bien plus court que les études liées au changement climatique. À **l'échelle décennale**, des travaux de recherche sont en cours, mais il n'existe pas encore de modèles prédictifs fiables permettant de simuler les évolutions des paramètres climatiques sur de telles périodes de temps, en raison de la variabilité naturelle du système climatique encore mal modélisée sur ces échelles de temps plus courtes.

Dans l'attente du résultat de ces recherches, peu de projections à l'échelle locale ou de modèles prédictifs précis sont aujourd'hui disponibles à une échelle de temps correspondant aux études pour le parc en exploitation ou à la mise jour de l'étude d'impact dans le cadre du réexamen décennal.

À l'échelle de nouveaux projets et pour des études sur des durées de vie plus longues, les résultats associés aux projections climatiques sur plusieurs décennies sont par contre importants à prendre en compte dans le cadre d'une étude d'impact.

Fig. 2 ▶ Schéma simplifié du transfert des substances radioactives et/ou chimiques dans l'environnement et à l'homme.

3. Évaluation des impacts sur l'environnement

L'impact des prélèvements d'eau et rejets d'une centrale nucléaire sur l'environnement est évalué sur les différents compartiments de l'écosystème aquatique et terrestre en prenant en compte les différentes interactions du fonctionnement de la centrale nucléaire avec l'environnement :

- impacts des seuils et prises d'eau :
  - impacts des seuils sur l'hydrologie et la morphosédimentologie,
  - impacts des prélèvements d'eau sur l'hydrologie et la disponibilité de la ressource en eau,
  - impacts de l'aspiration à la prise d'eau sur les communautés biologiques aquatiques ;
- impacts des rejets chimiques liquides ;
- impacts des rejets thermiques ;
- impacts des rejets radioactifs.

Cette évaluation repose sur deux approches complémentaires.

Une **analyse prospective** des incidences des rejets et prélèvements d'eau sur les différents compartiments de l'environnement (hydrologie, morphosé-

Importance des études et des programmes de surveillance écologique des centrales nucléaires

Dès le lancement du programme nucléaire français en 1973, les organismes publics de recherche ont été sollicités pour développer des études relatives aux rejets radioactifs et à l'impact des circuits de refroidissement sur la faune et la flore des milieux aquatiques. En complément des résultats des modèles thermiques ou de qualité d'eau développés par EDF R&D, les connaissances acquises par ces études ont alimenté les évaluations d'impact des sites de centrales.

Avant la mise en service des nouvelles centrales, des données écologiques ont été recueillies sur au moins deux années, puis la collecte des données a été poursuivie dans le cadre d'un programme réglementaire de surveillance de l'environnement. Il existe ainsi des séries de données portant maintenant sur plusieurs décennies qui permettent non seulement de préciser l'impact hydroécologique et radioécologique des centrales mais aussi d'identifier des évolutions indépendantes du fonctionnement des centrales (changements globaux comme les invasions biologiques ou l'élévation des températures de l'eau).

dimentologie, qualité d'eau, qualité de l'air, faune et flore) est réalisée. Pour différents paramètres caractérisant l'environnement (débit, température de l'eau, concentration des substances dans l'eau), les valeurs obtenues par projection (calcul ou modélisation) sont comparées à des valeurs de référence (débits caractéristiques, normes de qualité environnementales ou valeurs de référence écotoxicologiques).

En complément, une **analyse rétrospective** des incidences sur l'environnement est menée en comparant sur de longues périodes (chroniques de 10 ans en général) la qualité du milieu physique et des communautés biologiques en différentes stations de l'environnement de la centrale nucléaire : stations sous influence et stations hors influence (stations « témoin ») du fonctionnement de la centrale nucléaire. Cette analyse exploite les campagnes de surveillance de l'environnement, réalisées chaque année à des fréquences définies réglementairement (dépendant des compartiments suivis) pour déceler une évolution anormale du milieu qui pourrait provenir du fonctionnement de la centrale.

Des éléments des écosystèmes terrestre et aquatique sont ainsi sélectionnés pour leur représentativité (végétaux, algues, macroinvertébrés, poissons, sédiments…). L'observation qualitative et quantitative des communautés d'organismes vivants et des facteurs caractérisant leur habitat sur de longues chroniques temporelles nous renseigne sur l'impact global des prélèvements d'eau et des rejets radioactifs, chimiques et thermiques sur l'environnement.

Les données collectées à l'occasion des campagnes de surveillance écologique permettent non seulement de vérifier les prévisions établies lors de l'étude d'impact initiale (point zéro), mais elles fournissent aussi de précieuses informations sur l'évolution à long terme des écosystèmes, sous l'effet de facteurs naturels ou anthropiques indépendants du fonctionnement des centrales.

3.1 ÉVALUATION DES IMPACTS DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU

3.1.1 Évaluation de l'impact des prises d'eau

Sur certains organismes vivants (poissons, juvéniles, crustacés…)

Les prélèvements d'eau peuvent engendrer l'aspiration d'organismes dans les stations de pompage notamment lorsque les courants d'aspiration sont élevés (liés à un débit de prélèvement important) et/ou dans les cas où la prise d'eau est proche de zones utilisées par de nombreux organismes.

Aspiration d'organismes vivants dans les prises d'eau

Les organismes impactés par le prélèvement d'eau sont généralement des organismes ayant de faibles capacités natatoires ou de détection de la zone d'aspiration, soit du fait de leur jeune âge (alevins n'ayant pas encore les capacités ni de détection ni de nage), de leurs faibles capacités physiques à lutter contre le courant d'aspiration (méduses, plancton) ou de leur inadaptation comportementale à réagir dans un courant (certains poissons marins).

Selon leur taille et celle de la maille des dispositifs de filtration, les organismes peuvent être :

- plaqués sur les tamis si leur taille est supérieure à celle de la maille (alevins, poissons de petite taille). Ils sont ensuite soumis à la pression de l'eau, à une exondation pendant plusieurs minutes puis décollés par les jets de nettoyage des filtres ;
- entraînés dans les circuits de refroidissement quand leur taille est inférieure à la maille des tamis (plancton, larves, œufs). Ils subissent différents chocs (mécanique, thermique, chimique) qui en détruisent une fraction plus ou moins importante selon la sensibilité des organismes présents dans le milieu.

Sur la migration des poissons

Les seuils construits à l'aval des prises d'eau pour maintenir le niveau d'eau nécessaire au fonctionnement du site peuvent être un obstacle aux déplacements de la faune aquatique et notamment pour la migration des poissons amphihalins (anguille, saumon, truite de mer, lamproies et aloses). Afin de protéger ces espèces, dont les stocks sont globalement en déclin, des moyens sont mis en œuvre pour réduire les impacts des prises d'eau (*cf.* §5.2).

3.1.2 Évaluation de l'impact sur la ressource en eau

Sur les débits du cours d'eau en période d'étiage.

Sur les installations refroidies en circuits fermés en bord de rivière, 20 à 40 % de l'eau prélevée s'évapore dans les aéroréfrigérants. Pour éviter que le débit du cours d'eau ne descende trop bas en période étiage, certains sites sont tenus réglementairement de garantir un débit minimum à l'aval du site (débit réservé[1]) en réduisant les volumes d'eau consommée ou en compensant le déficit par des lâchers d'eau effectués au niveau des barrages situés en amont. Ainsi, la garantie d'un débit minimum dans le cours d'eau permet de satisfaire aux nécessités de la vie aquatique en période d'étiage et aux autres usages de l'eau.

1. Débit réservé = 1/10e au minimum du débit annuel (module) moyen interannuel (MMI) si le MMI est < à 80 m^3/s ; Débit réservé = 1/20e au minimum du MMI si le MMI est > à 80 m^3/s.

3.2 ÉVALUATION DE L'IMPACT DES REJETS THERMIQUES

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire nécessite une source de refroidissement permettant de dissiper la part de la puissance thermique issue du réacteur qui ne peut être transformée en énergie électrique. L'eau de la mer ou de la rivière bordant la centrale nucléaire est utilisée comme source de refroidissement et, à ce titre, subit un échauffement local désigné sous le nom de « rejets thermiques ».

Comme les autres rejets, ces rejets thermiques sont réglementés. Ils font l'objet d'une analyse dédiée dans l'étude d'impact, appelée « évaluation des incidences sur la température des eaux de surface ».

Cette analyse se base sur :
- la caractérisation du régime thermique en amont de la centrale nucléaire (ou à la prise d'eau en bord de mer) ;
- l'analyse du retour d'expérience des rejets thermiques sur une période longue (*a minima* sur 10 ans) ;
- la caractérisation du panache thermique, à l'échelle locale (champ proche) et régionale (champ lointain).

3.2.1 Caractérisation du panache thermique en bord de rivière

En champ proche :
En bord de rivière, la caractérisation des échauffements à l'échelle locale porte sur l'étude de la dilution des rejets thermiques dans le milieu récepteur depuis l'aval immédiat des rejets jusqu'au mélange complet des rejets dans le cours d'eau.

Cette analyse s'appuie sur :
- les **mesures** disponibles : thermographie aérienne par infrarouge (cartographie des températures d'eau en surface), transects (ou profils de température sur une section verticale du cours d'eau), mesures en points fixes... ;
- éventuellement compétée par une **modélisation numérique** (2D ou 3D) qui permet de compléter les mesures par la simulation du panache sur une plage de débits plus large ou pour des situations particulières (étiage sévère, canicule...).

Le panache thermique varie suivant la conception de la source froide, le type d'ouvrage de rejet, les débits du cours d'eau et les conditions d'écoulement en aval.

Pour les centrales nucléaires refroidies en **circuit ouvert**, installées sur des fleuves à grand débit, le rejet thermique se fait par canal sur une des deux rives. Ce type de rejet conduit à un mélange progressif du rejet d'eau chaude sur plusieurs kilomètres. L'échauffement est de quelques degrés en moyenne. Ainsi, en aval de la centrale du Bugey située sur le Haut-Rhône, la veine d'eau échauffée longe la rive droite sur les premiers kilomètres en aval, avant de se mélanger entièrement dans le Rhône (*cf.* figure 3). Pour la centrale nucléaire de Tricastin, la veine de rejet est plus rapidement mélangée en raison d'une usine hydro-électrique située en aval.

Pour les centrales nucléaires en **circuit dit « fermé »**, les rejets thermiques entraînent des échauffements de quelques dixièmes de degré (et qui n'excèdent pas 1 °C à 2 °C). Des diffuseurs constitués de plusieurs buses (conduite multipore) et installés sur une partie de la largeur de la rivière permettent aux eaux de rejet de se diluer très rapidement dans le cours d'eau (*cf.* figure 4).

- **En champ lointain :**

En bord de rivière, cette analyse est complétée par l'étude de la propagation des échauffements apportés par la centrale nucléaire à l'échelle régionale, c'est-à-dire en allant bien au-delà du mélange complet, sur des distances de plusieurs dizaines de kilomètres (de 30 à 100 km typiquement). La caractérisation de ces échauffements résiduels se base sur les études scientifiques disponibles comme l'Étude Thermique Rhône ou des modélisations numériques à l'échelle du bassin réalisées par la R&D.

Fig. 3 ▶ Panache des rejets thermiques de la centrale de Tricastin – thermographie aérienne réalisée en juillet 2017.

Fig. 4 ▶ Diffusion des rejets thermiques à la centrale nucléaire de Golfech – thermographie aérienne réalisée en mars 2007.

3.2.2 Caractérisation du panache thermique en bord de mer

En mer, les rejets thermiques subissent une forte dilution du fait des puissants courants marins : c'est le cas des centrales de Flamanville, Penly et Paluel où le rejet se fait au large. Dans ce cas, l'échauffement de l'eau de mer en surface après mélange autour des points de rejet n'excède pas 1 °C dans une zone pouvant varier entre 1 à 40 km². Par ailleurs, l'eau tiède rejetée dans le fond marin remonte rapidement en surface par convection, ce qui réduit l'influence des rejets sur les organismes vivants au fond de la mer (*cf.* figure 5). Le panache subit également les effets de la marée, avec un déplacement alternatif en fonction des courants de marée.

À Gravelines, le rejet s'effectue à la côte par un long canal avec une dilution à proximité du rejet moins importante que pour les autres sites bord de mer. L'eau échauffée se dirige alternativement vers l'est au flot et vers l'ouest au jusant et il existe une stratification thermique, le fond étant moins échauffé que la surface. À pleine charge des 6 tranches, le panache thermique limité par l'échauffement de 1 °C en surface, balaie un demi-cercle de 3 à 8 km de rayon, suivant le coefficient de marée.

Dans tous les cas, le panache thermique en bord de mer est caractérisé *via* :

- des **thermographies aériennes** par infrarouge réalisées à différents coefficients de marée et à plusieurs instants de marée ;
- une **modélisation numérique** 3D qui permet de compléter les mesures par la simulation dynamique du panache sur l'ensemble du cycle de marée et pour les différents coefficients de marée représentatifs des courants rencontrés dans la zone des rejets (voir figure 4).

3.2.3 Lien thermie-hydrobiologie

La température des cours d'eau est un des principaux facteurs qui agit sur la dynamique des organismes vivants aquatiques. En effet, hormis les mammifères qui régulent leur température corporelle, la plupart des organismes vivants aquatiques dépendent de la température du milieu aquatique pour leurs fonctions vitales (reproduction, croissance, physiologie...).

Par ailleurs, sur le plan de la qualité de l'eau, la température contrôle de nombreux paramètres et notamment la quantité d'oxygène présente dans l'eau. Lorsque la température augmente, la quantité d'oxygène présente dans l'eau diminue. De plus, sous cer-

Fig. 5 ▶ Simulation des rejets thermiques de la centrale de Gravelines (6 unités de 900 MWe) avec le code de calcul TELEMAC 3D et comparaison avec les mesures réalisées par thermographie aérienne en juin 2017 (en haut).

Fig. 6 ▶ Modélisation 3D de l'évolution du panache thermique de la centrale nucléaire de Gravelines en marée de morte-eau moyenne de coefficient 45 (échauffement calculé en surface) suivant l'instant de marée (PM = pleine mer).

taines conditions, de l'ammoniac gazeux, forme très toxique pour les organismes vivants, peut se former à partir de l'azote ammoniacal dissous dans l'eau. Ainsi, en plus du contrôle direct qu'exerce la température sur les organismes aquatiques, elle exerce un contrôle indirect *via* la modification des paramètres physico-chimiques.

La température est donc un facteur essentiel du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Les rejets thermiques des centrales en bord de rivière font donc l'objet d'une attention particulière vis-à-vis de la faune et de la flore. En bord de mer, le fort pouvoir de dilution du milieu marin permet de limiter l'incidence des rejets thermiques sur l'écosystème.

3.3 ÉVALUATION DE L'IMPACT DES REJETS D'EFFLUENTS CHIMIQUES

L'évaluation de l'impact des rejets d'effluents chimiques sur l'écosystème a pour but d'**identifier l'influence de la centrale nucléaire sur la qualité physico-chimique et chimique de l'eau et sur les différents compartiments biologiques de l'écosystème** (faune et flore aquatiques).

Cette évaluation est fondée sur deux parties complémentaires :

- analyse rétrospective des incidences liées au fonctionnement passé et actuel (dont les rejets chimiques liquides) de la centrale nucléaire sur la qualité des eaux de surface *via* l'analyse des résultats de la surveillance physico-chimique et biologique ;
- analyse des incidences liées aux rejets chimiques liquides futurs et potentiels : Évaluation de l'impact substance par substance.

Dans cette seconde partie, l'analyse repose sur l'**évaluation quantitative de l'impact potentiel prévisible du flux limite de rejet des substances chimiques issues de la centrale nucléaire**. L'approche est effectuée substance par substance. On détermine alors si les flux limites de rejets n'induiraient pas un dépassement significatif des valeurs de référence représentatives d'une bonne qualité d'eau ou des valeurs écotoxicologiques représentatives d'un seuil sans effet sur l'écosystème. La méthodologie employée est développée en annexe 8.4.

L'impact des substances chimiques rejetées par une centrale nucléaire sur le milieu aquatique dépend de :

- la concentration ajoutée au milieu par les rejets ;
- la toxicité de la substance considérée vis-à-vis des végétaux et des animaux :
  - pour la majorité des substances, la communauté scientifique a défini une PNEC (*Predicted No Effect Concentration*) établissant la concentration en dessous de laquelle aucun impact n'est attendu (*cf.* annexe 8.4),
  - pour d'autres substances, la réglementation[1] a défini des seuils de bon état écologique et chimique du milieu aquatique et des normes de qualité environnementale, en moyenne annuelle (NQE-MA) ou en concentration maximale admissible (NQE-CMA) ;
- la sensibilité du milieu aquatique (rivière, estuaire, mer).

Si la substance rejetée est déjà présente initialement dans l'environnement de la centrale, sa concentration dans le milieu doit être prise en compte pour l'évaluation de l'impact. Cette valeur « initiale » est additionnée à la concentration ajoutée par les rejets pour les calculs d'évaluation.

Acide borique (bore)

Le bore est un métalloïde naturellement présent dans l'eau de mer principalement sous forme d'acide borique (H_3BO_3 ou $B(OH)_3$). La concentration moyenne en mer est de 25 000 µg/L. Dans les cours d'eau à l'amont des centrales nucléaires on peut mesurer des concentrations d'acide borique comprises entre quelques µg/L à quelques dizaines de µg/L. Les organismes du milieu marin sont donc mieux adaptés et moins sensible à l'exposition au bore.

La PNEC aquatique de l'acide borique est égale à 1030 µg/L en cas d'exposition chronique (répétitive ou permanente) et à 67 500 µg/L pour une exposition aiguë et ponctuelle. Ces PNEC sont définies pour permettre la correction par le fond géochimique présent sur le site, les calculs peuvent donc se faire sans prendre en compte la concentration naturellement présente dans le milieu, concentration à laquelle l'écosystème est accoutumé.

Les rejets **d'acide borique** des centrales nucléaires conduisent à augmenter les teneurs naturelles d'acide borique de quelques µg/L en valeur moyenne sur l'année et, ponctuellement, de quelques mg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes.

Hydrazine

L'hydrazine subit une dégradation par auto-oxydation et par biodégradation dans l'eau et se décompose rapidement dans l'air en formant de l'azote et de l'hydrogène.

Dans le milieu aquatique, la PNEC de l'hydrazine varie entre 0,37 µg/L (en mer) et 3,7 µg/L (en rivière). Il est noté par ailleurs que, avec un temps de demi-vie de 30 minutes en eaux de rivière, l'hydrazine n'est pas persistante en milieu aquatique.

Les rejets des centrales nucléaires (quelques centaines de grammes par an et par réacteur) ajoutent au milieu aquatique des concentrations n'excédant pas 0,1 µg/L en moyenne annuelle (ponctuellement quelques µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes).

1. Arrêté du 25/01/2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.

Morpholine

La morpholine peut subir diverses formes de dégradation dans les circuits de la centrale nucléaire (hydrolyse, oxydation, nitrisation) et former de l'azote minéral, des acides aliphatiques (*i.e.* l'éthanolamine, voir ci-dessous), des acides organiques ou encore de la nitrosomorpholine.

Dans le milieu aquatique, la PNEC de la morpholine varie entre 17 µg/L (en mer) et 170 µg/L (en rivière) en cas d'exposition chronique (répétitive ou permanente) et à 280 µg/L pour une exposition aiguë et ponctuelle. L'ensemble des sous-produits de dégradation sont également étudiés, notamment la nitrosomorpholine dont la PNEC varie entre 17,6 µg/L (en mer) et 176 µg/L (en rivière) pour une exposition chronique et est de 1760 µg/L pour une exposition aiguë.

Les concentrations ajoutées par les rejets des centrales nucléaires dans le milieu aquatique sont inférieures au µg/L en moyenne annuelle et, ponctuellement, quelques dizaines de µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes.

Éthanolamine

L'éthanolamine est utilisée à la place de la morpholine depuis 2011. Elle peut subir diverses formes de dégradation dans les circuits de la centrale nucléaire (hydrolyse, oxydation) et former de l'azote minéral, des acides aliphatiques ou encore des acides organiques.

Dans le milieu aquatique, la PNEC de l'éthanolamine est de 160 µg/L en cas d'exposition chronique (répétitive ou permanente) et de 2800 µg/L pour une exposition aiguë et ponctuelle. L'ensemble des sous-produits de dégradation de dégradation sont également évalués.

Les concentrations ajoutées par les rejets des centrales nucléaires dans le milieu aquatique sont inférieures au µg/L en moyenne annuelle et, ponctuellement, quelques dizaines de µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes.

Substances azotées (ammonium, nitrites et nitrates) ou phosphatées

Sur l'écosystème aquatique, les substances azotées et phosphatées peuvent avoir des effets sur la prolifération des végétaux aquatiques dans les cours d'eau (phénomène d'eutrophisation).

Pour ces substances, des seuils de bon état écologique du milieu aquatique sont définis[1] : 500 µg ammonium/L, 300 µg nitrites/L, 50 000 µg nitrates/L et 500 µg phosphates/L. Ces seuils doivent être respectés 90 % du temps.

Les concentrations ajoutées par les rejets des centrales nucléaires dans le milieu aquatique sont inférieures au µg/L de phosphates, de quelques µg/L d'ammonium et de nitrites et de quelques dizaines de µg/L de nitrates en moyenne annuelle et, ponctuellement, de quelques dizaines de µg/L de phosphates et d'ammonium, de quelques centaines de µg/L de nitrites et de l'ordre du mg/L de nitrates en moyenne journalière dans les cas extrêmes. Les apports globaux en matières azotées et phosphorées restent très faiblement contributifs aux milieux aquatiques.

Phénomène d'eutrophisation d'un cours d'eau

L'eutrophisation désigne la production surabondante de végétaux aquatiques résultant d'un apport excessif de nutriments par des substances azotées et phosphatées. L'eutrophisation se décompose en plusieurs étapes :

- apports de nutriments en excès par les rejets de l'agriculture, de d'industrie et des stations d'épuration urbaines ;
- multiplication rapide des végétaux aquatiques, en particulier prolifération d'algues (efflorescence algale ou *bloom*) ;
- perturbation de l'oxygénation de l'eau, sursaturation d'oxygène dissous le jour et sous-saturation la nuit.

Le développement de plantes flottantes – telles les lentilles d'eau – empêche le passage de la lumière dans les couches d'eau inférieures et gêne les échanges avec l'atmosphère ; des composés réducteurs et délétères (ammoniac, méthane) apparaissent alors dans le milieu aquatique pouvant provoquer la mort d'organismes vivants – insectes, crustacés, poissons, végétaux – dont la décomposition, consommatrice d'oxygène, amplifie le déséquilibre.

Composés chlorés ou bromés

En eau douce, le traitement biocide à la monochloramine de certaines centrales refroidies en circuit dit « fermé » conduit à des rejets de chlore résiduel total principalement sous forme de monochloramine. Dans le milieu aquatique, la PNEC (*Predicted No Effect Concentration* : concentration en dessous de laquelle aucun impact n'est attendu) de la monochloramine est de 0,98 µg/L en cas d'exposition chronique (répétitive ou permanente) et de 5,87 µg/L pour une exposition aiguë et ponctuelle. Il est noté par ailleurs que, avec un temps de demi-vie de 60 minutes en eaux de rivière, la monochloramine n'est pas persistante en milieu aquatique. Les rejets des centrales nucléaires ajoutent au milieu aquatique des concentrations n'excédant pas ces valeurs à courte distance de la centrale nucléaire.

Très occasionnels, les traitements biocides par chloration massive à l'eau de Javel (hypochlorite de sodium) réalisés sur les centrales refroidies en circuit dit « fermé » conduisent à des rejets de chlore résiduel. Pour limiter au maximum le rejet de chlore, qui possède un fort pouvoir oxydant, la procédure de traitement n'autorise l'ouverture de la purge du circuit

1. Arrêté du 25/01/2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.

que si la concentration de chlore résiduel libre est inférieure à 0,1 mg/L en équivalent Cl_2. À ce niveau, l'impact du chlore résiduel libre est infime voire nulle sur le milieu aquatique après dilution.

Sur les sites marins, les composés oxydants bromés, résultant du traitement des circuits d'eau de mer à l'hypochlorite de sodium pour éliminer les salissures biologiques, décroissent fortement en quelques dizaines de minutes comme le montrent les analyses pratiquées dans les zones de rejet en mer (< 0,1 mg/L à l'extrémité du point de rejet).

L'ensemble de ces traitements occasionnent la production de sous-produits de désinfection halogénés. Ces sous-produits sont également l'objet d'une étude d'impact (voir ci-après).

Composés organohalogénés

Comme le mentionne le guide européen lié aux produits biocides[1], la caractérisation des sous-produits des traitements chlorés, majoritairement des composés organohalogénés, chiffrés à plusieurs centaines de molécules, dépend de nombreux paramètres (disponibilité de la matière organique et de composés azotés, concentration de la substance active, temps de contact, qualité d'eau et conditions environnementales). Il est donc très difficile de prévoir à l'avance quels composés se forment dans une situation spécifique et à quelles concentrations. De fait, une étude d'impact pour chacun des composés individuels est impossible.

Par conséquent et comme requis par le guide européen, l'étude d'impact environnemental des composés organohalogénés est réalisée en deux étapes :

1. évaluation des substances les plus fréquemment rencontrées lors de traitements biocides, comme par exemple les acides chloroacétiques (PNEC de 23,6 µg/L), le chloroforme (en cas de chloration massive, PNEC de 146 µg/L et NQE-MA[2] de 2,5 µg/L) ou le bromoforme (en milieu marin, PNEC de 7,86 µg/L en cas d'exposition chronique et de 71 µg/L pour une exposition aiguë) ;

2. évaluation de l'écotoxicité du mélange organohalogéné complet *via* des tests écotoxicologiques réalisés sur l'effluent de la centrale nucléaire. Ces essais permettent de démontrer l'absence d'écotoxicité de l'effluent global (et donc de l'ensemble des composés organohalogénés) après dilution dans le milieu aquatique.

Métaux

Les rejets de métaux des centrales nucléaires proviennent principalement de l'usure des tubes en laiton de condenseurs ; il s'agit de cuivre et de zinc. Ces rejets s'ajoutent aux métaux provenant d'autres apports anthropiques ou présents de façon naturelle dans l'eau des rivières. Ces métaux (sauf la partie dissoute) se retrouvent dans les sédiments. Ce phénomène de dépôt dans les sédiments réduit la part de métal dissoute biodisponible dans l'eau qui seule est susceptible d'agir sur les organismes vivants.

Les PNEC aquatique du cuivre et du zinc sont égales à 7,8 µg cuivre dissous biodisponible/L et 7,8 µg zinc dissous biodisponible/L. Ces métaux disposent également de NQE-MA[7] égales à 1 µg cuivre dissous biodisponible/L et 7,8 µg zinc dissous biodisponible/L. Ces NQE-MA ainsi que la PNEC du zinc sont définies pour permettre la correction par le fond géochimique présent sur le site, les calculs peuvent donc se faire sans prendre en compte la concentration naturellement présente dans le milieu, concentration à laquelle l'écosystème est accoutumé.

Les concentrations ajoutées par les rejets des centrales nucléaires disposant de condenseurs en laiton dans le milieu aquatique sont inférieures au µg dissous biodisponible/L en moyenne annuelle et, ponctuellement, quelques µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes.

Sur l'ensemble du parc nucléaire, les rejets de cuivre et de zinc des centrales ont très fortement diminué du fait du remplacement des tubes en laiton par des tubes inusables en acier inoxydable ou en titane (*cf.* chapitre 8 – Nature et contrôle des rejets). Les centrales marines ne rejettent pas de cuivre ni de zinc car elles sont équipées à la conception de condenseurs tubés en titane compte tenu de l'agressivité de l'eau de mer vis-à-vis du laiton.

D'autres métaux sont également rejetés par les centrales et évalués dans les études d'impact (aluminium, chrome, fer, manganèse, nickel, plomb). La contribution des centrales au milieu aquatique et/ou la sensibilité de l'écosystème à ces substances sont cependant minimes.

3.4 ÉVALUATION DE L'IMPACT DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS

3.4.1 Évaluation rétrospective de l'impact des rejets d'effluents radioactifs

Organisation des campagnes de mesures

Le devenir des substances radioactives rejetées dans l'environnement après contrôle est étudié au travers d'une discipline nommée **radioécologie**. Cette discipline étudie notamment le transfert des radionucléides dans les écosystèmes terrestre et aquatique depuis leur point d'émission (cheminée ou tuyauterie de rejet) jusque dans les différents compartiments de l'environnement. La radioécologie s'intéresse, par conséquent, aux voies dites de « transfert » atmosphérique, terrestre et aquatique de la radioactivité vers l'environnement et jusqu'à l'homme afin d'en évaluer son impact.

1. ECHA-17-G-01-EN, Version 1.0 – Guidance on the Biocidal Products Regulation – Volume V, Guidance on Disinfection By-Products – ECHA – 2017
2. Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.

Pour ce faire, des études spécifiques de type radioécologique sont menées. Elles s'appuient sur des prélèvements ciblés dans les compartiments terrestre et aquatique au voisinage des centrales nucléaires, ainsi que sur des analyses d'expertise dites « bas bruit de fond » qui permettent d'identifier des radionucléides présents à l'état de traces dans l'environnement. Ces prélèvements et analyses sont réalisés selon une chronologie établie dans le cadre des états de référence, des suivis annuels et quinquennaux, et des bilans radioécologiques décennaux pour interpréter dans quelle mesure les rejets du site contribuent, sur le long terme, à l'apport de radionucléides dans l'environnement au regard des autres sources potentielles en présence.
Ainsi, un « état de référence initial » (appelé également « point zéro radioécologique »), visant à caractériser finement le niveau de radioactivité ambiant, est réalisé avant la première mise en service d'une installation nucléaire.
Concernant la nature des prélèvements, les échantillons prélevés correspondent notamment à :

- Des **bioindicateurs** connus pour leurs aptitudes à retenir les éléments traces et renseigner sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement (ex. mousses et végétaux terrestres et aquatiques) ;
- Des **compartiments d'accumulation** dans lesquels les radionucléides sont retenus, ce qui permet notamment de révéler des apports anciens de radioactivité (ex. sols et sédiments) ;
- Des **vecteurs directs de la radioactivité** (ex. eaux, air) ;
- Des **matrices environnementales consommées** par les animaux et/ou l'Homme constituant des voies de transfert, directes ou indirectes (ex. productions agricoles, lait, poissons).

Ensuite, chaque année depuis 1992, une campagne de prélèvements et d'analyses dénommée "suivi radioécologique annuel" est réalisée pour chaque centrale nucléaire. Ce suivi annuel comprend essentiellement des analyses par spectrométrie gamma permettant de détecter les radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle (potassium 40, béryllium 7...) et d'origine artificielle (césium 134, césium 137, cobalt 58, cobalt 60, argent 110 métastable...), ainsi que des analyses de tritium et de carbone 14.

Ils sont complétés à fréquence quinquennale et décennale par des analyses portant sur une plus grande diversité de matrices et de radionucléides. A cette occasion, d'autres radionucléides émetteurs bêta (β) (strontium 90, nickel 63...) ainsi que des radionucléides émetteurs alpha (α) (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) sont recherchés, bien qu'un certain nombre de ces radionucléides ne soient pas présents dans les rejets d'effluents radioactifs des CNPE en fonctionnement normal. Issus des retombées globales des essais nucléaires aériens, ils sont encore détectables dans l'environnement mais n'ont aucun lien avec l'exploitation des sites.

Les campagnes de mesures radioécologiques sont organisées par zones géographiques : bassin versant du Rhône (Bugey, St-Alban, Cruas, Tricastin), bassin versant de la Loire (Belleville, Dampierre, St-Laurent, Chinon, Civaux), bassin versant de la Garonne (Golfech, Blayais), sites de la Manche (Gravelines, Penly, Paluel, Flamanville, Nogent-sur-Seine), sites du Nord-Est (Chooz, Cattenom, Fessenheim). Des synthèses annuelles réalisées par site et par bassin versant, fournissent une appréciation spatiale et temporelle des impacts.

L'ensemble de ces mesures d'expertise sont une composante essentielle de la « surveillance de l'environnement » des centrales nucléaires (*cf.* chapitre 10 – Surveillance de l'environnement).

Résultats des campagnes de mesures radioécologiques

Depuis 1992, plusieurs milliers d'échantillons ont été prélevés dans les écosystèmes terrestre (sols, bryophytes[1] et lichens, légumes, fruits, céréales, eau de nappe, herbe, lait) et aquatique (sédiments, algues, bryophytes et phanérogames[2], poissons, mollusques et crustacés) au voisinage des centrales nucléaires d'EDF. En comparant les résultats des analyses obtenus dans les zones potentiellement exposées aux rejets à ceux des zones non exposées et en observant leur évolution dans le temps, il est possible d'apprécier l'influence du fonctionnement de la centrale nucléaire sur les niveaux de radioactivité de son environnement au regard des autres sources potentielles, naturelles et artificielles, de radioactivité.

Dans l'ensemble des milieux (terrestre, aquatique marin et aquatique continental), la radioactivité présente à proximité des centrales est majoritairement d'origine naturelle et est stable depuis l'établissement des états de référence initiaux.

Écosystème terrestre
Les radionucléides artificiels mis en évidence dans l'environnement terrestre au voisinage des centrales nucléaires proviennent majoritairement de la rémanence des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl. Ces évènements anciens sont à l'origine de la détection du césium 137, et, uniquement pour les essais nucléaires, de strontium 90 et de radionucléides émetteurs alpha (plutonium 238, plutonium 239 et 240 et américium 241). Du césium 134 et de l'iode 131 ont également été détectés suite à l'accident de Fukushima.

Les échantillons dans lesquels des radionucléides artificiels émetteurs gamma ont été détectés du fait des rejets radioactifs à l'atmosphère des installations sont extrêmement rares depuis la fin des années 1990. Des détections de cobalt 60 et 58 sur des lichens et

1. Bryophytes: type de mousse.
2. Phanérogames : plantes qui possèdent des fleurs et des graines.

Carbone 14 et tritium

Carbone 14

Dans le milieu terrestre, une influence ponctuelle et limitée aux premiers kilomètres autour des centrales nucléaires est observée.

Pour ce qui est des écosystèmes marin et fluvial, l'influence des rejets de l'industrie nucléaire en général et des centrales nucléaires en particulier est perceptible. Le long des côtes de la Manche et dans les cours d'eau, une augmentation de l'activité en carbone 14 dans les organismes aquatiques, et notamment dans les poissons, est observée.

Tritium

Dans l'environnement, la plus grande partie du tritium, isotope de l'hydrogène, se trouve sous forme d'eau tritiée liquide ou gazeuse (tritium libre). Il peut cependant être incorporé à la matière organique lors de la photosynthèse et *via* différents processus métaboliques chez les animaux. Ce tritium appelé tritium organique (ou tritium lié) peut ensuite, comme l'eau tritiée, être transféré aux autres compartiments de l'écosystème. La mesure du tritium lié à la matière organique des végétaux et des animaux permet d'avoir une information rétrospective sur l'activité moyenne en tritium de l'eau ou de l'air sur toute la période de formation de la matière organique, alors que la mesure du tritium libre fournit une valeur ponctuelle, image de l'activité dans l'eau ou dans l'air au moment du prélèvement.

Les mesures de tritium libre et de tritium organique réalisées sur les végétaux terrestres et aquatiques et sur les poissons montrent que le tritium ne se bio accumule pas dans les organismes vivants. A l'équilibre, c'est-à-dire dans un environnement considéré comme exposé à des rejets de tritium continus et constants d'une installation, l'activité en tritium de tous les organismes vivants est au plus égale à l'activité spécifique en tritium du milieu (air ou eau) dans lequel ils vivent.

S'agissant de **l'écosystème terrestre**, les activités mesurées restent globalement proches de celles de la vapeur d'eau atmosphérique hors influence industrielle. Une influence ponctuelle et locale de quelques Bq/L peut toutefois être mise en évidence..

Dans **l'écosystème aquatique**, les rejets des centrales nucléaires d'EDF conduisent transitoirement à une augmentation de l'activité volumique en tritium qui est limitée par la réglementation. Dans les cours d'eau, en particulier en Loire et dans les rivières à faibles débits : Vienne, Meuse, Moselle, Seine, le tritium libre mesuré dans les poissons, à l'équilibre avec l'activité de l'eau du fleuve, peut atteindre plusieurs dizaines de Bq/L si les prélèvements ont lieu lors du rejet d'un réservoir d'effluents radioactifs. Sur le Rhône, l'influence des rejets de tritium des centrales nucléaires est moins perceptible le long du fleuve.

Fig. 8 ▶ Activités moyennes annuelles du tritium dans l'eau du Rhône en aval des CNPE de Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin (Bq/L) – Source : IRSN.

Dans les eaux de nappe, lorsqu'elles sont alimentées par le cours d'eau récepteur des rejets, les activités en tritium peuvent atteindre 10 à 15 Bq/L.

Les activités volumiques en tritium dans la **matière organique** (tissus) des organismes vivants terrestres et aquatiques sont du même ordre de grandeur que celles dans l'eau, en cohérence avec des rejets sous forme d'eau tritiée (HTO). Dans les sédiments, on constate sur certains fleuves (Haut-Rhône et Rhin), en amont comme en aval des installations, des activités en tritium organique (TOL) plus élevées que dans les autres compartiments en lien avec les rejets passés de peintures luminescentes utilisées par l'industrie horlogère.

des bryophytes prélevés à proximité des sites marins ont pu être observées et sont très vraisemblablement dues à une remise en suspension des radionucléides présents dans les rejets liquides via les embruns.

A l'exception d'activités localement et ponctuellement supérieures au bruit de fond attendu en tritium et en carbone 14, aucune contribution des rejets d'effluents atmosphériques des centrales nucléaires au niveau de radioactivité mesuré dans l'environnement terrestre au voisinage des sites n'est mise en évidence sur la dernière décennie.

Écosystème aquatique marin

Les études menées depuis l'état de référence initial montrent que la radioactivité d'origine artificielle dans le milieu marin à proximité des centrales nucléaires est sous l'influence de trois termes sources principaux :

Fig. 7 ▶ Évolution du niveau de radioactivité massique en ^{60}Co dans les algues marines prélevées de 1979 à 2017 dans l'environnement aquatique proche des quatre centrales nucléaires présentes sur la façade Manche.

les retombées atmosphériques globales des essais nucléaires aériens, les rejets d'effluents de l'usine Orano La Hague et ceux des centrales nucléaires EDF présentes sur la façade Manche et Mer du Nord.

La radioactivité gamma artificielle est essentiellement due au césium 137, détecté quasi systématiquement dans l'ensemble des matrices et issu des trois origines précitées, ainsi qu'au cobalt 60 et à l'argent 110m présents dans les rejets des centrales nucléaires côtières et de l'usine Orano La Hague.

Les activités mesurées en tritium libre, tritium organique et carbone 14 correspondent globalement aux valeurs attendues en Manche et en Mer du Nord du fait des rejets d'effluents de l'usine Orano La Hague, à l'exception de quelques activités plus élevées mesurées ponctuellement et à proximité des centrales nucléaires implantées en bord de mer.

Écosystème aquatique continental

Comme dans les milieux terrestres et marins, la présence de césium 137 dans le milieu aquatique continental est principalement liée à la rémanence des retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires aériens. Les rejets d'effluents liquides des CNPE sont à l'origine de la détection ponctuelle de traces d'autres radionucléides artificiels émetteurs gamma tels que les cobalts 58 et 60, le césium 134, le manganèse 54 ou l'argent 110m à l'aval des centrales nucléaires. Les activités mesurées restent néanmoins faibles. Au maximum de l'ordre de l'ordre de quelques Bq/kg, elles sont souvent inférieures au Bq/kg.

En ce qui concerne le tritium et le carbone 14, l'influence des rejets liquides des centrales nucléaires dans le milieu aquatique continental se traduit par une augmentation des activités dans les organismes aquatiques, notamment dans les poissons.

3.4.2 Évaluation prospective de l'impact des rejets d'effluents radioactifs

En complément du bilan de l'état radiologique de l'environnement, basé sur une analyse rétrospective des données de surveillance et de celles issues des suivis radioécologiques, les études d'impact réalisées par EDF à l'occasion de chaque dossier réglementaire comprennent, depuis 2008, une évaluation du risque environnemental des rejets de l'installation concernée. Ces évaluations composées de 5 étapes sont « enveloppes » puisque réalisées pour des niveaux de rejets d'effluents radioactifs aux limites demandées. Les étapes 4 et 5 sont réalisées avec l'outil ERICA (*cf.* encadré p 205) :

- Étape 1 : Définition des voies d'exposition et des organismes de référence ;
- Étape 2 : Détermination du point d'intérêt ;
- Étape 3 : Évaluation des activités des radionucléides rejetés dans l'environnement ;
- Étape 4 : Évaluation des débits de dose reçus par les organismes de référence ;
- Étape 5 : Évaluation du risque environnemental par comparaison des débits de dose calculés avec la valeur de débit total de dose considérée comme sans effet.

Pour définir les voies d'exposition et les organismes de référence (étape 1), la liste des espèces présentes dans l'environnement du site (en particulier les espèces protégées), ainsi que leurs caractéristiques morphologiques, biologiques et comportementales, sont prises en compte.

La méthodologie de détermination du point d'intérêt (étape 2) et l'évaluation par modélisation de l'activité des radionucléides en ce point (étape 3) diffèrent en fonction du milieu considéré :

- Pour l'environnement terrestre, les deux critères principaux sont la direction préférentielle des vents et l'intérêt écologique des zones considérées. Le

croisement de ces deux critères permet de sélectionner le point potentiellement le plus soumis à « l'influence » des rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère situé dans une zone d'intérêt écologique.
- Pour l'environnement aquatique continental, les conditions hydrauliques fluviales adoptées sont une dilution complète des rejets d'effluents radioactifs liquides avec le débit moyen utilisé pour l'évaluation de l'impact des rejets d'effluents chimiques liquides. Tous les espaces d'intérêt écologique présents à l'aval de cette zone sont considérés dans l'évaluation. L'activité des radionucléides dans l'eau et les sédiments du fleuve est alors calculée.
- Pour l'environnement aquatique marin, la démarche est similaire. Les conditions hydrauliques retenues sont un débit de rejet moyen cohérent avec celui utilisé dans le cadre de l'évaluation de l'impact environnemental des rejets d'effluents chimiques liquides et un facteur de dilution correspondant à une zone située dans le champ proche des rejets.

L'activité des radionucléides calculée dans chaque milieu selon les hypothèses précitées permet d'établir des débits de dose pour chaque organisme de référence, puis des indices de risque associés par comparaison avec la valeur de débit total de dose considérée comme sans effet. EDF utilise comme valeur de référence les 10 µGy/h préconisés par la communauté scientifique.

Il est à noter que l'application de cette méthode d'évaluation du risque environnemental a conduit à la démonstration d'un impact négligeable sur l'environnement des rejets d'effluents radioactifs des centrales nucléaires d'EDF pour l 'ensemble des dossiers réglementaires déposés depuis 2008.

3.5 RETOUR D'EXPÉRIENCE *VIA* LA SURVEILLANCE HYDROÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

L'écosystème fluvial, marin ou estuarien évolue sous l'action conjuguée de plusieurs facteurs, qu'ils soient d'origine naturelle (fortes crues, canicule…) ou anthropique (modification morphologique du milieu liée à la construction d'ouvrages, rejets chimiques et thermiques liés aux activités humaines, évolution des températures en lien avec le réchauffement climatique, développement d'espèces exotiques envahissantes).

Ces évolutions temporelles de l'écosystème aquatique sont étudiées grâce aux campagnes de surveillance hydroécologique et chimique mises en place au voisinage de chaque centrale nucléaire (*cf.* chapitre 10 – Surveillance de l'environnement).

Les campagnes de **surveillance hydroécologique** (suivi de paramètres physico-chimiques caractérisant la qualité de l'eau et de différents indicateurs biologiques décrivant les communautés aquatiques) ont pour objectif de suivre l'évolution naturelle du milieu

Radioprotection de l'environnement et évaluation du risque environnemental associé aux radionucléides

Longtemps, la communauté scientifique internationale a considéré que si l'homme était protégé du risque radiologique, les autres espèces vivantes l'étaient également. La notion de radioprotection de l'environnement est une notion récente apparue à la fin des années 1990. Ce changement de paradigme est à l'origine dans les années 2000 du financement par la Communauté Européenne d'une série de programmes scientifiques : FASSET (Framework for Assessment of Environmental Impact), ERICA (Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and management), PROTECT (Protection of the Environment from Ionising Radiation in a Regulatory Context)… aboutissant au développement d'une méthodologie, d'outils et bases de données associées dédiés à l'évaluation et à la gestion du risque radiologique pour les écosystèmes. L'outil ERICA est le résultat de l'effort commun de 15 institutions (dont l'IRSN) de 7 pays européens dans le cadre du 6ème PCRD (Programme cadre de recherche et développement) financé par l'Union Européenne entre 2004 et 2007. Cet outil permet d'évaluer, de caractériser et de gérer les risques environnementaux induits par la présence de radionucléides dans l'environnement terrestre et aquatique.

La méthodologie ERICA est basée sur une approche graduée en trois étapes reposant sur des hypothèses ayant un niveau de conservatisme décroissant. Elle s'appuie sur le principe de proportionnalité qui veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et le risque environnemental. Plus l'utilisateur progresse dans les niveaux d'évaluation, plus il lui est possible d'inclure dans son évaluation des paramètres spécifiques de l'environnement objet de l'étude de risque. L'évaluation est réalisée par l'intermédiaire des calculs d'indices de risques pour des couples organismes de référence/radionucléide.

Initialement mis à disposition en 2007, l'outil ERICA en est aujourd'hui à sa 7ème version et fait l'objet de développements continus. Par ailleurs, des groupes de travail nationaux et internationaux, auxquels participent les experts référents du domaine, permettent d'aborder des thèmes comme celui de l'évaluation des doses au biota. Par exemple, des programmes initiés par l'AIEA tels que les programmes EMRAS (Environmental Modelling for Radiation Safety), menés de 2003 à 2007 (EMRAS I) puis de 2009 à 2011 (EMRAS II), et les programmes MODARIA (Modelling and Data for Radiological Impact Assessments) (MODARIA I 2012-2015 et MODARIA II 2016-2019), ont eu pour objectif l'amélioration et l'inter comparaison des modèles d'évaluation des incidences des radionucléides dans l'environnement.

Depuis 2008, en application des recommandations internationales visant la radioprotection des espèces non humaines, EDF a complété ses études d'impact par une évaluation du risque environnemental attribuable aux rejets d'effluents radioactifs de ses installations avec l'outil ERICA.

Fig. 9 ▶ Les bassins hydrographiques et les centrales nucléaires d'EDF.

récepteur et de déceler une évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement de la centrale.

Les campagnes de **surveillance chimique** ont quant à elles pour objectif de suivre la concentration dans l'eau (milieu aquatique) des substances rejetées par la centrale.

Le programme de surveillance de l'environnement est adapté aux caractéristiques particulières des installations, du site et de l'environnement. Par exemple, les compartiments biologiques pertinents à suivre pour les centrales situées en bord de cours d'eau ne sont pas les mêmes selon que l'on se situe sur la Loire, la Meuse ou le Grand Canal d'Alsace. De plus, le programme de surveillance doit permettre de comparer des zones hors influence et sous influence de l'installation. Le nombre et la localisation des stations suivies sont donc adaptés aux caractéristiques du site et tient compte, au-delà des modalités de dilution des rejets liquides, de la présence d'affluents dans l'environnement du site et de la présence de seuils ou d'ouvrages.

Le Rhône

▪ *Évolution de la qualité de l'eau du Rhône* :
L'analyse des paramètres physico-chimiques relevés sur les 11 stations de suivi du bassin rhodanien montre une très bonne oxygénation du Rhône sur les trois secteurs étudiés (Haut-Rhône, partie amont et médiane du Bas-Rhône) et des valeurs moyennes (voire faibles) en composés azotés et phosphorés. Sur la période 2000–2017, on observe une amélioration de la qualité de l'eau pour les éléments azotés et phosphorés sur tout le linéaire du Rhône, en lien avec une évolution des pratiques agricoles et la réduction des rejets industriels. La surveillance chimique (suivi des substances rejetées par les centrales) montre de nombreuses valeurs inférieures aux limites de quantification et met en évidence, tous secteurs confondus, une nette diminution de certains éléments métalliques (bore, cuivre, zinc) sur la période (*cf.* encart).

▪ *Évolution des peuplements aquatiques :*
La surveillance des **macroinvertébrés benthiques** montre une évolution de la structure du peuplement selon l'axe longitudinal : d'amont en aval, la richesse du peuplement diminue et les espèces exotiques représentent une part de plus en plus importante du peuplement (les espèces exotiques peuvent représenter 50 à 90 % des espèces présentes dans le tiers médian du Bas-Rhône). Sur la période 2000–2017, les crustacés invasifs se développent sur tous les secteurs du Rhône, avec une arrivée plus précoce sur le Bas-Rhône, secteur particulièrement favorable aux invasions biologiques (moindre qualité d'habitats, température d'eau plus élevée, charge ionique plus importante, axe d'invasion principal en provenance de la Saône). Les espèces d'eau froide et courante sont cantonnées au secteur du Haut-Rhône et ont

tendance à régresser sur la période 2000–2017, en lien avec les évolutions hydrométéorologiques. Les secteurs du Bas-Rhône regroupent des espèces d'eau plus chaude et moins courante. Les différences de composition des peuplements d'invertébrés benthiques entre l'amont et l'aval de l'axe rhodanien s'expliquent principalement par des différences morphodynamiques (qualité d'habitat, débits).

Barbeau méridional © B. Adam/Biotope

Sur le Haut-Rhône, les **peuplements piscicoles** sont dominés par des espèces rhéophiles (espèces d'eaux froides et courantes, comme le spirlin ou le chevaine), et la diversité des espèces rencontrées est stable sur la période 2000–2017. Sur le Bas-Rhône, les peuplements piscicoles sont largement dominés par des cyprinidés (représentant plus de 95 % des effectifs totaux), notamment le gardon, l'ablette et le chevaine, espèces d'eaux plus chaudes et peu courantes.

Les évolutions observées du fleuve et de ses peuplements biologiques résultent en premier lieu des évolutions hydrométéorologiques, de différences de qualité d'habitat entre stations et de phénomènes d'invasions biologiques, et ne sont pas en lien avec le fonctionnement des centrales nucléaires présentes sur le Rhône.

La Seine

▪ *Évolution de la qualité de l'eau de la Seine :*
Les campagnes de surveillance réalisées sur la période 2008–2017 au voisinage de la centrale de Nogent-sur-Seine ont montré que la Seine présente une bonne qualité chimique et physico-chimique, avec notamment une très bonne oxygénation des eaux et des concentrations faibles en éléments minéraux et MES (matières en suspension). La Seine ne présente pas dans ce secteur de perturbation majeure vis-à-vis des matières azotées ou phosphorées, les concentrations mesurées étant faibles. Les concentrations en micropolluants (métaux, bore, agents de surface, morpholine, éthanolamine, polyacrylates et hydrocarbures) sont faibles, majoritairement proches des limites de quantification, et ne font pas apparaître

Centrale de Nogent-sur-Seine avec la Seine au premier plan
© EDF – Guillaume Murat

de différences de concentration entre l'amont et l'aval de la centrale de Nogent-sur-Seine.

Les rejets de cuivre et de zinc, qui représentaient jusqu'en 1999 plusieurs dizaines de kilogrammes par jour, ont été supprimés en quasi-totalité à la suite du remplacement des tubes de condenseur en laiton par des tubes en acier inoxydable (*cf.* figure 11).

La figure 11 illustre la diminution des rejets et des teneurs de cuivre à l'aval de la centrale de Nogent-sur-Seine à la suite de la rénovation des condenseurs. Après 2000, les valeurs de cuivre « aval » fluctuent à des niveaux plus faibles. La présence de cuivre dans le rejet après cette date, s'explique par le relâchement erratique du cuivre piégé dans le tartre des packings des aéroréfrigérants. Ceux-ci ont été entièrement remplacés après 2006 (*cf.* encart).

▪ *Évolution des peuplements aquatiques :*
Les campagnes de surveillance réalisées de 2008 à 2017 au voisinage de la centrale de Nogent-sur-Seine concernent différents compartiments biologiques aquatiques (algues, végétaux, invertébrés benthiques, poissons) et ont montré que la faune et la flore de la Seine sont riches et diversifiées. La comparaison des résultats entre les stations situées à l'amont et à l'aval de la centrale ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement de la centrale sur les communautés aquatiques.

Les observations menées sur les communautés d'algues (phytoplancton et diatomées benthiques) et de macrophytes (végétaux aquatiques) montrent des peuplements bien structurés et diversifiés, et traduisent une bonne qualité d'eau. Aucune évolution particulière de la qualité de ces communautés n'est observée sur la période 2008–2017. Le phytoplancton est plus abondant à l'amont qu'à l'aval de la centrale, en lien avec un caractère plus courant du fleuve dans le secteur aval.

Importance des eaux souterraines dans le régime hydrologique des rivières

Dans le lit de la rivière, l'eau qui s'écoule est en continuité avec celle de la nappe souterraine. Le débit de la rivière varie donc en fonction des échanges avec la nappe. Ces échanges se font dans les deux sens : apport d'eau de nappe lorsque le niveau dans la rivière est bas, recharge de la nappe après une crue de la rivière quand le niveau de la rivière est haut (*cf*. figure 10).

Les volumes d'eau souterraine dépendent des conditions climatiques et plus particulièrement de la pluviométrie. Les eaux souterraines réagissent à ces conditions moins rapidement que les eaux superficielles.

Fig. 10 ▶ Échanges entre la rivière et la nappe aquifère.

Exemple de la nappe de Beauce (Seine et Loire)

Le complexe aquifère des calcaires de **Beauce**, communément appelé « Nappe de Beauce » constitue une unité hydrographique qui s'étend sur environ 9500 km² entre la Seine et la Loire. Il se répartit sur deux grands bassins, Seine Normandie et Loire Bretagne, et deux régions, Centre et Île-deFrance.

Le réservoir aquifère est composé principalement de calcaires empilés dans une cuvette dont le substratum est constitué d'argiles imperméables. Le volume ainsi stocké (environ 20 milliards de m³) est principalement libre. Dans certains secteurs, comme la forêt d'Orléans, la nappe est captive, surmontée d'une couche d'argile.

Les fluctuations du niveau de la nappe traduisent les variations d'entrée et de sortie d'eau. En période d'étiage, les résurgences issues de la nappe de Beauce représentent jusqu'à 25 % du débit de la Loire à Blois. De trop faibles précipitations hivernales et estivales provoquent respectivement une moindre recharge de la nappe et une augmentation des prélèvements d'eau. Cette situation, observée de 1990 à 1996, a conduit à une forte baisse du niveau de la nappe, à l'assèchement de plusieurs cours d'eau du bassin et à la baisse de productivité de certains forages.

À l'inverse, une forte pluviométrie hivernale et estivale conduit respectivement à une meilleure recharge de la nappe et à une baisse des prélèvements. Ce fut le cas en 2000 et 2001 où la hausse du niveau de la nappe a conduit à des inondations sur quelques tronçons de cours d'eau et vallées habituellement sèches.

Exemple de nappes le long du Rhône

Entre le Lac Léman et la mer Méditerranée, le Rhône est morcelé en une succession de biefs connectés avec les nappes alluviales. Le débit du fleuve dépend des débits des affluents mais aussi des apports de ces aquifères qui jouent un rôle important en période d'étiage. C'est notamment le cas de la plaine alluviales de Bièvre-Valloire située dans la région du Bas-Dauphiné à mi-distance entre Lyon et Valence. Dans ce bassin d'environ 650 km², les eaux superficielles s'infiltrent et alimentent un aquifère formé de dépôts fluvio-glaciaires dont l'épaisseur peut atteindre 40 m. Il affleure en émergence et son exutoire est constitué par la nappe alluviale du Rhône sur la commune de St-Rambert-d'Albon, au sud de Péage-de-Roussillon. Cette nappe représente une des contributions les plus importantes au débit du Rhône (2,5 à 3,5 m³/s) sur l'ensemble du bassin.

Fig. 11 ▶ Évolution des concentrations de cuivre total en amont, au rejet et en aval de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine.

Les peuplements de macroinvertébrés benthiques sont riches et reflètent une très bonne qualité d'eau. Leur évolution sur la période 2008–2017 montre une amélioration de la qualité biologique globale des peuplements, aussi bien à l'amont qu'à l'aval de la centrale. Celle-ci pourrait être liée à une amélioration de la qualité de l'habitat aquatique, qui permettrait à un plus grand nombre d'espèces de coloniser le milieu.

Le peuplement piscicole dans le secteur de Nogent-sur-Seine est typique d'un cours d'eau courant de plaine, avec des régimes alimentaires et des modes de reproduction variés. Les résultats des pêches d'inventaire sont stables sur la décennie 2008–2017 et sont similaires (en richesse, densité) aux stations localisées à l'amont et à l'aval de la centrale de Nogent-sur-Seine, correspondant à une bonne qualité biologique pour les poissons.

La Loire

▪ *Évolution de la qualité de l'eau de la Loire :*
Sur le plan physico-chimique, les eaux de la Loire au voisinage des centrales nucléaires du Val de Loire (Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon) sont conformes aux caractéristiques susceptibles d'être attendues pour cette typologie de milieu (grand cours d'eau de plaine en contexte calcaire) : elles sont en effet moyennement minéralisées, au pH neutre à moyennement alcalin. Leur oxygénation demeure toujours satisfaisante et aucune charge polluante anormale n'est perçue (bonne qualité pour les composés azotés ou phosphorés), qu'elle soit de nature organique ou minérale. Le suivi physicochimique révèle une amélioration globale de la qualité des eaux de la Loire depuis les années 2000, avec une diminution de la quantité de la charge polluante (diminution de la DBO5, de la DCO, des teneurs en matières azotées et phosphorées).

Sur le plan plus strictement chimique, les paramètres pris en compte sont dotés de teneurs généralement très faibles voire très souvent inférieures aux limites de quantification, à l'exception de quelques données notamment pour le cuivre, le zinc (cf. *encart)* et l'aluminium.

▪ *Évolution des peuplements aquatiques :*
La qualité biologique du secteur d'étude apparaît moyenne selon les diatomées benthiques ; les espèces présentes dans la Loire mettent en évidence un état d'eutrophisation de niveau modéré. La biomasse phytoplanctonique, très variable d'une année à l'autre, présente des teneurs caractéristiques d'un grand cours d'eau tel que la Loire, avec une tendance évolutive globale à la baisse sur la période considérée en lien avec la diminution des apports nutritifs nécessaire au développement de la végétation aquatique. Les peu-

Centrale nucléaire de Dampierre en Burly : la Loire et les aéroréfrigérants en arrière-plan
© EDF – Didier Marc

plements macrophytiques, quant à eux, mettent en évidence un niveau trophique élevé de la Loire.

Les macroinvertébrés benthiques indiquent une bonne qualité biologique du milieu, avec une variété taxonomique élevée et la présence de taxons particulièrement polluosensibles (et notamment la présence d'espèces rares ou protégées). Néanmoins, la présence de taxons exotiques à fort potentiel colonisateur est également à noter.

La qualité des peuplements piscicoles de la Loire au voisinage des centrales est globalement bonne, avec des peuplements riches et variés (anguille, silure, sandre, perche, brochet, barbeau, saumon, alose...). Les passes à poissons permettent aux espèces de franchir les seuils (petits barrages) construits au droit des centrales de bord de Loire.

Estuaires de la Gironde et de la Garonne

- *Évolution de la qualité de l'eau dans l'estuaire de la Gironde :*

Les évolutions des paramètres physico-chimiques depuis 1978 s'inscrivent dans l'intervalle des fluctuations observées lors des études de l'état de référence (précédant la mise en service de la centrale). Les cycles saisonniers du débit de l'estuaire de la Gironde influencent fortement les évolutions des variables physico-chimiques. En effet, au printemps, les concentrations en matières azotées et phosphorées ainsi que les concentrations en silicates diminuent, car ces éléments sont consommés par le phytoplancton en pleine expansion. Ces développements du phytoplancton au printemps et à l'automne s'accompagnent d'une production d'oxygène dissous. Malgré la baisse de l'intensité lumineuse et des températures en automne, un développement phytoplanctonique est toujours présent grâce aux apports fluviaux en éléments nutritifs. D'après les suivis réalisés au voisinage de la centrale du Blayais, le fonctionnement de la centrale ne provoque pas de discontinuité dans l'évolution d'amont en aval des paramètres physico-chimiques au sein de l'estuaire.

- *Évolution de la faune et de la flore* :

L'estuaire de la Gironde est une zone particulièrement riche du point de vue biologique, en lien avec la diversité des habitats de l'estuaire et la présence de gradients induits par la salinité (qui influencent la répartition des espèces).

Le peuplement zooplanctonique est dominé par le copépode *Eurytemora affinis* qui fait l'objet d'un suivi particulier de par son importance dans la chaîne trophique. La macrofaune benthique présente une diversité importante dans l'estuaire. La crevette blanche, de par son fort intérêt halieutique, fait l'objet d'un suivi régulier de sa population. La faune piscicole de l'estuaire de la Gironde est particulièrement riche et les résultats du suivi piscicole montrent des abondances globales annuelles variant dans l'intervalle des fluctuations pluriannuelles notées avant la mise en service de la centrale.

D'après la surveillance menée depuis 1979, le fonctionnement de la centrale nucléaire du Blayais ne modifie pas la distribution spatiale ni l'évolution temporelle des différents peuplements aquatiques (zooplancton, macrofaune benthique, faune piscicole) présents dans l'estuaire de la Gironde.

Les campagnes de suivi réalisées dans le cadre de la surveillance de l'environnement du site du Blayais depuis 1979 ont par ailleurs révélé :

- l'influence de la turbidité liée à la présence du bouchon vaseux qui peut engendrer un déficit de l'oxygène dissous pendant les périodes estivales ;
- la transformation des fonds de l'estuaire (bathymétrie) sous l'effet des courants qui déplacent les bancs de sables et modifient les écoulements. Ces modifications de la morphologie du lit de la Gironde ont une incidence sur la bonne dilution des rejets de la centrale et nécessitent d'opérer des dragages réguliers afin d'éviter l'ensablement des prises d'eau et des points de rejet.

Les zones humides en bordure d'estuaire sont des sites de **nidification** ou d'**hivernage** de première importance.

Vue aérienne de la centrale nucléaire du Blayais
et de l'estuaire de la Gironde
© EDF – Didier Marc

L'état de référence et les études de surveillance qui ont suivi la mise en service de la centrale nucléaire du Blayais ne révèlent pas d'évolutions notables de l'environnement aquatique imputables au fonctionnement de la centrale. D'une manière générale, les variations pluriannuelles constatées sont sous la dépendance des fluctuations naturelles du milieu estuarien.

- *Surveillance de la Garonne à la centrale de Golfech*

La centrale est située en bordure de Garonne entre le bras naturel du fleuve et le canal de fuite de l'usine hydroélectrique de Golfech, à 15 km en aval de la confluence avec le Tarn. Le prélèvement d'eau se fait dans le canal de fuite de l'usine et le rejet est réalisé au point de jonction de ce canal et de la Garonne. Le débit annuel moyen (module) en ce point est de

400 m³/s environ et peut atteindre ponctuellement plus de 4000 m³/s (débit journalier). En étiage, le débit journalier descend jusqu'à 60 m³/s. Le débit évaporé par la centrale est compensé par le barrage de Lunax situé en amont (10 Mm³); lorsque, du 1er juillet au 31 octobre, le débit de la Garonne mesuré à Lamagistère descend au-dessous de 85 m³/s.

La Garonne est un fleuve de plaine dont la température dépend des conditions météorologiques. Les rejets thermiques de la centrale de Golfech ont peu d'influence sur la température de l'eau compte tenu de l'existence d'aéroréfrigérants. En été, l'échauffement dû aux rejets thermiques est pratiquement nul du fait de la grande efficacité des aéroréfrigérants (*cf.* chapitre 8 – Nature et contrôle des rejets).
Le fleuve Garonne est sujet au phénomène d'eutrophisation pendant les périodes chaudes, notamment au voisinage de la centrale de Golfech. Le peuplement de poissons est varié et comprend plus de 20 espèces dont des poissons migrateurs tels que le saumon, la truite de mer, la lamproie, l'anguille et l'alose pour laquelle une frayère existe à l'aval du site (Lamagistère).

La Meuse

▪ *Évolution de la qualité de l'eau dans la Meuse :*
Les résultats de la surveillance physico-chimique sur la période 2008–2017 au voisinage de la centrale de Chooz traduisent une bonne qualité d'eau. La Meuse est un cours d'eau moyennement minéralisé, très bien oxygéné et avec un pH légèrement basique, favorable à la vie aquatique. Aucune évolution notable des paramètres physico-chimiques n'a été observée sur cette période et les paramètres analysés ne montrent globalement pas de différences entre les stations qui puissent être imputables au fonctionnement de la centrale.

▪ *Évolution des peuplements aquatiques :*
Sur la période 2008–2017, les peuplements d'algues (phytoplancton et diatomées benthiques) traduisent une bonne qualité du milieu aquatique, avec pour le phytoplancton une biomasse moyenne et une richesse taxonomique assez élevée (entre 30 et 40 taxons par campagne) et pour les diatomées une richesse élevée (moyenne de 50 taxons) et un peuplement équilibré. Au sein des peuplements de diatomées et de macrophytes, la présence de certains taxons indicateurs témoigne d'une eutrophisation du milieu. Les paramètres biologiques ne montrent aucune différence entre l'amont et l'aval de la centrale nucléaire pour le phytoplancton et les diatomées.

La qualité du peuplement zooplanctonique est globalement bonne, typique d'un milieu comme la Meuse, aussi bien à l'amont qu'à l'aval de la centrale. Les invertébrés benthiques présentent une qualité moyenne, due à une richesse limitée, à la présence d'espèces polluo-tolérantes et au développement d'espèces exotiques envahissantes ou susceptibles de provoquer des déséquilibres écologiques. Enfin, l'étude du peuplement piscicole de la Meuse montre un cortège d'espèces étoffé et équilibré.

Le Rhin

▪ *Évolution de la qualité de l'eau et des peuplements aquatiques dans le Grand Canal d'Alsace :*
Sur la période 2008–2017, les résultats des suivis physico-chimiques mis en œuvre dans le cadre de la surveillance de l'environnement de la centrale de Fessenheim reflètent une bonne voire très bonne qualité d'eau. En effet, les eaux du Grand Canal d'Alsace sont faiblement minéralisées et relativement pauvres en éléments nutritifs tels que le phosphate ou l'ammonium. Il en découle une biomasse phytoplanctonique assez modeste mais plutôt bien diversifiée. La bioindication issue des peuplements de diatomées benthiques témoigne également d'une bonne qualité du milieu. L'étude des invertébrés benthiques et de la faune piscicole montre des peuplements beaucoup plus perturbés, d'une part, par le manque d'habitats favorables à leur développement et, d'autre part, par la présence d'espèces exotiques envahissantes (*Dikerogammarus villosus* pour les invertébrés et gobies pour les poissons) dont la prolifération dans le milieu atteint de telles proportions qu'elles présentent des effets négatifs sur les espèces autochtones (compétition et/ou prédation).

Les résultats de la surveillance hydroécologique et chimique réalisée en amont et en aval de la centrale de Fessenheim montrent l'absence d'influence du fonctionnement de la centrale sur le Grand Canal d'Alsace, et *a fortiori* sur le Rhin en aval.

La Moselle

▪ *Évolution de la qualité de l'eau et des peuplements aquatiques de la Moselle :*
Au cours de la période 2004–2015, les variables physico-chimiques mesurées *in situ* à l'amont et à l'aval de la centrale de Cattenom sur la Moselle ne font pas apparaître de différences notables entre stations ou d'évolution dans le temps.

L'étude des macroinvertébrés benthiques par la pose de substrats artificiels permet d'observer une différence significative dans la richesse taxonomique et la note indicielle associée entre stations, avec des résultats traduisant une meilleure qualité pour les macroinvertébrés à la station aval. Ces résultats ne montrent cependant pas une perturbation de la qualité de l'eau mais probablement une plus grande difficulté de colonisation du substrat en amont à cause des mouvements d'eau dus à la navigation.

Les peuplements piscicoles échantillonnés de 2005 à 2014 sont sensiblement identiques entre les stations amont et aval.

L'étude des résultats de surveillance physico-chimique et biologique sur la chronique 2005–2014 ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement de la centrale nucléaire de Cattenom sur l'écosystème de la Moselle.

Réduction des émissions de cuivre et zinc

EDF contribue aux actions de réduction des émissions de cuivre et de zinc. Ces actions ont débuté dès 1989 et se poursuivent. La réduction s'est effectuée *via* une substitution à la source par le remplacement des tubes en laiton de condenseurs par un autre matériau. En effet, les rejets sont le résultat d'un phénomène d'abrasion régulière du laiton provoquée par le passage de l'eau du circuit de refroidissement.
La substitution de ces tubes et donc la réduction des rejets est cadencée depuis 1989 avec en moyenne une tranche laiton substituée chaque année pour un coût de 15 à 20 millions d'euro/tranche. Le graphique ci-après donne la courbe de substitution et illustre la réduction d'apports de cuivre et zinc.
En 2020, seuls les CNPE de Dampierre et de Belleville, situés sur le bassin Loire Bretagne, comportent encore du Laiton, avec un taux de substitution ayant déjà atteint plus de 70 % sur ce bassin. Sur les 5 autres bassins hydrographiques de France métropolitaine, tous les CNPE ont aujourd'hui substitué leurs tubes de condenseur.

Exemple du programme de substitution de la centrale nucléaire de Cattenom :

	2010	2011	2014	2015	2016	2017	2018	2019
NOMBRE DE POUMONS EN TITANE	1/24	2/24	4/24	7/24	15/24	18/24	18/24	24/24

À noter 2015 – 2016 : Réduction de 29 à 62 %

La Manche et la mer du Nord

- *Surveillance hydroécologique et chimique des centrales en bord de mer :*

La surveillance du milieu marin est assurée pour le compte d'EDF par l'IFREMER. Des campagnes de mesure ont débuté avant la construction des centrales afin d'établir un point de référence (« état zéro »). Les études de surveillance réalisées depuis, dans les différents domaines marins (pélagique[1], benthique[2] et halieutique[3]), ont montré que les paramètres et espèces étudiés sont influencés par les variations météorologiques et climatiques. Dans ces fluctuations, l'impact des rejets thermiques et chimiques des centrales de bord de mer, s'il existe, n'est pas perceptible.

Vue aérienne de la centrale nucléaire de Paluel, en bordure de Manche
© EDF – Didier Marc

1. Pélagique : relatif à la haute mer.
2. Benthique : qui vit sur le fond des mers.
3. Halieutique : relatif à la pêche.

Effet de la canicule de l'été 2003 sur l'écosystème aquatique

Au cours de l'été 2003, l'installation d'un anticyclone stable sur l'Europe occidentale a engendré une période de sécheresse et de canicule dont l'intensité et la durée ont été exceptionnelles. (*cf.* chapitre 7 – Prélèvements d'eau et source froide).

La température des cours d'eau s'est élevée de plusieurs degrés par rapport à la normale, le maximum étant atteint dans la première quinzaine d'août où la température maximale de 32,5 °C a été relevée en Loire. En raison des mesures prises par EDF pour réduire la production d'électricité de certaines centrales, l'autorisation temporaire accordée par le gouvernement de dépasser les limites thermiques a été peu utilisée et la contribution des centrales à l'échauffement de l'eau est restée modérée par rapport à l'échauffement d'origine naturelle.

Pour mieux caractériser les effets sur l'écosystème aquatique de cette canicule, le programme de surveillance hydroécologique de routine des centrales de rivière a été renforcé par le recueil de données sur le plancton, les organismes vivant sur le fond des cours d'eau, les poissons et les microbes pathogènes.

Le bilan des mesures et des observations réalisées au cours de l'été a fait apparaître une stabilité dans la composition des communautés d'organismes aquatiques ou des modifications mineures. Les poissons « sédentaires » des grandes rivières sur lesquelles sont implantées les centrales nucléaires n'ont pas subi de mortalité significative, la reproduction a été bonne et les alevins ont montré une bonne croissance à la fin de l'été. L'écosystème aquatique a bien supporté la canicule probablement en raison du niveau d'oxygène dissous qui est resté satisfaisant dans les grands cours d'eau (> 6 mg/L). Les grands poissons migrateurs ont en revanche été affectés par cet épisode climatique : une partie du stock de saumons a stoppé sa migration vers les frayères et les géniteurs sont morts sans s'être reproduits. L'alose a aussi été touchée par la canicule. Dans tous les cas, les échauffements modérés induits par le fonctionnement de centrales ne sont pas la cause des effets observés. En ce qui concerne les micro-organismes, les indicateurs de la qualité microbiologique des eaux n'ont pas montré de dégradation particulière. Toutefois, certaines bactéries de l'environnement, (cyanobactéries en Garonne) sont favorisées par une augmentation de température des masses d'eaux et ont présenté un développement maximum pendant le pic thermique de la canicule.

4. Évaluation des impacts sur la santé humaine

La présence de radionucléides ou de substances chimiques dans l'environnement liée au fonctionnement d'une centrale nucléaire est faible mais néanmoins perceptible. L'impact sur le public est évalué à partir des rejets d'effluents radioactifs et chimiques des installations.

Ces évaluations sont réalisées, à l'origine, dans l'étude d'impact environnementale préalable à la mise en service sur la base des rejets prévisionnels. Lorsque la centrale est en exploitation, ces calculs sont reconduits annuellement à partir des rejets réels d'effluents radioactifs. En cas de modification des paramètres de fonctionnement de la centrale pouvant entraîner une augmentation des rejets d'effluents radioactifs ou chimiques, le calcul de l'impact des nouveaux rejets est effectué dans le cadre de la procédure administrative de demande d'autorisation de rejet.

Les calculs d'impact sont effectués en suivant des recommandations définies par les organismes compétents, dont certains examinent aussi les dossiers de demande d'autorisation de rejet : Direction générale de la santé (DGS), Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Ces calculs prennent notamment en compte :
- la nature des rejets ;
- le volume des rejets en masse ou activité, à partir des limites demandées (aspect dit « enveloppe » donnant l'impact maximal) ;
- le cheminement des substances rejetées depuis le point de rejet jusqu'aux personnes du public les plus exposées (avec prise en compte des différentes voies d'exposition) ;
- la quantité de substance radioactive ou chimique incorporée par inhalation ou ingestion d'aliments ;
- la connaissance de la radiotoxicité et de la toxicité de la substance incorporée (relation dose-effet) ;
- le niveau d'exposition externe du public pour ce qui concerne les substances radioactives.

4.1 ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE

4.1.1 Évaluation de l'impact dosimétrique des rejets d'effluents radioactifs

Pour évaluer l'impact dosimétrique des rejets d'effluents radioactifs sur le public, la réglementation demande de calculer la dose efficace annuelle aux personnes susceptibles d'être les plus exposées aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques du fait de leur situation géographique (sous les vents dominants des rejets atmosphériques...) et de leurs habitudes de vie.

Les résultats des contrôles et mesures de radioactivité dans l'environnement des sites nucléaires montrent des niveaux très faibles de radioactivité, dont une partie trouve son origine dans des sources autres que le site (tellurique, anthropique...). De ce fait, l'impact en termes de dose attribuable aux radionucléides rejetés par l'installation sur le public ne peut être évalué avec précision à partir de ces mesures environnementales. Il est donc calculé à partir des activités rejetées par voies liquide et atmosphérique (*cf.* annexe 8.4). La modélisation, effectuée à l'aide d'un code de calcul, permet d'évaluer une dose efficace à l'homme en tenant compte des mécanismes de transfert dans l'environnement jusqu'à l'homme (*via* l'air, l'eau, les sols, la chaîne alimentaire...).

Calculée sur la base des **limites réglementaires annuelles de rejet**, la dose efficace individuelle (dite *a priori*) peut atteindre environ 20 µSv/an selon les cas. À partir des **rejets réels** effectués dans l'année, la dose (dite *a posteriori*) est généralement inférieure, voire très inférieure dans la plupart des cas, à 1 µSv/an. Ces doses peuvent être comparées à la limite fixée par la réglementation de 1000 µSv/an, ainsi qu'aux fluctuations de la radioactivité naturelle en France (plusieurs centaines de µSv, voire quasiment 1000 µSv selon les régions).

À titre d'exemple, les doses reçues par le public du fait des rejets réels de 2018 des centrales de Gravelines et Belleville sont données dans la figure 12.

La dose due aux rejets d'effluents radioactifs est essentiellement liée à l'ingestion de végétaux et de produits animaux entrant dans la chaîne alimentaire et, dans le cas de sites fluviaux, d'eau potable.

Dans le « Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 – Rapport de mission 2018 – IRSN », l'IRSN réalise des évaluations dosimétriques basées sur des résultats de mesures radiologiques dans l'environnement. Ces mesures ont été acquises sur la période 2015–2017, soit par les exploitants nucléaires dans le cadre de la surveillance réglementaire (résultats renseignés dans la base de données du RNM) ou lors d'études supplémentaires dont ils sont commanditaires, soit par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance radiologique de l'environnement. La synthèse montre que les évaluations réalisées par EDF sont en adéquation avec les évaluations de l'IRSN : « *Les doses susceptibles d'être reçues par la population résidant autour des installations nucléaires françaises et estimées à partir des résultats de mesures, sont très faibles. Ainsi, une personne qui résiderait autour d'un* CNPE *et qui cumulerait toutes les voies d'exposition (consommerait régulièrement des denrées produites localement, 2 L/j d'eau du fleuve comme boisson et quelques kg/an de poissons pêchés en aval des rejets du site) recevrait une dose inférieure à 1* µSv*/an, c'est-à-dire moins du millième de la limite d'exposition du public fixée à 1 mSv/an (1000* µSv*/an).* »

4.1.2 Exposition directe

Le débit de dose, exprimé en nSv/h, auquel le public est exposé au voisinage des installations, provient majoritairement des radionucléides naturels présents dans l'environnement mais également des bâtiments où se tiennent des activités nucléaires, des aires d'entreposage de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et dans une moindre mesure des rejets d'effluents radioactifs réalisés. Compte tenu des épaisseurs des murs et des différents phénomènes d'atténuation (par la distance, les obstacles...), le rayonnement direct émis par les installations en limite de site (clôture) est du même ordre de grandeur que les débits de dose naturels départementaux. À titre d'exemple, les balises clôture de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine ont enregistré des débits de dose variant entre 70 et 92 nSv/h en 2018, pour un bruit de fond ambiant départemental de 83 nSv/h (moyenne 2018).

Fig. 12 ▶ Dose (ou exposition) due aux rejets radioactifs à la centrale de Gravelines (6 réacteurs de 900 MWe) et à la centrale de Belleville (2 réacteurs de 1300 MWe).

4.2 ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES DES REJETS CHIMIQUES

La méthodologie d'évaluation des risques sanitaires dus aux rejets de substances chimiques se réfère au guide méthodologique de l'INERIS « Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires » (août 2013).

La démarche s'articule en deux étapes :
- d'une part, une interprétation de l'état des milieux (IEM), basée sur les données des surveillances du site et de mesures spécifiques ;
- d'autre part, une évaluation prospective des risques sanitaires (EPRS), basée sur la modélisation des rejets attribuables au CNPE.

4.2.1 Interprétation de l'état des milieux

La démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) a pour objet de vérifier la compatibilité entre l'environnement et les usages qui en sont faits. Il s'agit d'une évaluation de la situation actuelle de l'environnement, impacté par un ensemble d'activités (quel que soient leurs origines), sur la base d'observations des milieux et de leurs usages.

En pratique, cette démarche consiste à considérer les données de surveillance chimique des eaux de surface ainsi que des mesures spécifiques en amont et en aval de l'installation et de les mettre en regard des valeurs repères associées (valeurs réglementaires ou valeurs guides à visée sanitaire) aux usages constatés autour du CNPE. Pour chaque substance étudiée, la démarche d'IEM est appliquée en deux temps :
- il s'agit tout d'abord de comparer les valeurs mesurées en amont et en aval du rejet pour évaluer l'influence du CNPE sur le milieu récepteur ;
- puis de positionner ces valeurs mesurées par rapport aux valeurs repères pour évaluer la compatibilité du milieu environnemental avec les usages qui en sont faits.

4.2.2 Évaluation prospective des risques sanitaires

La méthodologie retenue pour l'évaluation des risques sanitaires des rejets de substances chimiques est celle de l'évaluation prospective des risques sanitaires (EPRS).
L'EPRS développée par la suite est structurée en quatre étapes (*cf*. annexe 8.6) :
- **étape 1 : bilan des substances rejetées** – Cette étape consiste en l'inventaire de l'ensemble des substances rejetées dans l'environnement par le CNPE ;
- **étape 2 : identification des dangers, évaluation des relations dose-réponse et identification des traceurs de risque sanitaire** – Cette étape consiste à présenter les effets des substances, les valeurs toxicologiques de référence (VTR) et à sélectionner les traceurs de risque, c'est-à-dire les substances les plus représentatives et susceptibles de générer des effets sanitaires chez les personnes qui y sont exposées ;
- **étape 3 : évaluation de l'exposition des populations** – Cette étape consiste à décrire les populations exposées, à déterminer leurs caractéristiques d'exposition (voie de transfert vers l'homme, durée...), ainsi qu'à quantifier les doses d'exposition ;
- **étape 4 : caractérisation des risques** – Cette étape consiste, à partir des résultats des deux étapes précédentes, à évaluer le risque engendré par les rejets attribuables à l'installation, auxquels les populations riveraines peuvent être exposées.

Notons que cette méthode s'applique aussi bien aux rejets liquides qu'atmosphériques. Dans ce paragraphe, ne sont considérées que les substances chimiques susceptibles de présenter un effet sur la santé humaine, compte tenu des quantités rejetées, de la toxicité et du comportement de l'environnement des substances. La liste ci-après et celle du paragraphe 2 traitant de l'impact environnemental des rejets chimiques peuvent donc être différentes. On remarquera par ailleurs que – contrairement aux rejets radioactifs, où l'impact peut être évalué à partir d'un indicateur intégrant plusieurs radionucléides, à savoir la **dose efficace** – l'impact des rejets chimiques fait l'objet d'un calcul du risque sanitaire pour chaque substance (indice de risque).

Rejet liquide d'acide borique

L'acide borique est facilement absorbé par l'organisme lorsqu'il est ingéré par le biais des aliments et de l'eau de boisson. Il peut être toxique en effet aigu et peut provoquer des irritations de l'œil et des muqueuses. Il n'est pas considéré comme cancérigène, ni mutagène. Aucun effet à long terme, ni aucun effet sur la fertilité humaine d'une exposition à l'acide borique n'ont été observés. Les expériences sur animaux ont toutefois révélé des effets sur la reproduction et le développement. Dans la classification des produits CMR[1] de l'Union européenne, il est classé toxique pour reproduction (catégorie 1B). Les faibles concentrations de ce produit dans le milieu aquatique n'ont pas d'impact sanitaire sur le public.

Rejet liquide d'hydrazine

Chez l'homme, l'hydrazine provoque une forte irritation de la peau, des yeux et de l'appareil respiratoire (seuil olfactif : 3,7 ppm soit 5 mg/m^3 d'air). Cette substance est classée par l'IARC (*International Agency for Research on Cancer*) et par l'UE (Union européenne) dans la catégorie 2 des substances CMR pouvant être cancérigène et mutagène pour l'homme. Du fait des faibles rejets et de la décomposition rapide de l'hydrazine sous l'effet notamment du rayonnement ultra-violet du soleil (UV), celle-ci n'a pas d'impact sanitaire sur le public.

1. CMR : cancérigène, mutagène, reprotoxique.

Rejet liquide de morpholine

Concentrée, la morpholine est un produit irritant pour la peau, les yeux, les muqueuses nasales et les voies respiratoires. Il n'existe pas de données sur les éventuels effets cancérigènes et mutagènes de la morpholine chez l'homme. Il n'y a pas non plus d'information publiée sur un éventuel effet de la morpholine sur la reproduction. La morpholine peut se transformer en N-Nitroso-morpholine qui présente un risque cancérigène. L'évaluation des risques sanitaires prend en compte la métabolisation de la N-Nitroso-morpholine. Celle-ci n'a pas d'impact sanitaire sur le public.

Rejet liquide d'éthanolamine

Ce produit est irritant et corrosif pour la peau, les yeux, et les voies respiratoires et digestives. Il ne fait pas partie de la liste des produits classés CMR par l'Union européenne. Les faibles concentrations de ce produit dans le milieu aquatique du fait des rejets n'ont pas d'impact sanitaire sur le public.

Rejet liquide de substances azotées (ammonium, nitrites et nitrates)

La population est exposée aux substances azotées par l'ingestion de légumes et occasionnellement par celle d'eau consommée. Les études d'impact montrent que les rejets de nitrates et de nitrites des centrales conduisent à des doses journalières d'exposition nettement inférieures aux valeurs de référence.

Rejet liquide de métaux (cuivre, zinc)

Les animaux, dont l'être humain, ont besoin d'une certaine quantité de cuivre dans leur régime alimentaire, mais une concentration de cuivre très élevée peut être toxique et entraîner des effets délétères. La détérioration des globules rouges, des poumons, du foie et des fonctions pancréatiques sont les symptômes les plus courants d'un empoisonnement par le cuivre. Le zinc est un métal dit essentiel, c'est-à-dire nécessaire au maintien de la santé dont la fertilité et le développement fœtal. Toutefois les dérivés minéraux du zinc sont irritants voire corrosifs à de fortes concentrations aussi bien pour la peau et les muqueuses que pour l'arbre respiratoire et le système digestif. Le principal mode d'exposition de la population générale au cuivre et au zinc est l'alimentation et l'eau de boisson.

Les quantités de cuivre et de zinc susceptibles d'être ingérées du fait des rejets des centrales nucléaires (essentiellement dus à l'usure des tubes de condenseurs en laiton) sont bien inférieures aux seuils à partir desquels des effets sont observables.

5. Prévention et réduction des impacts

La démarche de prévention et réduction de l'impact des prélèvements d'eau, des rejets d'effluents, et de la production de déchets sur l'environnement est mise en œuvre dès la phase de conception de la centrale nucléaire. Le choix du site d'implantation, la conception des ouvrages de prise d'eau, et des systèmes de collecte et de traitement des effluents sont des éléments déterminants de l'impact de la future centrale nucléaire.

Lorsque la centrale est mise en service, il est de la responsabilité de l'exploitant d'agir pour éviter, ou *a minima* réduire, autant que possible, les rejets et les déchets en mettant en place une gestion dite « optimisée » des effluents (*cf.* § 5.3) et des déchets. Cette gestion s'appuie notamment sur l'adoption d'une attitude interrogative permettant à l'exploitant de s'interroger sur la pertinence de ses pratiques afin de les améliorer par un judicieux partage du retour d'expérience, ainsi que sur des actions de R&D engagées par EDF.

Cette démarche de prévention et réduction des impacts est effectuée au regard de l'efficacité des meilleures techniques disponibles (MTD). Certaines MTD peuvent être identifiées dans des documents de référence techniquement transposables. Lorsque ces documents de référence ne sont pas disponibles, les bonnes pratiques reconnues sont identifiées grâce à l'analyse du retour d'expérience sur le Parc français et à des actions de benchmark avec des exploitants étrangers.

5.1 CHOIX DU SITE

Une centrale nucléaire occupe, suivant le nombre d'unités et le mode de refroidissement, un espace compris entre 55 et 415 hectares. L'incidence d'une telle construction sur l'environnement (paysage, écosystèmes...) fait l'objet d'études approfondies qui tiennent une place importante dans le choix du site. On évite ainsi de sélectionner des lieux dans les zones

sensibles sur le plan des écosystèmes ou sur des cours d'eau dont les débits sont trop faibles pour assurer une bonne dilution des rejets d'effluents.

5.2 CONCEPTION DES OUVRAGES DE PRISE D'EAU ET DE REJET

Le dimensionnement des ouvrages de prise d'eau et de rejet est étudié à la conception de la centrale nucléaire en tenant compte de la morphologie du cours d'eau ou du littoral et des résultats d'essais effectués sur maquette ou de simulations sur ordinateur. Les ouvrages sont alors conçus pour assurer leur fonction de refroidissement en toutes conditions.

En fonction de la nature de l'impact de ces ouvrages sur les écosystèmes, des dispositifs peuvent être définis selon les spécificités de configuration des ouvrages et de la faune et la flore en place dans le milieu aquatique au droit du site. Ces dispositifs peuvent, par exemple, prendre la forme :

- de systèmes de récupération des organismes sur les filtres (*cf.* encart p. 218) ;
- de passes à poissons dans le cas où un seuil est érigé au travers du cours d'eau (*cf.* encart p. 218) ;
- d'une adaptation de la position du point de rejet pour éviter les zones les plus favorables biologiquement.

5.3 GESTION OPTIMISÉE DES EFFLUENTS

L'optimisation des rejets constitue un des principes fondamentaux pour la gestion des rejets et des impacts des centrales nucléaires. L'objectif pour l'exploitant est de mettre en œuvre, à un coût acceptable, les meilleures techniques disponibles (procédés de traitement et de rejet ou pratiques d'exploitation) pour réduire autant que possible les rejets d'effluents et leurs impacts sur l'environnement et le public.

La gestion optimisée des effluents et des rejets consiste à :

- réduire à la source la production d'effluents (le meilleur effluent étant celui qu'on ne produit pas) ;
- collecter de façon sélective les divers effluents pour traiter chacun d'eux le plus efficacement possible voire, dans certains cas, les réutiliser (recyclage) ;
- piloter finement les installations de traitement biocide et antitartre afin de minimiser les rejets de substances chimiques tout en maintenant l'efficacité de ces traitements ;
- contrôler rigoureusement les rejets pour garantir en toute circonstance le respect des dispositions réglementaires, notamment les limites à ne pas dépasser.

Réduction à la source

Les effluents sont produits tant en phase de fonctionnement (montée en puissance, variation de puissance du réacteur) qu'en phase de maintenance des installations et, en particulier, lorsque la centrale est mise à l'arrêt pour procéder au renouvellement du combustible.

Afin de réduire la production d'effluents, de nombreuses actions sont mises en œuvre par l'exploitant au quotidien afin de réduire leur volume ainsi que leur activité volumique ou leur concentration en substances chimiques. Celles-ci concernent notamment :

- les rondes durant lesquelles une inspection des puisards de collecte est systématiquement effectuée pour détecter tout écoulement excessif d'effluents ;
- les puisards de collecte d'effluents qui ont été équipés de mesures de niveau retransmises en salle de commande afin de déceler toute évolution anormale de la vitesse de remplissage ;
- les procédures de recherches de fuites mises en œuvre pour détecter les arrivées indésirables d'effluents ;
- la mise en place de systèmes d'épuration continue du fluide primaire qui assurent un piégeage au plus près de la source des produits d'activation et des substances chimiques présentes dans le fluide primaire ;
- un choix de substances pour le conditionnement chimique optimal en termes d'efficacité de lutte contre la corrosion et d'acceptabilité des rejets dans l'environnement.

Collecte sélective et traitement optimisé

Une centrale nucléaire est conçue pour permettre une collecte sélective des divers effluents produits. S'agissant des effluents radioactifs liquides usés (dits TEU), ceux-ci sont collectés suivant quatre catégories (drains de planchers, effluents de servitudes, effluents chimiques, drains résiduaires). Chaque effluent est ainsi orienté vers le système de traitement le mieux adapté à ses caractéristiques physico-chimiques. À titre d'exemple, les drains résiduaires (DR) radioactifs peu chargés chimiquement subiront une filtration-déminéralisation qui piègera la quasi-totalité de la radioactivité. En revanche, les effluents chimiques (EC) – contenant des substances telles que les phosphates, l'acide borique, des matières en suspension – sont impropres à un traitement sur déminéraliseurs et sont donc traités par filtration et évaporation. L'évaporation produit des concentrats qui sont conditionnés en tant que déchets radioactifs dits de procédé, et produit des distillats qui sont ensuite envoyés dans les réservoirs d'entreposage et de contrôle avant rejet.

S'agissant des effluents radioactifs gazeux, on distingue, d'une part, les effluents hydrogénés provenant du dégazage des effluents liquides issus du circuit primaire, et, d'autre part, les effluents aérés, provenant notamment de la collecte des évents des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs. Les effluents hydrogénés sont entreposés dans des réservoirs pour décroissance radioactive puis analysés en vue de leur rejet après filtration sur des filtres absolus à très haute efficacité. En revanche, les effluents aérés, dont l'activité est faible, sont traités sur filtre THE et dans certains cas sur des pièges à iode avant d'être rejetés à la cheminée.

La protection des poissons et organismes vivants

En rivière, les seuils nécessaires au fonctionnement de l'installation de pompage ou de rejet constituent un obstacle à la migration des poissons et peuvent ainsi contribuer à dégrader la survie des espèces dont la reproduction dépend de ces migrations.
Le courant généré par l'aspiration d'eau peut attirer les poissons dans les prises d'eau qui se retrouvent alors piégés et peuvent mourir des chocs qu'ils subissent dans l'installation.

Afin de remédier à cette situation, des moyens sont mis en œuvre pour faciliter la migration des poissons et éviter leur aspiration grâce à l'aménagement adéquat des ouvrages de prise d'eau.

Les dispositifs de récupération des organismes vivants (poissons, crustacés…)

Les ouvrages de prise d'eau sont équipés de pré-grilles qui évitent l'aspiration des plus gros organismes vivants. Malgré cette disposition, certains organismes peuvent être aspirés par le courant d'eau. Lorsque l'enjeu le justifie, des dispositifs supplémentaires peuvent être mis en œuvre. Parmi les solutions techniques disponibles actuellement, on peut citer deux types de dispositifs permettant de réduire les effets dus à l'aspiration des organismes dans les prises d'eau en permettant leur renvoi vers le milieu :

- le premier met en œuvre des jets d'eau à basse pression (1 bar) dans la partie émergée des tambours filtrants pour récupérer les organismes vivants dans des goulottes dédiées et les acheminer vers le milieu naturel. À la centrale du Blayais, ce dispositif équipe l'ensemble des systèmes de filtration du site ;
- le second dispositif est constitué de pompes spéciales (pompes à poissons) qui aspirent les organismes retenus sur les filtres pour les conduire, sans dommage, vers le milieu naturel. Ce système, également testé à la centrale du Blayais n'a pas été retenu à la conception car moins adapté à la configuration de la station de pompage.

Fig. 13 ▶ Filtre rotatif équipé d'un dispositif de récupération des organismes vivants.

Les passes à poissons

Afin de permettre la migration des poissons, les ouvrages sont équipés de systèmes de franchissement tels que les passes ou ascenseurs à poissons.
Le principe de ces systèmes consiste à attirer les poissons à l'aval de l'obstacle (seuil) et de les inciter à passer par une voie d'eau artificielle qui le contourne. Pour qu'une passe à poissons soit efficace, le poisson doit en trouver l'entrée et être capable de la franchir sans retard ni blessures préjudiciables à sa migration. Partout où cela est nécessaire des passes à poissons ont été aménagées sur les ouvrages de prises d'eau des centrales nucléaires en rivière (Belleville, Saint-Laurent-des-Eaux, Dampierre, Civaux et Chooz).

▪ Rejets radioactifs à l'atmosphère
Les rejets de gaz rares ont diminué entre 2002 (1,6 TBq par réacteur) et 2018 (0,5 TBq par réacteur) grâce notamment aux mesures prises pour améliorer l'étanchéité du combustible nucléaire (gaines) et celle des circuits véhiculant des gaz radioactifs. Par ailleurs, le contrôle régulier de l'efficacité des systèmes de traitement (filtres THE et pièges à iodes) ainsi que la possibilité de laisser décroître les effluents gazeux à période courte permet de réduire fortement les rejets de gaz rares, d'iodes et d'aérosols radioactifs.

▪ Rejets radioactifs liquides
Les actions, engagées dès le milieu des années 1980 pour optimiser la production et le traitement des effluents radioactifs, ont permis de diviser par plus de 100 les rejets liquides de produits de fission (PF) et d'activation (PA), hors tritium et carbone 14 (*cf.* figure 14).

Fig. 14 ▶ Réduction des rejets radioactifs liquides PF + PA, hors tritium et carbone 14 ; activité ramenée à une unité de production.

Cette réduction des rejets d'activité n'a pas entraîné de surproduction de déchets liés au traitement (filtres résines, concentrats d'évaporation). Le volume de déchets de procédé a au contraire diminué sensiblement grâce aux efforts réalisés pour réduire à la source la production d'effluents (*cf.* figure 15).

En corollaire, ces actions se sont traduites par une baisse de la dose due aux produits de fission et d'activation hors tritium et hors carbone 14. De ce fait, à partir du milieu des années 1990, l'impact dosimétrique des rejets radioactifs liquides sur le public est essentiellement dû au carbone 14 et au tritium dont les rejets sont stables d'une année sur l'autre et la dose correspondante inférieure au µSv/an.

Le **carbone 14** n'est que faiblement retenu sur les systèmes de traitement. Les rejets de carbone 14 ont longtemps été déterminés par calcul d'après l'énergie électrique brute produite par la centrale, à raison de 15 GBq par GWean. Cette valeur adoptée pour l'ensemble des centrales nucléaires d'EDF est tirée d'études théoriques et de l'expérience des centrales étrangères. Depuis 2002, le carbone 14 (émetteur bêta pur) est mesuré dans les effluents. Ces mesures confortent les valeurs obtenues par calcul. Ainsi, depuis 2016, les rejets de carbone 14 sont déterminés à partir des mesures effectuées.

Quant **au tritium**, rappelons que celui-ci n'est pas piégé par les moyens de traitement en raison de sa forme chimique identique à celle de l'hydrogène de l'eau (H_2O). Le tritium formé principalement par activation dans l'eau du circuit primaire est donc rejeté en quasi-totalité. L'activité rejetée en tritium dépend en grande partie de l'énergie produite par la centrale.

▪ Eaux d'exhaure des salles des machines (circuit SEK)
La recherche de fuites sur les matériels du circuit secondaire, le recyclage des circuits d'échantillonnage et une meilleure préparation des opérations de maintenance ont permis de réduire le volume d'eau rejetée. Le volume annuel d'eau d'exhaure Ex (SEK) est d'environ 55 000 m³ par unité de production alors qu'il pouvait atteindre jusqu'à 100 000 m³ certaines années. Comme cette eau contient les substances de conditionnement du circuit secondaire (ammoniaque, hydrazine, morpholine, éthanolamine), la réduction de volume a permis d'éviter d'autant le rejet de ces substances dans l'environnement, de réduire les appoints d'eau déminéralisée au circuit secondaire et, par la même occasion, les réactifs chimiques nécessaires à sa fabrication (*cf.* chapitre 8 – Nature et contrôle des rejets).

Fig. 15 ▶ Volume de déchets radioactifs résultant du traitement des effluents radioactifs ramené à une unité de production.

Traitement biocide par injection de monochloramine
Le traitement contre les organismes pathogènes par injection de monochloramine est réalisé, sur les sites concernés, selon des modalités définies par EDF, respectant les limites des prescriptions de rejets. Ces traitements ont fait l'objet d'essais afin d'optimiser les rejets chimiques sans pour autant diminuer l'efficacité du traitement.

- *Stratégies de mise en service et d'arrêt du traitement biocide à la monochloramine :* il existe deux façons de démarrer le traitement préventif, soit à date fixe (courant avril ou début mai selon les sites, les conditions météorologiques, les débits du cours d'eau...), soit en fonction du niveau de concentrations en légionelles et en amibes pathogènes mesurées dans les circuits, au regard des seuils réglementaires pour ces deux micro-organismes. Cette deuxième méthode permet de réduire sensiblement le nombre de jours de traitement, les quantités de réactifs et les rejets associés. Le traitement peut, de la même façon, être interrompu soit à date fixe prédéterminée (courant septembre ou début octobre selon les sites), soit sur des critères microbiologiques. L'ensemble des centrales démarrent et arrêtent désormais le traitement biocide sur critères microbiologiques, afin d'optimiser les rejets tout en maîtrisant le risque de dispersion de micro-organismes pathogènes.

- *Traitement séquentiel :* des essais de traitement séquentiel ont été réalisés à partir de 2005 à la centrale du Bugey. Ils ont consisté à alterner les phases d'injection de monochloramine avec des phases d'arrêt d'injection (12 heures d'injection suivies de 12 heures d'arrêt). Ces essais ont permis d'optimiser le traitement en diminuant la durée des phases d'injection jusqu'à 4 h par jour. Les quantités de réactifs et les rejets azotés ont diminué de 30 % en moyenne par rapport au traitement continu (nitrates principalement), tout en maintenant une bonne efficacité du traitement. Ce type de pilotage du traitement a été étendu progressivement à d'autres centrales du parc, avec des durées optimisées en fonction des spécificités de chaque site. Tout comme le démarrage et l'arrêt du traitement, le passage en traitement séquentiel est décidé sur des critères de concentrations en légionelles et amibes pathogènes, afin d'optimiser les rejets tout en maîtrisant le risque de dispersion de micro-organismes pathogènes.

- *Traitement UV anti-amibien optimisé à Civaux :* chacune des deux tranches de la centrale nucléaire de Civaux est équipée d'une installation de traitement anti-amibien utilisant les rayonnements ultra-violets. Ce traitement, adapté aux spécificités locales du site de Civaux, évite des rejets chimiques. En effet, seul le nettoyage chimique des lampes UV à l'acide phosphorique conduit à des rejets de phosphates de quelques centaines de grammes par jour pendant les traitements.

Maîtrise des modalités de rejet des effluents
Des procédures et des fiches de suivi (fiches EAR : échantillonnage/analyse/rejet) sont établies pour garantir le respect de conditions de rejet fixées par la rèélementation, en termes de débits de rejet, de concentrations ou d'activités à ne pas dépasser dans le rejet ou dans l'environnement.

5.4 ORGANISATION – MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT

Les dispositions relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets sont **organisées** dans chaque centrale nucléaire (niveau local) ainsi que sur le plan national au sein des centres d'ingénierie et de la Direction de l'entreprise.

- Au plan local, **la Direction** de chaque centrale met en place une organisation visant principalement à :
  - prévenir les pollutions ;
  - assurer une parfaite maîtrise des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents ;
  - maintenir l'impact de ces activités à un niveau aussi bas que raisonnablement possible.

Cette organisation passe par une forte implication du personnel concerné (sensibilisation, formation,) ; en particulier :
- le **personnel de conduite** chargé d'exploiter les installations de collecte de traitement des effluents, de rechercher les éventuelles fuites, d'effectuer les rejets ;
- les **chimistes** qui effectuent les analyses et choisissent le traitement le plus approprié ;
- le **personnel des laboratoires d'effluents et d'environnement** chargé des contrôles avant rejet et des mesures dans l'environnement, et de la tenue des registres réglementaires ;
- le **personnel de maintenance** tenu d'intégrer dans ses activités les préoccupations liées à l'environnement (limiter la production d'effluents et de déchets).

Cette organisation s'appuie en particulier sur une **ingénierie « environnement »** composée d'ingénieurs et de techniciens en charge de la prise en compte du retour d'expérience. En période d'arrêt de tranche – où la production d'effluents est maximale en raison des nombreuses activités de maintenance nécessitant des vidanges de circuits – une cellule d'arrêt de tranche est créée afin d'assurer une bonne coordination entre toutes les parties prenantes (agents de conduite, chimistes, maintenance) et minimiser ainsi la production d'effluents.

Enfin, chaque centrale nucléaire a mis en place un **système de management de l'environnement (SME)** suivant la norme internationale ISO 14001. Celle-ci exige le respect scrupuleux de la réglementation et l'engagement de l'exploitant d'améliorer sans cesse ses pratiques et ses performances en matière de protection du public et de l'environnement.

- Au plan national, les centrales nucléaires d'EDF bénéficient aussi des compétences apportées par les **ingénieries nationales** notamment en matière d'analyse du retour d'expérience et du partage des bonnes pratiques. Cet apport est assuré par :
  - des réunions de partage d'expérience ;
  - la rédaction de « fiches de position » et de « fiches questions/réponses » fournissant aux centrales des indications nécessaires à la résolution de problèmes d'ordre technique, réglementaire ou environnemental ;
  - l'animation des différents métiers ayant trait à l'environnement (opérateurs de conduite en charge de la gestion des effluents et des rejets, chimistes des laboratoires d'effluents et d'environnement, personnel de maintenance).

Des guides de bonnes pratiques, dont l'objectif est d'aider les exploitants à progresser dans la gestion des effluents et la maîtrise des rejets de toute nature, sont régulièrement mis à jour.

5.5 ACTIONS D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES (R&D)

La nature des préoccupations environnementales liées au fonctionnement des centrales nucléaires a notablement évolué tant sur le plan réglementaire que sur celui de l'opinion publique. Ainsi, la réglementation française – principalement centrée à l'origine sur la radioactivité des effluents liquides et gazeux – s'est considérablement renforcée à partir des années 2000 afin d'intégrer les évolutions communautaires en matière de protection de l'environnement et de la santé. Cela s'est traduit par une réduction forte des limites de rejet pour les effluents radioactifs, par des exigences accrues en matière de prélèvements d'eau, et de rejets non radioactifs. Les modalités de surveillance de l'environnement ainsi que les méthodes d'évaluation des impacts ont aussi beaucoup changé et se sont améliorées. Par ailleurs, le public s'est montré plus exigeant sur la nature des impacts des centrales nucléaires et souhaite être régulièrement informé sur ces questions.

Dans ce contexte, les actions de R&D sont indispensables afin de préparer l'avenir et faire face aux enjeux futurs. Des programmes d'études sont donc engagés dans ce sens par EDF, en partenariat avec des laboratoires français et étrangers sur les principaux points suivants.

- *Gestion de la ressource en eau*

Les centrales nucléaires utilisent pour le refroidissement des installations d'importants volumes d'eau (70 % de l'eau prélevée en France tous usages confondus). Cette eau est restituée au milieu aquatique en quasi-totalité. Les contraintes dues au réchauffement du climat : diminution de la ressource en eau, augmentation des températures moyennes des cours d'eau, dégradation de la qualité chimique et microbiologique des rivières... sont bien sûr à prendre en compte dans la gestion de l'eau.

Signalons qu'un outil de modélisation (MORDOR) a été développé par EDF/DTG pour faire des prévisions de débit des cours d'eau ; ces prévisions sont utilisées comme référence par la DREAL dans la gestion des ressources en eau.

- *Connaissance et maîtrise des rejets chimiques, évaluation de leur impact*

Le durcissement de la réglementation européenne (directive-cadre sur l'eau et directives filles qui en découlent, règlement REACH...), dont les exigences sont reprises dans les SDAGE (schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux de bassin), nécessite d'approfondir, en particulier, les connaissances sur :

- les substances présentes dans les effluents (notamment les produits de décomposition de certaines substances chimiques) et sur les techniques de traitement économiquement viables permettant d'en réduire le rejet ;
- les effets de ces rejets sur l'environnement et sur la santé humaine (analyse du devenir des substances chimiques dans les écosystèmes notamment dans les sédiments, détermination réaliste des voies d'exposition à l'homme, réduction des incertitudes de calcul...).

- *Évaluation des impacts des rejets*

L'évaluation des effets des rejets radioactifs, chimiques et thermiques d'une centrale nucléaire passe par l'application de méthodes et de codes de calcul s'appuyant sur un grand nombre de données (caractéristiques des rejets, des voies de transfert à l'homme, toxicologie vis-à-vis de l'environnement, effet sur la santé...). L'absence de données conduit à adopter des hypothèses majorantes aboutissant à des évaluations exagérées (peu réalistes). Pour réduire autant que possible les « conservatismes » des calculs, il est indispensable d'affiner tous les paramètres par des études de laboratoires ou de terrain. À ce titre, les campagnes de mesures de radioécologie et d'hydrobiologie fournissent de précieuses informations (*cf.* chapitre 10 – Surveillance de l'environnement).

- *Participation d'EDF à des exercices d'inter-comparaison d'outils d'évaluation d'impact sur les écosystèmes*

Depuis une décennie, plusieurs outils d'évaluation d'impact radiologique sur les écosystèmes ont été développés dont le modèle européen ERICA et l'outil RESRAD aux USA. Le programme EMRAS de l'AIEA, auquel EDF R&D participe, et le projet européen PROTECT ont permis de comparer ces différents outils et ont mis en évidence que les résultats des évaluations présentaient des écarts importants d'un outil à l'autre. Pour améliorer la performance de ces outils, une compilation internationale des paramètres nécessaires à l'estimation du transfert des radionucléides à la faune et à la flore sauvage est en cours dans le cadre du programme EMRAS 2 de l'AIEA.

- *Maîtrise des risques sanitaires associés au développement de micro-organismes dans les circuits de refroidissement*

Des travaux sont réalisés dans le cadre de veille technologique mise en œuvre par EDF sur ce sujet notamment sur :

- la compréhension du phénomène de colonisation en amibes de circuits de refroidissement ;
- le devenir des micro-organismes rejetés en rivière ;
- le développement de méthodes de mesures rapides des micro-organismes dans les circuits.

6. Influence du fonctionnement d'une centrale nucléaire sur son environnement et sur la santé (synthèse)

Pour clore ce chapitre très technique, nous donnons ici une synthèse des impacts d'une centrale nucléaire sur l'environnement et la santé du fait des prélèvements d'eau et des rejets.

- Prélèvement et restitution d'eau :

La question de l'impact dû aux prélèvements d'eau est abordée lors des études préalables au choix du site, puis à la conception des ouvrages. Les centrales, dont les condenseurs sont refroidis en circuit ouvert, sont implantées en bord de mer ou sur un fleuve à fort débit (Rhône). L'eau prélevée est intégralement restituée au milieu à proximité du point de prélèvement, après passage dans les condenseurs et circuits de refroidissement où elle s'échauffe de quelques degrés. Sur les centrales refroidies en circuit dit « fermé » une partie de l'eau prélevée (20 à 40 % environ) est évaporée à l'atmosphère sous la forme d'un panache de vapeur. Cette quantité d'eau, non restituée à la rivière, peut être compensée, en période d'étiage, en particulier sur les rivières à faible débit, par des lâchers d'eau provenant de barrages situés en amont.

- Impact mécanique dû aux prises d'eau :

Les organismes vivants sont aspirés dans la station de pompage et peuvent subir des chocs de pression. Des systèmes sont mis en place pour faciliter leur retour au milieu naturel, mais on ne peut éviter des captures de poissons, en particulier celles des espèces de petite taille.

- Impact des rejets d'effluents radioactifs liquides et à l'atmosphère en exploitation :

Les contrôles et mesures effectués dans le cadre du programme de surveillance ne mettent en évidence qu'une légère incidence des rejets d'effluents radioactifs sur le milieu terrestre. Dans les milieux aquatique et marin, on décèle, à faible teneur, la présence de radionucléides (tritium et carbone 14 essentiellement) dans la zone proche du point de rejet. La dose de rayonnement reçue par le public du fait des rejets radioactifs liquides et gazeux est mille fois plus faible que celle due à la radioactivité naturelle (elle est également beaucoup plus faible que les variations de l'exposition naturelle à la radioactivité d'une région à l'autre, fonction notamment de la nature des sols).

- Impact des rejets d'effluents chimiques liquides et à l'atmosphère :

Les rejets d'effluents chimiques résultent du conditionnement des circuits (acide borique, lithine, hydrazine, morpholine, éthanolamine, ammoniaque, phosphates...) et des traitements pratiqués pour lutter contre le tartre et le développement microbiologique (sulfates, chlorures, produits azotés...). Les effluents borés sont recyclés autant que possible ; l'hydrazine est éliminée par traitement et les procédés de traitement antitartre et biocide sont optimisés. Lorsque le recyclage ou le traitement n'est pas possible, les substances chimiques sont rejetées selon des dispositions réglementaires qui limitent leurs quantités (flux) et leurs concentrations. Des mesures de surveillance en continu et des campagnes annuelles de prélèvement permettent de vérifier l'absence d'effet néfaste de ces rejets sur l'environnement et sur la santé humaine.

Les rejets à l'atmosphère dus au fonctionnement des installations (salle des machines, diesels de secours...) sont faibles et n'ont pas d'impact sensible sur l'environnement (*cf.* chapitre 8 – Nature et contrôle des rejets).

- Impacts des rejets thermiques :

L'eau prélevée pour les circuits de refroidissement de la centrale nucléaire est échauffée avant d'être rejetée dans le fleuve ou dans la mer. Cet échauffement est, soit calculé à partir de paramètres de fonctionnement de la centrale, soit mesuré par des

thermographes. Les résultats sont retransmis en salle de commande où l'exploitant peut en suivre les évolutions. L'échauffement du milieu aquatique ne doit pas dépasser les limites réglementaires fixées dans les prescriptions propres à chaque site. Dans le cas où ces limites risqueraient d'être dépassées – pendant les périodes de forte chaleur ou d'étiage – la centrale est exploitée à une puissance plus faible et peut même, en cas de nécessité, être provisoirement mise à l'arrêt. Les études menées depuis plusieurs dizaines d'années montrent qu'entre l'amont et l'aval des centrales nucléaires fluviales, la flore et la faune ne sont pas modifiées du fait des rejets thermiques. Il en est de même des centrales de bord de mer où l'échauffement est restreint à la zone proche des rejets (rayon de 50 mètres environ).

- Impacts liés à l'irradiation directe :

L'exposition directe du public du fait des installations provient des bâtiments nucléaires et des bâtiments d'entreposage des déchets radioactifs. Cet impact peut être qualifié de négligeable car il se confond avec le niveau de rayonnement ambiant hors influence des installations.

POUR EN SAVOIR PLUS

- http://www.ineris.fr/index (hydrazine)
- http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/ (morpholine)
- http://www.hydroecologie.org

Annexe 9.1

Recommandations nationales et internationales pour la protection radiologique de l'environnement

Les Recommandations générales de radioprotection révisées en 2007 (publication 103[1] de la CIPR) reconnaissent l'importance de la protection de l'environnement. Ce problème a été abordé pour la première fois dans la Publication 91[2] et il a été conclu qu'il était important de concevoir un système de protection des espèces non humaines similaire à celui utilisé pour la protection des êtres humains.

La Commission s'est auparavant intéressée à l'environnement de l'espèce humaine uniquement pour le transfert des radionucléides, principalement dans le contexte des situations d'exposition planifiée. Dans de telles situations, la Commission continue à penser que les normes de réglementation pour l'environnement nécessaires pour protéger le public en général garantissent que d'autres espèces ne sont pas exposées au risque.

Afin de fournir un cadre solide pour la protection de l'environnement dans toutes les situations d'exposition, la Commission propose d'utiliser des animaux et des plantes de référence (détaillé dans la publication 108[3] de la CIPR). Dans le but d'établir une base d'acceptabilité, les doses supplémentaires calculées pour ces organismes de référence pourraient être comparées aux doses connues pour conduire à des effets biologiques spécifiques et aux débits de dose normalement rencontrés dans l'environnement naturel. Cependant, la Commission ne propose pas de formuler des « limites de dose » pour la protection de l'environnement. Car à l'exception des mammifères, elle constate un manque général d'informations sur lesquelles des relations dose-effet peuvent être établies, ce qui permettrait de dresser des conclusions pertinentes, en particulier en ce qui concerne les débits de dose relativement faibles susceptibles d'être observés dans la plupart des situations d'exposition. À cet égard, les bases de données sur les effets des rayonnements pour la majorité des animaux et des plantes ne sont en général pas différentes de celles relatives aux études de « toxicité chimique », où les niveaux nécessaires pour produire un effet donné sont supérieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux attendus dans la majorité des situations environnementales.

L'AIEA reconnaît également que la protection de l'environnement fait partie des points à considérer dans les procédures de licensing, d'autorisation de rejets, et dans les démarches d'optimisation relative à la gestion de sites pollués et aux situations d'urgence. Mais les conditions du consensus international sur la mise en œuvre pratique de la protection de l'environnement ne sont pas encore réunies.

Bien qu'aucune obligation réglementaire n'existe en France, l'ASN a formulé le souhait que le risque environnemental des rejets d'effluents radioactifs soit évalué. L'évaluation de l'impact environnemental des rejets radioactifs a donc déjà été réalisée par EDF pour les dossiers de demande d'autorisation ou de renouvellement d'autorisation de rejets en utilisant l'outil européen ERICA[4]. L'utilisation de cet outil ERICA suppose de recenser les espèces vivantes du site étudié, de calculer la dose (ou débit de dose) reçue par chacune d'elles afin de la comparer aux seuils définis par la CIPR.

1. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2-4) (2007).
2. ICRP A Framework for Assessing the Impact of Ionizing Radiation on Non-Human Species. Publication 91 (2003).
3. ICRP, Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. *Ann.* ICRP 38 (4-6) (2008).
4. http://www.erica-tool.com/

Annexe 9.2

Régimes thermiques des grandes rivières

La température naturelle locale d'une rivière (T°nat) peut être définie comme celle d'un plan d'eau homogène sans entrée d'eau ni échange significatif d'énergie avec le fond. Dans ces conditions, l'évolution de T°nat ne dépend que des échanges d'énergie « eau-atmosphère » et donc des conditions météorologiques locales et de la profondeur du plan d'eau. De l'amont vers l'aval, la température d'une rivière tend vers la température naturelle locale correspondant à sa profondeur. En l'absence de discontinuités thermiques marquées d'origine naturelle ou artificielle, la T°nat n'est atteinte qu'à une certaine distance des rejets thermiques selon la vitesse d'écoulement de l'eau.

S'agissant des grandes rivières **de plaine** (Loire, Moselle, Seine), la température est proche de la $T°_{nat}$ dans la partie moyenne de leur cours ; la température de la rivière est à l'**équilibre** avec les conditions météorologiques locales[1]. Le rejet thermique d'une centrale nucléaire est donc rapidement estompé en aval par la mise en équilibre des températures de rejet et du milieu.

En revanche, un fleuve, comme le Rhône ou le Rhin, qui subit l'influence de grands lacs en amont de son cours, n'atteint pas la T°nat du fait du fort écoulement et du passage rapide dans des zones où les conditions climatiques peuvent être différentes. Ce régime thermique est dit **de transfert**. Dans ce type de régime, les variations positives ou négatives de température intervenues en amont sont conservées en partie en aval[2].

1. Ph. Gosse, J. Gailhard, F. Hendrickx. 2008. Analyse de la température de la Loire moyenne en été sur la période 1949 à 2003. *Hydroecol. Appl.* Tome 16, pp. 233-274.
2. A. Poirel, F. Lauters, B. Desaint. 2008. 1977-2003 : Trente années de mesures des températures de l'eau dans le bassin du Rhône. *Hydroecol. Appl.* Tome 16, pp. 191-213.

Annexe 9.3

Évaluation de l'impact des rejets d'effluents radioactifs sur le public

À la demande de la Direction générale de la santé, des experts se sont réunis, en 1996 et 1997, pour préciser les moyens permettant d'apprécier l'« impact sanitaire » sur le public des « installations nucléaires en fonctionnement normal ». Ce travail a abouti à un rapport ayant reçu, en 1998, un avis favorable du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF). Ce rapport considère que « les rejets radioactifs des installations nucléaires sont très faibles et que les effets cancérogènes éventuels attendus sont très rares.

L'impact sanitaire ne pouvant être mesuré directement, il convient d'évaluer indirectement cet impact par un indicateur : ***la dose****. Cet indicateur est, dans l'état actuel des connaissances, le mieux adapté pour apprécier l'impact sanitaire. On parlera donc* ***d'impact dosimétrique*** *».*

Ce rapport conforte la **dose** comme un élément clé du système de radioprotection adopté par les instances internationales qui suivent en cela les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

Le calcul de dose consiste premièrement à déterminer les transferts de radioactivité vers l'environnement puis, dans une deuxième étape, à évaluer la dose reçue par le groupe de référence, compte tenu des différentes voies d'exposition externes et internes.

▪ Transfert des radionucléides vers l'environnement

Les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques (Bq/s) d'une centrale nucléaire sont effectués par l'intermédiaire d'une ou plusieurs cheminées. La dispersion des radionucléides dans l'atmosphère est calculée à l'aide de modèles adaptés à chaque site (panache Gaussien, essais en soufflerie, modèles numériques 3D...). Ces modèles permettent d'évaluer l'activité volumique de l'air ambiant en Bq/m^3 pour chaque radionucléide ainsi que les dépôts de radionucléides au sol par temps sec ou par temps de pluie.

Les rejets d'effluents radioactifs liquides sont effectués en mer via une galerie ou un canal de rejet ou en rivière en berge ou par l'intermédiaire de diffuseurs multi-pores. Les activités dans l'eau, les sédiments et les matières en suspension ainsi que dans les produits de la pêche sont évaluées à l'aide de modèles prenant notamment en compte la dilution des radionucléides dans le milieu aquatique et les caractéristiques hydrologiques du milieu.

Les radionucléides rejetés par voie liquide ou atmosphérique sont transférés dans les sols et les végétaux par dépôt atmosphérique ou irrigation, puis dans les produits d'origine animale principalement par ingestion de produits végétaux locaux et d'eau d'abreuvement. Le tritium et le carbone 14, qui ont la particularité de s'intégrer au cycle du vivant (par exemple, *via* la photosynthèse pour le CO_2), font l'objet d'une modélisation particulière.

▪ Voies d'exposition des personnes du public

Les principales voies d'exposition sont de deux natures distinctes :

- ***l'exposition externe*** due au panache des rejets atmosphériques et à l'exposition par les dépôts sur le sol ;
- ***l'exposition interne***, pour laquelle il est pris en compte l'inhalation de l'air ambiant et l'ingestion de denrées alimentaires.

▪ Calcul de la dose au public

L'impact dosimétrique annuel est traduit par le calcul de la dose efficace exprimée en mSv/an.

La dose efficace totale annuelle est évaluée en sommant les doses externe et interne. Le calcul prend en compte différentes classes d'âge avec leurs spécificités (habitudes de vie, facteurs de dose tenant compte de la nature radiochimique des radionucléides et de leur métabolisme dans l'organisme...).

On distingue deux types de calcul d'impact dosimétrique :

- le calcul, dit « ***a priori*** », réalisé à partir des limites de rejet demandées. Il vise à vérifier que les personnes des groupes de référence ne sont pas exposées à une dose annuelle supérieure à la limite fixée pour le public par la réglementation, à savoir : 1000 µSv/an ;
- le calcul dit « ***a posteriori*** », fondé sur les rejets annuels supposés réels de l'installation, est conduit de la même façon que celui *a priori* et permet une évaluation réaliste de l'impact. Ce calcul de dose est réalisé sur la base des rejets réellement effectués dans l'année pour les centrales en exploitation comme en déconstruction.

Annexe 9.4

Évaluation des risques des substances chimiques sur l'écosystème

La démarche mise en œuvre pour l'évaluation substance par substance **diffère selon les valeurs de référence existantes pour chacune des substances étudiées**.

On appelle ici « valeurs de référence », l'ensemble des valeurs disponibles et validées pour une substance (valeurs seuils réglementaires, valeurs-guides, PNEC (*Predicted No Effect Concentration* – concentration prédite sans effet) ou données écotoxicologiques).

Le logigramme suivant présente cette démarche :

Fig. 16 ▶ Démarche générale de l'évaluation de l'impact des rejets chimiques liquides substance par substance.

Comme présenté schématiquement, il s'agit d'**évaluer dans un premier temps si la contribution ajoutée maximale de la substance au milieu est négligeable** (rapport $C_{ajoutée\ maximale}/C_{initiale\ moyenne} < 5\ \%$). Dans ce cas, l'analyse est moins approfondie (approche proportionnée) : on s'assure que la contribution de la substance n'est pas susceptible d'avoir un effet sur le milieu, en comparant la concentration ajoutée maximale à la valeur de référence retenue.

Pour les **substances dont la contribution maximale n'est pas négligeable** devant la teneur moyenne du milieu, l'évaluation de l'impact est réalisée en **comparant des concentrations cumulées** (concentration initiale du milieu + concentration ajoutée après mélange) **à des valeurs de référence** (seuil, valeur-guide, PNEC ou données écotoxicologiques selon le type de substance).

Cette démarche méthodologique se base sur **deux approches complémentaires, moyenne et maximale** :

- l'**approche moyenne** permet de couvrir les conditions de flux et de débit moyens. Cette approche permet d'évaluer l'impact des flux annuels en comparaison à des valeurs de référence chroniques, qu'il convient de respecter en moyenne sur de longues périodes ;

- l'**approche maximale**, très pénalisante, permet de couvrir les conditions de flux et de débit exceptionnels. Cette approche permet d'**évaluer l'impact des flux 24 h en comparaison à des valeurs de référence aiguës**, qu'il convient de respecter sur de courts laps de temps ponctuels.

Pour ces deux approches :
- si la substance considérée n'est **pas une substance potentiellement écotoxique**, une démarche de comparaison des concentrations cumulées aux seuils et valeurs guides retenus est réalisée ; c'est notamment le cas pour les paramètres généraux de qualité d'eau (sels minéraux, substances eutrophisantes) **;**
- si la substance considérée est **potentiellement écotoxique**, une démarche écotoxicologique est mise en œuvre (telle que détaillé ci-dessous). Pour les substances disposant d'une norme de qualité environnementale (NQE), telles que le cuivre, le zinc, le chrome, le nickel, le plomb et le chloroforme, cette approche est complétée par une comparaison à la NQE.

Dans le cas où une démarche écotoxicologique est requise, celle-ci se décline comme suit :
- **lorsque pour la substance considérée, des données écotoxicologiques ont été analysées et retenues et qu'une PNEC est disponible, une évaluation du risque environnemental est menée pour calculer uni de risque (IR)**.

L'analyse du risque environnemental est une méthode recommandée par la communauté européenne[1] pour la caractérisation du risque de production et de mise sur le marché européen de substances nouvelles ou existantes, et non pour déterminer l'impact local de substances dans un milieu particulier.

Elle se fonde sur l'établissement d'un indice de risque (IR) calculé comme suit pour une substance :

$$IR = \frac{PEC}{PNEC} = \frac{\text{concentration prévisible dans l'environnement (i.e. concentration cumulée calculée)}}{\text{concentration réputée sans effet prévisible sur l'environnement}}$$

Du fait de son objet, « la mise sur le marché européen de substances nouvelles ou existantes », cette approche est globalisante et conservative, car elle ne s'intéresse pas à un écosystème particulier. En fonction du nombre de compartiments environnementaux sur lesquels ont été menées des investigations relatives à l'effet d'une substance, et des résultats disponibles, la méthode préconisée par l'EChA, dite « des facteurs d'incertitude » amène à appliquer des facteurs d'incertitude plus ou moins importants aux données écotoxicologiques (NOEC (concentration sans effet observé [*No Observable Effect Concentration*]), CE10, CE50, CL50 (concentrations efficaces/létale entraînant 10/50 % d'effets/mortalité) pour déterminer les PNEC.

La méthode d'analyse du risque environnemental au sens de l'EChA permet de conclure à l'absence de risque dans le cas où l'IR est inférieur ou égal à 1, mais n'apporte pas d'information interprétable quant à la présence de risque (probabilité d'occurrence, amplitude) pour un rapport supérieur à 1. Il est ainsi nécessaire d'affiner par d'autres voies l'analyse engagée, en tenant compte notamment des caractéristiques de persistance de la substance dans l'environnement, ainsi que des résultats sur des indicateurs biologiques acquis *in situ* **;**

- **lorsque l'analyse du risque environnemental n'est pas possible (PNEC inexistante, non validée), une comparaison avec les données écotoxicologiques disponibles est menée.**

Les concentrations issues des scénarios étudiés sont alors comparées aux données écotoxicologiques disponibles (NOEC, CE10, CE50, CL50). Cette approche fournit des informations relatives au compartiment biologique représentatif d'une chaîne trophique susceptible de subir des incidences, et permet de confronter ces résultats aux données acquises *in situ*, et aux évolutions constatées dans le cadre du suivi hydroécologique.

1. Les guides de l'EChA élaborés dans le cadre de la réglementation REACH sont mis à disposition sur : http://echa.europa.eu/fr/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment.

Annexe 9.5

Évaluation des risques des substances chimiques sur la santé humaine

La méthodologie retenue pour l'évaluation des risques sanitaires des rejets de substances chimiques[1] des centrales nucléaires est celle de l'évaluation prospective des risques sanitaires (EPRS). Cette démarche est basée sur les recommandations définies par l'INERIS.

L'EPRS s'appuie sur le principe de proportionnalité qui veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance du rejet et sa toxicité. Il s'agit d'une évaluation substance par substance. De plus, l'EPRS est adaptée aux caractéristiques de la centrale nucléaire et de son environnement (principe de spécificité).

L'EPRS développée par la suite est structurée en quatre étapes :

- **étape 1 : bilan des substances rejetées**

Cette première étape consiste en l'inventaire des substances rejetées par la centrale nucléaire étudiée ;

- **étape 2 : identification des dangers, évaluation des relations dose-réponse et identification des traceurs de risque sanitaire**

Cette étape consiste à présenter les effets des substances, les valeurs toxicologiques de référence (VTR) et à sélectionner les traceurs de risque, c'est-à-dire les substances les plus représentatives et susceptibles de générer des effets sanitaires chez les personnes qui y sont exposées.

Les encarts suivants permettent de faire le point sur les notions utiles à la compréhension.

Notions d'exposition aiguë et chronique

Les expositions chroniques sont des expositions sur des durées longues dans le temps (supérieures à un an), continues ou répétées dans le temps, à des doses « faibles ».

Les expositions aiguës correspondent à des expositions de courtes durées de l'ordre de la journée à des doses plus élevées.

L'étude de ces expositions extrêmes permet de considérer de manière satisfaisante l'ensemble des risques sanitaires pouvant résulter des rejets d'une centrale. Elle correspond en pratique à un scénario moyen et à un scénario maximal d'exposition.

Notion de valeur toxicologique de référence (VTR)

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) traduisent la relation quantitative qui existe entre la dose ou la concentration d'exposition et la probabilité d'apparition d'un effet sanitaire liée à une exposition aiguë ou à une exposition chronique continue ou répétée dans le temps.

Types d'effet

Effets à seuil : Effets survenant au-delà d'une certaine dose, provoquant des dommages dont la gravité augmente avec la dose d'exposition. En dessous de cette dose, il n'y a pas d'effet sur la santé. Au-delà de cette dose, l'apparition d'un effet sanitaire chronique est possible. La VTR correspond dans ce cas à un niveau d'exposition en deçà duquel il est considéré que l'effet ne surviendra pas. La VTR correspond à une dose journalière admissible (DJA) qui s'exprime (mg/kg/j).

Effets sans seuil : Effets qui peuvent apparaître quelle que soit la dose reçue. Il existe une probabilité d'apparition du danger quelle que soit la dose, d'où l'absence de seuil de dose. Il est considéré que la probabilité de survenue d'un effet, le plus souvent cancérigène, croît avec la dose. La VTR s'exprime alors en excès de risque unitaire (ERU) qui correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un effet s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance.

1. La méthode présentée est celle pour les rejets chimiques liquides. Pour les rejets gazeux à l'atmosphère, la méthode d'évaluation est semblable, seule la terminologie change : on utilise la concentration inhalée (CI) au lieu de la DJE.

Sélection des VTR

Dans un premier temps, l'inventaire des VTR disponibles dans les bases de données des organismes qui élaborent des VTR pour les substances considérées est réalisé.

Le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) est effectué conformément à la note d'information DGS n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances.

Identification des traceurs de risque sanitaire

Parmi les substances rejetées par la centrale nucléaire étudiée, une sélection des substances à retenir pour l'évaluation des risques sanitaires est appliquée selon le schéma présenté ci-après.

Fig. 17 ▶ Schéma de sélection des traceurs de risque sanitaire.

Le ratio $\frac{\left(\frac{Flux}{VTR}\right)_{substance}}{\left(\frac{Flux}{VTR}\right)_{Max}}$ permet de sélectionner la substance selon sa dangerosité pondérée par le flux émis, le tout étant normalisé par le ratio maximal déterminé pour toutes les substances pour chaque type d'exposition. La limite de 1 % a été fixée de manière à être suffisamment discriminante, tout en permettant de conserver les principales substances représentatives des risques induits par les rejets en exposition chronique ou en exposition aiguë.

En complément de cette sélection, le caractère bioaccumulable et persistant dans l'environnement des substances non retenues comme traceurs de risque sanitaire à l'issue de cette étape est étudié. Les substances fortement bioaccumulables et/ou persistantes dans l'environnement peuvent alors être également retenues comme traceur de risques sanitaires ;

▪ **étape 3 : évaluation de l'exposition des populations**
Cette étape consiste à décrire les populations exposées, à déterminer leurs caractéristiques d'exposition (voie de transfert vers l'homme, durée...), ainsi qu'à quantifier les doses d'exposition.

Calcul de la dose journalière d'exposition
Afin de caractériser l'exposition des populations aux substances considérées, la dose journalière d'exposition (DJE) est calculée. La DJE correspond, pour chaque substance, à la quantité de celle-ci ingérée quotidiennement par une personne *via* les différentes voies d'exposition, rapportée à sa masse corporelle. Elle est calculée pour chaque classe d'âge et s'exprime selon la formule suivante :

▪ **étape 4 : caractérisation des risques**
Cette étape consiste, à partir des résultats des deux étapes précédentes, à évaluer le risque engendré par les rejets attribuables à l'installation, auxquels les populations riveraines peuvent être exposées.

La caractérisation des risques s'exprime différemment selon les types d'effets : effets à seuil un effet sans seuil.

Pour un effet à seuil

Pour les effets à seuil, la possibilité de survenue d'un effet toxique critique chez un individu s'exprime sous la forme d'un quotient de danger, noté QD, qui est égal au rapport de la DJE et de la dose journalière admissible (DJA), correspondant à la VTR retenue :

Lorsque le QD est inférieur à 1, il n'est pas mis en évidence de risque sanitaire.

Pour un effet sans seuil (cancérogène notamment)

Pour les effets sans seuil, le risque s'exprime par un excès de risque individuel (ERI) en fonction de l'excès de risque unitaire (ERU) :
L'ERI représente la probabilité qu'a l'individu de développer l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

Les ERI sont calculés pour chaque substance. L'ERI total de chaque substance est calculé pour l'exposition d'une vie entière en sommant les ERI de toutes les classes d'âge. La somme des ERI des substances considérées est ensuite réalisée.

La valeur de référence retenue au niveau international par les organismes ou agences en charge de la protection de la santé est de 10^{-5}. Elle correspond à une probabilité de 1 sur 100 000 de développer un effet sans seuil. **Lorsque l'ERI est inférieur à 10^{-5}, il n'est pas mis en évidence de risque sanitaire.**

Annexe 9.6

Organismes d'expertise dans l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux

- **L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)**

L'IRSN, créé en 2002, est un établissement public autonome placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de la Transition Ecologique, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. Sa mission concerne notamment la recherche et l'expertise dans les domaines de la sûreté des installations nucléaires, des transports et des déchets, de la protection de l'homme et de l'environnement.

- **L'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)**

Les questions de santé publique sont de plus en plus nombreuses (exemples : OGM, pesticides, qualité de l'eau). Pour répondre aux attentes de la société civile, les organismes chargés de l'expertise sanitaire ont été restructurés en 2010. Ainsi, l'ANSES a été créée en fusionnant l'Agence française de la sécurité des aliments (AFSSA) et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET).

Notons que, à la demande de l'autorité de sûreté nucléaire, l'AFSSET a procédé, de 2004 à 2007, à des audits sur le risque de prolifération des légionelles dans les circuits de refroidissement des centrales nucléaires équipées de tours aéroréfrigérantes. Les avis et les recommandations de l'AFSSET ont été rendus publics et sont consultables sur le site Internet de l'agence.

- **L'Agence nationale de santé publique (Santé Publique France)**

L'Institut de Veille sanitaire créé en 1998 a été remplacé en 2016 par l'Agence Nationale de Santé Publique (Santé Publique France), sous la tutelle du ministère chargé de la santé. Elle coordonne la surveillance épidémiologique, évalue les risques sanitaires et oriente les mesures de maîtrise et de prévention.

- **L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)**

L'institut est un établissement public de recherche et d'expertise créé en 1990, placé sous la tutelle du ministère de la Transition écologique. Il a pour mission de contribuer à la réduction et à la prévention des risques que les activités industrielles font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, ainsi que sur l'environnement. L'Institut a créé un portail Internet fournissant les propriétés physico-chimiques, écotoxicologiques et toxicologiques d'un grand nombre de substances chimiques.

- **L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea, ex-Cemagref).**

Irstea est un organisme de recherche qui, depuis plus de 30 ans, travaille sur les enjeux majeurs d'une agriculture responsable et de l'aménagement durable des territoires, la gestion de l'eau et les risques associés, sécheresse, crues, inondations, l'étude des écosystèmes complexes et de la biodiversité dans leurs interrelations avec les activités humaines. Il effectue les campagnes de mesures hydroécologiques de certains sites fluviaux.

- **L'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)**

L'Ifremer est un établissement public à caractère industriel et commercial créé en 1984 et placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. Pour le compte d'EDF, il réalise les campagnes de mesures hydroécologiques des sites marins (Blayais, Flamanville, Penly, Paluel, Gravelines).

- **L'Office français de la biodiversité (OFB)**

Créé le 1er janvier 2020, l'OFB assure la préservation et la restauration de la biodiversité. Il regroupe les collaborateurs issus de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS). Il répond à trois enjeux majeurs : simplifier l'organisation par le rapprochement des expertises complémentaires, coordonner pour renforcer l'efficacité des politiques publiques, renforcer l'action territoriale. Il s'est vu confier cinq missions : l'appui à la mise en œuvre des politiques de l'eau et de la biodiversité, la gestion et l'appui à la gestion d'espaces naturels, la police de l'environnement et la police sanitaire, la formation et la mobilisation des citoyens et des parties prenantes, et le développement de la connaissance, de la recherche et de l'expertise sur les espèces et les milieux, ainsi que sur la gestion adaptative.

▪ **Le Haut Conseil de santé publique (HCSP)**
Créé par la loi relative à la politique de santé publique du 9 août 2004, le Haut Conseil de la santé publique est une instance d'expertise qui reprend en les élargissant les missions du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et celles du Haut Comité de la santé publique, siégeant respectivement depuis 1848 et 1991. Il a notamment pour mission de fournir aux pouvoirs publics des réflexions prospectives et des conseils sur les questions de santé publique.

SURVEILLANCE
DE L'ENVIRONNEMENT

10

1. INTRODUCTION

2. SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AU QUOTIDIEN PAR L'EXPLOITANT

2.1 Surveillance de l'air ambiant et du milieu terrestre

2.2 Surveillance des eaux de surface

2.3 Surveillance des eaux souterraines

2.4 Points de surveillance de l'environnement

3. SURVEILLANCE D'EXPERTISE DE L'ENVIRONNEMENT : CAMPAGNES DE SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE ET HYDROÉCOLOGIQUE

3.1 Campagnes de suivis radioécologiques

3.2 Campagnes de suivis hydroécologiques

4. TRANSMISSION DES RÉSULTATS À L'ASN ET À L'ADMINISTRATION

5. COMMUNICATION DES RÉSULTATS AU PUBLIC

Pour en savoir plus

Annexes

Annexe 10.1 Surveillance de la radioactivité de l'environnement

Annexe 10.2 Programme type de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de rivière

Annexe 10.3 Programme de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de mer

© EDF-Philippe Eranian

1. Introduction

La protection de l'environnement et du public au voisinage d'une centrale nucléaire repose avant toute chose sur la conception appropriée des installations et sur la rigueur d'exploitation au quotidien. C'est l'un des objectifs majeurs de la sûreté nucléaire visant à prévenir les incidents ou accidents et, le cas échéant, à limiter leurs effets sur l'environnement ou le public.

Lorsque la centrale est en fonctionnement, l'exploitant doit réglementairement assurer une surveillance de l'environnement dont les modalités sont directement liées à la nature des rejets et des prélèvements d'eau réalisés. Cette pratique est spécifique au nucléaire en France. En Allemagne par exemple, la surveillance n'est assurée que par les autorités.

Très cadrée réglementairement, cette surveillance consiste à prélever des échantillons, à des fins d'analyse(s), dans les compartiments atmosphérique, terrestre et aquatique proches de la centrale, sous et hors vents dominants, dans les eaux souterraines, en amont et en aval du point de rejet principal des effluents liquides. Les mesures effectuées dans ce cadre n'ont de sens qu'associées à un contrôle strict des rejets d'effluents réalisés. Ensemble, celles-ci permettent de s'assurer du respect de la réglementation et de la conformité des impacts aux prévisions faites dans l'étude d'impact initiale (*cf.* chapitre 9).

La surveillance de l'environnement remplit trois fonctions principales complémentaires, à savoir (*cf.* figure 1) :

- **une fonction d'alerte** assurée au moyen de mesures en continu. Elle permet la détection précoce de toute évolution anormale d'un ou plusieurs paramètres environnementaux en lien avec l'exploitation des installations pour alerter l'exploitant afin de déclencher les investigations et, si nécessaire, les actions de prévention (ex. : arrêt d'un rejet en cours) ;
- **une fonction de surveillance** associée au suivi de paramètres que la réglementation demande de suivre au quotidien (surveillance dite de routine). Les résultats des analyses sont comparés soit à des limites à ne pas dépasser quand elles existent, soit à des valeurs repères (seuils de décision analytiques ou de quantification ou bruit de fond environnemental, par exemple) ;
- **une fonction de suivi et d'étude, également dite d'expertise,** visant à évaluer, dans la durée, les impacts des prélèvements et des rejets sur les écosystèmes terrestre et aquatique, en lien avec l'évolution du milieu. C'est l'objet des campagnes de mesures d'expertise saisonnières de radioécologie et d'hydroécologie.

Chaque centrale nucléaire réalise annuellement, sous le contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), plusieurs milliers d'analyses (chimiques, physico-chimiques, de radioactivité, microbiologiques, etc.) sur des échantillons représentatifs des compartiments atmosphérique, terrestre et aquatique dont les résultats sont transmis à l'administration et utilisés dans les documents ou supports destinés à l'information du public.

Dans un objectif de transparence et de contrôle de la validité des mesures réalisées et des résultats obtenus, l'exploitant n'est pas le seul acteur d'une surveillance qui repose sur une logique d'ensemble de maîtrise des impacts des prises d'eau et des rejets sur l'environnement. Ainsi, en parallèle de la surveillance de l'exploitant, l'ASN fait réaliser, pour son propre compte, des contrôles sur les rejets par un organisme indépendant de l'exploitant (*cf.* chapitre 6). Ce dispositif est complété par des **inspections** de l'ASN, inopinées ou non, pouvant donner lieu à des demandes de prélèvements et d'analyses dans les rejets et/ou dans l'environnement. D'autres acteurs interviennent également parmi lesquels figurent bien évidemment l'IRSN, appui technique de l'ASN et en charge de la surveillance de la radioactivité sur le territoire français, mais également les commissions locales d'information (CLI) (*cf.* chapitre 4), des universités, des laboratoires privés et des organisations non gouvernementales.

Fig. 1 ▶ Fonctions de la surveillance de l'environnement.

OBJECTIF	FONCTION	COMPARTIMENT
Détecter toute augmentation anormale de la radioactivité ambiante autour des CNPE, nécessitant une organisation et une gestion de crise	Alerte	Atmosphérique
Vérifier que les conséquences de l'exploitation du CNPE sont conformes aux prescriptions réglementaires	Surveillance de routine	Terrestre et aquatique
Réaliser le suivi de l'environnement du site et son évolution dans le temps et l'espace dans le respect des prescriptions réglementaires et *via* des mesures d'expertise réalisées à titre prospectif dans un objectif de vérification de la conformité à l'étude d'impact initiale	Surveillance d'expertise	

CNPE de Golfech (2 × 1300 MW en bordure de la Garonne)
© EDF – Didier Marc

2. Surveillance de l'environnement au quotidien par l'exploitant

Des prélèvements et des analyses sont réalisés **quotidiennement** par l'exploitant selon les modalités fixées par voie réglementaire.

Chaque CNPE dispose d'un laboratoire « Environnement », distinct du laboratoire « Effluents » conformément aux exigences réglementaires, dans un schéma d'organisation à même de contribuer à la démonstration de conformité à la norme NF EN ISO/CEI 17025 exigée par la réglementation. L'exploitant dispose également de deux véhicules laboratoires prévus pour contribuer à la gestion d'un PUI, mais utilisables pour les rondes quotidiennes réalisées dans le cadre de l'accomplissement d'activités liées à la surveillance de l'environnement. Ces véhicules, leur équipement en matériels de prélèvements et d'analyses, peuvent être adaptés après accord de l'ASN et sur la base d'une justification de l'exploitant, en fonction des caractéristiques des installations.

Si la plupart des analyses sont effectuées par le personnel de ces deux laboratoires, certaines nécessitent un niveau de technicité et de connaissances non compatibles avec les activités de routine d'un laboratoire industriel. C'est par exemple le cas de l'analyse du carbone 14 sur l'herbe ou le lait qui nécessite par imposition réglementaire d'être réalisée avec une méthode analytique propre d'un laboratoire d'expertise (*i.e.* méthode d'analyse associée à une incertitude inférieure à 15 %). Les analyses de ce type sont confiées, après accord de l'ASN, à des laboratoires extérieurs agréés pour la réalisation de ce type d'analyses.

2.1 SURVEILLANCE DE L'AIR AMBIANT ET DU MILIEU TERRESTRE

Fonction d'alerte

La fonction d'alerte pour la surveillance de l'air ambiant est assurée *in situ* par des dispositifs de mesures en continu simples et rapides dont les résultats sont retransmis en temps réel en salle de commande et auxquels est associée une alarme sur seuil :

- un réseau de sondes permettant de détecter, à chaque instant, toute augmentation anormale du débit de dose gamma de l'air ambiant. Ce réseau se compose de sondes implantées en clôture de site ainsi qu'aux stations de prélèvements situées à 1 km et à 5 km. Le signal des sondes radiamétriques de clôture et des stations à 1 km et à 5 km[1] est retransmis en salle de commande ; ces dernières sont aussi équipées d'un système d'alarme signalant toute interruption de leur fonctionnement. En complément, mais non réglementairement requis, des sondes ont été installées à 10 km dans des zones à plus forte densité de population. Ces dernières sont plus particulièrement exploitées en cas d'accident.
  Les données réglementaires issues de la surveillance en continue du débit de dose gamma ambiant sont adressées mensuellement au Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM – www.mesure-radioactivite.fr) et en temps réel vers l'IRSN pour transmission vers le site Eurdep (https://remon.jrc.ec.europa.eu/Services) de partage de données de la Commission européenne conforment aux exigences du traité Euratom.

Fonction de surveillance

Des mesures de surveillance sont notamment réalisées au niveau des stations à 1 km (dénommées stations AS pour Air au niveau du Sol) – dont une est située sous les vents dominants (AS1). Chacune des stations AS à 1 km est pourvue, en plus d'une balise radiamétrique répondant à la fonction « alerte » :

- d'un dispositif de prélèvement de poussières atmosphériques pour la mesure de l'indice de radioactivité bêta global[2] d'origine artificielle dont la limite environnementale est fixée réglementairement à 0,01 Bq/Nm^3. Si la valeur journalière dépasse le seuil d'investigation fixé à 0,002 Bq/Nm^3, une analyse de caractérisation isotopique par spectrométrie gamma est réalisée afin de connaître la nature des radionucléides en présence.

Et en AS1 uniquement :

- d'un dispositif de prélèvement (barboteur réfrigéré) pour la mesure du tritium dans l'air ambiant dont la limite environnementale est fixée réglementairement à 50 Bq/Nm^3 ;
- d'un collecteur d'eau de pluie pour la mesure de la radioactivité (tritium (^{3}H) et de l'indice de radioactivité β global).

D'autres analyses sont effectuées à titre réglementaire sur des matrices environnementales variées et représentatives de l'environnement de l'installation surveillée dans le cadre de la surveillance d'expertise (*cf.* §3.1 & Annexe 10.1).

Technicienne environnement à la station de surveillance des aérosols atmosphériques du CNPE de Cattenom – © EDF – David Queyrel

Chaque centrale nucléaire est équipée, par ailleurs, d'une station météorologique permettant de mesurer et d'enregistrer vitesse et direction du vent (à 10 mètres et à hauteur des rejets), pression atmosphérique, température, hygrométrie de l'air et pluviométrie.

2.2 SURVEILLANCE DES EAUX DE SURFACE

Fonction de surveillance sur les sites en bord de rivière

Les sites en bord de rivière sont équipés de trois types de matériels.

1) Deux dispositifs de prélèvements d'échantillons (hydrocollecteurs) sont situés en amont et en aval du site pour la mesure de radioactivité (activités volumiques en ^{3}H, indice de radioactivité bêta global hors ^{3}H et ^{40}K). Ces hydrocollecteurs automatiques permettent de prélever des échantillons à partir desquels seront analysés *a posteriori* en laboratoire les paramètres réglementés en valeurs horaires ou moyennes journalières (exemple *cf.* extrait de la décision modalités ASN n° 2016-DC-0549 du CNPE de Cruas). Il est à noter que les mesures réalisées dans ce cadre ne sont pas à proprement parler dédiées à la surveillance de l'environnement mais à rapprocher d'une fonction de surveillance de la bonne réalisation des rejets d'effluents radioactifs par voie liquide.

2) Une station de mesure du débit du cours d'eau équipe chaque centrale. La connaissance du débit du cours d'eau est indispensable à l'exécution du rejet (*cf.* chapitre 8 – annexes 8.3 & 8.4). Ainsi, les rejets radioactifs ne peuvent être réalisés que dans la plage de débit autorisée par la réglementation.

Les stations de mesure sont de deux types :

- les premières mesurent le débit au droit des usines hydroélectriques (Rhône, Rhin) lorsqu'il en existe à proximité ;

1. Sonde de mesure de débit de dose gamma ambiant : Seuil S1 = Bruit de Fond (BDF) + 0,095 µGy/h ou BDF + 0,114 µSv/h.
2. La mesure est réalisée 5 jours après la fin du prélèvement pour s'affranchir de l'influence de la radioactivité naturelle due principalement au radon et à ses descendants.

Technicien environnement à la station multiparamètres (SMP) située en aval du CNPE de Cruas-Meysse préparant les bidons à placer dans l'hydrocollecteur pour la réalisation des prélèvements horaires réalisés dans le cadre de la surveillance des rejets d'effluents liquides dans le Rhône
© EDF – Christel Sasso

- les secondes sont des limnimètres (mesures de niveau) implantés aux endroits adéquats, souvent en amont des seuils construits pour les prises d'eau.

Les mesures de débit ou de niveau sont retransmises en temps réel en salle de commande de la centrale. Les mesures de niveau sont converties en débit au moyen d'un abaque de correspondance « niveau-débit ». Les stations limnimétriques nécessitent un contrôle périodique de validité des courbes de correspondance.

3) Trois stations de **mesures physico-chimiques** (dites stations multiparamètres) sont installées dans l'émissaire de rejet principal ainsi qu'en amont et en aval du site. L'implantation de la station aval est définie en accord avec l'administration et résulte des études de dilution effectuées sur modèles réduits, à l'aide de traceurs dans le milieu récepteur et/ou *via* l'utilisation de modèles numériques.

À chaque station, une **mesure en continu** de température, d'oxygène dissous, de conductivité et de pH est notamment réalisée (*cf.* figure 3).

Ces mesures de température servent à la surveillance des rejets thermiques (*cf.* chapitre 8.5). Mais elles sont aussi exploitées pour connaître les évolutions de la température du cours d'eau en amont et en aval de la centrale. Ces chroniques de température permettent en particulier d'apprécier la dispersion des rejets de thermies au regard d'autres facteurs tels que le changement climatique ou les modifications morphologiques du cours d'eau.

Lorsqu'il existe une station de production d'eau potable en aval d'une centrale nucléaire qui pratique le traitement biocide des circuits de refroidissement (ex. Golfech), l'exploitant définit en liaison avec l'administration locale, un programme particulier de surveillance de la qualité des eaux de surface pour la période de traitement.

Extrait de la décision ASN n° 2016-DC-0549 du 8 mars 2016 pour le CNPE de Cruas-Meysse (4 × 900 MWe en bordure du Rhône)

[EDF-CRU-229] Les rejets d'effluents radioactifs liquides en provenance des réservoirs T et S ne peuvent être effectués que lorsque le débit du Rhône observé à l'amont de la centrale nucléaire est supérieur à 300 m³/s et inférieur à 3000 m³/s. L'exploitant optimise la production d'effluents et le remplissage des réservoirs T afin d'éviter au maximum les rejets des effluents lorsque le débit du Rhône est inférieur a 500 m³/s.
Lorsque le débit du Rhône est compris entre 300 et 500 m³/s, l'exploitant informe l'Autorité de sûreté nucléaire avant de procéder à un rejet. Lorsque le débit du Rhône est inférieur à 500 m³/s, les rejets d'effluents liquides radioactifs ne peuvent être réalisés que si la capacité disponible d'entreposage des effluents liquides des réservoirs T, pour l'ensemble des réacteurs de la centrale nucléaire de Cruas-Meysse, est devenue inférieure au tiers de la capacité totale d'entreposage des réservoirs T. Ces rejets sont soumis notamment aux limites spécifiques fixées par la prescription [EDF-CRU-294] de la décision n° 2016-DC-0548 du 8 mars 2016.
[EDF-CRU-233] L'activité volumique mesurée dans l'environnement au niveau de la station multiparamètres aval (dans les conditions définies à la prescription [EDF-CRU-257]) n'excède pas les limites suivantes :

PARAMÈTRES	ACTIVITÉ VOLUMIQUE HORAIRE À MI-REJET (Bq/L)	ACTIVITÉ VOLUMIQUE MOYENNE JOURNALIÈRE (Bq/L)
Tritium	280	140(1)/100(2)
Activité bêta globale (hors ^{40}K et ^{3}H)	2	–

(1) en cas de rejet/(2) en l'absence de rejet.

Fonction de surveillance sur les sites en bord de mer

Contrairement aux rivières où l'écoulement s'effectue toujours de l'amont vers l'aval, les courants marins changent en permanence selon les marées. Sur l'estuaire de la Gironde par exemple, la marée agit aussi fortement sur le courant au droit de la centrale du Blayais. Pour ces raisons, les modalités de surveillance présentent des différences avec celles d'un site en bord de rivière.

Fig. 2 ▶ Exemples de stations multiparamètres.

Armoire de mesure

Sur les centrales marines et sur celle du Blayais, les hydrocollecteurs d'échantillons sont situés :

- dans la prise d'eau de mer ; endroit non influencé par les rejets de la centrale (équivalent de l'amont sur un site en bord de rivière) ;
- dans l'émissaire de rejet principal censé représenter le milieu marin (chenal de rejet à Gravelines ; puits de rejet ou bassin de rejet pour les autres sites marins, déversoirs à la centrale du Blayais).

Sur ces prélèvements, sont effectuées les mesures réglementaires, notamment celles de radioactivité pour lesquelles des limites sont fixées dans une décision de l'Autorité de sûreté nucléaire du 6 avril 2017 relative aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejets d'effluents et de surveillance de l'environnement des réacteurs à eau pressurisée (*cf.* extrait décision 2017-DC-0588 ci-dessous). Les mesures réalisées dans ce cadre ne sont pas à proprement parler dédiées à la surveillance de l'environnement mais à rapprocher d'une fonction de surveillance de la bonne réalisation des rejets d'effluents radioactifs par voie liquide.

Des **mesures physico-chimiques** sont réalisées en continu au niveau de la prise d'eau ainsi qu'aux points de rejet, notamment la mesure de température pour le contrôle des rejets de thermies. Des mesures chimiques et biologiques ponctuelles servent à calculer les flux de substances chimiques rejetées (*cf.* chapitre 8).

Pour ce qui est des rejets thermiques des centrales marines et en estuaire, leur contrôle peut être effectué de plusieurs façons, selon les sites :

- par calcul à partir d'un modèle de dispersion des eaux tièdes dans la mer ;
- par des campagnes annuelles comportant des relevés de température à des endroits définis dans la décision modalités du site (*cf.* § 3.2) ;
- par des mesures thermographiques (*cf.* figure 4) ;
- par des contrôles périodiques par thermographie aérienne « infrarouge ».

Cas de la centrale du Blayais (4 × 900 MWe située sur la Gironde)

Les ouvrages de rejet des eaux des condenseurs refroidis en circuits ouverts et des effluents radioactifs et chimiques de la centrale du Blayais, sont communs à 2 réacteurs. De ces ouvrages, partent deux grosses canalisations débouchant au milieu de l'estuaire.

Sur chaque canalisation de rejet, un endroit est prévu pour effectuer les prélèvements nécessaires à la mise en œuvre du programme de surveillance défini dans les prescriptions réglementaires. Ces points sont implantés de sorte à permettre la réalisation de mesures représentatives de l'effluent liquide rejeté.

Les modalités de surveillance des rejets radioactifs sont semblables à celles d'un site marin. S'agissant des rejets de thermies, les températures sont mesurées, sur des périodes de trois heures consécutives, par des thermographes implantés dans les arrivées d'eau de Gironde et au milieu de l'estuaire dans le champ proche des rejets. Ces mesures sont retransmises en salle de commande.

Par ailleurs et dans le cas présent, le déplacement des bancs de sable dans l'estuaire de la Gironde conduit à un ensablement des prises d'eau et des zones proches des rejets qui nécessitent la réalisation de dragages fréquents (*cf.* chapitre 8).

2.3 SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines situées au droit des centrales nucléaires font l'objet de mesures de surveillance. Aucun rejet de quelque nature qu'il soit n'est autorisé dans ces eaux. La présence éventuelle – à un niveau supérieur au niveau de référence local – de radionucléides ou de substances chimiques dans les eaux souterraines ne peut être le fait que d'événements anormaux que l'exploitant doit analyser afin

Extrait de la décision 2017-DC-0588 de l'Autorité de sûreté nucléaire en date du 6 avril 2017 relative aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejets d'effluents et de surveillance de l'environnement des réacteurs à eau sous pression (dite décision Modalités parc) et dans laquelle sont fixées les limites en termes d'activité volumique à ne pas dépasser dans le milieu récepteur.

	SITE EN BORD DE RIVIÈRE		SITE EN BORD DE MER OU ESTUARIEN	
GRANDEUR MESURÉE	ACTIVITÉ VOLUMIQUE HORAIRE À MI-REJET (Bq/L)	ACTIVITÉ VOLUMIQUE MOYENNE JOURNALIÈRE (Bq/L)	ACTIVITÉ VOLUMIQUE HORAIRE À MI-REJET (Bq/L)	ACTIVITÉ VOLUMIQUE MOYENNE JOURNALIÈRE (Bq/L)
Activité du tritium	280	140 (1) / 100 (2)	1 800	900 (1)/ 100 (2)
Activité des émetteurs bêta (hors ^{40}K et tritium)	2	-	18	-

(1) en présence de rejet radiactof / (2) en l'absence de rejet radioactif

Fig. 3 ▶ Schéma de principe des thermographes des centrales de Gravelines et du Blayais.

de déterminer si l'observé est lié à l'exploitation des installations ou le fait d'une cause externe.

Logique de prévention

La prévention contre la dissémination de radionucléides ou de substances chimiques dans les eaux souterraines et les sols repose sur la logique dite de « *défense en profondeur* » qui se traduit par :

- l'application de règles de prévention (interdiction des rejets au sol et dans les eaux souterraines, maîtrise des opérations d'exploitation, bonne gestion des effluents, de leur transfert, de leur entreposage avant rejet) ;
- le maintien en conformité des dispositifs de protection assurant une barrière entre les circuits contenant ou véhiculant des radionucléides ou des substances chimiques et l'environnement, (entretien des puisards, rétentions, aires de dépotage, étanchéité des canalisations et de leurs organes d'exploitation et d'isolement...) ;
- le maintien de la propreté radiologique surfacique des sols ;
- la surveillance des eaux souterraines au travers de mesures réalisées sur des prélèvements d'eau, dans le respect de la réglementation.

Mesures de surveillance

À des fins d'analyses, des prélèvements d'eau souterraine sont réalisés périodiquement dans des ouvrages piézométriques creusés à cet effet (*cf.* figure 5). Ces ouvrages sont positionnés de manière à pouvoir accéder aux nappes d'eaux souterraines situées en amont et aval hydraulique du site et en aval direct des installations susceptibles d'être à l'origine d'un déversement de substances chimiques ou de radionucléides pouvant atteindre le sol et les eaux souterraines. Selon les sites, entre une dizaine et une trentaine de piézomètres est utilisée aux fins de surveillance de routine.

Pour chaque ouvrage utilisé pour la surveillance de routine des eaux souterraines, un programme analytique spécifique est défini, avec :

- une sélection de traceurs chimiques et radiochimiques pertinents associés aux substances et radionucléides présents sur l'installation, en amont du piézomètre concerné ;
- une fréquence d'analyse, fonction des vitesses d'écoulement des eaux souterraines.

Exemple de piézomètre installé au CNPE de Flamanville 3 – © Envisol

Les résultats des mesures requises réglementairement sont reportés sur le registre réglementaire transmis mensuellement à l'ASN.

2.4 POINTS DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

Les principaux points de surveillance des rejets et de l'environnement (surveillance de routine) sont représentés dans la figure 6 pour une centrale nucléaire en bord de rivière.

Fig. 4 ▶ Schéma d'un piézomètre (issu de la norme NF X 31-614 de décembre 2017).

Légende

h : hauteur du massif filtrant dépassant le sommet de la crépine

H : hauteur de la colonne captante

h ≥ 0,1 H et h ≥ 50 cm

Mais la présence du massif filtrant ne doit pas permettre la mise en communication de plusieurs aquifères.

1	Tube de protection	10	Niveau des plus hautes eaux de la nappe
2	Capot amovible	11	Niveau piézométrique
3	Dalle de propreté bombée	12	Massif filtrant
4	Massif béton	13	Tube crépiné
5	Cimentation	14	Zone saturée
6	Bouchon d'argile gonflante	15	Substratum peu perméable ou plancher de l'aquifère
7	Zone non saturée	16	Piège à sédiments
8	Tube plein	17	Bouchon de fond
9	Frange capillaire		

Fig. 5 ▶ Illustrations des principaux points de la surveillance de routine de l'environnement d'un centre nucléaire de production d'électricité.

3. Surveillance d'expertise de l'environnement : campagnes de suivi radioécologique et hydroécologique

À la surveillance pratiquée au quotidien, s'ajoutent des mesures non compatibles avec les activités de routine d'un laboratoire industriel en raison notamment de leur technicité (*i.e.* : analyse trimestrielle du ^{14}C sur des échantillons d'herbe prélevés sous les vents dominants) et d'autres de type saisonnières, dont la finalité est de suivre certains paramètres pertinents (indicateurs) afin d'évaluer dans la durée l'impact du fonctionnement de la centrale sur l'environnement. Ces suivis d'expertise portent sur la radioactivité des écosystèmes terrestre et aquatique (radioécologie) et sur la physico-chimie et la biologie du milieu aquatique (hydroécologie). Ces campagnes de mesures dont tout ou partie sont prescrites par la réglementation sont mises en œuvre, sous la responsabilité de l'exploitant, par des organismes ou laboratoires spécialisés externes à la centrale.

3.1 CAMPAGNES DE SUIVIS RADIOÉCOLOGIQUES

La radioécologie a pour objectif d'étudier et comprendre le devenir et l'impact des rejets d'effluents radioac-

tifs liquides et atmosphériques sur les écosystèmes terrestre et aquatique. Aussi les mesures réalisées dans ce cadre doivent-elles répondre à une logique de démonstration et de compréhension des phénomènes observés. Ce type de campagne de mesure est réalisé aux différents stades de la vie de la centrale :

- avant le démarrage de celle-ci pour établir l'état initial de référence (point zéro) ;
- chaque année et complété de manière quinquennale dans le cadre des **suivis** mis en place depuis 1992 sur l'ensemble des centrales nucléaires (*cf.* annexe 10.1) ;
- tous les dix ans de fonctionnement afin de tirer un **bilan** complet dit décennal de l'état des écosystèmes que l'on compare au point zéro.

1. Prélèvements d'eau de surface à proximité de la centrale nucléaire de Chooz réalisé dans le cadre du suivi radioécologique annuel – © David Claval / Médiathèque IRSN
2. Prélèvement annuel de salades réalisé dans le cadre de la surveillance radioécologique d'une centrale nucléaire – © David Claval / Médiathèque IRSN

La compréhension de l'observé et les connaissances acquises au fil du temps ont permis d'optimiser la surveillance radioécologique, et donc les campagnes d'échantillonnage, par un choix de matrices variées permettant d'acquérir une image la plus représentative possible du niveau de radioactivité de l'environnement autour des centres nucléaires de production d'électricité. Ces campagnes sont généralement effectuées entre mai et octobre, période où la végétation est active. Les échantillons prélevés sont très variés et se composent des matrices issues des compartiments terrestres et/ou aquatiques connues pour leur rôle de vecteur direct de la radioactivité (eaux), leurs facultés à intégrer les radionucléides (mousses terrestres et aquatiques, sols, sédiments...) ou encore leur rôle de maillons de la chaîne alimentaire (lait, légumes, poissons, eau de boisson).

Sur ces échantillons sont réalisées des analyses physico-chimiques (granulométrie, teneur en carbone élémentaire, taux de matière sèche...) et radiochimiques (spectrométrie gamma, tritium libre et organique, carbone 14...).

Des échantillons supplémentaires sont également prélevés et stockés, *a minima* une dizaine d'années, dans une échantillothèque dont l'ambiance est suivie/surveillée afin de garantir leur conservation. Ils pourront, le cas échéant, être analysés pour confirmer ou infirmer certains résultats voire pour rechercher *a posteriori* la présence d'un radionucléide donné.

La radioécologie nécessite des connaissances scientifiques approfondies des comportements des écosystèmes vis-à-vis de la radioactivité mais également de biologie (biochimie, métabolisme végétal et animal, et humain...). Les études radioécologiques font par ailleurs appel à des performances analytiques élevées, exigeant des techniques complexes, et dont les délais de restitution ne sont pas compatibles avec les objectifs de surveillance court terme mise en œuvre par l'exploitant. Pour toutes ces raisons, EDF a pris le parti de confier la réalisation des suivis radioécologiques à des laboratoires externes reconnus pour leurs compétences et leur expertise dans le domaine.

Si les résultats des mesures réglementaires obtenus dans le cadre des suivis radioécologiques sont annexés au rapport environnemental annuel, il convient de rappeler que tous les résultats de la surveillance réglementaire de la radioactivité de l'environnement sont également présentés et accessibles gratuitement sur le site internet du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (www.mesure-radioactivite.fr).

3.2 CAMPAGNES DE SUIVIS HYDROÉCOLOGIQUES

Le programme de surveillance hydroécologique (milieu aquatique marin ou de rivière) permet de suivre et d'étudier l'évolution spatio-temporelle de l'écosystème aquatique sur le long terme et de déceler toute évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement du site. Ce programme est établi en accord avec l'administration, et réalisé sous la responsabilité de l'exploitant par des organismes scientifiques et des bureaux d'études spécialisés. Ces suivis sont réalisés depuis la mise en service des centrales nucléaires et font l'objet d'une publication annuelle de la part des sites de production auprès des autorités et élus locaux.

À titre d'exemple, les suivis hydroécologiques de l'écosystème fluvial sont constitués *a minima* d'une campagne annuelle sur chacun des compartiments biologiques (poissons, macroinvertébrés benthiques, macrophytes, diatomées) et de six campagnes annuelles de mesures chimiques et physico-chimiques (pH, température, oxygène dissous, conductivité, MES, matière organique, matières azotées et phosphorées, etc.), ce qui représente au total une trentaine de campagnes de mesures au minimum dans le milieu récepteur par site et par an, soit un total d'environ 20 000 mesures environnementales autour des sites nucléaires. Des exemples de programme de suivi hydroécologique en milieu fluvial et en milieu marin sont donnés en annexes 10.2 et 10.3.

Ces suivis peuvent être plus conséquents en fonction d'enjeux spécifiques sur le territoire. Pour mieux répondre à des questionnements locaux, des études complémentaires sont lancées en tant que de besoin avec des partenaires scientifiques, comme

par exemple pour l'amélioration des connaissances sur les peuplements de grande alose (*Alosa alosa*) dans l'estuaire de la Gironde (IRSTEA-Bordeaux), ou l'étude des effets cumulés des rejets thermiques des sites sur le Rhône et la relation entre ces derniers et hydrobiologie.

Ces programmes de surveillance peuvent, le cas échéant, être complétés en cas de situation climatique exceptionnelle.

Prélèvement de Fucus serratus lors du suivi hydrobiologique de l'environnement du CNPE de Paluel – © GEMEL

Les séries de données écologiques issues de la surveillance annuelle et des études spécifiques acquises par EDF depuis la mise en service des centrales nucléaires, de par leur ampleur et leur durée, constituent une source de connaissance sur les écosystèmes aquatiques d'une grande richesse. En effet, les études d'impact réalisées par l'ingénierie nucléaire exploitent largement les données issues de la surveillance de l'environnement pour décrire les évolutions de l'écosystème aquatique et analyser leurs causes au regard du fonctionnement des sites EDF (*cf.* chapitre 9). Elles sont également valorisées à l'externe au travers d'études sur l'évolution du milieu en lien avec les phénomènes globaux sur plusieurs décennies, avec des partenaires scientifiques et institutionnels.

Tamisage d'un prélèvement de sédiment destiné à l'analyse faunistique lors de la campagne de printemps du suivi hydrobiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines – © GEMEL

4. Transmission des résultats à l'ASN et à l'administration

Conformément aux exigences de la réglementation en vigueur, les résultats des analyses réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaires de l'environnement rejoignent ceux réalisés sur les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents au sein d'un **rapport mensuel** et d'un **rapport environnemental annuel** (*cf.* chapitre 4) transmis à l'ASN, au service de la police des eaux ainsi qu'aux administrations régionales (DREAL, ARS selon leur domaine de compétence).

Pour ce qui concerne les mesures de radioactivité effectuées dans l'environnement, les résultats sont consignés, par l'exploitant, dans un registre réglementaire dit « Environnement » (*cf.* figure 7) adressé mensuellement à l'ASN aux côtés du registre des « Rejets des effluents liquides » et de celui des « Rejets d'effluents gazeux ».

Par ailleurs, l'exploitant communique à l'ASN et au service de la police des eaux, les procédures analytiques et les méthodes de calculs utilisées pour vérifier les limites autorisées, en mentionnant et justifiant les incertitudes associées aux analyses réalisées.

Figure 7 Extrait du registre mensuel des mesures de la radioactivité dans l'environnement du mois de janvier 2020 du CNPE de Paluel présentant à titre d'exemple les résultats de l'activité beta globale mesurée à J + 6 sur les filtres de prélèvements d'aérosols des 4 stations AS.

Registre mensuel des mesures de radioactivité dans l'environnement du mois de Janvier 2020

Centre Nucléaire de Production d'Electricité EDF
-
EDF - CNPE Paluel
-
Registre n° PAL-2020-01-EnMen-01

SIGNATAIRES	NOM	DATE
Approbateur		
Responsable Site		

Centre Nucléaire de Production d'Electricité de EDF - CNPE Paluel

Registre n° PAL-2020-01-EnMen-01

Registre mensuel mois de Janvier 2020

Analyse sur les poussières atmosphériques

Activité volumique bêta globale à J+6

Date de prélèvement	AS1	AS2	AS3	AS4
01/01/2020	7.70E-04 Bq/Nm3	9.57E-04 Bq/Nm3	7.57E-04 Bq/Nm3	8.98E-04 Bq/Nm3
02/01/2020	4.83E-04 Bq/Nm3	4.01E-04 Bq/Nm3	6.03E-04 Bq/Nm3	4.40E-04 Bq/Nm3
03/01/2020	2.14E-04 Bq/Nm3	1.69E-04 Bq/Nm3	1.40E-04 Bq/Nm3	1.63E-04 Bq/Nm3
04/01/2020	1.59E-04 Bq/Nm3	1.06E-04 Bq/Nm3	<= 9.15E-05 Bq/Nm3	<= 9.14E-05 Bq/Nm3
05/01/2020	1.44E-04 Bq/Nm3	2.11E-04 Bq/Nm3	2.32E-04 Bq/Nm3	3.07E-04 Bq/Nm3
06/01/2020	3.27E-04 Bq/Nm3	2.60E-04 Bq/Nm3	3.29E-04 Bq/Nm3	3.13E-04 Bq/Nm3
07/01/2020	2.49E-04 Bq/Nm3	2.89E-04 Bq/Nm3	2.71E-04 Bq/Nm3	2.13E-04 Bq/Nm3
08/01/2020	1.40E-04 Bq/Nm3	1.22E-04 Bq/Nm3	<= 9.60E-05 Bq/Nm3	1.22E-04 Bq/Nm3
09/01/2020	2.34E-04 Bq/Nm3	2.92E-04 Bq/Nm3	2.55E-04 Bq/Nm3	2.55E-04 Bq/Nm3
10/01/2020	1.19E-04 Bq/Nm3	1.87E-04 Bq/Nm3	1.63E-04 Bq/Nm3	1.60E-04 Bq/Nm3
11/01/2020	3.15E-04 Bq/Nm3	2.54E-04 Bq/Nm3	1.54E-04 Bq/Nm3	4.04E-04 Bq/Nm3
12/01/2020	1.90E-04 Bq/Nm3	1.26E-04 Bq/Nm3	1.58E-04 Bq/Nm3	1.09E-04 Bq/Nm3
13/01/2020	1.49E-04 Bq/Nm3	1.59E-04 Bq/Nm3	1.53E-04 Bq/Nm3	2.81E-04 Bq/Nm3
14/01/2020	4.18E-04 Bq/Nm3	4.74E-04 Bq/Nm3	4.16E-04 Bq/Nm3	4.87E-04 Bq/Nm3
15/01/2020	1.55E-04 Bq/Nm3	1.11E-04 Bq/Nm3	1.27E-04 Bq/Nm3	1.29E-04 Bq/Nm3
16/01/2020	5.73E-04 Bq/Nm3	6.08E-04 Bq/Nm3	6.13E-04 Bq/Nm3	6.18E-04 Bq/Nm3
17/01/2020	1.57E-04 Bq/Nm3	<= 9.09E-05 Bq/Nm3	1.53E-04 Bq/Nm3	1.27E-04 Bq/Nm3
18/01/2020	2.01E-04 Bq/Nm3	2.11E-04 Bq/Nm3	2.13E-04 Bq/Nm3	2.22E-04 Bq/Nm3
19/01/2020	1.15E-04 Bq/Nm3	<= 1.00E-04 Bq/Nm3	1.68E-04 Bq/Nm3	1.37E-04 Bq/Nm3
20/01/2020	1.27E-04 Bq/Nm3	1.63E-04 Bq/Nm3	1.86E-04 Bq/Nm3	1.67E-04 Bq/Nm3
21/01/2020	3.22E-04 Bq/Nm3	2.01E-04 Bq/Nm3	2.82E-04 Bq/Nm3	2.64E-04 Bq/Nm3
22/01/2020	2.73E-04 Bq/Nm3	2.54E-04 Bq/Nm3	2.34E-04 Bq/Nm3	2.69E-04 Bq/Nm3
23/01/2020	2.60E-04 Bq/Nm3	3.30E-04 Bq/Nm3	3.09E-04 Bq/Nm3	2.45E-04 Bq/Nm3
24/01/2020	4.82E-04 Bq/Nm3	4.58E-04 Bq/Nm3	4.09E-04 Bq/Nm3	4.25E-04 Bq/Nm3
25/01/2020	1.02E-03 Bq/Nm3	1.02E-03 Bq/Nm3	1.03E-03 Bq/Nm3	1.13E-03 Bq/Nm3
26/01/2020	7.17E-04 Bq/Nm3	6.71E-04 Bq/Nm3	5.99E-04 Bq/Nm3	6.98E-04 Bq/Nm3
27/01/2020	2.33E-04 Bq/Nm3	1.64E-04 Bq/Nm3	1.93E-04 Bq/Nm3	2.13E-04 Bq/Nm3
28/01/2020	2.08E-04 Bq/Nm3	1.56E-04 Bq/Nm3	1.24E-04 Bq/Nm3	1.78E-04 Bq/Nm3
29/01/2020	1.65E-04 Bq/Nm3	2.35E-04 Bq/Nm3	2.70E-04 Bq/Nm3	2.79E-04 Bq/Nm3
30/01/2020	<= 9.48E-05 Bq/Nm3	<= 9.45E-05 Bq/Nm3	<= 9.44E-05 Bq/Nm3	<= 9.46E-05 Bq/Nm3
31/01/2020	<= 9.79E-05 Bq/Nm3	1.40E-04 Bq/Nm3	1.78E-04 Bq/Nm3	1.12E-04 Bq/Nm3

5. Communication des résultats au public

Les résultats de la surveillance de l'environnement font l'objet du rapport environnemental annuel (*cf.* chapitre 4).

En ce qui concerne les résultats des mesures réglementaires de surveillance de la radioactivité de l'environnement, ces derniers sont transmis au **Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM)** (*cf.* chapitre 4.4.1. et encart). Les données de surveillance en continu de débit de dose gamma ambiant sont également transmises à l'IRSN pour alimenter en temps réel le site Eurdep (https://remon.jrc.ec.europa.eu/Services) de partage de données de la Commission européenne conformément aux exigences du traité Euratom.

Des données issues de la surveillance de l'environnement sont aussi utilisées dans l'ex rapport « TSN » aujourd'hui nommé « Rapport annuel d'information du public relatif au site de XX », destiné au public (*cf.* chapitre 4.3.1.) et rédigé au titre des articles L. 125-15 et L. 125-16 du Code de l'environnement.

Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) http://www.mesure-radioactivite.fr

À l'occasion de la transposition de la directive européenne 96/29 sur la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants, le décret n° 2002-460 du 4 avril 2002 institue le Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) dans le Code de la santé publique.

Codifié à l'article l'article R. 1333-25 du Code de la santé publique, ce réseau a pour objectifs de grouper les informations sur la radioactivité de l'environnement en France et donc de faciliter l'accès de tous les publics aux résultats des mesures tout en renforçant l'harmonisation et la qualité des mesures effectuées par les laboratoires.

Le Réseau fonctionne sous l'égide de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en coordination avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et les autres acteurs tels que les représentants des principaux ministères concernés, les agences sanitaires, les industriels du nucléaire, les associations de protection de l'environnement et les consommateurs.

Afin d'être autorisés à alimenter le réseau, les laboratoires doivent être agréés pour chaque mesure de radioactivité de l'environnement considérée (*cf.* article R. 1333-26 du Code de la santé publique). Cet agrément, attribué pour 5 ans, est délivré par l'ASN sur proposition d'une commission d'agrément qui examine notamment :

- la conformité des laboratoires aux dispositions d'assurance qualité de la norme NF EN ISO/CEI 17025 applicable aux laboratoires d'étalonnages et d'essais. Le laboratoire ayant obtenu une reconnaissance d'accréditation 17025 par un organisme d'accréditation tel le COFRAC, est réputé satisfaire à cette condition ;
- les résultats des essais d'inter-comparaison organisés par l'IRSN pour chaque mesure pour laquelle un agrément est sollicité.

Les données sur la radioactivité de l'environnement rassemblent notamment les résultats des analyses réalisées par :

- les laboratoires des établissements (INB, centres de recherche…) soumis au respect des dispositions législatives ou réglementaires visant à évaluer les doses auxquelles la population est soumise ;
- les laboratoires sollicités par les collectivités territoriales, des services de l'État, des Commissions locales d'information ;
- tout organisme public, privé ou associatif dès lors que les laboratoires ont obtenu les agréments nécessaires de l'ASN.

L'architecture de principe du RNM est la suivante

Ce réseau a été ouvert au public en février 2010. À fin 2019, il contenait près de 4 millions de résultats d'analyses de radioactivité de l'environnement.

POUR EN SAVOIR PLUS :

- www.mesure-radioactivite.fr
- https://remon.jrc.ec.europa.eu/Services
- www.irsn.fr
- https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2015-2017.pdf
- étude thermique du Rhône : https://www.eaurmc.fr/jcms/vmr_36527/fr/etude-thermique-du-fleuve-rhone

Annexe 10.1

Surveillance de la radioactivité de l'environnement prévue à l'article 3.3.3 de la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base modifiée par la décision n°2016-DC-0569 de l'ASN du 29 septembre 2016 homologuée par l'arrêté du 5 décembre 2016

COMPARTIMENT DE L'ENVIRONNEMENT	CONDITION SUR LES REJETS RADIOACTIFS	NATURE DU CONTRÔLE	FRÉQUENCE	PARAMÈTRES OU ANALYSES *(TOUTE INSTALLATION)*	PARAMÈTRES OU ANALYSES *(INSTALLATIONS SUSCEPTIBLES D'ÉMETTRE DES ALPHAS)*
Air au niveau du sol	**Si rejets atmosphériques**	Activité volumique dans l'air [1]	Hebdomadaire à mensuelle [2]	En fonction des rejets de l'installation [1]	
		Poussières atmosphériques [3] [4]	Quotidienne	Détermination de l'activité bêta globale et spectrométrie gamma [9] si l'activité bêta globale > 2 mBq/m³	Détermination de l'activité alpha globale et spectrométrie gamma [9] si l'activité alpha globale > 2 mBq/m³
			Mensuelle	Spectrométrie gamma [9] sur regroupement des filtres quotidiens d'une même station	Spectrométrie alpha [10] sur regroupement des filtres quotidiens d'une même station
Radioactivité ambiante		Radioactivité ambiante dans un rayon inférieur à 10 km autour de l'installation [5]	Enregistrement continu	Débit de dose gamma ambiant	
Précipitations atmosphériques	**Si rejets atmosphériques**	Prélèvement continu des précipitations dans l'environnement	Bimensuelle	Détermination de l'activité bêta globale Tritium [7] Potassium (sites marins) [6]	Détermination de l'activité alpha globale
Eaux de surface	**Si rejets liquides**	Contrôle des eaux de surface en aval des rejets	Horaire à mensuelle[2]	Détermination de l'activité bêta globale Tritium [7] Potassium [6]	Détermination de l'activité alpha globale
Eaux souterraines		Contrôle des eaux souterraines[12]	Mensuelle à annuelle[2]	Détermination de l'activité bêta globale Tritium [7] Potassium [6]	Détermination de l'activité alpha globale
Végétaux terrestres	**Si rejets atmosphériques**	Prélèvement de végétaux dans une zone située sous les vents dominants à proximité du site (environ 1 km)	Mensuelle à annuelle[2]	Spectrométrie gamma [9] Tritium [7] (HTO et TOL) Carbone 14 [7]	Spectrométrie alpha [10]

COMPARTIMENT DE L'ENVIRON-NEMENT	CONDITION SUR LES REJETS RADIOACTIFS	NATURE DU CONTRÔLE	FRÉQUENCE	PARAMÈTRES OU ANALYSES *(TOUTE INSTALLATION)*	PARAMÈTRES OU ANALYSES *(INSTALLATIONS SUSCEPTIBLES D'ÉMETTRE DES ALPHAS)*
Lait	**Si rejets gazeux atmosphériques**	Prélèvement de lait produit au voisinage de l'installation (0 – 10 km) (8)	Mensuelle à annuelle(2)	Spectrométrie gamma (9) Tritium (7) Carbone 14 (7) Strontium 90 (7)	
Sol	**Si rejets atmosphériques**	Prélèvement des couches superfi-cielles des terres	Annuelle	Spectrométrie gamma (9)	
Flore aquatique	**Si rejets liquides**	Prélèvements de flore aquatique dans les zones proches des rejets (2bis)	Annuelle	Spectrométrie gamma (11)	
Faune aquatique	**Si rejets liquides**	Prélèvements de faune aquatique dans les zones proches des rejets (2bis)	Annuelle	Eaux douces (y com-pris milieu dulçaqui-cole et estuaire) : Spectrométrie gamma (11), Tritium (7) (TOL) et Carbone 14 (7) sur poissons Eaux marines : Spectrométrie gamma (11) et Tritium (7) (TOL) sur crustacés, mollusques et poissons, et Carbone 14 (7) sur poissons ou mollusques	
Sédiments	**Si rejets liquides**		Annuelle	Spectrométrie gamma (11)	Spectrométrie alpha (10)
Productions agricoles	**Si rejets atmosphériques**	Prélèvement sur les principales productions agri-coles, notamment dans les zones situées sous les vents dominants	Annuelle	Tritium (7) (HTO et TOL) Spectrométrie gamma (9)	

(1) Via une station de prélèvement d'air, pour les catégories de radionucléides pour lesquelles une valeur limite d'émission est fixée.

(2) Pour chaque installation, la périodicité est précisée dans la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant les prescriptions relatives aux modalités de rejets dans l'environnement des effluents.

(2bis) En fonction des rejets qualitatifs et quantitatifs des rejets et des moyens techniques existants, pour lesquels une valeur limite d'émission est fixée.

(2ter) Pour chaque installation, les prélèvements et paramètres sont adaptés et précisés dans la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant les prescriptions relatives aux modalités de rejets dans l'environnement des effluents.

(3) Un point de mesure étant nécessairement situé sous les vents dominants par rapport à l'installation.

(4) Via une station d'aspiration en continu sur un filtre fixe.

(5) En limite d'installation ou d'établissement, la mesure en continu du débit de dose gamma ambiant peut être remplacée par une mesure du rayonnement gamma par dosimétrie passive à fréquence mensuelle.

(6) Déterminé par mesure chimique.

(7) Uniquement si rejeté par l'installation.

(8) En cas de production laitière dans le périmètre de 10 kilomètres autour de l'installation.

(9) Spectrométrie gamma portant notamment sur les radionucléides rejetés sous forme gazeuse et le potassium 40.

(10) Spectrométrie alpha portant notamment sur les radionucléides rejetés sous forme gazeuse.

(11) Spectrométrie gamma portant notamment sur les radionucléides rejetés sous forme liquide et le potassium 40.

(12) Pour chaque installation, les piézomètres concernés par les mesures sur les eaux souterraines sont précisées dans la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant les prescriptions relatives aux modalités de rejets dans l'environnement des effluents.

EXEMPLE DE CAMPAGNE DE SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE

CAMPAGNE ANNUELLE DE SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE				
COMPARTIMENT	POINT SURVEILLÉ	PRÉLÈVEMENTS	ANALYSES	FRÉQUENCE
Écosystème terrestre	En fonction de la rose des vents locale : points sous et hors des vents dominants	Sols, indicateurs végétaux (mousses), productions agricoles, herbe de prairie, lait	Spectrométrie gamma, tritium libre, tritium organiquement lié, carbone 14, iode 131 sur les mousses	Annuelle
Écosystème aquatique continental	Amont, aval proche et aval lointain	Sédiments, végétaux aquatiques, poissons	Spectrométrie gamma, tritium libre et organiquement lié, carbone 14, iode 131, nickel 63 et fer 55 sur les végétaux aquatiques	Annuelle
Écosystème aquatique marin	En fonction de la zone de rejets et de la diffusion liquide	Sédiments, algues, crustacés, mollusques, poissons	Spectrométrie gamma, tritium libre et organiquement lié, carbone 14, iode 131 sur les algues	Annuelle

Annexe 10.2

Programme type de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de rivière

NATURE DES INVESTIGATIONS		OBJECTIFS	NATURE DE L'OPÉRATION	FRÉQUENCE SELON ARRÊTÉ DE REJET OU DÉCISION ASN
Compartiment piscicole	Campagne de surveillance ichtyologique (faune)	Analyse de la variabilité spatio-temporelle du peuplement hors et sous influence du fonctionnement du site	Dénombrement des espèces et analyses des classes de taille (amont – aval) Calcul d'indice biologique	1 à 4 campagnes par an
Autres compartiments hydrobiologiques	Algues planctoniques (flore)	Analyse de la variabilité spatio-temporelle des peuplements hors et sous influence du fonctionnement du site	Identification et dénombrement (amont – aval) identification de blooms algaux	2 à 8 campagnes par an
	Diatomées benthiques		Identification et dénombrement (amont – aval) Calcul d'un indice biologique	1 à 4 campagnes par an
	Macro-invertébrés benthiques (faune)		Identification et dénombrement (amont – aval) Calcul d'un indice biologique	2 à 4 campagnes par an
	Macrophytes		Identification et dénombrement (amont – aval) Calcul d'un indice biologique	1 campagne par an
Paramètres chimiques et physicochimiques	O_2, T°, pH, conductivité	Évaluation des variations quotidiennes de ces paramètres	Mesures en continu de ces paramètres (amont – aval – rejet)	En continu
	DCO, DBO5, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, N total, P, PO_4^{3-}, COD, TAC, MES, turbidité, sels dissous, pigments chlorophylliens, métaux, Produits de conditionnement (bore, hydrazine, morpholine…)	Caractérisation du milieu, notamment les paramètres physico-chimiques soutenant la biologie Suivi des concentrations en substances chimiques dans le milieu récepteur (selon nature des produits de conditionnement utilisés sur le site)	Mesures ponctuelles saisonnières (amont – aval)	4 à 12 fois par an

Annexe 10.3

Exemple de programme de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de mer (cas de Flamanville)

DOMAINE	COMPARTIMENT	PROGRAMME DE SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE ET HALLEUTIQUE		
		PARAMÈTRE	STATIONS	FRÉQUENCE
PÉLAGIQUE	Hydrologie	Température	3 stations : Canal d'amenée, Rejet, Référence	3 campagnes/an (printemps, été, automne)
		Salinité		
	Physico-Chimie / Chimie	Ammonium		
		Nitrates		
		Phosphates		
		Silicates		
		Turbidité néphélométrique		
		Oxygène dissous		
		Hydrazine		
		Ethanolamine (ou morpholine selon le produit de conditionnement utilisé)		
	Phytoplancton	Détermination et dénombrement des espèces		
		Biomasse chlorophylienne		
	Zooplancton	Suivi des taxons indicateurs (identification et abondance)		
		Abondance zooplanctonique		
	Micro-organismes	Identificaiton et dénombrement des couvhes de vibrions halophiles		
BENTHIQUE	Phytobenthos intertidal	Suivi des populations de Fucus serratus	Platier de Diélette, 1 radiale dans zone à Fucus Serratus : – Baguage de pieds réalisé le long de la radiale – Biomasse mesurée en 3 secteurs de référence sur la radiale	3 campagnes/an (printemps, été, automne)
	Zoobenthos intertidal (cirripèdes)	Suivi des populations de cirripèdes (densité de cirripèdes, % et densité des différentes espèces, densité des principales espèces accompagnatrices)	Pointe du Rozel : 4 points Cap de Flamanville : 3 points	3 campagnes/an (printemps, été, automne)
		Étude de recolonisation du substrat	4 points	3 campagnes/an (printemps, été, automne)
HALIEUTIQUE	Larves de crustacés	Population de : – larves d'araignées – larves de homard	4 stations : Canal d'amenée, Rejet, Au large - hors zone d'influence, Référence	6 campagnes/an entre février et septembre
	Crustacés (pêches expérimentales)	Caractéristiques biologiques	15 filières réparties à proximité des rejets du site	2 campagnes/an (juin et septembre)

© EDF – Frédérick Jacob

MÉTROLOGIE
ENVIRONNEMENTALE

11

1. INTRODUCTION

2. IMPORTANCE DE L'ÉCHANTILLONNAGE EN MÉTROLOGIE

3. TECHNIQUES DE MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ
3.1 Techniques de détection de la radioactivité
3.2 Mesures de la radioactivité dans les effluents gazeux
3.3 Mesures de la radioactivité dans les effluents liquides
3.4 Mesures de la radioactivité dans l'environnement

4. MÉTHODES ANALYTIQUES APPLIQUÉES AUX SUBSTANCES CHIMIQUES
4.1 Paramètres chimiques et biologiques
4.2 Méthodes de mesures physico-chimiques
4.3 Tableau récapitulatif des types de mesures chimiques réalisées en centrale

5. MÉTHODES DE MESURES MICROBIOLOGIQUES
5.1 Mesures des légionelles
5.2 Mesure des amibes

6. ORGANISMES DE NORMALISATION ET D'HOMOLOGATION
6.1 Organismes internationaux de normalisation
6.2 Organismes français de normalisation et d'homologation
6.3 Organisme français d'accréditation

Annexe 11.1 Principales grandeurs et unités pour la radioactivité

© EDF-Gabrielle Balloffet

1. Introduction

Des dizaines de milliers de mesures sont réalisées chaque année par l'exploitant afin de contrôler les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents ainsi que pour surveiller l'environnement du site. Il s'agit aussi bien de mesures de radioactivité que de mesures physiques (température, débit), chimiques, biologiques voire microbiologiques. Toutes ces mesures font partie des prescriptions réglementaires que l'exploitant se doit de respecter en toute circonstance (*cf*. chapitre 5).

À cet égard, la réglementation exige notamment que :

- l'exploitant dispose de deux laboratoires, l'un pour les mesures sur les effluents radioactifs, l'autre pour les mesures de radioactivité dans l'environnement et du personnel compétent pour assurer les activités concernées ;
- les appareils de mesure des laboratoires fassent l'objet de vérifications régulières ainsi que d'une maintenance périodique appropriée ;
- certains dispositifs de prélèvement et appareils de mesure en continu soient doublés et que leur alimentation électrique soit secourue par batteries ou autres dispositifs.

Ces mesures ont une double finalité. Elles servent d'abord à vérifier le respect des limites fixées par la réglementation. Elles sont aussi utilisées pour évaluer l'impact des prélèvements d'eau et des rejets sur l'environnement et sur le public afin de s'assurer que celui-ci demeure toujours inférieur aux estimations présentées dans les décisions limites et modalités (*cf*. chapitres 5 et 9).

La qualité de l'échantillonnage et des analyses, dont dépend la fiabilité des résultats des mesures, passe par la mise en œuvre de méthodes analytiques normalisées – lorsqu'elles existent – ou dûment éprouvées. Elle implique aussi du personnel compétent et formé tant au fonctionnement des automates de mesure qu'aux techniques de laboratoire.

Dans ces conditions, les résultats obtenus peuvent être valablement comparés entre eux ou avec les mesures réalisées par les services de l'administration ou d'autres organismes indépendants de l'exploitant (inter-comparaisons). Ils contribuent ainsi à fournir à l'administration et au public des informations crédibles sur les rejets et l'environnement (*cf*. chapitre 4).

Mesure du tritium par scintillation liquide
dans les laboratoires de la Direction Industrielle d'EDF
© EDF – François Grateau

2. Importance de l'échantillonnage en métrologie

La métrologie est la science de la mesure au sens le plus large. Elle permet d'exprimer une grandeur physique, chimique, biologique par une valeur numérique et une unité. La métrologie utilise un vocabulaire international normé qui permet de faciliter les échanges entre les différents acteurs (*cf*. § 6).

Dans bien des cas, le phénomène que l'on veut évaluer par la mesure nécessite le prélèvement d'échantillons qui seront ensuite analysés **en laboratoire**. La pertinence du point de prélèvement, le traitement de l'échantillon avant analyse sont autant de paramètres qui peuvent influencer le résultat final. Il est donc

essentiel que l'échantillonnage soit pratiqué suivant des protocoles bien précis ou selon des normes lorsqu'elles existent.

Lorsque, par exemple, la mesure est réalisée *in situ* (mesure de température ou de débit), l'emplacement du point de mesure doit être judicieusement choisi pour obtenir un résultat le plus représentatif possible de la réalité. Si le milieu n'est pas homogène, il peut être nécessaire de prévoir plusieurs points de mesure.

Échantillonnage

Lors de la conception des installations, des points de prélèvement (piquages) sont prévus sur les circuits d'effluents liquides et gazeux. De ces piquages, partent des tuyauteries (lignes) qui acheminent les fluides vers différents locaux d'échantillonnage (local d'échantillonnage des effluents radioactifs, local d'échantillonnage des eaux du circuit secondaire...). Ces circuits sont conçus de manière à minimiser le parcours de l'effluent afin d'obtenir une prise d'échantillon la plus directe possible. Pour obtenir un échantillon représentatif, il est de règle de purger la ligne d'échantillonnage, le temps nécessaire, avant de procéder au prélèvement.

Pour ce qui est de l'air de ventilation rejeté aux cheminées, les dispositifs de prélèvement en continu (cannes) sont installés à des endroits permettant un prélèvement représentatif de l'effluent.

Prise d'échantillon pour analyses à la centrale nucléaire du Bugey
© EDF – Jacob Frederick

Dans les réservoirs de grande capacité (300 m^3, 500 m^3, 750 m^3, 1000 m^3), l'effluent est brassé avant échantillonnage. Le brassage est assuré par la mise en service de la pompe dite de recirculation qui équipe chaque réservoir. Plusieurs heures de brassage peuvent être nécessaires pour homogénéiser le contenu du réservoir et obtenir un échantillon représentatif de son contenu.

Dans l'environnement, le choix des matrices à prélever et la technique de prélèvement de celles-ci ainsi que leur traitement avant analyse sont déterminants pour la mesure. Ces opérations font l'objet de protocoles de prélèvements écrits (*cf.* § 3.4).

Prélèvement ponctuel

Le prélèvement ponctuel est réalisé en un lieu donné pendant un court laps de temps, soit manuellement, soit par un automate programmé pour réaliser le prélèvement de façon cyclique (ex. hydro-collecteur situé en aval des rejets).

Prélèvement en continu

Le prélèvement en continu est utilisé sur une période longue (journée, semaine voire trimestre) pour contrôler un rejet permanent comme, par exemple, le rejet des aérosols et des halogènes (iodes) radioactifs à la cheminée ou le rejet d'eau par l'émissaire principal de rejet ou des paramètres dans l'environnement (poussières atmosphériques, tritium gazeux...). Les échantillons ainsi prélevés sont ensuite analysés en laboratoire. Dans certains cas, les dispositifs de prélèvement en continu sont équipés d'un appareil de mesure en continu (ex. stations multiparamètres, mesure de la radioactivité à la cheminée).

Prélèvement aliquote

Un échantillon aliquote résulte du mélange de plusieurs prélèvements d'échantillons différents et est constitué proportionnellement aux volumes des échantillons initiaux. À titre d'exemple, l'exploitant constitue mensuellement un échantillon aliquote à partir des prélèvements ponctuels effectués sur chaque réservoir (T, S et Ex...) rejeté dans le mois.

Technicienne chimiste au laboratoire Environnement de St-Alban
© EDF – Christel/Toma Sasso

3. Techniques de mesure de la radioactivité

Les mesures de radioactivité sur les effluents radioactifs liquides et gazeux et dans l'environnement concernent :

- la détection des radionucléides émetteurs de rayonnements « bêta » et « bêta/gamma » ;
- la vérification de l'absence de radionucléides d'origine artificielle émettant des rayonnements alpha.

Nota : les rejets radioactifs d'une centrale nucléaire d'EDF ne comportent pas de substances émettant des neutrons. Ces derniers sont produits exclusivement par la fission nucléaire au sein du réacteur. Les techniques de mesures des neutrons ne sont donc pas abordées dans ce guide.

3.1 TECHNIQUES DE DÉTECTION DE LA RADIOACTIVITÉ

Le principe de la détection de la radioactivité repose sur les rayonnements émis par les substances radioactives (alpha, bêta, gamma) et leurs interactions avec la matière. Cette interaction rayonnement/matière produit des particules chargées électriquement (ions) ou entraîne des déplacements d'électrons qui vont « exciter » les atomes de la matière. Le principe de détection de la radioactivité repose donc sur l'utilisation de ces phénomènes physiques d'ionisation et d'excitation des atomes.

Les rayonnements alpha et bêta sont capables de provoquer directement des ionisations dans le détecteur du fait que celles-ci sont chargées électriquement. Ce n'est pas le cas du rayonnement gamma. Celui-ci étant neutre sur le plan électrique (photons de même nature que la lumière), il ne pourra être détecté par les phénomènes d'ionisation et d'excitation que s'il est préalablement converti en électrons par effet « Compton », effet photoélectrique ou création de paires. Ces trois effets se produisent presque toujours lorsque le rayonnement gamma rencontre la matière (air ambiant, liquide, solide).

Détecteurs électroniques à ionisation gazeuse

(*cf.* figure 1)

Le détecteur comporte une enceinte contenant un gaz où règne un champ électrique. En pénétrant dans l'enceinte, les particules chargées électriquement provoquent des ionisations. Les électrons libérés lors des ionisations sont collectés par l'anode soumise à une tension électrique continue (quelques centaines de volts à plusieurs milliers de volts selon le type de détecteurs). Les ions ainsi collectés sont utilisés :

- soit comme un **courant électrique continu** donnant l'intensité du rayonnement pénétrant dans la chambre ;
- soit sous forme d'impulsion de **tension électrique** dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie cédée par la particule. Dans ce cas, le compteur est utilisé comme spectromètre.

Ces détecteurs peuvent fonctionner sous différents régimes selon le niveau de tension appliqué aux bornes du détecteur :

- lorsque le détecteur à gaz fonctionne sous basse tension (600 à 800 V), on dit qu'il s'agit d'une **chambre d'ionisation**. La tension électrique est toutefois suffisante pour collecter toutes les charges produites par ionisation ;
- en régime dit **« compteur proportionnel »**, le détecteur à gaz est alimenté par une tension plus élevée (zone de linéarité de 1400 à 1800 V) ce qui a pour effet d'accélérer la collecte des ions et de provoquer ainsi une amplification des ionisations (jusqu'à un million de fois). Le signal de sortie est proportionnel aux nombres d'ions créés dans le détecteur ;
- si on applique une tension très élevée (~ 1800 V), le passage d'un rayonnement déclenche une avalanche d'ions qui sont à leur tour accélérés par le champ électrique. Pour éviter une avalanche entretenue, on utilise un gaz de coupure qui a la propriété de se dissocier sans émettre de photons. Les détecteurs fonctionnant sous ce régime sont appelés **compteurs Geiger-Müller** (ou GM). Ils ont l'avantage de fournir un très grand signal de sortie, même quand l'ionisation initiale est faible ; par contre, l'amplitude de l'impulsion n'est pas proportionnelle à l'énergie du rayonnement.

Fig. 1 ▶ Principe de fonctionnement des détecteurs électroniques à ionisation gazeuse.

Fig. 2 ▶ Principe d'un compteur à scintillation associé à un photomultiplicateur.

Détecteurs à scintillation (*cf.* figure 2)

Le compteur à scintillation se compose de deux parties :

- d'un scintillateur qui a la propriété d'émettre de la lumière (photons) lorsqu'il est traversé par un rayonnement ionisant ;
- d'un photomultiplicateur qui transforme la lumière émise par le scintillateur en électrons puis en signal électrique.

Ce compteur est associé à une électronique pour l'amplification et la mise en forme du signal.

Les scintillateurs existent sous forme liquide, solide ou gazeuse. Les scintillateurs utilisés en centrale nucléaire se présentent sous forme de :

- cristal solide d'iodure de sodium dopé au thallium (NaITl) utilisé pour la plupart des mesures des émetteurs bêta/gamma (cobalts, césiums, iodes...) ;
- cristal de sulfure de zinc (ZnS) pour des mesures d'activité alpha ;
- matière plastique utilisée en particulier pour la détection du rayonnement « bêta » ;
- scintillant liquide pour la mesure de tritium, carbone 14, nickel 63, strontium 90 et fer 55. Hormis le fer 55 (capture électronique), ils émettent uniquement un rayonnement de type bêta de faible énergie qui pénètre difficilement dans un détecteur solide. On résout le problème en mélangeant l'échantillon à mesurer avec un scintillateur liquide qui se trouve, de ce fait, à l'intérieur du détecteur.

Détecteurs à semi-conducteur (*cf.* figure 3)

Le détecteur est une diode à semi-conducteur polarisée en inverse dans laquelle apparaît une zone (jonction) où règne un champ électrique collecteur. Lorsqu'une particule chargée pénètre dans cette zone, elle y crée des ions qui sont alors collectés par le champ électrique. La charge électrique ainsi recueillie donne naissance à une impulsion de tension qui caractérise l'énergie perdue par la particule. Les types de semi-conducteurs les plus utilisés sont le **silicium** et le **germanium**.

Fig. 3 ▶ Schéma de principe d'un détecteur à semi-conducteur.

Les différents détecteurs présentés ci-avant sont utilisés pour réaliser soit des mesures globales, soit des mesures plus spécifiques :

▪ Mesures globales de radioactivité

Les mesures dites « globales » sont simples et rapides et permettent de déceler une évolution anormale de la radioactivité dans les rejets ou dans l'environnement. Ces mesures complètent les analyses plus longues et plus difficiles telles que les spectrométries alpha et gamma ou les mesures par scintillation utilisées pour le tritium et le carbone 14.

Il existe trois types de mesures globales :

- ***l'activité alpha globale*** est fournie par un détecteur (ex. compteur proportionnel, scintillateur ZnS) dont l'étalonnage (rendement) est effectué au moyen d'une source d'Am 241 ou de Pu 239 (émetteurs alpha) ;
- ***l'activité bêta globale*** suit le principe de la mesure alpha globale à la différence de la source étalon qui est composée de Sr90 et d'Y90 (émetteurs bêta purs). Le compteur peut être de type compteur proportionnel ou compteur GM ;
- ***l'activité gamma globale*** est mesurée au moyen d'un détecteur de type scintillateur NaI étalonné au césium 137 (émetteur bêta/gamma).

▪ Mesures spécifiques

- ***Spectrométrie*** (*cf.* figure 4)

La mesure par spectrométrie permet d'identifier les composants d'un mélange radioactif et de déterminer l'activité de chaque radionucléide en mesurant l'énergie des différents rayonnements qui le caractérisent (spectre comportant des raies correspondant à l'énergie du rayonnement).

Fig. 4 ▶ Spectre d'émission du Co60.

Cette technique ne peut être utilisée que pour les radionucléides émettant des particules **alpha** ou des **rayonnements gamma**. L'émission de particules « bêta » ne produit pas de spectre comportant des raies. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette technique pour les radionucléides émettant uniquement un rayonnement bêta, tels que le tritium et le carbone 14.

- ***Mesure des émetteurs bêta purs***

La mesure des émetteurs bêta purs est réalisée dans les laboratoires d'EDF ou ses laboratoires sous-traitants par scintillation liquide. La scintillation liquide ne permet pas de distinguer de manière individuelle chaque radionucléide. Pour cette raison, une phase de préparation (distillation, oxydation, séparation sur résine...) est nécessaire pour isoler les émetteurs d'intérêt.

Ces différents moyens de détection nous permettent de déterminer une activité à laquelle il faut nécessairement associer une incertitude, un seuil de décision (SD) et une limite de détection (LD).

- Dans l'environnement, voire dans les rejets, on a affaire à des niveaux de radioactivité très bas. Le signal obtenu pour la mesure est souvent indiscernable de celui du bruit de fond ambiant, d'où la notion de seuil de décision et de limite de détection. Un comptage légèrement supérieur à la valeur moyenne du bruit de fond ne traduit pas forcément la présence de radioactivité, et un résultat légèrement inférieur à la valeur moyenne du bruit de fond ne garantit pas l'absence de radioactivité (*cf.* figure 5).

Pour se prononcer, l'analyste fait appel aux notions de **seuil de décision** et de **limite de détection** :

- le **seuil de décision (SD)** : correspond à une valeur de comptage à partir de laquelle on peut affirmer, avec une probabilité élevée (notion de risque α), que le paramètre ou radionucléide

Fig. 5 ▶ Comptage du bruit de fond de l'appareil de mesure et d'un échantillon de très faible activité.

recherché est bien présent dans l'échantillon mesuré.
Les seuils de décision obtenus par les CNPE doivent *a minima* respecter les seuils indiqués dans la réglementation en vigueur ;

- la **limite de détection (LD)** est la plus petite valeur d'activité à partir de laquelle on considère, avec une probabilité quantifiée (notion de risque β), que le paramètre ou radionucléide est détecté lors de la mesure (ou comptage).
  - La valeur vraie d'une activité n'est jamais connue avec certitude. Elle est contenue dans un intervalle défini par la valeur mesurée à laquelle est associée une incertitude constituée d'une composante systématique et d'une composante aléatoire :
    - **l'incertitude systématique** peut être due à la prise en compte de facteurs influençant la mesure (matrice, étalonnage, comptage...) ;
    - **l'incertitude aléatoire** est liée au caractère aléatoire du processus analytique (ex : influences de l'opérateur, température, humidité, pression...).

Remplissage de l'azote liquide nécessaire au fonctionnement du spectromètre gamma utilisé pour les mesures effluents
© EDF – Pierre-Édouard Delbart

3.2 MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES EFFLUENTS GAZEUX

Les mesures de radioactivité dans les effluents gazeux s'effectuent **avant** rejet dans les réservoirs de stockage pour décroissance radioactive (RS) ou dans l'air du bâtiment réacteur (BR) avant dépressurisation. Ces mesures sont réalisées au laboratoire « Effluents ».

Des mesures sont aussi pratiquées à la cheminée de rejet par des appareils de mesure en continu délivrant une information en temps réel retransmise en salle de commande. En complément, des mesures sont réalisées *a posteriori* en laboratoire à partir de prélèvements en continu et ponctuels.

Prélèvements et mesures des réservoirs d'entreposage avant rejet (RS) ou de l'air du bâtiment réacteur (BR).

Avant de procéder au rejet d'un réservoir (RS) ou de dépressuriser l'air du bâtiment du réacteur, plusieurs prélèvements ponctuels d'échantillons sont effectués à des fins d'analyse par les circuits d'échantillonnage prévus à cet effet. Les échantillons sont acheminés au laboratoire « Effluents » où sont réalisées :

- des mesures d'activité *bêta globale* des aérosols ;
- *des spectrométries gamma* (scintillateur type NaITl ou de type GeHP ou de type plastique) pour les principaux gaz rares (xénon...), les halogènes (iodes...) et les aérosols (cobalt, césium...) ;
- une mesure par *scintillation liquide* du tritium gazeux ;
- une vérification d'absence d'émetteurs alpha d'origine artificielle par une mesure *alpha globale*.

Prélèvements et mesures à la cheminée

(*cf.* figure 6)

Les prélèvements et mesures en continu effectués au niveau de chacune des cheminées de la centrale nucléaire sont doublés et secourus électriquement afin d'assurer en toute circonstance le contrôle des rejets radioactifs gazeux par :

- la mesure en continu et enregistrée du débit d'air à la cheminée ;
- la mesure en continu et enregistrée de l'activité « bêta gaz » de l'air rejeté ;
- le prélèvement en continu des aérosols sur filtre ;
- le prélèvement des halogènes (iodes) sur cartouche à charbon actif pour la forme gazeuse et sur filtre pour la forme particulaire ;
- le prélèvement du tritium par barboteur ;
- le prélèvement du carbone 14 sur tamis moléculaires.

En complément, un prélèvement ponctuel des gaz rares est réalisé à l'aide d'une capacité.

Activité « bêta » des gaz rejetés à la cheminée

La chaîne de mesure en continu se compose d'un dispositif de prélèvement (pompe) et de deux détecteurs qui sont des chambres d'ionisation fonctionnant par différence (chambres différentielles). L'air prélevé à la cheminée parcourt l'une des chambres qui mesure la radioactivité « bêta » des gaz ainsi que le rayonnement gamma ambiant. L'autre chambre, dite de compensation, ne mesure que le rayonnement gamma ambiant. Par différence des deux signaux, on obtient l'activité « bêta » des gaz contenus dans l'air de ventilation.

Fig. 6 ▶ Instrumentation pour le contrôle des rejets radioactifs gazeux à la cheminée.

Chaîne de mesure bêta gaz à la cheminée : centrale de Chinon
© EDF – Sébastien Draskovic

Poussières atmosphériques (aérosols) et iodes

Sur la chaîne de mesure en continu des gaz rares décrite ci-dessus, une partie de l'air prélevé est aiguillée vers un dispositif de prélèvement des aérosols et des iodes (halogènes). Ce dispositif est équipé d'un filtre pour collecter les aérosols et de deux cartouches en série à charbon actif pour fixer les iodes. Le filtre et les cartouches sont retirés 4 fois par mois (*cf.* chapitre 8 §3.2) pour y effectuer, au laboratoire « effluents », les analyses réglementaires.

Sur le filtre (aérosols), des spectrométries gamma et des mesures d'activité bêta globale et de vérification de l'absence d'émetteurs alpha d'origine artificielle sont pratiquées.

Sur le charbon actif, les iodes sont quantifiés par une mesure **gamma globale** et par **spectrométrie gamma** pour distinguer les isotopes de l'iode, en particulier l'iode 131 de l'iode 133.

Tritium gazeux (*cf.* figure 7)

L'air de ventilation est prélevé par un appareil fonctionnant par barbotage dans l'eau (barboteur). En traversant l'eau contenue dans les pots du barboteur, la vapeur d'eau tritiée est piégée. Quatre fois par mois (*cf.* chapitre 8 §3.2), l'eau des pots est retirée pour l'analyse du tritium par scintillation liquide au laboratoire « Effluents ». L'appareil de prélèvement automatique (barboteur) est équipé d'une régulation de température et de débit pour garantir une bonne représentativité et conservation de l'échantillon pendant la période de prélèvement. On évite ainsi toute évaporation de l'eau contenue dans les pots du barboteur.

Carbone 14 gazeux (*cf.* figure 8)

Le prélèvement d'air à la cheminée est orienté sur des tamis moléculaires. Ceux-ci retiennent le carbone 14 sous forme de gaz carbonique (CO_2). Un four catalytique est donc placé en amont du tamis pour transformer le ^{14}C organique (par ex. CH_4) en CO_2. Le dispositif de prélèvement est laissé en place pendant trois mois afin d'accumuler suffisamment de carbone 14 pour la mesure. La mesure du carbone 14 par scintillation liquide est complexe et nécessite des manipulations délicates pour extraire le carbone des tamis moléculaires où il s'est fixé. Cette mesure est confiée à des laboratoires externes.

Fig. 7 ▶ Exemple de dispositif de barbotage de type SDEC MARC 5000.

Les enregistrements du débit « cheminée » et de la mesure « bêta gaz » sont transmis, avec toutes les autres mesures effectuées, à l'ASN tous les mois afin de corréler débit et activité rejetée.

3.3 MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES EFFLUENTS LIQUIDES

Les mesures de radioactivité s'effectuent principalement **avant rejet** sur les effluents stockés dans les réservoirs T ou Ex. Un contrôle est réalisé **pendant le rejet** au moyen d'un radiamètre situé sur la canalisation de rejet. Les mesures sur les effluents non radioactifs (ex : eaux pluviales, eaux usées) sont effectuées ponctuellement et ne nécessitent pas d'être réalisées avant rejet.

Analyses avant rejet dans les réservoirs T ou S

Chaque réservoir d'entreposage d'effluents liquides radioactifs (300 à 750 m^3 selon les sites) est analysé avant d'être rejeté. Le prélèvement d'échantillon est effectué après avoir mis en brassage le réservoir de façon à garantir une bonne homogénéité de l'effluent. Sur l'échantillon, sont réalisées réglementairement au laboratoire « Effluents » :

- la mesure des activités alpha globale et bêta globale ;
- la mesure de l'activité gamma globale ;
- la mesure de l'activité tritium ;
- la spectrométrie gamma pour déterminer la composition isotopique de l'effluent.

Sur cet échantillon est aussi réalisée une mesure de carbone 14. Mais compte tenu du délai d'analyse (plusieurs semaines), le réservoir peut être rejeté sans attendre le résultat.

De plus, sur un échantillon aliquote mensuel, une mesure de Ni63 est réalisée.

Analyses des eaux d'exhaure des salles des machines (réservoirs Ex)

Avant rejet, les réservoirs Ex de capacité 1000 m^3, contenant les eaux d'exhaure des salles des machines réputées non radioactives, font l'objet d'une mesure de radioactivité. Le prélèvement d'échantillon s'effectue après brassage. Les mesures de radioactivité faites au laboratoire « Effluents » de la centrale portent sur :

- l'activité bêta globale ;
- l'activité tritium.

Fig. 8 ▶ Schéma de principe d'un prélèvement par tamis moléculaires.

Chaîne de mesure de radioactivité gamma globale sur la canalisation de rejet de Chinon
© EDF – Sébastien Draskovic

De plus, sur un échantillon aliquote mensuel, une mesure alpha globale est réalisée.

Mesure de la radioactivité gamma globale sur la canalisation de rejet

Un contrôle continu de la radioactivité est réalisé sur la canalisation de rejet. Cette chaîne comprend deux détecteurs de type NaI(Tl) et un système d'alarme qui interrompt automatiquement le rejet par fermeture de la vanne d'isolement dès lors que l'activité gamma globale dépasse 40 kBq/L.

Analyse des effluents non radioactifs (eaux usées ou eaux pluviales)

Les effluents non radioactifs type eaux usées ou eaux pluviales sont contrôlés périodiquement *via* les mesures suivantes :

- l'activité bêta globale ;
- l'activité tritium.

3.4 MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT

Mesure du rayonnement gamma ambiant

La grandeur physique mesurée par les radiamètres est définie par le débit de KERMA en µGy/h (*ambiant **K**inetic **E**nergie **R**eleased in **M**atter*) (cf. annexe 11.1).

En clôture de site, le réseau de radiamètres est constitué de 10 sondes autonomes de mesures gamma ambiant (appelées sondes « gamma Tracer » ou encore sondes « génitron »). À chacune des stations des réseaux 1 et 5 km, la mesure est réalisée par une balise radiamétrique composée de 2 tubes fonctionnant en régime **G**eiger-**M**üller (GM). Le comptage des impulsions par unité de temps est converti en équivalant de dose « gamma ambiant » exprimé en µSv/h.

Mesure du tritium dans l'air ambiant

À la station à 1 km située sous les vents dominants, se trouve un dispositif de prélèvement par barbotage du même type que celui utilisé à la cheminée. Le tritium susceptible d'être présent dans l'air ambiant est prélevé pendant une semaine. L'eau du barboteur est récupérée pour être analysée, par scintillation liquide, au laboratoire « Environnement » de la centrale.

Mesure de la radioactivité des poussières atmosphériques

Des préleveurs placés dans chacune des stations à 1 km permettent d'aspirer en continu des poussières atmosphériques sur un filtre dont l'activité bêta globale est mesurée quotidiennement mais 5 jours après la fin du prélèvement pour s'affranchir de l'influence de la radioactivité naturelle au moyen d'un compteur proportionnel.

Prélèvements des aérosols sur filtre au CNPE de Cattenom
© EDF – David Queyrel

Mesure de la radioactivité de l'eau de pluie

L'eau de pluie est prélevée à la station AS1 au moyen d'un collecteur. Sur les échantillons, sont pratiquées mensuellement des mesures d'activités bêta globale et tritium.

Préleveur d'eau de pluie installé aux abords du CNPE de Chinon
© EDF – Dominique Jourdain

Mesure de la radioactivité de l'eau prélevée en mer ou en rivière

Pour les sites bord de rivière, le prélèvement d'eau est effectué au moyen d'un hydro-collecteur, dont le point de prélèvement est placé dans le cours d'eau en aval des rejets des centrales, dans la zone de bon mélange. L'hydro-collecteur permet de prélever de façon séquentielle des échantillons horaires et/ou journaliers. Ces échantillons sont utilisés pour la détermination des activités « bêta globale » et « tritium » dont l'analyse est réalisée au laboratoire « Environnement ».

Hydrocollecteur pour les prélèvements d'échantillons à mi-rejet
© EDF – Dominique Jourdain

Nota : des hydro-collecteurs sont également installés à l'amont des centrales nucléaires.

Pour les sites en bord de mer, deux prélèvements d'eau de mer sont réalisés au large pour la mesure bêta globale et tritium.

Mesure de la radioactivité des eaux souterraines

Des échantillons d'eau souterraine sont prélevés à l'aide de piézomètres implantés en divers points du site (*cf.* chapitre 10). Ces échantillons sont utilisés pour la détermination des activités « bêta globale » et « tritium » dont l'analyse est réalisée au laboratoire « Environnement ».

Mesure de la radioactivité de l'herbe

Deux échantillons distincts d'herbe sont prélevés mensuellement, dont l'un provenant d'une station de prélèvement située sous les vents dominants. L'échantillon d'herbe est prélevé dans un flacon plastique ou sac thermoplastique soudable étanche puis séché en étuve en laboratoire. L'herbe est séchée puis broyée avant une mesure des émetteurs gamma et de C14.

Mesure de la radioactivité du lait

Un échantillon de lait est prélevé et envoyé pour analyse dans un laboratoire extérieur pour une mesure des émetteurs gamma ; si l'analyse ne peut être réalisée rapidement, l'échantillon est congelé afin d'éviter sa fermentation.

Prélèvements réalisés dans le cadre des campagnes de suivi radioécologique

Ces campagnes de mesures sont confiées à des laboratoires extérieurs spécialisés dans ce type de mesure. Les prélèvements d'échantillons dans les écosystèmes terrestre et aquatique doivent obéir à des règles strictes définies dans des normes quand

Prélèvement de végétaux aquatiques à Pierrelatte
© IRSN – Noak/Le bar Floréal

elles existent (AFNOR, AIEA) ou des procédures opératoires éprouvées. Certains prélèvements nécessitent l'usage d'outils particuliers (tarière pour le sol en profondeur, pêche électrique pour les poissons...). Les prélèvements doivent ensuite être traités afin de concentrer les radionucléides par étuvage ou lyophilisation. Cette étape est parfois suivie d'une calcination. Pour chacun des supports (appelés matrices) renfermant les radionucléides, des modes opératoires spécifiques sont mis en œuvre avant conditionnement de l'échantillon pour analyse. Ce travail est réalisé dans des salles réservées à chaque type de matrices (sédiments-sols, faune-flore) ou dans des zones spécialement aménagées. Cette compartimentation réduit les risques de contamination croisée des échantillons de natures différentes.

4. Méthodes analytiques appliquées aux substances chimiques

L'exploitant procède à de nombreuses mesures physico-chimiques et biologiques dans les effluents et dans l'environnement. La nature et les fréquences auxquelles celles-ci doivent être réalisées sont fixées dans les décisions limites et modalités propres à chaque centrale nucléaire. Ces mesures se réfèrent à des normes analytiques et métrologiques.

4.1 PARAMÈTRES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

Les mesures chimiques et biologiques se réfèrent à des paramètres dont les principaux sont listés dans l'encart ci-après.

4.2 MÉTHODES DE MESURES PHYSICO-CHIMIQUES

Les mesures physico-chimiques pratiquées en centrale nucléaire regroupent à la fois les analyses rapides de terrain, les mesures de laboratoires et celles fournies en continu par les automates chimiques.

Analyses rapides sur le terrain

Le suivi du bon fonctionnement d'une installation de traitement d'effluents, de production d'eau déminéralisée, de traitement antitartre ou biocide nécessite, entre autres, des mesures rapides qui sont réalisées sur place au moyen d'appareils portatifs (pH-mètre, oxygène-mètre, conductimètre, turbidité-mètre, chlore-mètre...). Ces matériels font l'objet d'un suivi métrologique.

Mesures de laboratoire

En laboratoire, les techniques les plus utilisées sont les suivantes :

- la *spectrométrie d'absorption moléculaire* (SAM) consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert ;
- la *spectrométrie d'émission atomique* est une technique fondée sur la mesure de l'intensité des photons émis par des atomes excités au moyen d'une flamme ;
- la *torche à plasma* (ICP) où l'échantillon est introduit sous forme d'aérosol dans un plasma d'argon créé par un générateur à haute fréquence. Sous l'effet de la chaleur (6000 °C), les atomes sont excités et le retour à l'état fondamental s'accompagne d'une émission de photons sous la forme d'un spectre comportant de nombreuses raies, dont l'intensité est proportionnelle à la teneur de l'espèce dans l'échantillon. Il est possible d'utiliser un détecteur optique ou un spectromètre de masse, en fonction de la sensibilité recherchée ;
- la *chromatographie ionique* est une méthode de séparation en phase liquide des espèces ioniques contenues dans un échantillon. Cette technique utilise les interactions entre les cations ou anions de l'échantillon, l'éluant (phase mobile) et la colonne de résines échangeuses d'ions, pour doser simultanément plusieurs ions ;
- la *titrimétrie ou volumétrie* consiste à faire entrer en réaction la substance à doser, préalablement dissoute, avec un réactif convenablement choisi de concentration connue (solution titrante).

Pour certaines de ces techniques analytiques, des étapes de préparation peuvent être nécessaires : oxydation, filtration, minéralisation...

Automates chimiques (stations multiparamètres)

Les centrales nucléaires de bord de rivière disposent chacune de trois stations multiparamètres implantées à demeure dans l'émissaire de rejet principal ainsi qu'à l'amont et à l'aval du point de rejet. Ces stations

Principaux paramètres chimiques en centrale nucléaire

- **Le pH** (potentiel hydrogène : unité pH)

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de « pH » permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH est fonction de la concentration en ions H_3O^+ de la solution à mesurer : pH = – log [H_3O^+]. *À* titre indicatif, le pH de l'eau pure à 25 °C, qui est égal à 7, a été choisi comme valeur de référence d'un milieu neutre.

- **La conductivité électrique** (µS/cm)

L'eau est d'autant plus conductrice de l'électricité qu'elle est riche en sels dissous. La mesure de la conductivité électrique est obtenue au moyen d'un conductivimètre ou conductimètre.

- **Les matières en suspension** (mg/L)

Dans les effluents ou dans l'eau prélevée dans l'environnement, on distingue les matières en suspension (MES) ou particulaires des substances dissoutes. La distinction s'opère en faisant passer l'échantillon sur un filtre de porosité 1 µm.

- **La DCO** (demande chimique en oxygène : mg en O_2/L)

La mesure permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. L'oxydation s'effectue à chaud, en milieu acide, en présence d'un excès d'oxydant.

- **Les formes chlorées**

Le chlore libre (mg/L) : c'est le chlore présent sous forme d'acide hypochloreux, d'ion hypochlorite ou de chlore élémentaire dissous.

Le chlore total (mg/L) ou chlore résiduel total (CRT) : c'est le chlore présent sous forme libre et de chlore combiné.

Les chlorures Cl– (mg/L) **:** ces ions négatifs sont associés à des cations (ions positifs) tels que l'ion sodium Na^+ dans le chlorure de sodium (NaCl) ou le cation calcium Ca^+ dans le chlorure de calcium ($CaCl_2$). Présents dans les effluents et dans l'environnement aquatique, ils participent à la conductivité de l'eau.

- **Les formes azotées** (mg/L)

L'azote (N) peut se présenter dans les rejets sous différentes formes chimiques (ammonium, nitrites, nitrates, organique). L'azote provient de :
- l'ammoniaque, l'hydrazine, l'éthanolamine et/ou la morpholine utilisées dans le circuit secondaire ;
- la monochloramine du système de traitement biocide ;
- la station d'épuration.

L'azote de l'hydrazine, de l'éthanolamine et/ou de la morpholine est caractérisé par des mesures spécifiques. L'azote organique n'est donc pas inclus sous le vocable « Azote total », calculé sur les centrales et qui est calculé de la façon suivante :
- Azote total = azote de l'ammoniaque + azote des nitrites + azote des nitrates.

Pour la station d'épuration (STEP), l'azote ammoniacal est remplacé par l'azote total Khejdhal (noté NTK) qui est égal à la somme : azote de l'ammoniaque + azote organique. Ainsi, on calcule l'azote global au lieu de l'azote total avec la formule suivante :

- Azote global = azote de l'ammoniaque + azote organique + azote des nitrites + azote des nitrates.
Azote total Kjeldhal (NTK)

- **Le bore** (mg/L)

L'acide borique étant utilisé comme produit de conditionnement du circuit primaire, et au vu de sa classification CMR, il est surveillé dans les effluents T ou S.

mesurent en continu quatre paramètres qui sont le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, la température. L'eau à contrôler est prélevée par une pompe qui alimente les capteurs dont les signaux sont enregistrés et retransmis en salle de commande. Ces stations font l'objet de procédures d'exploitation et de maintenance visant à obtenir des données validées et homogènes pour l'ensemble des centrales nucléaires.

- ***pH-mètre*** : la sonde de pH est constituée d'une électrode de verre permettant la mesure et d'une électrode de référence plongée dans une solution connue en ions hydrogène. La différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre est proportionnelle à la concentration en ions H_3O^+(définition du pH) de l'eau à mesurer.
- ***Conductimètre ou conductivimètre*** : l'appareil mesure la résistance ou la conductance de l'eau comprise entre deux électrodes de platine de surface (S) et distantes d'une longueur (L) placées dans une cellule. La conductivité est déduite de cette mesure par la formule : conductivité (Siemens/m) = résistivité (ohm.m) × $K_{cellule}$ × S/L.
- ***Oxygène-mètre*** : la mesure est réalisée au moyen d'une sonde électroluminescente. Le principe repose sur le fait que l'oxygène dissous désactive la luminescence associée aux colorants chimiques de la sonde.
- ***Température*** : la température est mesurée par une sonde à résistance (platine).

4.3 TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TYPES DE MESURES CHIMIQUES RÉALISÉES EN CENTRALE

La plupart des mesures chimiques et biologiques effectuées en centrales nucléaires sont réalisées en suivant des procédures analytiques internes s'appuyant sur les normes en vigueur et ont un caractère prescriptif pour les laboratoires (*cf.* tableau I).

Pour les substances spécifiques telles que les bromoformes, les chloroformes, les THM, les AOX, les polyacrylates, les hydrocarbures et la mesure de la DBO5, EDF fait appel à des laboratoires partenaires qui utilisent des procédures en accord avec le référentiel normatif en vigueur.

Tableau I Principales techniques de mesure utilisées pour les mesures dans les effluents et l'environnement.

SUBSTANCE OU PARAMÈTRE		TECHNIQUES DE MESURE
Bore – Acide borique (H_3BO_3)		Torche plasma (ICP) Spectrométrie d'absorption moléculaire
Lithium (Li^+)		Torche plasma (ICP) Chromatographie ionique
Hydrazine (N_2H_4)		Spectrométrie d'absorption moléculaire Chromatographie ionique
Morpholine (C_4H_9ON)		Chromatographie ionique
Éthanolamine (C_2H_7ON)		Chromatographie ionique
Azote total (N)	Ammonium (NH_4^+)	Chromatographie ionique
	Nitrite (NO_2^-)	Chromatographie ionique
	Nitrate (NO_3^-)	Chromatographie ionique
Métaux totaux		Torche à plasma (ICP)
Fer total (Fe)		Torche à plasma (ICP) Spectrométrie d'absorption moléculaire
Chlorures (Cl^-)		Chromatographie ionique titrimétrie
Chlore libre (CRL)		Spectrométrie d'absorption moléculaire
Chlore résiduel total (CRT)		Spectrométrie d'absorption moléculaire
Sodium (Na^+)		Torche à plasma (ICP) Chromatographie ionique
Potassium (K^+)		Torche à plasma (ICP) Spectrométrie d'émission atomique Chromatographie ionique
Phosphate PO_4^{3-} phosphore (P)		Chromatographie ionique Spectrométrie d'absorption moléculaire
Sulfate (SO_4^{2-})		Chromatographie ionique
Demande chimique en oxygène (DCO)		Spectrométrie d'absorption moléculaire
MES		Pesée
Détergents		Spectrométrie d'absorption moléculaire

5. Méthodes de mesures microbiologiques

Sur les centrales nucléaires, dont les condenseurs sont refroidis en circuit dit « fermé » au moyen de tours aéroréfrigérantes, l'exploitant est tenu, par la réglementation, d'effectuer une surveillance microbiologique des circuits de refroidissement ainsi que des cours d'eau en amont et en aval des rejets. Le cas échéant, un traitement biocide est mis en œuvre pour prévenir le développement de micro-organismes pathogènes tels que les légionelles ou les amibes (*cf.* chapitre 7 sur les prélèvements d'eau).

5.1 MESURES DES LÉGIONELLES

Les échantillons sont prélevés dans le bassin « froid » des tours aéroréfrigérantes par des laboratoires extérieurs accrédités par le COFRAC selon le référentiel NF EN ISO/IEC 17025. Le dénombrement de légionelles est réalisé, suivant la norme AFNOR NF T90-431 modifiée, par des laboratoires extérieurs accrédités par le COFRAC.

Cette méthode d'analyse, qui consiste à mettre en culture les légionelles prélevées (*cf.* figure 9), fournit des résultats en *Legionella* totales et en *Legionella pneumophila*, dès lors que les valeurs sont supérieures ou égales à 100 UFC/L (unités formant colonies par litre) qui est la limite de quantification. En présence de flore interférente, la norme prévoit que la limite de quantification peut être augmentée et le résultat peut même s'avérer ininterprétable. La norme dans sa version modifiée permet de limiter en nombre l'occurrence de ces résultats ininterprétables.

Fig. 9 ▶ Légionelles après mise en culture.

La fréquence de prélèvement est définie en fonction du niveau de colonisation des circuits. Elle est fixée selon la décision ASN.

Le point et la méthode de prélèvement sont des facteurs essentiels à prendre en considération dans la définition des programmes de surveillance et de mesures. La représentativité des points de prélèvement en bassin froid est détaillée dans les analyses méthodiques des risques (AMR) des sites.

Tous les résultats d'analyses obtenus dans le cadre de cette surveillance, la méthode employée et les coordonnées des différents intervenants (prélèvements, analyses) sont consignés dans un carnet de suivi sanitaire des installations.

La méthode d'analyse réalisée selon la norme fournit un résultat définitif en 10 à 13 jours, compte tenu des temps nécessaires aux cultures sur boîte de Pétri. Une veille technologique est menée afin de déterminer si d'autres méthodes de recherche et de dénombrement des légionelles dans l'eau pourraient potentiellement s'avérer plus pertinentes pour le suivi des eaux diffusées dans les tours aéroréfrigérantes des centrales d'EDF.

5.2 MESURE DES AMIBES

Pour s'assurer du respect des limites réglementaires fixées dans l'eau de rivière à l'aval des centrales nucléaires concernées, des mesures de concentrations sont pratiquées quotidiennement dans les circuits de refroidissement (purges des tours aéroréfrigérantes notamment) et au rejet principal pendant les périodes à risque où un traitement biocide est mis en œuvre (*cf.* chapitre 7 sur les prélèvements d'eau). À partir des valeurs de concentrations dans les circuits (purges de déconcentration et/ou émissaire principal), sont calculées les concentrations en rivière sur la base du débit de rejet, du débit de la rivière et d'un facteur de dilution en milieu naturel.

La mesure des amibes dans l'eau était peu répandue en France au début des années 2000. Seule la faculté de pharmacie de Lyon était capable de réaliser des mesures sur les *Naegleria fowleri,* mais dans des délais longs (trois semaines) incompatibles avec le suivi en temps réel des circuits traités. EDF

Fig. 10 ▶ Mise en culture des amibes sur milieu gélosé.

a donc entrepris des recherches, en coopération avec d'autres laboratoires, afin de mettre au point une technique rapide de mesure. Cette méthode, basée sur la mise en culture des protozoaires, utilise le principe de l'identification immunologique. Avec cette technique, des résultats peuvent être obtenus en cinq jours.

Une veille technologique est menée afin de déterminer si d'autres méthodes d'analyse des amibes dans l'eau pourraient potentiellement s'avérer plus pertinentes pour le suivi des eaux des circuits de refroidissement des centrales d'EDF.

6. Organismes de normalisation et d'homologation

Pour que les résultats de mesure soient acceptés par tous les partenaires concernés (administration, exploitants, public...), il est nécessaire d'avoir recours à des appareils ou des méthodes de mesure éprouvées et fiables. C'est pour répondre à ce besoin que les organismes de normalisation et d'homologation existent et qu'un travail permanent y est réalisé afin d'améliorer sans cesse la qualité de ces mesures.

Une norme désigne un ensemble de spécifications décrivant un objet ou une manière d'opérer et constitue une référence technique. Une norme n'est pas obligatoire ; sa mise en œuvre résulte d'un acte volontaire, sauf lorsque celle-ci est rendue obligatoire par un texte réglementaire.

6.1 ORGANISMES INTERNATIONAUX DE NORMALISATION

Organisme international de normalisation (ISO)

Créé en 1947, l'ISO, dont le siège est à Genève, est une fédération mondiale d'organismes nationaux qui compte plus de 150 pays. L'AFNOR représente la France dans cet organisme dont l'objectif est de promouvoir le développement de la normalisation dans le monde entier.

Comité européen de normalisation (CEN)

Le CEN, dont le siège est à Bruxelles, a été créé en 1961. C'est un organisme à but non lucratif (association) composé des instituts de normalisation des pays membres ou affiliés. Il a pour objectif d'approuver les normes européennes. Il n'y a pas de catalogue de normes CEN.

Commission internationale des unités et mesures radiologiques (ICRU)

Cet organisme, créé en 1925, a notamment pour objectif l'élaboration de recommandations portant sur les grandeurs et unités de la radioactivité et de la dosimétrie.

Accréditation et agrément

La norme internationale ISO/CEI 17000 définit l'accréditation comme une « *Attestation délivrée par une tierce partie, ayant rapport à un organisme d'évaluation de la conformité, constituant une reconnaissance formelle de la compétence de ce dernier à réaliser des activités spécifiques d'évaluation de la conformité* ».

Cela se traduit par un contrôle de second niveau s'exerçant sur les laboratoires par l'organisme d'accréditation, afin d'attester de leur compétence pour réaliser des étalonnages, des mesures.

Le recours à l'accréditation est à l'origine et par essence de nature volontaire. Cependant, l'accréditation tend à se développer dans le domaine réglementaire comme un préalable à un futur agrément délivré par l'administration. Le but d'une démarche d'accréditation est l'instauration de la confiance dans les prestations réalisées du point de vue de la compétence technique.

Pour participer au Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM), les laboratoires d'environnement des centrales nucléaires sollicitent des **agréments** auprès de l'ASN pour toutes les mesures concernées. Dans le cadre de cette démarche, EDF a choisi de conduire les laboratoires « Environnement » vers l'**accréditation** COFRAC. Cette dernière permet de justifier la conformité des pratiques avec la norme internationale ISO 17025 qui spécifie les exigences de qualité et de compétence propres aux laboratoires d'essais et d'analyses (*cf.* chapitre 10).

6.2 ORGANISMES FRANÇAIS DE NORMALISATION ET D'HOMOLOGATION

EDF participe aux travaux des organismes français de normalisation.

Association française de normalisation (AFNOR)

L'AFNOR a été créée en 1926 dans le but de promouvoir, de développer et de diffuser des normes. Elle

est membre de l'ISO et du CEN et doit, à ce titre, intégrer dans la normalisation française les normes internationales et européennes. Les normes AFNOR sont publiées dans des recueils par domaine (qualité de l'eau...). Une norme française porte le label NF. Certaines normes en instance d'homologation sont dites expérimentales et portent l'inscription XP ; ce statut ne peut excéder 5 ans.

Bureau national de normalisation d'équipements nucléaires (BNEN)

Créé le 26 juin 1990 par décision du ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire, le BNEN anime des commissions de normalisation et prépare les projets de normes concernant la conception et la réalisation d'équipements nucléaires. Il apporte la contribution française aux travaux de normalisation internationale et européenne.

Le BNEN rassemble des représentants de l'industrie nucléaire et comprend notamment les commissions M 60.1 « Protection contre les rayonnements » et M 60.3 « Mesure de la radioactivité dans l'environnement » et anime plusieurs groupes de travail. Ces groupes élaborent des projets de normes pour la mesure de la radioactivité dans l'air, l'eau, les sols, les bio-indicateurs et les effluents. Ces projets sont ensuite édités sous forme de normes AFNOR.

Centre technique d'homologation de l'instrumentation de radioprotection (CTHIR) de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

Dépendant de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), le CTHIR est un organisme d'homologation des matériels de mesure de radioprotection. Il effectue, à ce titre, des expertises et participe à l'élaboration des normes nationales et internationales. Pour accomplir ses missions, le CTHIR s'appuie sur :

- une commission consultative composée de représentants du CEA, EDF, Orano... ;
- un comité d'experts ;
- un réseau de laboratoires auxquels sont confiés les essais de conformité.

Le CTHIR a notamment homologué une balise « type BAE » de mesure d'aérosols dans l'environnement.

Commission d'établissement des méthodes d'analyses (CETAMA au Commissariat à l'énergie atomique (CEA)

La CETAMA a pour mission de contribuer à l'amélioration et à la validation des méthodes de mesure en organisant notamment les inter-comparaisons entre laboratoires. Par ce biais, la CETAMA accompagne les laboratoires dans leur démarche d'amélioration des méthodes de mesure.

6.3 ORGANISME FRANÇAIS D'ACCRÉDITATION

Comité français d'accréditation (COFRAC)

Le COFRAC, créé en 1994, est une association chargée de l'accréditation des laboratoires, des organismes certificateurs et d'inspection. En France, ce comité a été désigné comme unique instance nationale d'accréditation par le décret du 19 décembre 2008.

Annexe 11.1

Principales grandeurs et unités pour la radioactivité

La radioactivité est un phénomène de désintégration de la matière qui s'accompagne de l'émission de rayonnements sous forme de particules (ex : électrons, neutrons...) ou de rayonnements électromagnétiques (ex : rayons X et gamma).

La physique des rayonnements s'intéresse au cheminement des particules de la source de rayonnement à la cible c'est-à-dire le milieu traversé.

Grandeur caractérisant la source de rayonnement

Activité (Bq) : une source radioactive est caractérisée par **l'activité des radionucléides** qui la composent, correspond au nombre de désintégrations d'atomes par unité de temps (la seconde) et s'exprime en **becquerel (Bq)**. Cette activité ($A = -dN_t/dt$) décroît avec le temps suivant une loi exponentielle ($N_t = N_0 e^{-\lambda(t - t0)}$). Le temps au bout duquel la moitié des atomes se sont transformés s'appelle la période radioactive ou demi-vie ($T = \ln 2/\lambda$).

RADIONUCLÉIDE	PÉRIODE	MASSE DU GBq
Tritium	12,2 ans	3 µg
Carbone 14	5730 ans	6 mg
Césium 137	30 ans	0,3 mg
Iode 131	8 jours	0,2 µg

Grandeurs physiques caractérisant la cible (milieu traversé)

Dose absorbée – D : la dose absorbée est le quotient de l'énergie moyenne (dE) communiquée par les rayonnements ionisants à l'élément de volume de masse (dM) : D = dE/dM. L'unité S.I est le gray qui correspond à une énergie moyenne de 1 joule par kilogramme de matière : 1 Gy = 1 J/kg

Kerma – K (*Kinetic Energy Released in Matter*) : exprimé en gray (Gy), le kerma est le quotient de la somme des énergies cinétiques initiales (dE_{tr}) de toutes les particules chargées électriquement libérées par les rayonnements électromagnétiques de type X ou gamma dans l'élément de matière (dM), par exemple l'air dans le cas de la mesure du débit de dose gamma ambiant (nGy/h). Le débit de kerma dans l'air est l'indicateur retenu pour alerter l'exploitant d'une montée anormale de l'activité volumique environnementale de l'air ambiant pouvant résulter d'une situation accidentelle ou incidentelle.

Pour fournir une estimation de l'exposition externe à laquelle les populations riveraines des installations sont exposées, le débit de KERMA dans l'air est converti en débit d'équivalent de dose (H*(10)) exprimé en nSv/h. En raison du spectre de rejet des réacteurs à eau sous pression (REP) en phase accidentelle, les rayonnements associés au ^{137}Cs sont utilisés comme rayonnement de référence (étalonnage/calibration/tests des balises). Pour réaliser cette conversion, un facteur de conversion de « 1,2 » est appliqué conformément à la CIPR 74 et à la norme ISO 4037-3 (2019).

Grandeurs radiobiologiques

Les effets des rayonnements sur les êtres vivants dépendent étroitement de la dose absorbée (D), mais cette grandeur est insuffisante pour en caractériser l'importance. Le débit de dose, le fractionnement de la dose et la nature du rayonnement ont une influence déterminante sur les effets observés. La CIPR (Commission internationale de protection radiologique) et l'ICRU (acronyme anglais) de la Commission internationale des unités et mesures radiologiques) ont défini les grandeurs suivantes :

Dose équivalente – $H_{T,R}$: il s'agit du produit de la dose absorbée moyenne ($D_{T,R}$) dans l'organe ou le tissu (T) dû au rayonnement (R). Pour évaluer l'effet biologique qui en résulte, cette dose est pondérée par le facteur de pondération relatif aux rayonnements (w_R). Cette dose est appelée dose équivalente ($H_{T,R}$) : $H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$. L'unité S.I est le sievert (Sv).

NATURE DU RAYONNEMENT	FACTEUR DE PONDÉRATION RADIOLOGIQUE W_R
Rayonnements X, γ	1
Rayonnement β (électron)	1
Particules α	20

Dose efficace (E) : cette grandeur traduit le risque d'apparition d'effets tardifs de cancer ou d'effet génétique. Elle s'obtient par le produit de la dose équivalente par un facteur de pondération (w_T) relatif aux organes ou tissus irradiés et peut être considérée comme une image de la radiosensibilité du tissu ou de l'organe : $E = H_{T,R} . w_T$. L'unité S.I est le sievert (Sv).

TISSUS OU ORGANES	FACTEUR DE PONDÉRATION TISSULAIRE W_T
Gonades	0,20
Moelle osseuse	0,12
Foie	0,05
Thyroïde	0,05
Corps entier	$\Sigma wT = 1$

Dose efficace engagée (E_{eng}) : Elle correspond au cumul de dose moyen résultant d'une exposition d'un individu d'une population pendant une durée donnée. Dans les études d'impact, cette durée est de 50 ans pour les adultes et de 70 ans pour les enfants. $H_{50} = \int_0^{50} H(t).dt$. L'unité S.I est le sievert (Sv).

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES