



RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

ÉTUDE DU CUMUL DES
INCIDENCES DES
CENTRALES SITUÉES
SUR LA LOIRE

Décembre 2023



ÉTUDE DU CUMUL DES INCIDENCES DES CENTRALES SITUÉES SUR LA LOIRE

- Résumé Non Technique -

PLACE DU CHAPITRE DANS LE DOSSIER

Résumé Non Technique

Incidences cumulées

SOMMAIRE

1. OBJET DE L'ÉTUDE	5
Origine de l'étude	5
Structure de l'étude	5
2. CNPE ET SITES PRIS EN COMPTE DANS L'ÉTUDE	6
Liste et présentation des CNPE et sites.....	6
Rappel du fonctionnement d'un réacteur de type REP	9
Présentation des rejets d'un CNPE.....	10
3. PRINCIPE DE L'ÉTUDE.....	11
4. DONNEES D'ENTREE.....	13
Rejets pris en compte.....	13
Hydrologie et choix des années étudiées	14
Points d'évaluation retenus pour l'analyse quantitative des incidences	15
5. MODELISATION DU CUMUL DES REJETS	16
Constitution des chroniques de rejets par substance	16
Modélisation de l'hydrologie du fleuve	16
Simulation du transport et de la diffusion des substances.....	17
Résultats de la modélisation par substance	18
6. ANALYSE DES INCIDENCES CUMULEES SUR LE MILIEU AQUATIQUE	19
Incidence radiologique sur la faune et la flore	19
Incidence sur la qualité des eaux de surface.....	22
7. ANALYSE DES INCIDENCES CUMULEES SUR LA POPULATION ET LA SANTE HUMAINE	26
Impact radiologique	26
Évaluation des risques sanitaires des rejets chimiques.....	29
8. CONCLUSION DE L'ANALYSE DU CUMUL DES INCIDENCES SUR LA LOIRE	34

1. OBJET DE L'ETUDE

Ce document constitue le résumé non technique de l'étude du cumul des incidences des centrales nucléaires situées sur la Loire, résultant des rejets liquides des installations (le cumul des rejets atmosphériques n'est pas étudié car les dépôts sur le fleuve sont non significatifs).

ORIGINE DE L'ETUDE

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a émis la décision n°2021-DC-0706 du 23 février 2021 fixant à EDF plusieurs prescriptions dont la prescription [INC-B] III :

« *Au plus tard le 31 décembre 2023, l'exploitant transmet une étude présentant le cumul des incidences sur le Rhône et sur la Loire des centrales nucléaires situées sur ces fleuves.* »

La présente étude répond à cette prescription pour les centrales situées sur la Loire.



Note : une étude équivalente est réalisée pour les centrales situées sur le Rhône.

STRUCTURE DE L'ETUDE

L'étude comporte huit chapitres ainsi que le présent résumé non technique :

- l'**introduction**, qui présente l'origine de l'étude (rappelée ci-dessus) ;
- la présentation du **principe** de l'étude ;
- la présentation des CNPE et sites pris en compte dans l'étude ;
- la définition des **données d'entrée** de l'étude ;
- la méthode utilisée pour la **modélisation** des rejets des différents sites et de leurs cumuls ;
- l'analyse des incidences cumulées **sur le milieu aquatique** ;
- l'analyse des incidences cumulées **sur la population et la santé humaine** ;
- une **conclusion** de l'étude.

De façon générale, le présent résumé est organisé comme l'étude, cependant la présentation des CNPE et sites est positionnée avant les autres chapitres car elle comporte des notions générales sur le fonctionnement des installations concernées.

2. CNPE ET SITES PRIS EN COMPTE DANS L'ETUDE

LISTE ET PRESENTATION DES CNPE ET SITES

L'étude des incidences cumulées sur la Loire porte sur l'ensemble des **CNPE** et **sites** situés sur ce fleuve et ses affluents, à savoir (de l'amont vers l'aval du fleuve) :

- le CNPE de Belleville-sur-Loire ;
- le CNPE de Dampierre-en-Burly ;
- le site de Saint-Laurent-des Eaux ;
- le site de Chinon ;
- le CNPE de Civaux, situé sur la Vienne (affluent de la Loire).

Chacun de ces CNPE et sites comporte plusieurs Installations nucléaires de base (**INB**), comme résumé sur le schéma ci-dessous.

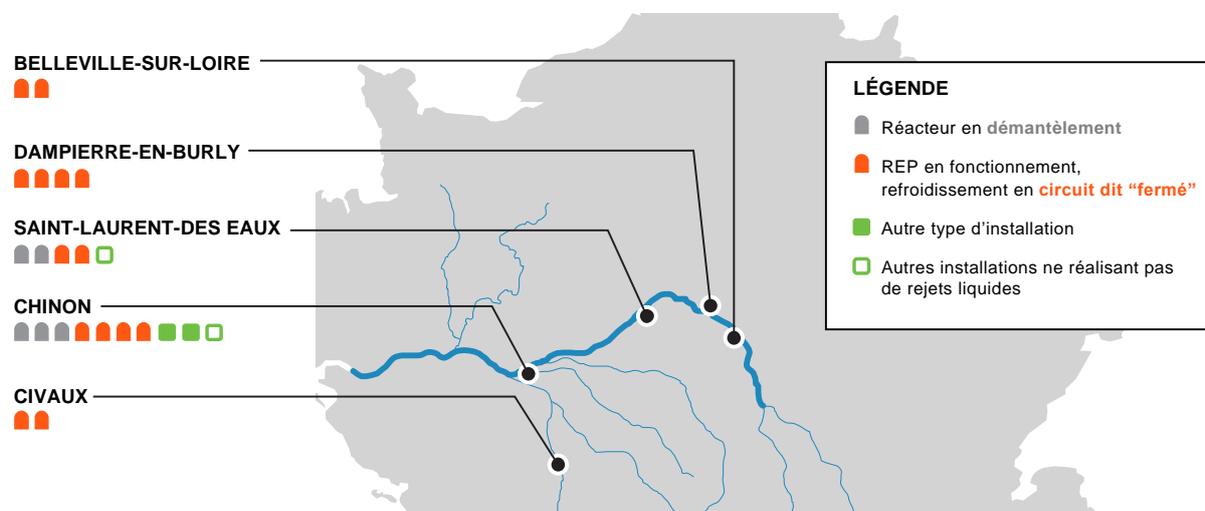
Les unités de production d'électricité en fonctionnement sont toutes de type Réacteurs à eau pressurisée (REP), dont le refroidissement est assuré en circuit dit « fermé » (voir fonctionnement des réacteurs de type REP et explication du refroidissement en [page 9](#)).

Un **CNPE** est un Centre nucléaire de production d'électricité. Il comprend plusieurs réacteurs nucléaires en fonctionnement (deux ou quatre réacteurs dans le cas des CNPE situés le long de la Loire).

Un **site** nucléaire comprend des réacteurs en cours de déconstruction et éventuellement des réacteurs nucléaires en fonctionnement.

En France, les installations industrielles mettant en œuvre des radionucléides dénommées « **Installations nucléaires de base** » (**INB**) relèvent d'un régime spécifique d'autorisations.

Celles-ci sont contrôlées par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).



■ CNPE de Belleville-sur-Loire (rive gauche)

Le CNPE est implanté sur les communes de Belleville-sur-Loire et de Sury-Près-Léré, au nord du département du Cher (18) à la limite des départements du Loiret (45), de la Nièvre (58) et de l'Yonne (89). Il se situe à environ 8 km en aval de Cosne-sur-Loire et 25 km en amont de Gien.

Le CNPE comporte deux INB :

-
- INB n° 127  **Belleville 1 et Belleville 2 :** deux REP 1 300 MWe (un par INB) en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
-
- INB n° 128  **Belleville 1 et Belleville 2 :** deux REP 1 300 MWe (un par INB) en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
-

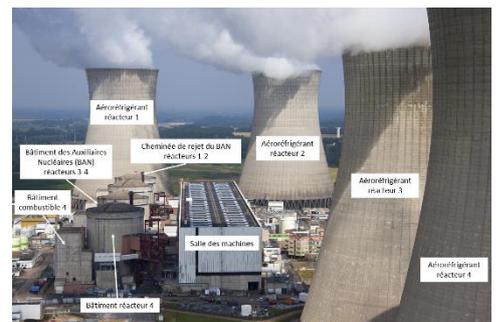


■ CNPE de Dampierre-en-Burly (rive droite)

Le CNPE est implanté sur la commune de Dampierre-en-Burly, dans le département du Loiret (45). Il se situe à environ à 10 km en aval de Gien et 11 km en amont de Sully-sur-Loire.

Le CNPE comporte deux INB :

-
- INB n° 84  **Dampierre 1-2 et Dampierre 3-4 :** quatre REP 900 MWe en fonctionnement (deux par INB), refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
-
- INB n° 85  **Dampierre 1-2 et Dampierre 3-4 :** quatre REP 900 MWe en fonctionnement (deux par INB), refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
-



■ Site de Saint-Laurent-des-Eaux (rive gauche)

Le site est implanté sur la commune de Saint-Laurent-Nouan dans le département du Loir-et-Cher (41). Il se situe à environ 9 km à l'aval de Beaugency, à mi-chemin entre Orléans et Blois.

Le site comporte trois INB, dont seules deux sont prises en compte dans l'étude des incidences cumulées (la troisième n'a pas d'interaction avec la Loire) :

-
- INB n° 46  **Saint-Laurent A :** deux anciens réacteurs de la filière Uranium naturel graphite gaz (UNGG), mis à l'arrêt définitif en 1990 et 1992 et actuellement en phase de démantèlement.
-
- INB n° 100  **Saint-Laurent B :** deux REP 900 MWe en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
-
- INB n° 74  **Silos d'entreposage des chemises de graphite irradiées issues de l'exploitation des réacteurs de Saint-Laurent A, actuellement en démantèlement. Les silos ne génèrent pas de rejets liquides.**
-



■ Site de Chinon (rive gauche)

Le site est implanté sur la commune d'Avoine dans le département d'Indre-et-Loire (37). Il se situe à environ 47 km en aval de Tours et 20 km en amont de Saumur.

Le site comporte sept INB, dont six sont prises en compte dans l'étude des incidences cumulées (la septième n'a pas d'interaction avec la Loire), ainsi qu'une ICPE :



INB n° 133		Chinon A1, A2 et A3 :
INB n° 153		trois anciens réacteurs (un par INB) de la filière Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG), mis à l'arrêt définitif respectivement en 1973, 1985 et 1990 et actuellement en phase de démantèlement.
INB n° 161		
INB n° 107		Chinon B1-B2 et Chinon B3-B4 :
INB n° 132		quatre REP 900 MWe (deux par INB) en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
INB n° 94		AMI (Atelier des Matériaux Irradiés), mis à l'arrêt définitif en 2015 et en cours de déconstruction. L'AMI a été remplacé en partie par le LIDEC ci-dessous.
ICPE		LIDEC (Laboratoire Intégré d'Expertises du CEIDRE) ICPE soumise à autorisation
INB n° 99		MIR (Magasin Inter-Régional) : installation d'entreposage de combustible neuf ne générant pas de rejets liquides.

■ CNPE de Civaux (rive gauche de la Vienne, affluent de la Loire)

Le CNPE est implanté sur la commune de Civaux dans le département de la Drôme (26). Il se situe à environ 6,5 km en aval de Lussac-les-Châteaux et 16 km en amont de Chauvigny.

Le CNPE comporte deux INB :

INB n° 158		Civaux 1 et Civaux 2 :
INB n° 159		deux REP 1 450 MWe (un par INB) en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).



RAPPEL DU FONCTIONNEMENT D'UN REACTEUR DE TYPE REP

Quel que soit le type de centrale, thermique ou nucléaire, le mode de production d'énergie est toujours le même : un combustible produit de la chaleur, puis cette chaleur est utilisée pour fabriquer de la vapeur, qui entraîne une turbine et un alternateur électrique.

Le fonctionnement d'un Réacteur nucléaire à Eau Pressurisée (REP) s'articule autour de trois circuits indépendants et étanches les uns par rapport aux autres :

- **Circuit primaire** : il s'agit d'un circuit en boucle fermée, installé dans une enceinte étanche en béton, qui constitue le bâtiment réacteur. Ce circuit **sert à transporter la chaleur générée par la fission nucléaire** : le fluide contenu dans ce circuit, appelé fluide caloporteur (« qui transporte la chaleur ») est de l'eau mise sous pression par un pressuriseur.
- **Circuit secondaire** : il s'agit également d'un circuit en boucle fermée. Il contient l'eau qui, transformée en vapeur dans des équipements appelés « générateurs de vapeur », va entraîner la turbine de l'alternateur et **produire de l'électricité**.
- **Circuit de refroidissement** : ce circuit **sert à refroidir le circuit secondaire**, car l'eau vaporisée doit être ramenée à l'état liquide avant d'être renvoyée vers les échangeurs. Le refroidissement peut se faire en circuit ouvert (refroidissement par l'eau du fleuve) ou en circuit dit « fermé » (avec un aéroréfrigérant utilisant ainsi une faible quantité d'eau du fleuve).

Tous les réacteurs de type REP implantés le long de la Loire et de son affluent la Vienne fonctionnent avec un refroidissement en circuit dit « fermé », comme schématisé ci-dessous.

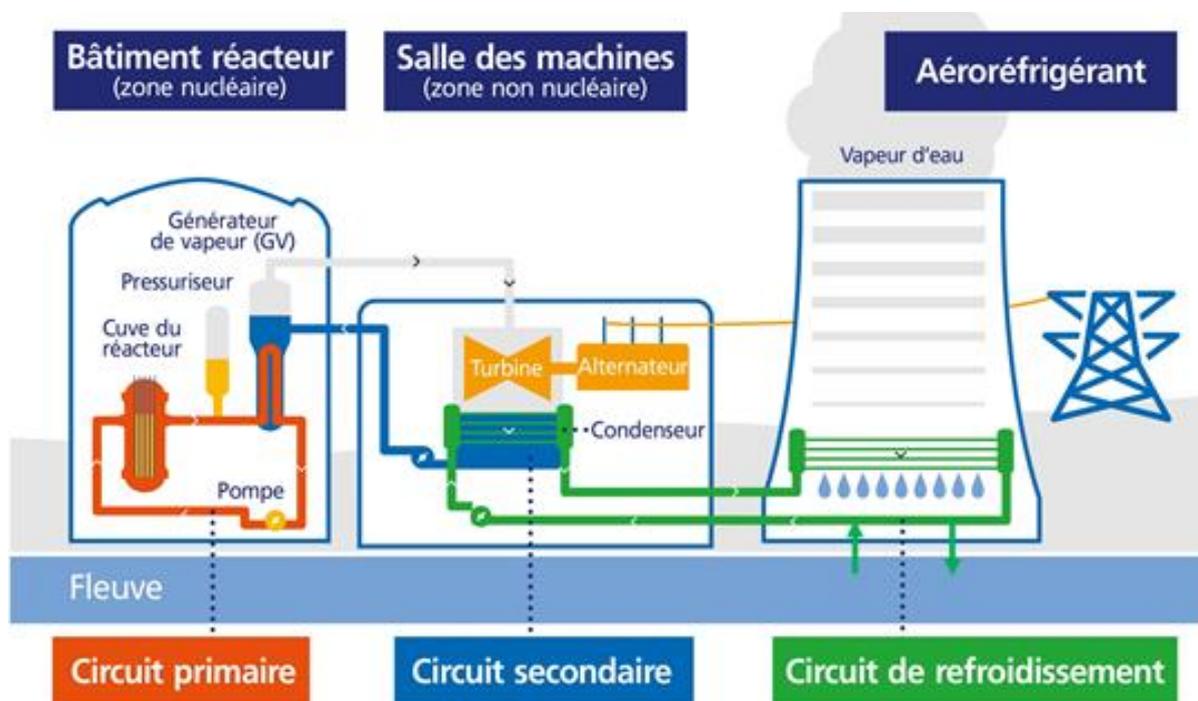
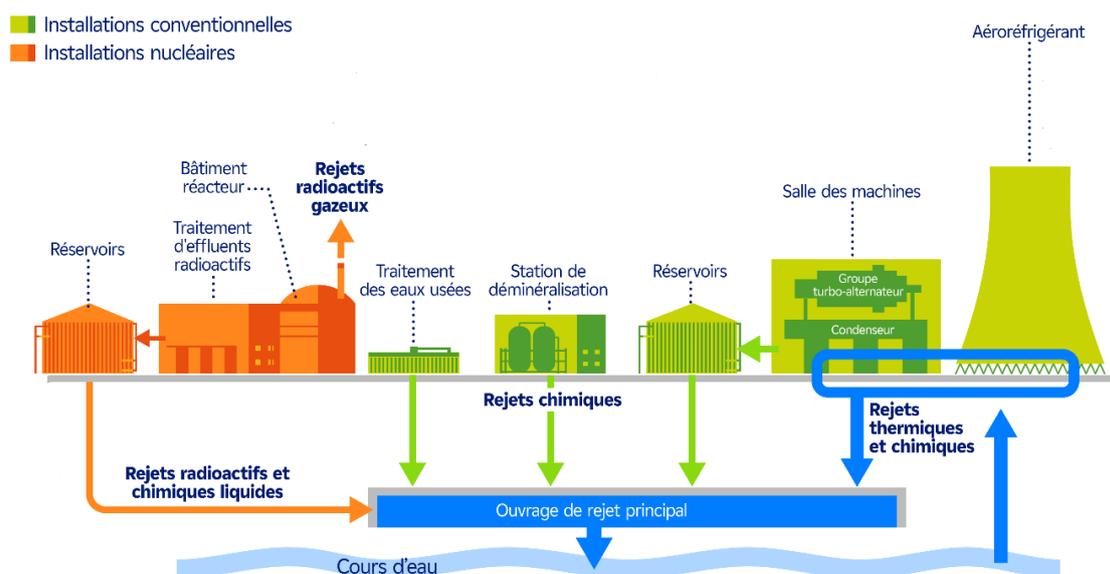


Schéma de principe d'une unité de production avec refroidissement en circuit dit « fermé » © EDF

PRESENTATION DES REJETS D'UN CNPE

Le fonctionnement d'un CNPE génère des rejets liquides et atmosphériques. Les rejets atmosphériques ne sont pas examinés dans cette étude car les dépôts sur le fleuve sont non significatifs et non susceptibles de cumul.

La figure ci-dessous donne une vue d'ensemble de l'origine des rejets liquides pour les réacteurs refroidis en circuit dit « fermé ». Ces rejets sont de trois natures : radioactifs, chimiques et thermiques.



Schématisme de l'origine des principaux rejets liquides
d'une unité de production en circuit dit « fermé »

■ Rejets radioactifs liquides

Même si ses circuits primaire et secondaire fonctionnent en circuit fermé, une centrale nucléaire génère des effluents radioactifs, liés par exemple à des purges ponctuelles des circuits. Ces effluents radioactifs sont systématiquement collectés dans des réservoirs d'entreposage et traités de façon à retenir l'essentiel de la radioactivité. Seul un faible résiduel est rejeté dans le fleuve, après contrôle dans le respect des autorisations en vigueur.

■ Rejets chimiques liquides

Le fonctionnement d'un CNPE nécessite l'utilisation de substances chimiques, principalement pour la lutte contre la corrosion des circuits. Les effluents générés sont collectés dans des réservoirs d'entreposage où ils sont traités et contrôlés avant rejet dans le fleuve dans le respect des autorisations en vigueur.

Des produits chimiques sont également utilisés pour effectuer des traitements antitartre et biocides ainsi que dans certaines installations annexes, comme pour la déminéralisation de l'eau ou encore l'épuration des eaux usées. Les effluents générés ainsi que les eaux pluviales sont collectés via des réseaux dédiés, contrôlés, et rejetés dans le fleuve dans le respect des autorisations en vigueur.

■ Rejets thermiques

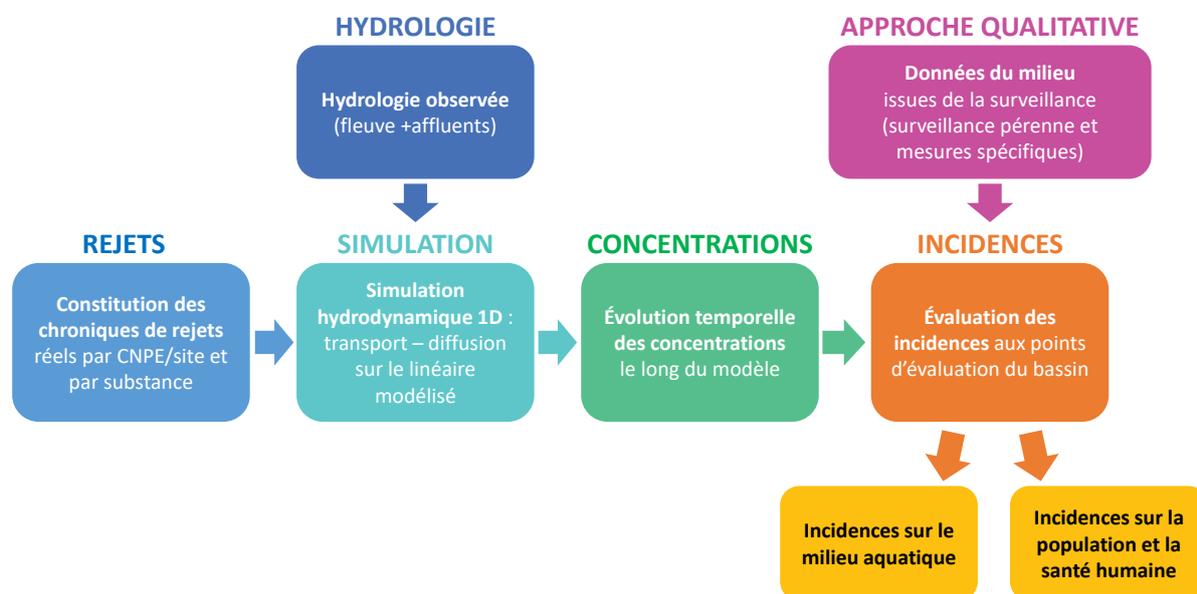
L'eau rejetée par les unités de production est plus chaude que l'eau prélevée, on parle de « rejets thermiques ».

3. PRINCIPE DE L'ETUDE

La présente étude a pour but de donner une vision réaliste des impacts cumulés des rejets réels des CNPE et sites d'EDF situés sur un même fleuve. Elle vient en complément des études d'impact réalisées par chaque CNPE ou site, qui évaluent l'impact de ces CNPE et sites aux limites autorisées.

Pour les substances radioactives et chimiques, l'étude a été réalisée selon deux approches complémentaires :

- une approche **qualitative**, qui s'appuie sur les données de surveillance en amont et en aval des CNPE et sites, afin de détecter s'il y a eu des évolutions sur le fleuve ;
- une approche **quantitative** des impacts environnementaux et sanitaires, qui prend en compte les rejets réels des installations et le débit réel du fleuve et de ses affluents. Le principe retenu est de reconstituer les chroniques de rejet des différents CNPE et sites, de façon à pouvoir modéliser leur propagation dans le fleuve grâce à un outil de simulation du transport et de la diffusion des substances. L'étude analyse ensuite, en différents points clés du fleuve, les incidences des rejets liquides radioactifs et chimiques sur le milieu aquatique et sur la population et la santé humaine.



Les rejets thermiques ne sont pas considérés dans la présente étude de cumul des incidences des centrales situées sur la Loire. En effet, la Loire est une rivière dite « de plaine », dont le régime thermique est majoritairement dépendant de la température de l'air. Par ailleurs, tous les réacteurs de type REP situés sur la Loire et la Vienne fonctionnent en circuit dit « fermé » avec des aéroréfrigérants. De ce fait, leurs rejets thermiques sont très faibles (en moyenne de 0,1°C à 0,2°C après mélange). De plus, ils sont très rapidement dilués : des profils de température d'eau réalisés en Loire en aval des différents CNPE ont montré que les rejets thermiques n'étaient plus visibles au-delà de 3 à 5 km en aval des points de rejet.

Ainsi, compte tenu des échauffements très faibles issus des rejets des différents sites en Loire, de leur atténuation rapide en aval, des distances entre les différents sites et du comportement thermique de la Loire, il est considéré qu'il n'y a pas d'effet cumulé des rejets thermiques, ni d'un site à l'autre, ni à l'échelle du bassin de la Loire.

4. DONNEES D'ENTREE

REJETS PRIS EN COMPTE

L'étude prend en compte les rejets des unités de production, ainsi que ceux des autres installations (cas des sites de Chinon et Saint-Laurent-des-Eaux).

■ *Substances radioactives*

Tous les radionucléides rejetés par voie liquide sont pris en compte. Ils sont listés ci-dessous.

Radionucléides étudiés		
Tritium Carbone 14 Iode 131 Manganèse 54 Cobalt 58, Cobalt 60, Cobalt 57 Nickel 63 Argent 110 métastable	Tellure 123 métastable Antimoine 124, Antimoine 125 Césium 134, Césium 137 Chrome 51 Fer 59, Fer 55 Niobium 95	Zirconium 95 Argent 108 métastable Strontium 90 Molybdène 99 Technétium 99 métastable Sodium 22

■ *Substances chimiques*

Parmi les substances chimiques rejetées par voie liquide, sont retenues dans l'étude les substances dangereuses au titre de l'article R. 211-11-1 du Code de l'environnement ou présentant un enjeu environnemental et/ou sanitaire. Elles sont listées ci-dessous.

Substances chimiques étudiées	Rôle de la substance / Origine des rejets
Acide borique	Contrôle de la réaction nucléaire
Hydrazine	Lutte contre la corrosion du circuit secondaire
Morpholine	Maintien d'un pH optimal dans le circuit secondaire
Éthanolamine	Sous-produits azotés : méthylamine, diéthylamine, diéthanolamine, pyrrolidine, éthylamine, nitrosomorpholine
Sous-produits azotés et carbonés issus de la dégradation de la morpholine et de l'éthanolamine	Sous-produits carbonés : acétates, formiates, glycolates, oxalates
Phosphate	Conditionnement de circuits de refroidissement intermédiaires et effluents des stations d'épuration
Ammonium	Utilisation de produits azotés (hydrazine, éthanolamine et ammoniac) et effluents des stations d'épuration
Nitrates	
Métaux (chrome, cuivre, nickel, plomb, et zinc)	Corrosion des circuits primaire et secondaire
Halogènes organiques adsorbables (AOX)	Chloration des circuits de refroidissement en circuit dit « fermé » (traitement biocide)
Nitrites	
Chlore résiduel total (CRT)	

HYDROLOGIE ET CHOIX DES ANNEES ETUDIEES

L'étude porte sur les années 2016 à 2020, dont les chroniques de rejet sont récentes et représentatives du fonctionnement actuel des CNPE. Néanmoins l'année 2020 a été écartée car non représentative d'une année de fonctionnement normal en raison de l'épidémie de COVID 19.

Afin que l'étude soit représentative de différentes situations, deux années ont été choisies sur la base de critères combinant chroniques de rejets réels et hydrologie observée :

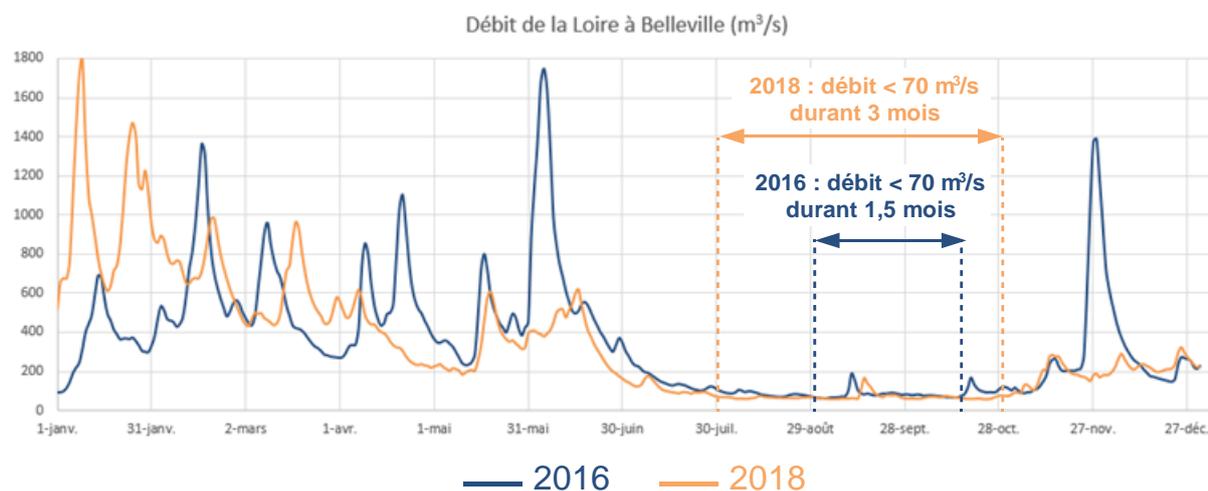
- une année moyenne, représentative de l'hydrologie du fleuve depuis 1986 et des rejets ;
- une année comprenant un **étiage** marqué pendant lequel plusieurs rejets auront été réalisés sur l'ensemble des CNPE.

Étiage : niveau le plus bas d'un cours d'eau, correspondant au débit le plus faible.

Les débits annuels de la Loire ont été examinés en amont du bassin, au niveau du CNPE de Belleville-sur-Loire. Le débit moyen entre 1986 et 2020 y est de 295 m³/s.

L'année moyenne retenue est 2016, avec un débit moyen de 345 m³/s et un étiage de durée moyenne (les années 2017 et 2019 ont été écartées car correspondant à une hydrologie bien plus faible que la moyenne, l'année 2018 a été écartée car déjà retenue comme année avec étiage marqué).

L'année avec un étiage marqué retenue est 2018, notamment caractérisée par un étiage automnal assez long, avec un débit à Belleville-sur-Loire inférieur à 70 m³/s durant près de trois mois d'août à octobre (les années 2017 et 2019, qui comportaient également une longue période d'étiage, ont été écartées car les rejets issus du traitement biocide étaient plus faibles qu'en 2018).



Données de débit à Belleville-sur-Loire en 2016 et 2018

POINTS D'ÉVALUATION RETENUS POUR L'ANALYSE QUANTITATIVE DES INCIDENCES

Le domaine d'étude couvre l'ensemble du linéaire de la Loire compris entre l'amont immédiat du CNPE de Belleville-sur-Loire et le pont de Montjean-sur-Loire, dernière station hydrométrique avant l'estuaire.

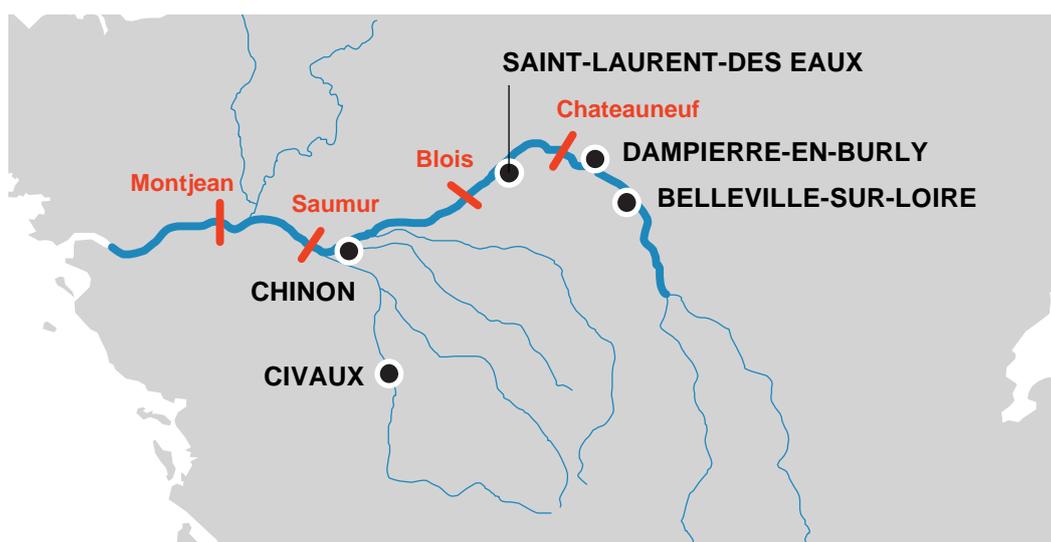
Les impacts des cumuls des rejets liquides radioactifs et chimiques des installations sur le bassin de la Loire sont quantifiés pour quatre points d'évaluation répartis le long du fleuve, de façon à pouvoir effectuer un cumul progressif. Le choix de ces points tient compte des caractéristiques hydrologiques des différents tronçons de la Loire, en tenant compte des **points nodaux** du **SDAGE**. Il s'agit par ailleurs de localités majeures le long de la Loire marquées pour certaines par des stations de prélèvements pour l'eau potable.

SDAGE : Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux, établi à l'échelle d'un bassin, SDAGE Loire-Bretagne dans le cadre de la présente étude.

Points nodaux : points clés pour la gestion des eaux. Leur localisation s'appuie sur des critères de cohérence hydrographique, écosystémique, hydrogéologique et socio-économique. A ces points peuvent être définies des valeurs repères de débit et de qualité.

Les quatre points d'évaluation retenus sont les suivants :

- **Châteauneuf-sur-Loire**, en aval des CNPE de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly et en amont du site de Saint Laurent-des-Eaux, en aval de la confluence de la Loire et de l'Allier ;
- **Blois**, en aval du site de Saint-Laurent-des-Eaux et en amont du site de Chinon, en amont des confluences de l'Indre et du Cher avec la Loire et comportant un prélèvement en Loire pour la production d'eau potable ;
- **Saumur**, en aval du site de Chinon, en aval des confluences avec le Cher et l'Indre et de la confluence de la Loire et de la Vienne sur laquelle se situe le CNPE de Civaux. À noter, qu'il existe à Saumur un prélèvement en nappe alluviale pour la production d'eau potable ;
- **Montjean-sur-Loire**, point le plus aval considéré, en aval de la confluence du Loir, de la Sarthe et de la Mayenne avec la Loire et, au-delà duquel apparait l'influence de la marée ; Montjean est par ailleurs un point nodal du SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027.



Localisation des quatre points d'évaluation sur la Loire

5.

MODELISATION DU CUMUL DES REJETS

Le modèle numérique utilisé pour simuler le transport et la diffusion des rejets le long du fleuve est un modèle unidimensionnel de convection-diffusion des rejets liquides (radioactifs et chimiques). Ce type de modèle permet de simuler le transport d'une substance dans le cours d'eau étudié, chaque substance étant simulée séparément.

Les données d'entrée des simulations sont :

- les chroniques de rejets des différents sites et CNPE ;
- l'hydrologie du fleuve et de ses affluents.

CONSTITUTION DES CHRONIQUES DE REJETS PAR SUBSTANCE

Les chroniques des effluents rejetés ont été reconstituées en se basant sur les registres de chaque CNPE et site qui fournissent, pour chaque rejet : son origine (réservoir, circuit de refroidissement ou station d'épuration), sa composition, sa date ainsi que l'heure de début et l'heure de fin du rejet. La quantité des sous-produits azotés et carbonés formés dans les réservoirs par la dégradation de la morpholine et de l'éthanolamine a été déterminée sur la base des limites autorisées de rejet et en tenant compte de campagnes de mesures réalisées sur plusieurs CNPE.

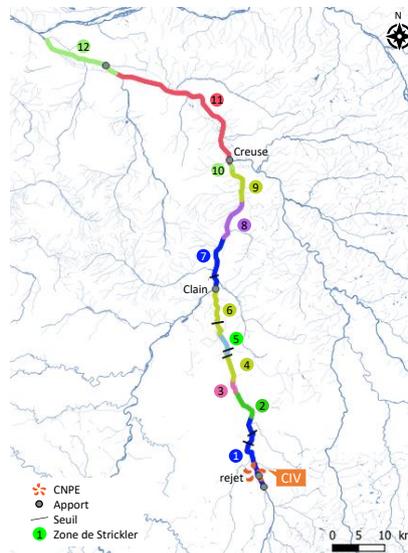
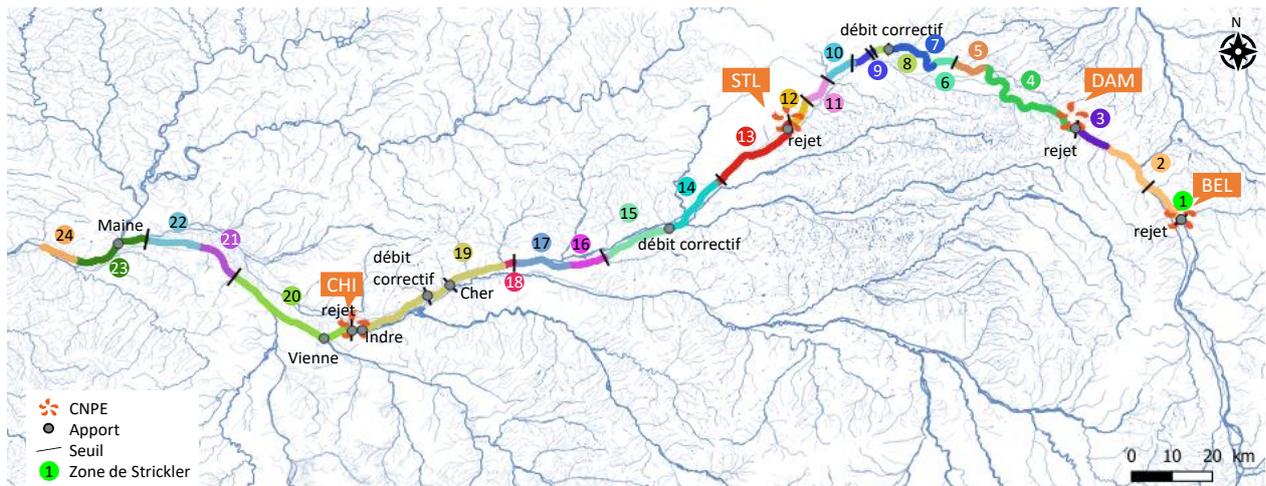
Pour chaque substance, le débit de rejet et l'activité radiologique ou concentration chimique sont ainsi définis **au pas horaire** (heure par heure).

MODELISATION DE L'HYDROLOGIE DU FLEUVE

Le fleuve étudié est subdivisé en tronçons homogènes du point de vue de l'écoulement, appelés **biefs**. Ceux-ci sont délimités par des discontinuités hydrauliques naturelles (confluences, diffluences), artificielles (canaux, barrages) et la position des sites EDF de l'étude (voir figure page suivante).

Sur le tronçon d'étude, la Loire est alimentée principalement par quatre affluents : le Cher, l'Indre, la Vienne et la Maine. Les données de débit utilisées pour la modélisation proviennent de la base nationale Hydro Portail (<https://www.hydro.eaufrance.fr/>) ou d'une base de données EDF. De plus, pour prendre en compte les petits contributeurs pour lesquels il n'existe pas de mesures régulières, des apports correctifs ont été ajoutés. Les échanges avec les nappes ne sont pas pris en compte.

Bief : portion d'un cours d'eau qui est considérée comme homogène d'un point de vue hydraulique, par exemple une portion située entre deux chutes, canaux ou autres discontinuités hydrauliques.



Subdivision en biefs de la Loire (en haut) et de la Vienne (en bas)

SIMULATION DU TRANSPORT ET DE LA DIFFUSION DES SUBSTANCES

Chaque bief est spatialement redécoupé en sections avec une maille de calcul tous les 100 m.

Le modèle développé par EDF permet de simuler :

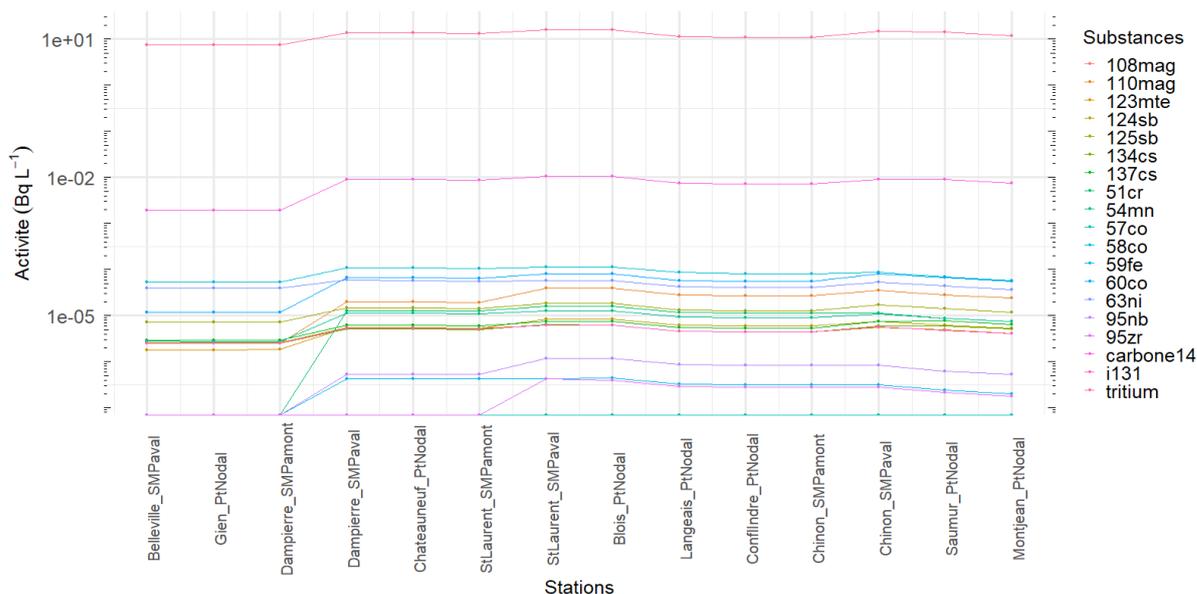
- pour chaque section, le niveau d'eau et la vitesse d'écoulement ;
- l'évolution temporelle des concentrations pour les substances rejetées (radiologiques et chimiques), en prenant en compte les phénomènes de diffusion et convection ainsi que la dégradation naturelle de certaines substances dans le temps (monochloramine et hydrazine).
Chaque substance est modélisée individuellement.

RESULTATS DE LA MODELISATION PAR SUBSTANCE

Les résultats de modélisation des concentrations (ou activités) dans le milieu sont synthétisés pour 14 points de calcul situés le long de la Loire. Il s'agit de stations de mesures « Stations multi-paramètres (SMP) » situées à l'amont et aval des sites et CNPE ainsi que de points intermédiaires parmi lesquels les quatre points d'évaluation retenus pour l'analyse quantitative des incidences (Châteauneuf-sur-Loire, Blois, Saumur, Montjean-sur-Loire). Les points de Saumur et Montjean-sur-Loire prennent également en compte les apports dus aux rejets du CNPE de Civaux.

Pour les différents points, les concentrations 24 heures glissantes (moyenne des 24 dernières heures pour chaque heure modélisée) sont calculées. Par la suite, les concentrations moyennes journalières (calendaire et 24 heures glissantes) sont moyennées mensuellement et annuellement.

La figure ci-dessous présente un exemple de la moyenne annuelle 2016 des radionucléides.



Exemple : résultat de modélisation des concentrations en radionucléides le long de la Loire en 2016 (en moyenne annuelle pour les différents points le long du fleuve)

Les valeurs obtenues pour les substances radioactives et chimiques aux quatre points d'évaluation retenus sont utilisées pour l'évaluation des incidences cumulées sur le milieu aquatique ([chapitre 6](#)) et sur les humains ([chapitre 7](#)).

Note : les calculs montrent l'absence d'effet de cumul inter-sites pour certaines substances chimiques qui se dégradent rapidement dans le milieu (le chlore résiduel total CRT, l'hydrazine et les nitrites). Ces substances ne sont donc pas considérées dans l'analyse quantitative des incidences.

6.

ANALYSE DES INCIDENCES CUMULEES SUR LE MILIEU AQUATIQUE

L'analyse des incidences cumulées sur le milieu aquatique couvre deux volets : l'incidence radiologique sur la faune et la flore, liée aux rejets radioactifs liquides, puis l'incidence sur la qualité des eaux de surface, liée aux rejets chimiques liquides. Pour les deux volets, l'étude a été réalisée selon les deux approches complémentaires (qualitative et quantitative) évoquées au [chapitre 3](#)

L'approche **qualitative** de l'état des milieux est basée sur les données acquises dans le cadre de la surveillance du milieu, réalisée en amont et en aval des CNPE et sites de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon et Civaux. *Note : Les données radioécologiques mesurées à l'amont et à l'aval du site de Civaux (situé le long de la Vienne) ne sont pas considérées. L'influence potentielle des rejets radiologiques de ce site est prise en compte via les résultats d'analyse sur certaines matrices aquatiques prélevées à l'aval lointain du site de Chinon, après la confluence de la Vienne et de la Loire.*

L'approche **quantitative** des incidences est issue de la modélisation présentée au [chapitre 5](#). Elle prend en compte les concentrations calculées à partir des rejets réels des CNPE et sites et des conditions hydrologiques des deux années retenues.

INCIDENCE RADIOLOGIQUE SUR LA FAUNE ET LA FLORE

■ Approche qualitative de l'état radiologique de l'environnement

Plusieurs types d'échantillons sont prélevés dans le cadre de la surveillance radioécologique : eaux, sédiments, végétaux aquatiques, poissons. La localisation des stations de prélèvement a été choisie notamment en fonction des conditions hydrodynamiques et de la disponibilité des échantillons à prélever.

L'analyse des résultats de la surveillance radioécologique réalisée dans l'environnement aquatique proche des quatre CNPE et sites le long de la Loire, sur la période 2011-2020, permet ainsi de mettre en évidence la composante naturelle majoritaire de la radioactivité, à laquelle s'ajoute une composante artificielle liée aux contributions respectives des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens, de l'accident de Tchernobyl et des rejets d'effluents radioactifs liquides des CNPE et sites EDF de la Loire.

Une augmentation progressive des niveaux d'activité du tritium et du carbone 14 dans certaines matrices est visible entre l'amont de Belleville-sur-Loire et l'aval de Dampierre-en-Burly, puis il y a une stabilisation des niveaux d'activité jusqu'à l'aval de Chinon, certainement au moins en partie grâce aux effets de dilution des affluents (Cher, Indre et Vienne). Cette augmentation progressive des niveaux d'activité n'est pas visible pour les radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle.

■ Approche quantitative de l'incidence radiologique des rejets cumulés sur l'environnement

L'incidence radiologique sur l'environnement est évaluée avec l'outil européen ERICA, qui permet de caractériser le risque radiologique en calculant un indice de risque à partir des données de concentration d'activité dans les différents milieux. Si l'indice de risque est inférieur à 1, le risque pour l'environnement lié aux rejets radioactifs liquides est considéré comme acceptable.

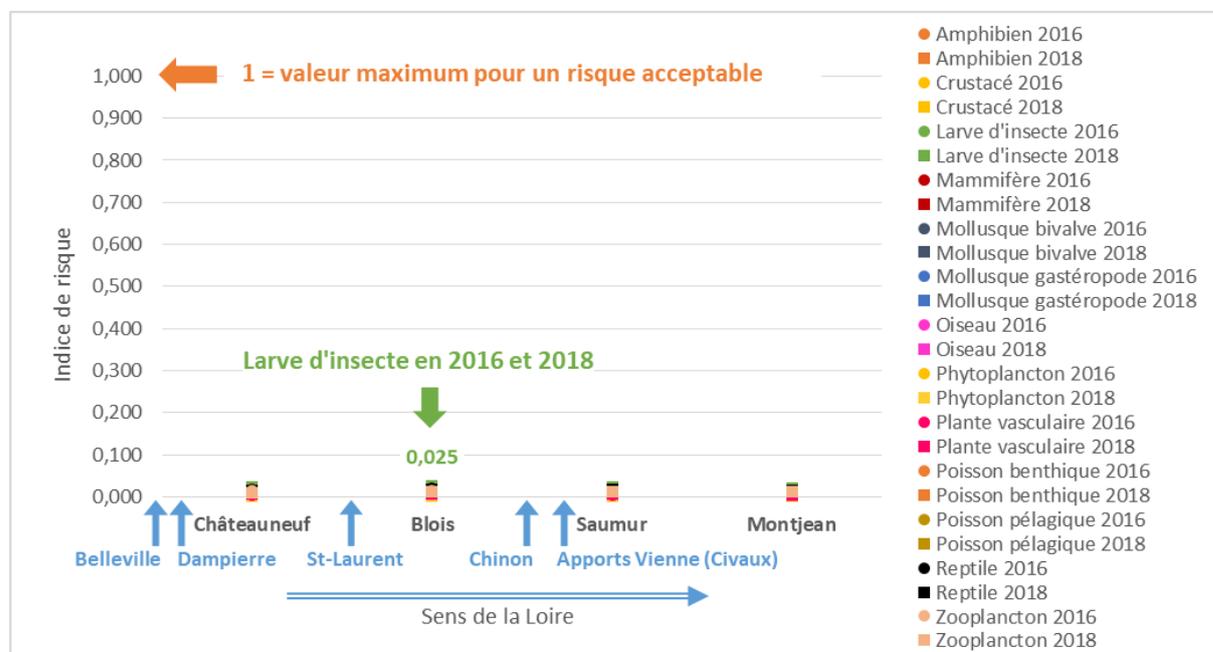
L'incidence est évaluée pour les années 2016 et 2018 en chacun des quatre points d'évaluation retenus (Châteauneuf-sur-Loire, Blois, Saumur, Montjean-sur-Loire). Ce sont ainsi huit évaluations qui sont réalisées.

Pour chacune de ces évaluations, la modélisation présentée au chapitre 5 fournit les moyennes annuelles des activités volumiques des différents radionucléides dans l'eau, ce qui permet de calculer les débits de dose induits pour treize organismes de référence de l'écosystème aquatique (liste dans l'encart ci-contre). Les indices de risque pour chaque organisme de référence sont alors obtenus en faisant le ratio avec la valeur de débit total de dose sans effet.

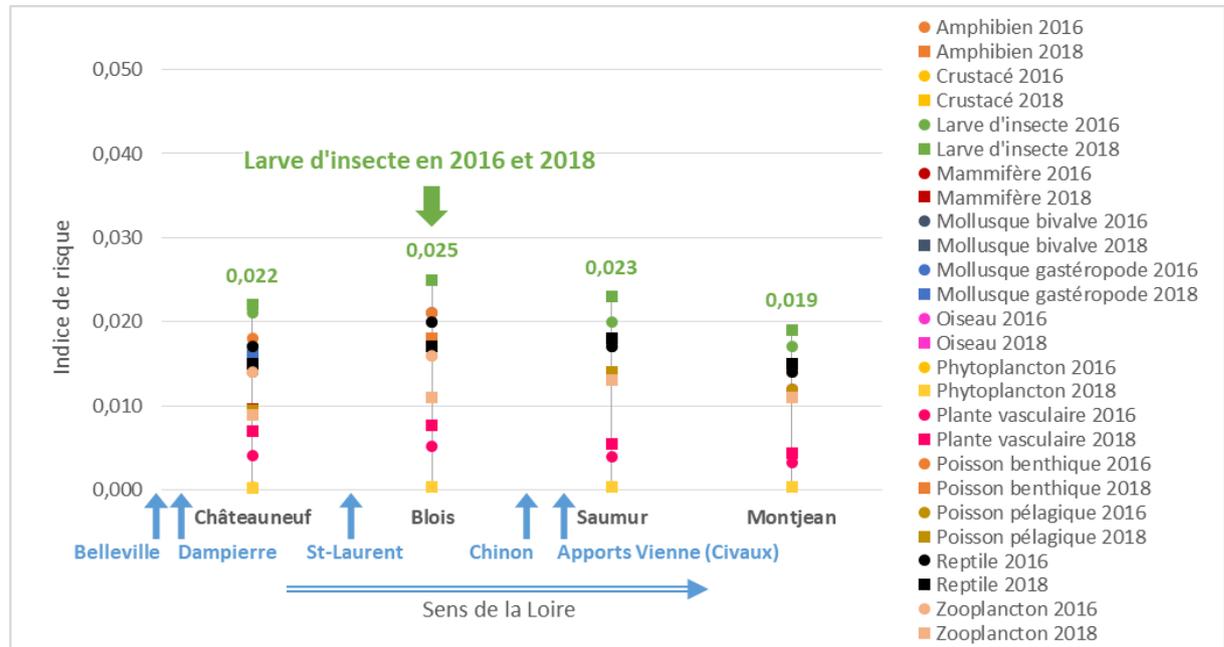
La figure ci-dessous synthétise l'évolution des indices de risque pour l'ensemble des organismes de référence en 2016 et 2018. Elle montre que **tous les indices de risque sont largement inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Blois pour la larve d'insecte en 2016 et 2018, est de **0,025** (soit environ 40 fois moins que la valeur 1). Les variations le long du fleuve ne sont pas visibles à cette échelle.

Organismes de référence de l'écosystème aquatique :

- Amphibien
- Crustacé
- Larve d'insecte
- Mammifère
- Mollusque bivalve
- Mollusque gastéropode
- Oiseau
- Phytoplancton
- Plante vasculaire
- Poisson benthique
- Poisson pélagique
- Reptile
- Zooplancton



En agrandissant 20 fois l'échelle verticale, les variations deviennent visualisables. La figure ci-dessous montre l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve.



Évolution des indices de risque le long de la Loire (échelle agrandie)

En conséquence, **le risque environnemental induit par les rejets radioactifs liquides cumulés dans la Loire est négligeable.**

INCIDENCE SUR LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE

■ *Approche qualitative de l'état des milieux*

La surveillance du milieu concerne porte sur la qualité chimique et physico-chimique de l'eau, ainsi que sur la qualité biologique des milieux aquatiques. Elle est réalisée à l'amont et à l'aval de chaque site. Certains paramètres sont mesurés en continu (température, pH, oxygène dissous, conductivité), les autres font l'objet de prélèvements par campagnes mensuelles ou annuelles en fonction du paramètre ou du compartiment.



© Fishpass



© Eranian Philippe / TOMA

Réalisation de prélèvements dans l'environnement

Concernant la **chimie**, l'analyse des paramètres mesurés (métaux et substances organiques) conclut à une qualité d'eau globalement satisfaisante pour la plupart des substances suivies. Des différences significatives sont observées entre les stations amont et aval des CNPE et sites pour la concentration de certains métaux (cuivre et zinc notamment à l'aval de Belleville-sur-Loire et Dampierre-en-Burly, en lien avec la présence de condenseurs en laiton), sans pour autant dégrader la qualité du milieu.

Concernant la **physico-chimie** l'analyse des paramètres mesurés (température, pH, oxygène dissous, conductivité, nitrites, nitrates, phosphates, calcium...) conclut à une qualité d'eau globalement satisfaisante à très satisfaisante au droit des cinq CNPE et sites. Aucune concentration anormale des substances organiques ou minérales n'est globalement perçue, sauf à Dampierre-en-Burly pour lequel la charge en nitrates est non négligeable aux stations amont et aval. Les suivis ne mettent pas en évidence de différence réellement significative des paramètres physico-chimiques entre l'amont et l'aval des CNPE et sites. Certains paramètres peuvent présenter des moyennes statistiquement différentes entre les stations amont et aval des sites, mais l'écart moyen reste très faible.

Concernant la **biologie**, les peuplements végétaux et animaux observés sont conformes aux peuplements attendus dans la Loire et la Vienne. Ces peuplements présentent des variabilités interannuelles et saisonnières classiques. De façon générale, les suivis ne mettent pas en évidence de différence notable entre l'amont et l'aval des CNPE et sites.

En conclusion, l'analyse de l'ensemble des éléments acquis dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement aquatique des CNPE de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly et Civaux et des sites de Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon ne met pas en évidence d'influence notable résultant de leur fonctionnement.

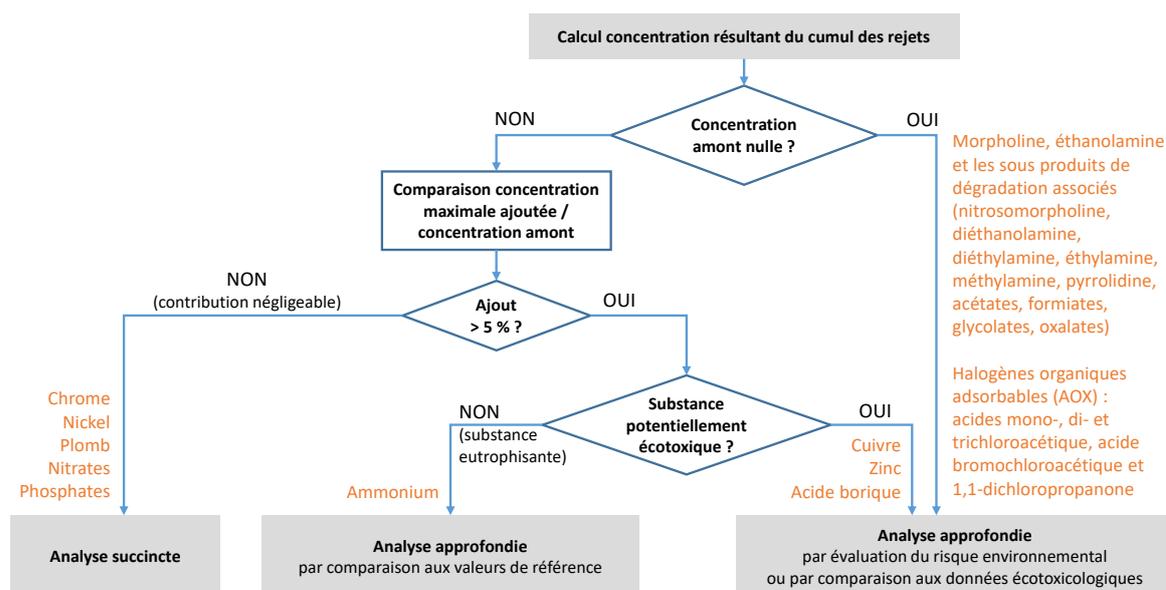
■ Approche quantitative de l'incidence chimique des rejets cumulés sur l'environnement

Pour chacune des substances rejetées, l'incidence chimique est évaluée pour les années 2016 et 2018 en chacun des quatre points d'évaluation (Châteauneuf-sur-Loire, Blois, Saumur, Montjean-sur-Loire).

Les concentrations ajoutées sont calculées en considérant deux approches : une approche moyenne (concentration moyenne mensuelle ou annuelle en fonction des substances) et une approche maximale (concentration la plus élevée sur 24 heures glissantes).

L'analyse menée dépend alors de la concentration de la substance dans l'environnement en amont (voir logigramme ci-dessous) et de son écotoxicité :

- les substances dont la concentration maximale ajoutée n'excède pas 5 % de la concentration mesurée en amont font l'objet d'une analyse succincte ;
- les substances non écotoxiques dont la concentration maximale ajoutée est supérieure à 5 % (concerne uniquement l'ammonium) font l'objet d'une analyse approfondie par comparaison à des valeurs de référence ;
- les autres substances font l'objet d'une analyse approfondie par évaluation du risque environnemental ou comparaison aux données écotoxicologiques.



Principe de l'analyse succincte

La concentration ajoutée maximale est comparée à des valeurs de référence seuils ou valeurs-guides (réglementaires ou de qualité d'eau) pour s'assurer que la contribution de la substance n'est pas susceptible d'avoir une incidence sur le milieu.

Pour toutes les substances concernées, la comparaison effectuée ne met pas en évidence d'impact environnemental notable sur l'écosystème de la Loire.

Principe de l'analyse approfondie pour l'ammonium

La concentration moyenne cumulée et la concentration maximale cumulée calculées en chacun des quatre points d'évaluation sont comparées au seuil de bon état, qui est de 0,5 mg/L (fixé par l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié). La valeur la plus élevée est la concentration maximale cumulée à Montjean-sur-Loire en 2018, qui est de $6,7 \cdot 10^{-2}$ mg/L, soit environ 7 fois moins que le seuil de bon état.

Principe de l'analyse approfondie pour les substances écotoxiques

Pour chaque substance, des **PNEC** sont recherchées dans les bases de connaissances écotoxicologiques.

Pour les substances ne disposant pas de PNEC (acétates, diéthanolamine, diéthylamine, éthylamine, formiates, glycolates, méthylamine, oxalates, pyrrolidine), les concentrations sont comparées aux données écotoxicologiques disponibles. Pour toutes les substances concernées, la comparaison effectuée ne met pas en évidence d'impact environnemental notable sur l'écosystème de la Loire.

PNEC : concentration prédite sans effet toxique (*Predicted No Effect Concentration*) : la PNEC est la concentration en-dessous de laquelle une substance ne devrait pas avoir d'effet indésirable. Il existe des PNEC **chroniques** pour évaluer les expositions étalées dans le temps et des PNEC **aiguës** pour les expositions sur un temps plus court.

Pour les substances écotoxiques disposant de PNEC, des indices de risque sont calculés en divisant les concentrations résultant des rejets (les **PEC**) par les PNEC :

- les PNEC chroniques sont retenues pour les concentrations en approche moyenne ;
- les PNEC aiguës sont retenues pour les concentrations en approche maximale.

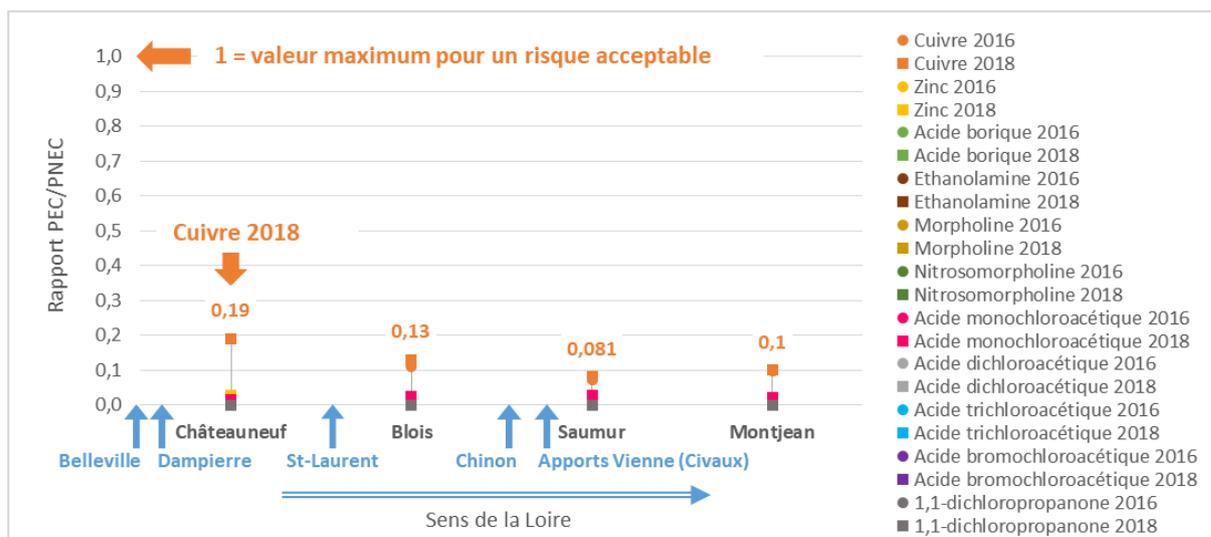
PEC : concentration résultant des rejets (*Predicted Environmental Concentration*) : la PEC retenue est la concentration totale en aval (somme de la concentration amont et de la concentration ajoutée).

Les **rapports PEC/PNEC** ainsi obtenus reflètent le risque pour un écosystème exposé à une substance chimique. S'ils sont inférieurs à 1, le risque est considéré comme acceptable.

De plus, pour les substances disposant d'une norme de qualité environnementale (NQE), telles que le cuivre, le zinc, le chrome, le nickel et le plomb, l'évaluation du risque environnemental est complétée par une comparaison à la NQE. **Pour toutes ces substances, la NQE est respectée.**

La figure ci-après synthétise l'évolution des rapports PEC/PNEC en approche **moyenne** en 2016 et 2018 pour les substances disposant de PNEC. Elle montre que **tous les rapports PEC/PNEC sont inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Châteauneuf-sur-Loire pour le cuivre en 2018, est de **0,19** (soit environ 5 fois moins que la valeur 1).

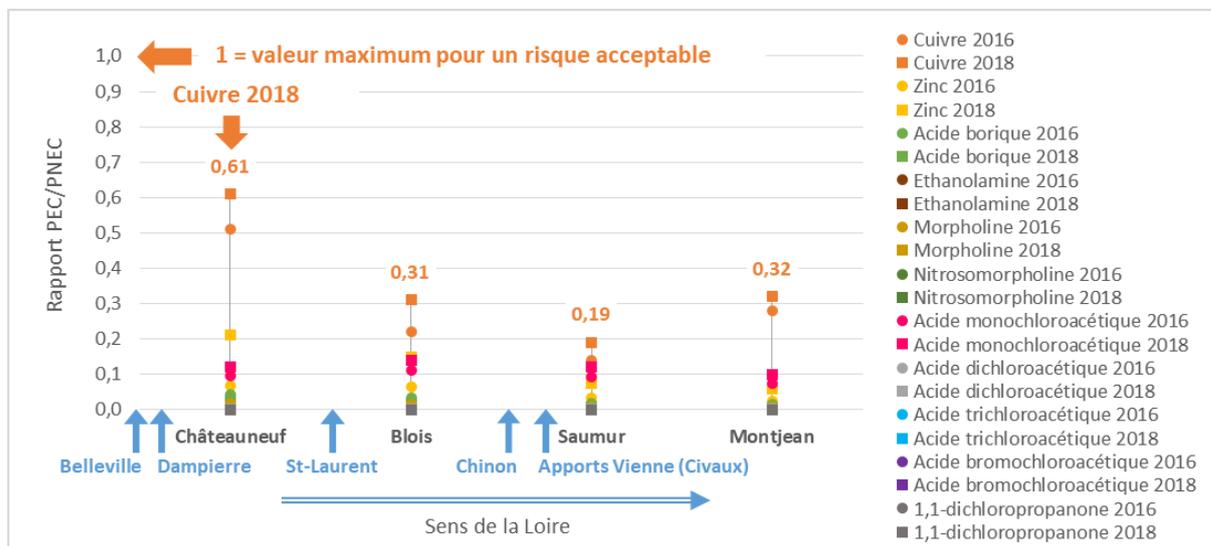
De façon générale, on constate l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve. Une légère augmentation est observée entre Saumur et Montjean pour le cuivre. Elle est liée à des apports externes entre les deux points, sans lien avec les CNPE et sites de l'étude (la concentration initiale à Montjean est supérieure à la concentration initiale Saumur).



Évolution des rapports PEC/PNEC en approche moyenne le long de la Loire

La figure ci-dessous synthétise l'évolution des rapports PEC/PNEC en approche **maximale** en 2016 et 2018 pour les substances disposant de PNEC. Elle montre que **tous les rapports PEC/PNEC sont inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Châteauneuf-sur-Loire pour le cuivre en 2018, est de **0,61** (soit 1,6 fois moins que la valeur 1).

Comme pour l'approche moyenne, on constate globalement l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve. La même augmentation est observée entre Saumur et Montjean pour le cuivre, pour les mêmes raisons.



Évolution des rapports PEC/PNEC en approche maximale le long de la Loire

L'évaluation substance par substance de l'impact des rejets chimiques liquides des sites nucléaires du bassin de la Loire ne met pas en évidence d'incidence notable sur l'écosystème de la Loire.

7. ANALYSE DES INCIDENCES CUMULEES SUR LA POPULATION ET LA SANTE HUMAINE

L'analyse des incidences cumulées sur les humains couvre deux volets : l'impact radiologique lié aux rejets radioactifs liquides, puis l'évaluation des risques sanitaires liés aux rejets chimiques liquides.

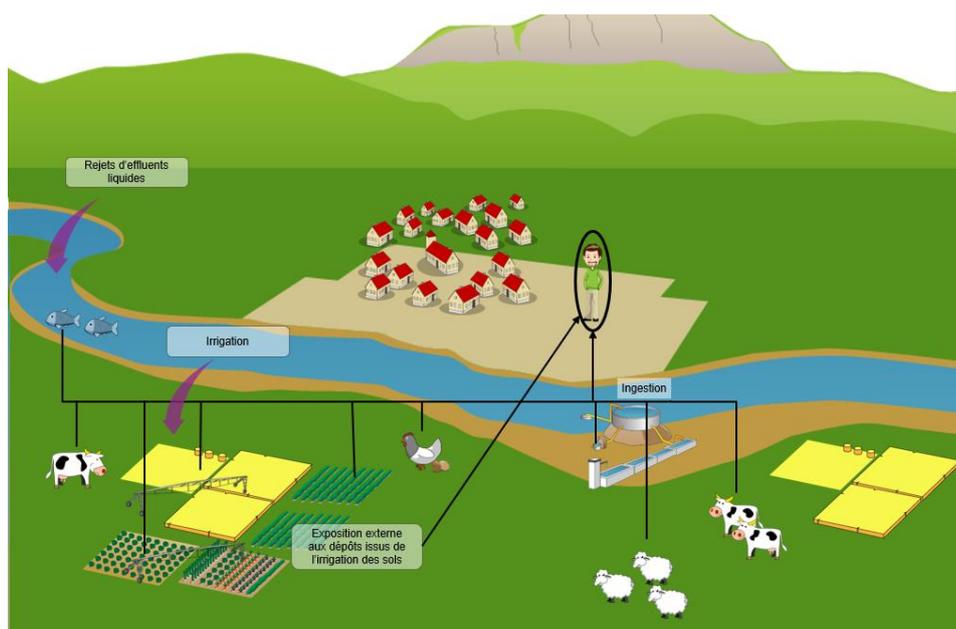
IMPACT RADIOLOGIQUE

La méthode utilisée pour le calcul de l'impact radiologique des rejets des centrales le long de la Loire consiste tout d'abord à évaluer comment la radioactivité présente dans les rejets liquides est transférée dans le milieu fluvial (y compris les poissons), puis dans le milieu agricole (sols, végétaux, animaux) via l'irrigation.

L'impact radiologique est alors calculé en envisageant les différentes voies par lesquelles la radioactivité peut atteindre l'Homme :

- l'**exposition interne** par ingestion de denrées alimentaires (légumes, viandes, lait, poissons...);
- l'**exposition externe** aux dépôts issus de l'irrigation des sols.

On distingue l'**exposition interne**, pour laquelle les radionucléides pénètrent dans l'organisme à partir du milieu ambiant et l'**exposition externe**, pour laquelle les radionucléides ne pénètrent pas dans l'organisme.



Voies de transfert de la radioactivité vers l'Homme

L'évaluation est menée de manière majorante pour des personnes représentatives des personnes les plus exposées au sein de la population. Ainsi, ces personnes représentatives :

- résident à proximité du point d'étude (il est considéré que les habitants restent toute l'année sur leur lieu d'habitation) ;
- boivent de l'eau potable prélevée dans le cours d'eau ;
- ingèrent des poissons pêchés dans le cours d'eau, des produits végétaux irrigués par de l'eau prélevée dans le cours d'eau, des produits animaux nourris avec ces végétaux et abreuvés avec de l'eau prélevée dans le cours d'eau.

Trois classes d'âge sont retenues : enfants de 1 an, enfants de 10 ans et individus adultes. À chaque classe d'âge correspondent des modes de vie spécifiques influant sur l'exposition : la ration alimentaire (type et quantité d'aliments ingérés) et le budget-temps (notamment temps passé en extérieur).

↳ CALCUL DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE

L'impact des rejets radioactifs sur l'Homme se mesure en termes de « **dose efficace** », qui traduit l'effet biologique de l'énergie transmise à la matière vivante par les rayonnements (voir annexe).

L'unité utilisée est le **sievert (Sv)** et plus souvent son sous-multiple le millisievert (mSv).

On peut également utiliser le microsievert (μSv) qui vaut $1/1000^{\text{ème}}$ de mSv.

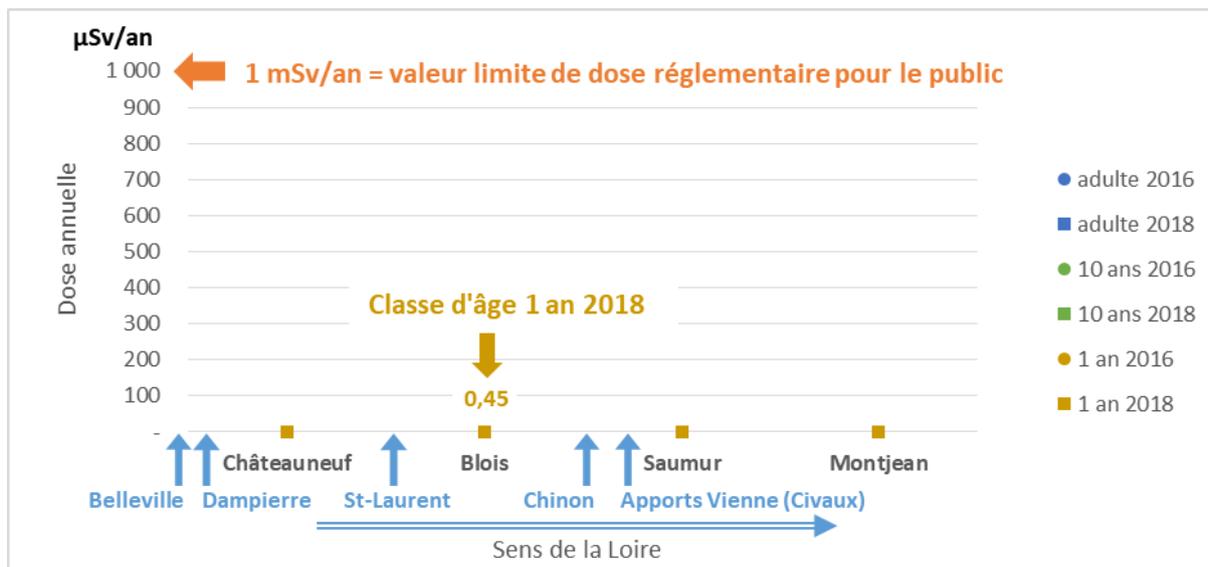
Quelques valeurs de référence :

- Dose due à la radioactivité naturelle en France : **2,9 mSv/an**
- Pour le public, dose maximale ajoutée du fait des activités nucléaires : **1 mSv/an**

L'évaluation est menée en chacun des quatre points retenus (Châteauneuf-sur-Loire, Blois, Saumur, Montjean-sur-Loire) pour les années 2016 et 2018. En chaque point, la modélisation des rejets liquides cumulés présentée au [chapitre 5](#) fournit les activités volumiques des différents radionucléides dans l'eau, ce qui permet de calculer les activités transférées dans les sols et les produits ingérés, puis les doses efficaces annuelles pour les trois classes d'âge.

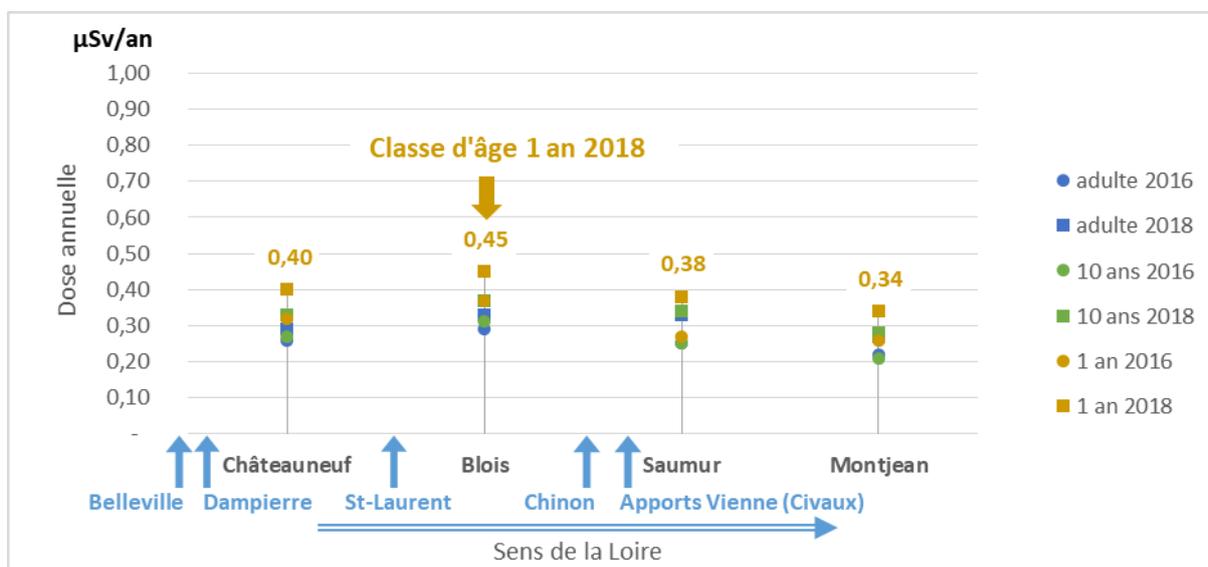
Ce sont ainsi 24 évaluations qui sont réalisées. Le calcul est effectué en utilisant un code de calcul nommé SYMBIOSE, développé par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

La figure ci-après synthétise les doses aux quatre points d'évaluation en 2016 et 2018. Elle montre que **ces doses sont largement inférieures à la limite de dose réglementaire pour le public**, qui est de 1 mSv/an (soit 1 000 $\mu\text{Sv}/\text{an}$). La valeur maximale de l'impact radiologique lié aux rejets cumulés, atteinte à Blois pour les enfants de 1 an en 2018, est de **0,45 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ soit environ 2 000 fois moins** que la valeur limite de dose réglementaire pour le public. Les variations le long du fleuve ne sont pas visibles à cette échelle.



Comparaison des doses efficaces annuelles le long de la Loire avec la limite réglementaire

En agrandissant 1 000 fois l'échelle verticale, les variations deviennent visualisables. La figure ci-dessous montre l'absence d'augmentation des doses en suivant le cours du fleuve.



Évolution des doses efficaces annuelles le long de la Loire (échelle agrandie)

En conclusion, sur l'ensemble du linéaire du fleuve, les doses sont environ 2 000 fois inférieures à la valeur limite de dose réglementaire pour le public.

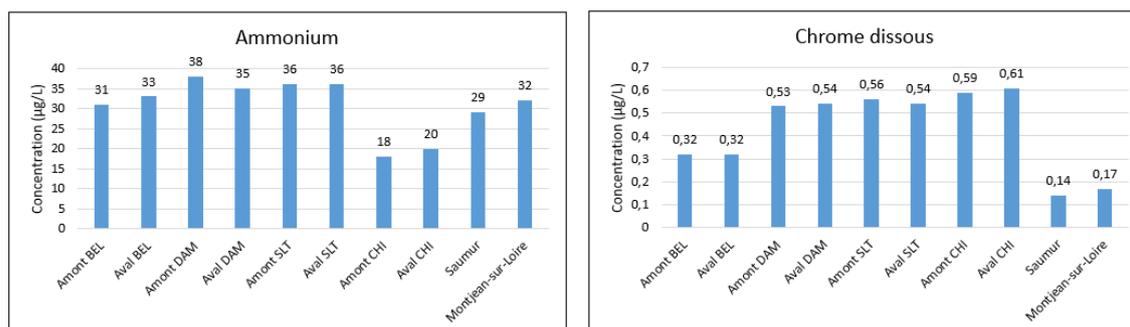
ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES DES REJETS CHIMIQUES

La méthodologie suivie se réfère au guide méthodologique de l'institut national de l'environnement et des risques (INERIS). Elle comporte deux parties : une interprétation de l'état des milieux (IEM) puis une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS).

■ Interprétation de l'état des milieux (IEM)

L'IEM est une évaluation de la situation actuelle de l'environnement, réalisée sur la base des données de surveillance et de mesures spécifiques. Elle a pour objet de vérifier la compatibilité entre l'environnement et les usages qui en sont faits.

Dans le cas de la présente étude qui concerne plusieurs sites, la démarche adoptée a été de comparer les valeurs de concentrations moyennes mesurées dans la Loire en amont et en aval de chaque site, ainsi qu'à l'embouchure. Cependant, puisque les sites d'EDF situés le long de la Loire ne sont pas les seuls émetteurs de rejets chimiques liquides, l'analyse doit être modulée en examinant les contributions individuelles des sites, de manière à pouvoir déterminer si une éventuelle dégradation du milieu leur est entièrement imputable, ou peut être attribuée en partie à d'autres sources (industries autres...).



Exemples d'évolution de concentrations moyennes le long de la Loire

Pour l'ensemble des substances, les concentrations observées sont du même ordre de grandeur le long de la Loire. Des variations sont observées mais aucune augmentation progressive n'est identifiée.

Ainsi, les rejets cumulés dans la Loire n'ont pas d'influence sur la chimie du fleuve, et par conséquent ne modifient pas la compatibilité de l'eau du fleuve avec les usages identifiés.

■ Évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS)

L'impact sanitaire des rejets chimiques est évalué selon une démarche classique d'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) structurée en cinq étapes :

1. Inventaire et bilan des substances émises. L'évaluation est réalisée en utilisant l'ensemble des flux cumulés (seules les substances se dégradant rapidement dans le milieu ont été écartées car non susceptibles de se cumuler d'un site aux suivants).

2. Bilan des enjeux et des voies d'exposition. L'exposition de la population aux substances rejetées est évaluée en prenant en compte l'ingestion de l'eau du fleuve et des différents aliments impactés directement ou indirectement par l'eau du fleuve (poissons et aliments terrestres du fait de l'irrigation), comme résumé sur le schéma conceptuel d'exposition ci-dessous.

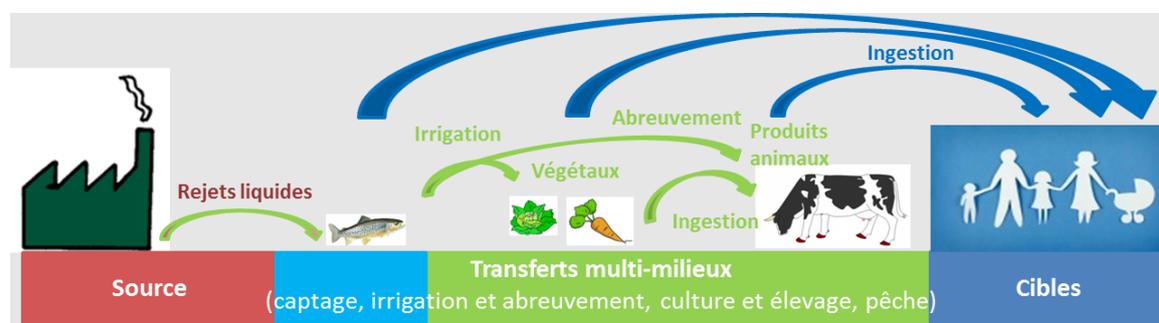


Schéma conceptuel d'exposition retenu

3. Sélection de substances comme « traceurs de risque ». Pour chaque substance, des VTR sont recherchées dans les bases de connaissances toxicologiques. Il existe plusieurs types de VTR, correspondant à différents types d'exposition :

- VTR **aiguës** pour les expositions à des doses élevées sur un temps court (de l'ordre de la journée) ;
- VTR **chroniques** pour évaluer les expositions à des doses faibles continues ou répétées pendant une longue période de temps. Pour ces expositions chroniques, deux types de VTR peuvent exister, pour les **effets à seuil** et les **effets sans seuil**.

Quatorze substances sont retenues comme traceurs : acide borique, chrome VI, cuivre, morpholine, nickel, nitrates, n-nitrosomorpholine, n-nitrosopyrrolidine endogène, plomb, zinc et quatre AOX (acide bromochloroacétique, acide monochloroacétique, acide dichloroacétique, acide trichloroacétique).

Chaque substance est utilisée pour évaluer le(s) type(s) d'exposition pour le(s)quel(s) une VTR est disponible.

Valeur Toxicologique de Référence (VTR) : Indice toxicologique permettant d'établir une relation entre l'exposition à une substance toxique et l'occurrence d'un effet sanitaire indésirable.

Effets à seuil : effets survenant au-delà d'une certaine dose.

Effets sans seuil : effets ayant une probabilité d'apparaître quelle que soit la dose reçue.

4. Évaluation de l'exposition des populations. Les expositions sont calculées au niveau de chacun des quatre points d'évaluation retenus (Châteauneuf-sur-Loire, Blois, Saumur, Montjean-sur-Loire) pour les années 2016 et 2018 et pour trois catégories de population (adulte, enfant de 10 ans et enfant de 1 an). Deux types d'exposition sont étudiés : les expositions chroniques (durée longue supérieure à un an) et les expositions aiguës (durée courte de l'ordre de la journée).

5. Caractérisation des risques toxicologiques en comparant l'exposition à chaque substance avec les VTR correspondantes. En chaque point d'évaluation, pour chacune des deux années, chaque catégorie de population et chaque traceur sanitaire, des quotients de danger (QD) sont calculés pour les expositions aiguës à seuil et chroniques à seuil et des excès de risque individuels (ERI) sont calculés pour les expositions chroniques sans seuil. L'ERI total de chaque substance est calculé en sommant les ERI de toutes les classes d'âge, puis la somme des ERI des substances considérées est ensuite calculée.

Quotient de Danger (QD) et excès de risque individuel (ERI) :

Ces deux indices peuvent être calculés en comparant l'exposition de la population à la valeur fournie par les VTR, pour évaluer respectivement les risques liés aux effets à seuil et ceux liés aux effets sans seuil (cancérogène notamment).

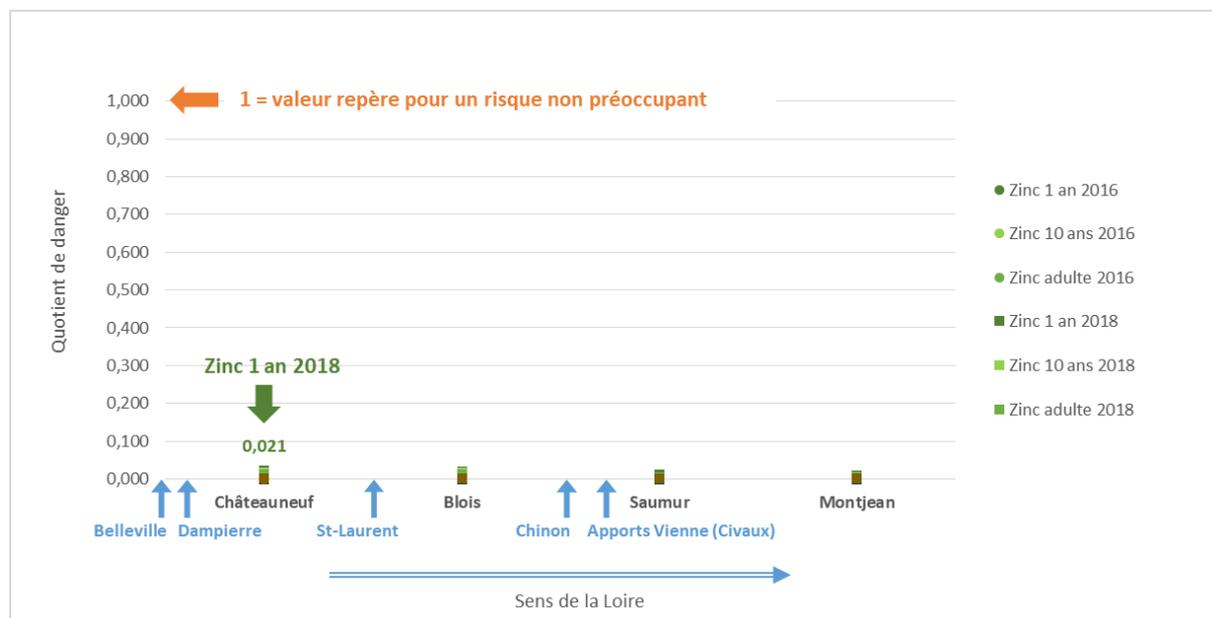
Lorsque le QD est inférieur ou égal à 1, le risque sanitaire est considéré comme non préoccupant.

La valeur repère de l'ERI jusqu'à laquelle le risque cancérogène est considéré comme acceptable par les experts est 10^{-5} .

Exposition chronique

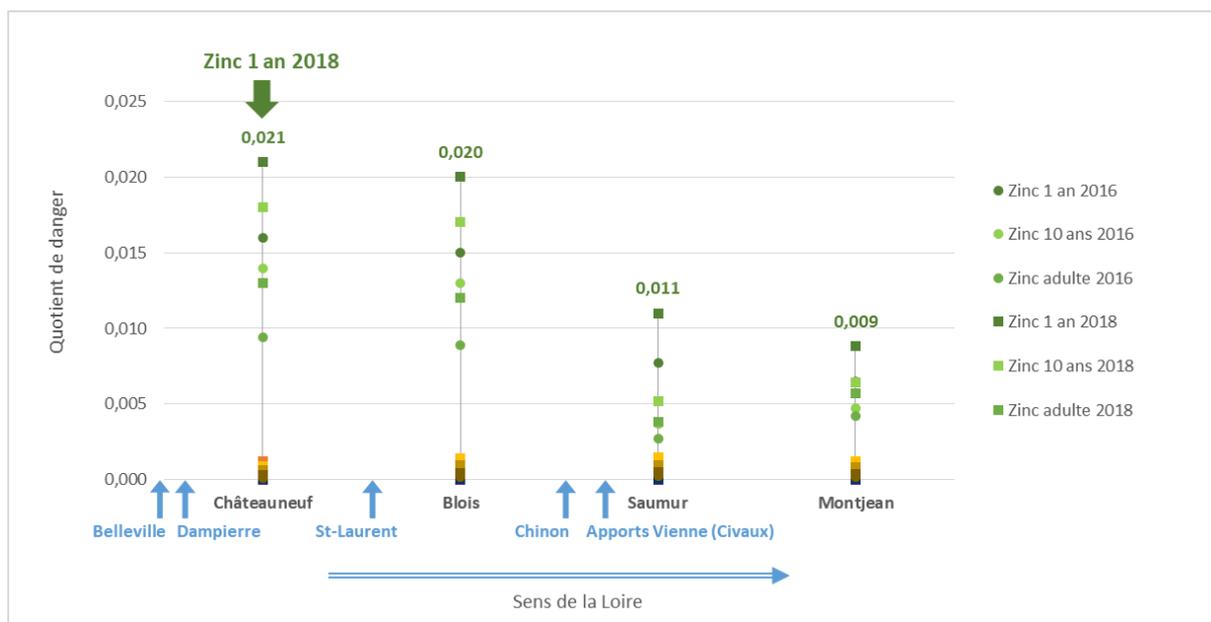
La figure ci-après synthétise l'évolution des QD pour l'exposition chronique à seuil à 11 substances (acide borique, acide dichloroacétique, acide monochloroacétique, acide trichloroacétique, chrome VI, cuivre, nickel, plomb, zinc, morpholine, nitrates) pour trois catégories d'âge en 2016 et 2018. Elle montre que **tous les QD sont largement inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Saumur pour les enfants de 1 an en 2018 pour le zinc, est de **0,021** (soit environ 50 fois moins que la valeur 1). Les variations le long du fleuve sont très peu visibles à cette échelle.

Note : la figure comporte 66 séries de points. Seule la légende des 6 séries relatives au zinc est indiquée (les autres séries sont toutes largement inférieures à celles du zinc).



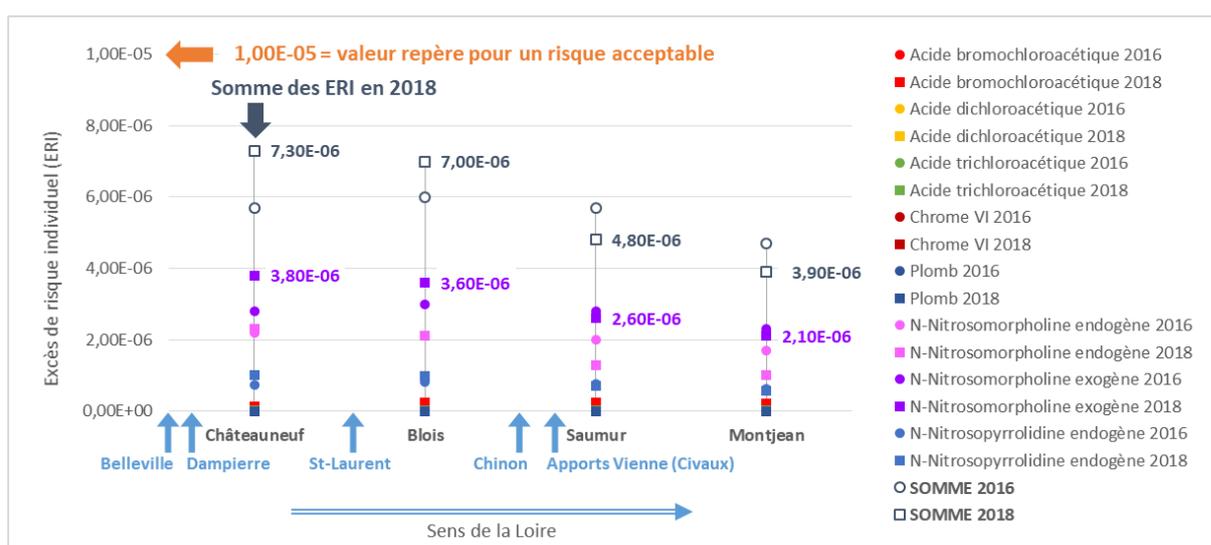
Comparaison des QD pour les expositions chroniques à seuil le long de la Loire avec la valeur 1

En agrandissant 40 fois l'échelle verticale, les variations sont plus facilement visibles. La figure ci-après montre l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve.



Évolution des QD pour les expositions chroniques à seuil le long de la Loire (échelle agrandie)

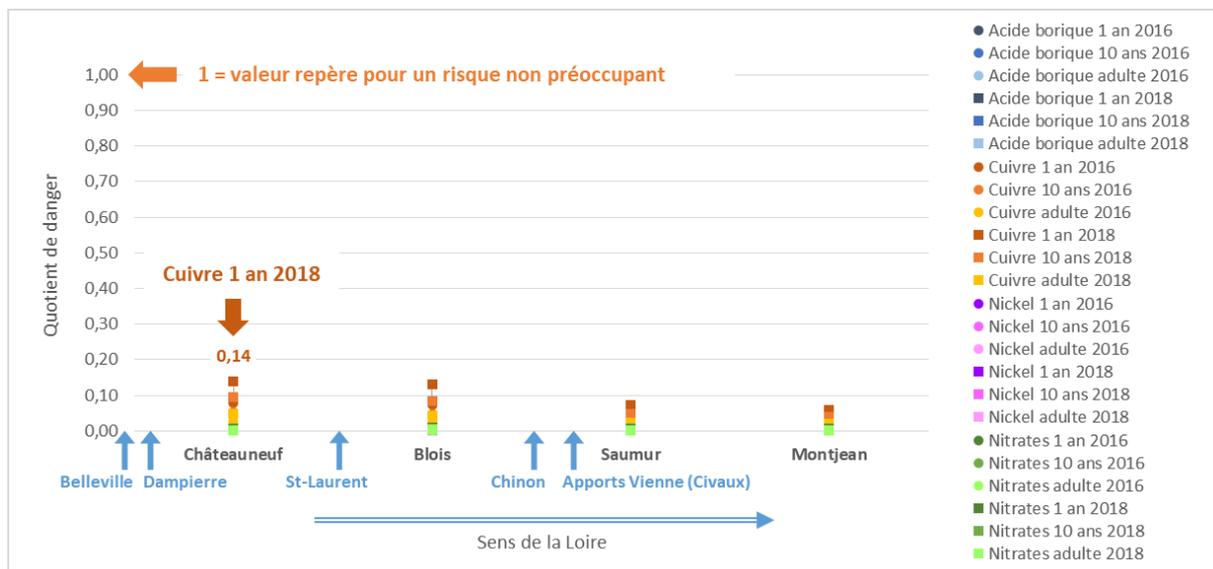
La figure ci-dessous synthétise l'évolution des ERI pour l'exposition chronique sans seuil à 8 substances (acide bromochloroacétique, acide dichloroacétique, acide trichloroacétique, chrome VI, plomb, n-nitrosomorpholine endogène, nitrosomorpholine exogène, n-nitrosopyrrolidine endogène) en 2016 et 2018, ainsi que l'évolution de leur somme. Elle montre que **les ERI totaux de chaque substance sont inférieurs à la valeur repère de 10^{-5}** , la valeur maximale pour une substance, atteinte à Châteauneuf-sur-Loire pour la n-nitrosomorpholine exogène en 2018, étant de $3,80 \cdot 10^{-6}$ (soit 2,6 fois moins que la valeur repère de 10^{-5}). La somme des ERI est également inférieure à la valeur repère de 10^{-5} , la valeur maximale étant de $7,30 \cdot 10^{-6}$ à Châteauneuf-sur-Loire en 2018. On constate l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve.



Évolution des ERI pour les expositions chroniques sans seuil le long de la Loire

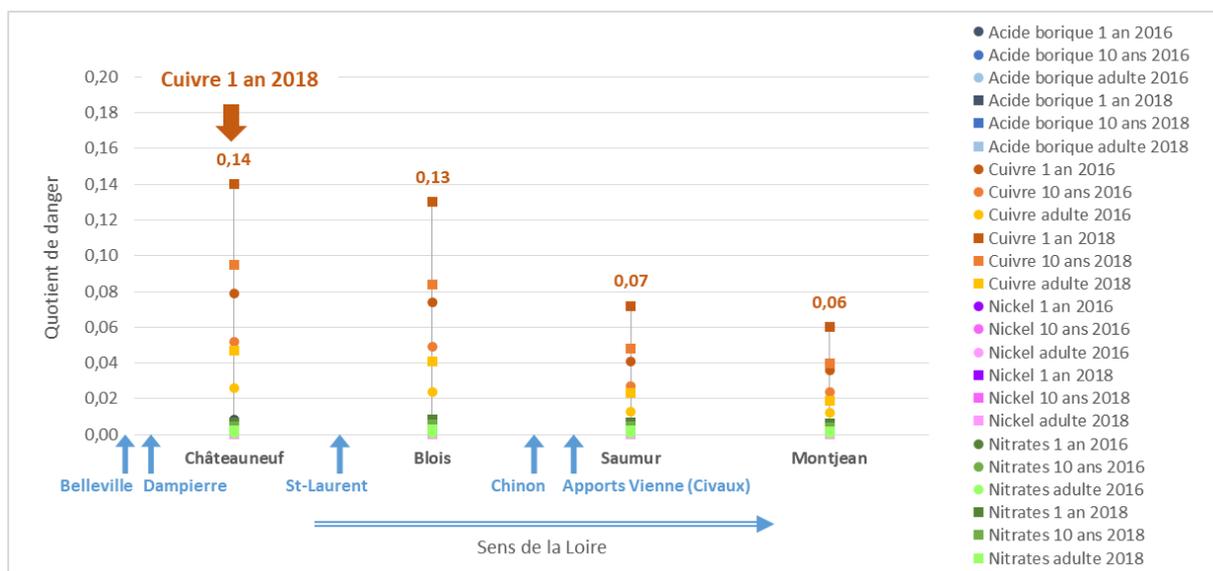
Exposition aiguë

La figure ci-dessous synthétise l'évolution des QD pour l'exposition aiguë à seuil à 4 substances (acide borique, cuivre, nickel et nitrates) pour trois catégories d'âge en 2016 et 2018. Elle montre que **tous les QD sont largement inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Châteauneuf-sur-Loire pour les enfants de 1 an en 2018 pour le cuivre, est de **0,14** (soit 7 fois moins que la valeur 1). Les variations le long du fleuve sont peu visibles à cette échelle.



Comparaison des QD pour les expositions aiguës à seuil le long de la Loire avec la valeur 1

En agrandissant 5 fois l'échelle verticale, les variations sont plus facilement visibles. La figure ci-dessous montre l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve.



Évolution des QD pour les expositions aiguës à seuil le long de la Loire (échelle agrandie)

Pour les expositions chronique et aiguë, l'étude ne met pas en évidence de risque sanitaire dû aux rejets chimiques liquides attribuables aux sites situés sur la Loire sur les populations avoisinantes.

8.

CONCLUSION DE L'ANALYSE DU CUMUL DES INCIDENCES SUR LA LOIRE

L'étude considère les rejets liquides réalisés par les CNPE de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly et Civaux ainsi que les sites de Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon. Elle examine l'incidence sur l'environnement aquatique et la population du cumul des rejets liquides radiologiques et chimiques (les rejets thermiques ne sont pas considérés dans l'étude car tous les réacteurs de type REP considérés fonctionnent en circuit dit « fermé » avec rejets thermiques très faibles qui sont très rapidement dilués et non susceptibles de cumul).

L'étude a été réalisée selon deux approches complémentaires :

- une approche **qualitative**, qui s'appuie sur les données de surveillance de l'environnement en amont et en aval des CNPE et sites afin de détecter s'il y a eu des évolutions sur le fleuve ;
- une approche **quantitative** des impacts environnementaux et sanitaires, basée sur la modélisation du cumul des rejets réels des installations et le débit réel des cours d'eau au cours des années 2016 et 2018 représentatives respectivement d'une année moyenne et d'une année avec un étiage marqué.

Radioactivité de l'environnement aquatique : l'approche qualitative montre que la radioactivité présente dans la Loire est majoritairement d'origine naturelle. Dans certaines matrices aquatiques, une influence des rejets radioactifs liquides est visible, principalement en aval proche des rejets. Pour le tritium et le carbone 14, une augmentation progressive des niveaux d'activité dans certaines matrices est visible entre Belleville-sur-Loire et l'aval de Dampierre-en-Burly, suivie d'une stabilisation. Cet effet est dû aux cumuls des rejets radioactifs liquides des différents sites de la Loire qui n'est pas entièrement compensé par la dilution par les affluents de la Loire. L'approche quantitative montre que les indices de risque pour les organismes de référence sont très inférieurs à la valeur de référence et que le risque environnemental associé aux rejets radioactifs liquides est donc négligeable.

Qualité des eaux de surface : l'approche qualitative montre que les rejets chimiques liquides n'ont pas d'influence notable sur la chimie, la physico-chimie et la biologie. L'approche quantitative ne met pas en évidence d'incidence notable sur l'écosystème de la Loire au niveau des quatre points d'évaluation étudiés.

Impact radiologique sur la population : les doses efficaces totales liées au cumul des rejets d'effluents radioactifs liquides représentent moins de 1/1000^{ème} de la valeur limite de dose réglementaire pour le public, qui est fixée à 1 mSv/an.

Impact sanitaire sur la population : la démarche d'interprétation de l'état des milieux conclut que les rejets cumulés dans la Loire n'ont pas d'influence sur la chimie du fleuve, et par conséquent ne modifient pas la compatibilité de l'eau avec les usages identifiés. L'évaluation quantitative des risques sanitaires ne met pas en évidence de risque sanitaire dû aux rejets chimiques liquides attribuables aux CNPE et sites situés sur la Loire et la Vienne sur les populations avoisinantes potentiellement exposées aux substances.

Ainsi, cette étude montre que les rejets liquides des CNPE et sites en bord de Loire et du CNPE de Civaux n'ont pas d'influence notable sur le milieu aquatique ni sur les humains. Les usages de l'eau ne sont pas impactés par les rejets des CNPE et sites en bord de Loire et du CNPE de Civaux.



EDF
22-30 avenue de Wagram
75382 Paris Cedex 08 – France
SA au capital de 2 084 365 041 euros
552 081 317 R.C.S. Paris
www.edf.fr

Crédit photo de couverture : © EDF – William Beucardet