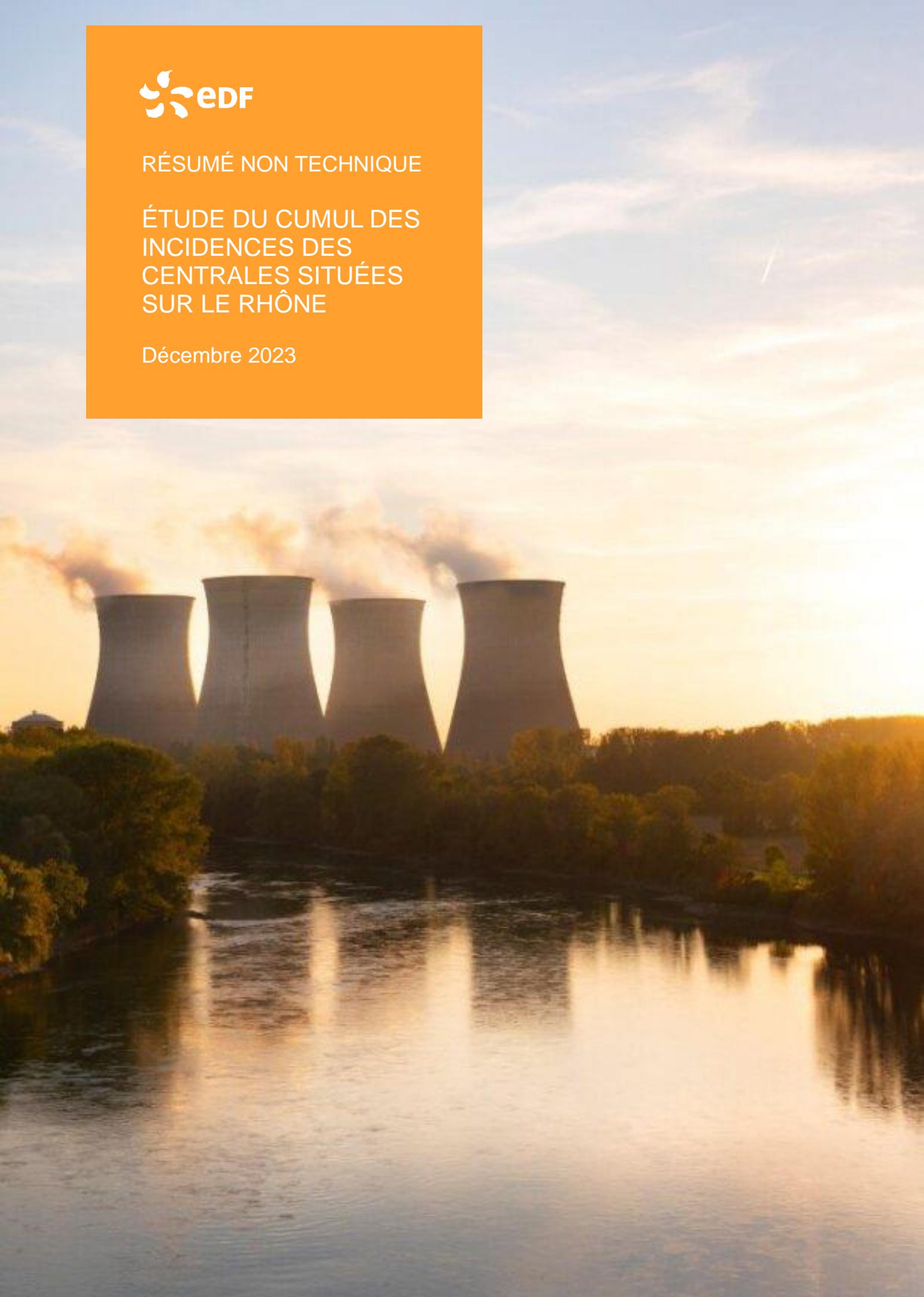




RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

ÉTUDE DU CUMUL DES
INCIDENCES DES
CENTRALES SITUÉES
SUR LE RHÔNE

Décembre 2023



ÉTUDE DU CUMUL DES INCIDENCES DES CENTRALES SITUÉES SUR LE RHÔNE

- Résumé Non Technique -

PLACE DU CHAPITRE DANS LE DOSSIER

Résumé Non Technique

Incidences cumulées

SOMMAIRE

1. OBJET DE L'ETUDE	5
Origine de l'étude	5
Structure de l'étude	5
2. CNPE ET SITES PRIS EN COMPTE DANS L'ETUDE	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'ETUDE.....	12
4. DONNEES D'ENTREE.....	14
Rejets pris en compte.....	14
Hydrologie et choix des années étudiées	15
Points d'évaluation retenus pour l'analyse quantitative des incidences	16
5. MODELISATION DU CUMUL DES REJETS	17
Modélisation pour les rejets liquides radioactifs et chimiques	17
Modélisation pour les rejets thermiques.....	20
6. ANALYSE DES INCIDENCES CUMULEES SUR LE MILIEU AQUATIQUE	25
Incidence radiologique sur la faune et la flore	25
Incidence sur la qualité des eaux de surface.....	28
7. ANALYSE DES INCIDENCES CUMULEES SUR LA POPULATION ET LA SANTE HUMAINE	32
Impact radiologique	32
Évaluation des risques sanitaires des rejets chimiques.....	35
8. CONCLUSION DE L'ANALYSE DU CUMUL DES INCIDENCES SUR LE RHONE.....	41

1. OBJET DE L'ETUDE

Ce document constitue le résumé non technique de l'étude du cumul des incidences des centrales nucléaires situées sur le Rhône, 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 le Rhône.



Note : une étude équivalente est réalisée pour les centrales situées sur la Loire.

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 le Rhône 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 site de Creys-Malville ;
- le site du Bugey ;
- le CNPE de Saint-Alban/Saint-Maurice-l'Exil ;
- le CNPE de Cruas-Meyssse ;
- le CNPE du Tricastin.

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

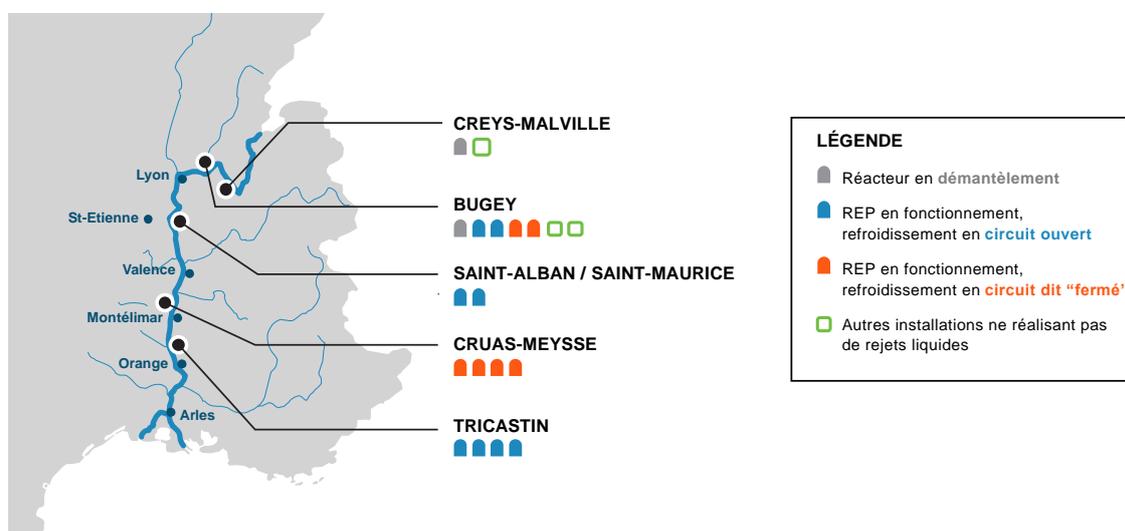
Les unités de production d'électricité en fonctionnement sont toutes de type Réacteurs à eau pressurisée (REP), dont le refroidissement est assuré, selon les cas, en circuit ouvert ou en circuit dit « fermé » (voir fonctionnement des réacteurs de type REP et explication du refroidissement en [page 9](#)).

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 du Rhône).

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).



■ Site de Creys-Malville (rive gauche)

Le site est implanté sur la commune de Creys-Malville dans le département de l'Isère (38). Il se situe à environ 50 km à l'est de Lyon.

Le site comporte deux INB :

INB n° 91		Superphénix : ancien réacteur à neutrons rapides, mis à l'arrêt définitif en 1997 et actuellement en phase de démantèlement.
INB n° 141		APEC (Atelier pour l'entreposage du combustible) : atelier destiné aux assemblages irradiés, actuellement en fonctionnement.



■ Site du Bugey (rive droite)

Le site est implanté sur la commune de Saint-Vulbas dans le département de l'Ain (01). Il se situe à environ 35 km à l'est de Lyon et 10 km en amont de la confluence avec l'Ain.

Le site comporte cinq INB, dont seules trois sont prises en compte dans l'étude des incidences cumulées (les deux autres n'ont pas d'interaction avec le Rhône) :



INB n° 45		Bugey 1 : ancien réacteur de la filière Uranium naturel graphite gaz (UNGG), mis à l'arrêt définitif en 1994 et actuellement en phase de démantèlement.
INB n° 78		Bugey 2-3 : deux REP 925 MWe en fonctionnement, refroidis en circuit ouvert avec l'eau du Rhône.
INB n° 89		Bugey 4-5 : deux REP 900 MWe en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (deux par réacteur).
INB n° 173		<i>ICEDA (Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés) : installations dont les effluents radioactifs sont collectés et transférés vers des unités de traitement extérieures au site.</i>
INB n° 102		<i>MIR (Magasin inter-régional) : installation d'entreposage de combustible neuf ne générant pas de rejets liquides.</i>

■ **CNPE de Saint Alban/Saint Maurice-l'Exil (rive gauche)**

Le CNPE est implanté sur les communes de Saint-Alban-du-Rhône et de Saint-Maurice-l'Exil dans le département de l'Isère (38). Il se situe à environ 40 km au sud de Lyon et 30 km à l'est de Saint-Etienne.

Le CNPE comporte deux INB :

INB n° 119		Saint-Alban 1 et Saint-Alban 2 : deux REP 1 300 MWe (un par INB) en fonctionnement, refroidis en circuit ouvert avec l'eau du Rhône.
INB n° 120		



■ **CNPE de Cruas-Meysse (rive droite)**

Le CNPE est implanté sur les communes de Cruas et de Meysse dans le département de l'Ardèche (07) et de La Coucourde dans le département de la Drôme (26). Il se situe à environ 8 km au nord de Montélimar et 40 km au sud de Valence.

Le CNPE comporte deux INB :

INB n° 111		Cruas 1-2 et Cruas 3-4 : Quatre REP 900 MWe (deux par INB) en fonctionnement, refroidis en circuit dit « fermé » par des aéroréfrigérants (un par réacteur).
INB n° 112		



■ **CNPE du Tricastin (rive droite)**

Le CNPE est situé dans un îlot entre Rhône et le canal de Donzère-Mondragon, sur la commune de Saint-Paul-Trois-Châteaux dans le département de la Drôme (26), à environ 25 km au sud de Montélimar et 22 km au nord d'Orange.

Le CNPE comporte deux INB :

INB n° 87		Tricastin 1-2 : deux REP 915 MWe en fonctionnement, refroidis en circuit ouvert avec l'eau du Rhône.
INB n° 88		Tricastin 3-4 : deux REP (915 MWe et 940 MWe) en fonctionnement, refroidis en circuit ouvert avec l'eau du Rhône.



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).

Les réacteurs de type REP implantés le long du Rhône utilisent l'un ou l'autre des deux modes de refroidissement, présentés sur les figures ci-après.

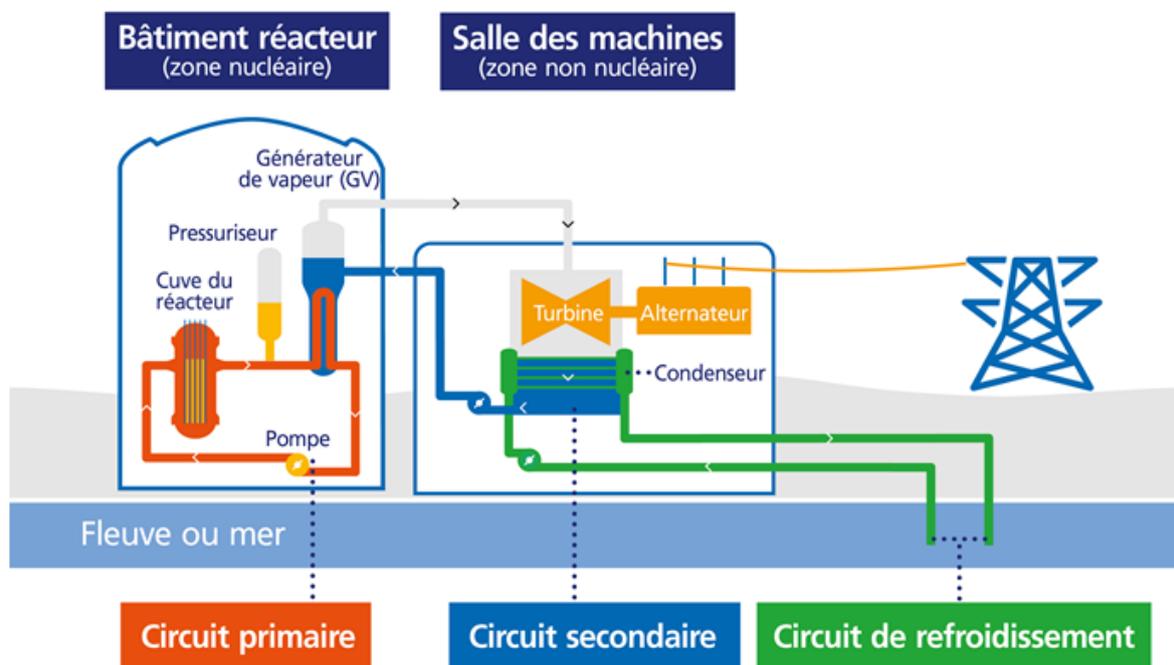


Schéma de principe d'une unité de production avec refroidissement en circuit ouvert © EDF

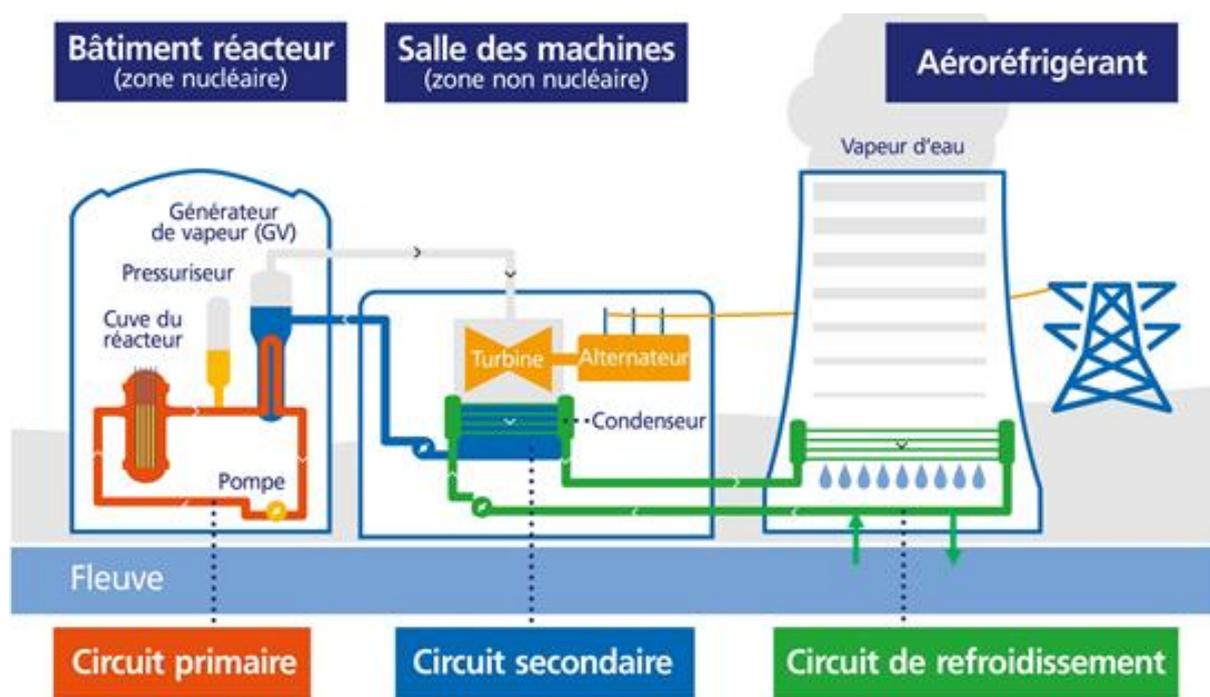
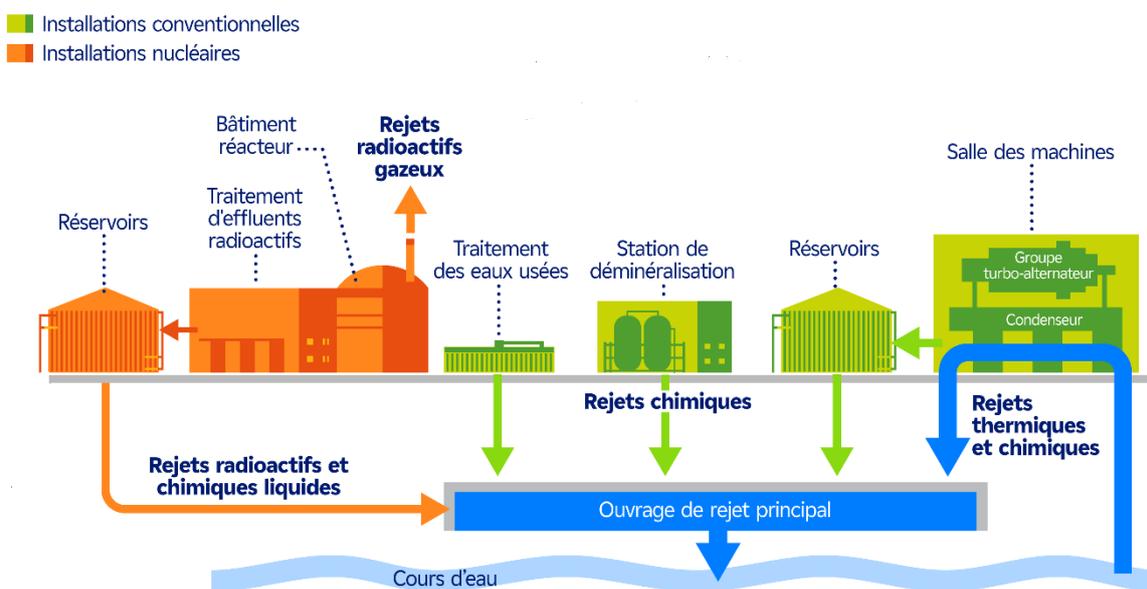


Schéma de principe d'une unité de production avec refroidissement en circuit dit « fermé » © EDF

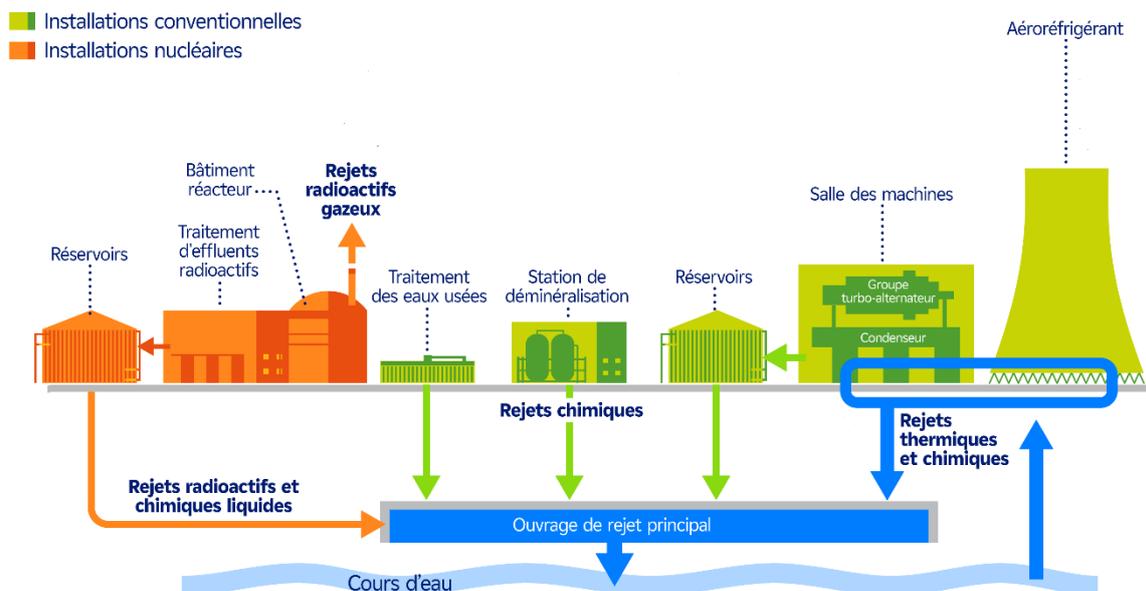
PRESENTATION DES REJETS D'UN CNPE

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.

Les figures ci-dessous donnent une vue d'ensemble de l'origine des rejets liquides pour les réacteurs refroidis en circuit respectivement ouvert et 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 ouvert



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

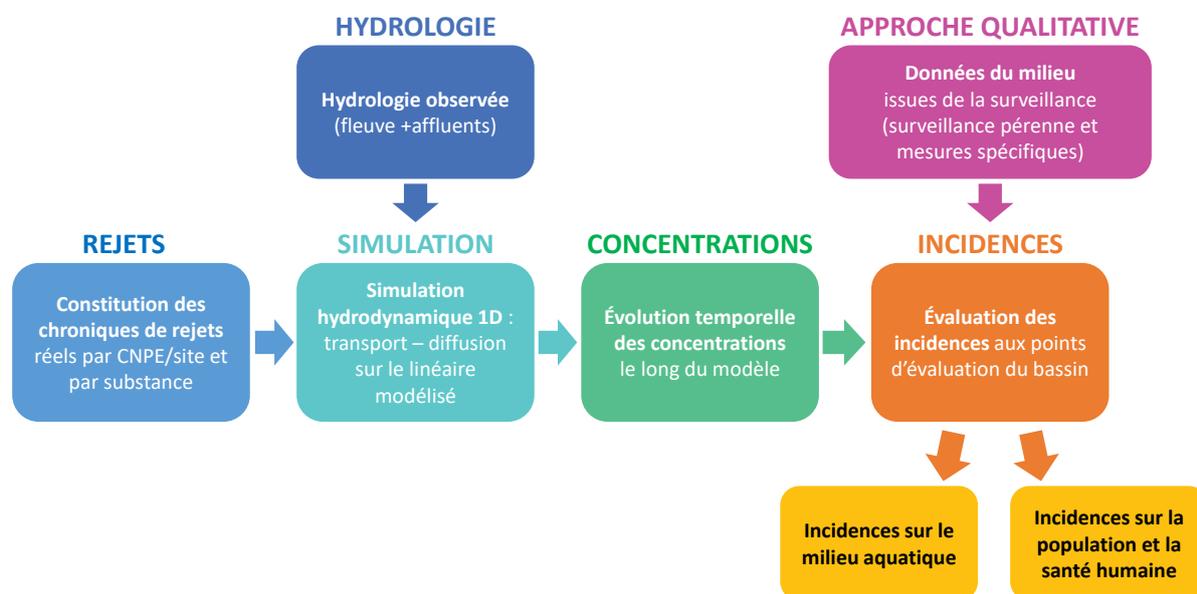
L'eau rejetée par les unités de production est plus chaude que l'eau prélevée, on parle de « **rejets thermiques** ». Ils sont plus importants pour les unités de production en circuit ouvert que pour celles en circuit dit « fermé ».

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.



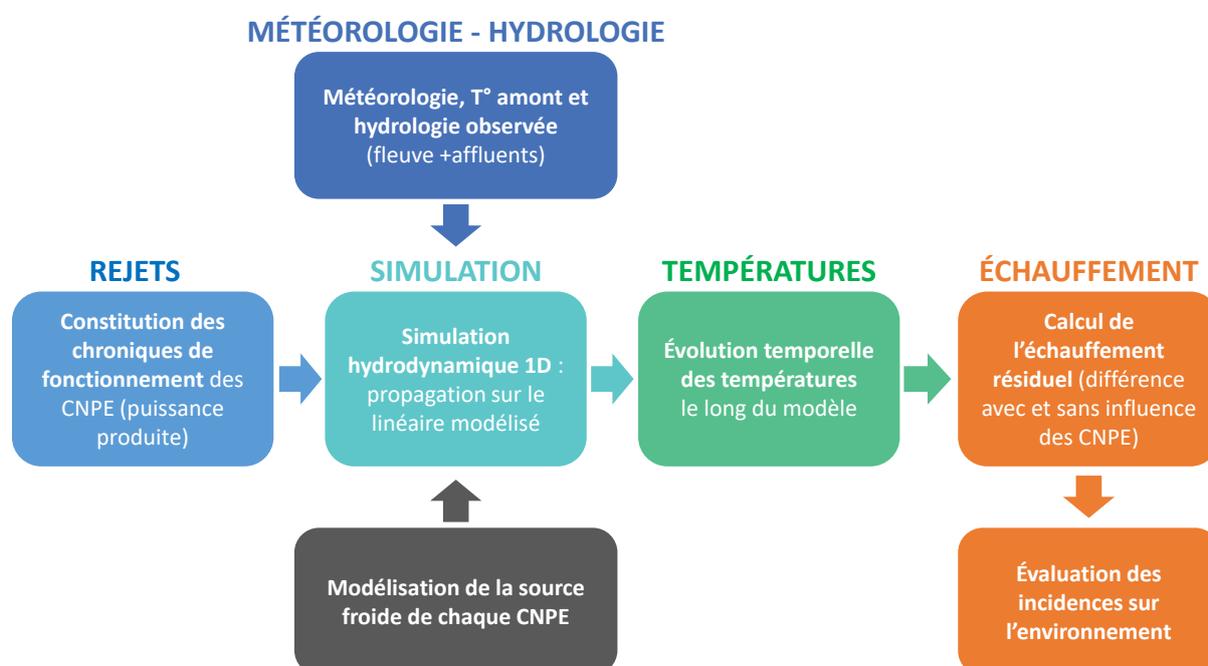
Les rejets thermiques sont considérés dans la présente étude de cumul des incidences des centrales situées sur le Rhône. En effet, le Rhône est un fleuve à transfert thermique amont-aval caractéristique des rivières profondes et rapides, ce qui signifie que les masses d'eau du Rhône ne sont pas en équilibre avec les conditions atmosphériques et que toutes les perturbations de température de l'eau du Rhône initiées en un point donné se répercutent sur un linéaire important vers l'aval, tout en se diluant et en s'atténuant. De plus, plusieurs réacteurs de type REP situés sur le Rhône fonctionnent en circuit ouvert.

Le principe appliqué pour l'analyse de l'incidence des rejets thermiques est similaire à celui décrit précédemment pour les substances radioactives et chimiques :

- les chroniques des puissances produites par les CNPE et la modélisation de la **source froide** de chaque centrale permettent de reconstituer les chroniques de rejets thermiques ;
- en plus des données hydrologiques, l'étude prend en compte les chroniques météorologiques et de température d'eau du fleuve et de ses affluents, car ces différents facteurs influencent la température du Rhône ;
- un outil de simulation permet de modéliser la température d'eau du Rhône et la propagation et l'atténuation des échauffements le long du fleuve.

La **source froide** est composée de l'ensemble des équipements et des circuits permettant de prélever l'eau (en mer ou dans un cours d'eau) pour contribuer au refroidissement des installations et leur maintien dans un état sûr.

L'étude compare ensuite les températures d'eau du Rhône pour deux scénarios de fonctionnement (avec et sans CNPE) afin d'en déduire les **échauffements résiduels**, c'est-à-dire la différence entre la température de l'eau du Rhône lorsque les réacteurs sont en production et la température de l'eau si toutes les centrales étaient à l'arrêt, afin d'évaluer les incidences sur l'environnement.



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 Creys-Malville et du Bugey).

■ *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 ammoniaque) 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)	

■ Rejets thermiques

Les rejets thermiques de toutes les unités de production (qu'elles soient refroidies en circuit ouvert ou en circuit dit « fermé ») sont pris en compte dans l'étude.

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 :

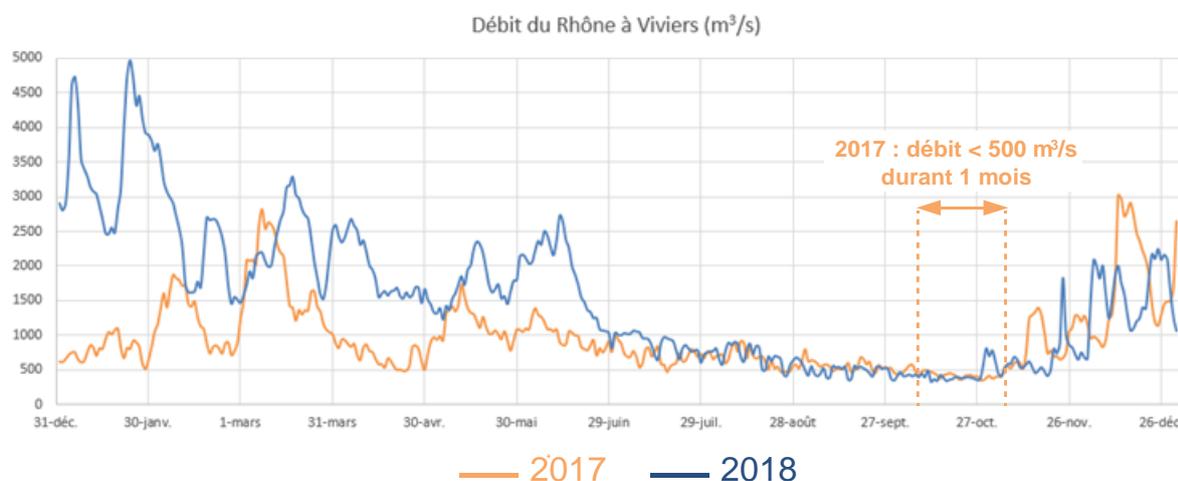
- une année moyenne, représentative de l'hydrologie du fleuve depuis 1920 et des rejets ;
- une année comprenant un **étiage** marqué pendant lequel plusieurs rejets auront été réalisés sur l'ensemble des CNPE.

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

Les débits annuels du Rhône ont été examinés à Viviers, point nodal représentatif des débits du Rhône en aval des principales confluences (Ain, Saône, Drôme, Isère). Le débit moyen entre 1920 et 2020 y est de 1 471 m³/s.

L'année moyenne retenue est 2018, avec un débit moyen de 1 641 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 2016 a été écartée car non représentative des rejets effectués par le CNPE de Cruas, où le traitement biocide n'a été mis en œuvre qu'à partir de 2017).

L'année avec un étiage marqué retenue est 2017, notamment caractérisée par un étiage automnal particulièrement long pour le Rhône, avec un débit à Viviers inférieur à 500 m³/s durant près d'un mois en octobre (l'année 2018 comportait également une période d'étiage relativement longue, mais a été écartée car déjà retenue comme année moyenne).



Données de débit à Viviers en 2017 et 2018

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

Le domaine d'étude couvre le linéaire du Rhône compris entre l'amont immédiat du site du Bugey et la ville d'Arles située 330 km en amont (pour la modélisation des rejets liquides radioactifs et chimiques, un tronçon homogène a été ajouté sur la section de Creys-Malville au Bugey).

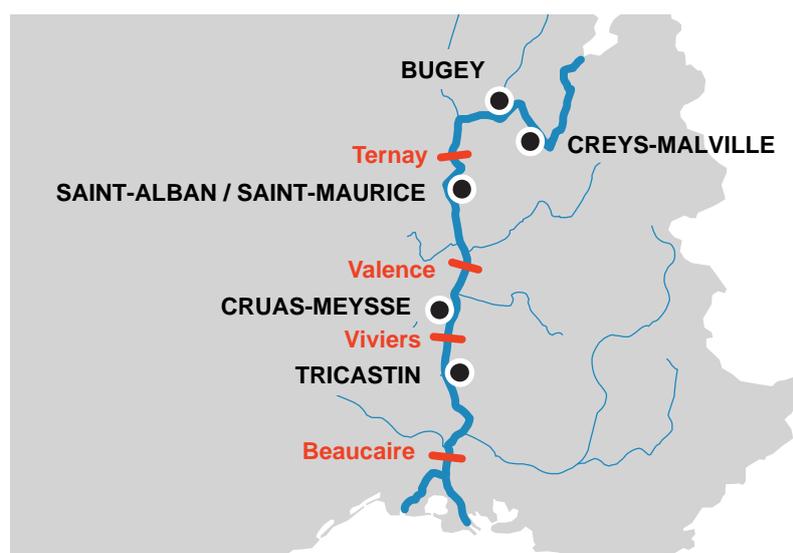
Les impacts des cumuls des rejets liquides radioactifs et chimiques des installations sur le bassin du Rhône sont quantifiés pour quatre points d'évaluation répartis le long du fleuve en aval de la dilution complète des rejets liquides des CNPE et sites, de façon à pouvoir effectuer un cumul progressif. Le choix de ces points tient compte des caractéristiques hydrauliques des différents tronçons du Rhône (notamment les confluences majeures), des **points nodaux** du **SDAGE** et des points associés aux principales stations de mesure des débits du Rhône.

SDAGE : Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux, établi à l'échelle d'un bassin, SDAGE Rhône-Méditerranée 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 pour l'étude de l'incidence des rejets liquides radioactifs et chimiques sont les suivants, considérés représentatifs des tronçons du Rhône situés entre les CNPE et sites :

- **Ternay**, en aval du site du Bugey et en aval de la confluence de l'Ain, du Rhône et de la Saône ;
- **Valence**, en aval du CNPE de Saint-Alban/Saint-Maurice-l'Exil et en amont du CNPE de Cruas-Meysses, en aval de la confluence avec l'Isère ;
- **Viviers**, en aval du CNPE de Cruas-Meysses et en amont du CNPE du Tricastin, en aval de la confluence de la Drôme ;
- **Beaucaire**, point le plus aval considéré, en aval du CNPE du Tricastin, en aval de la confluence avec l'Ardèche et avec la Durance, en amont du delta du Rhône et au-delà duquel apparaît l'influence marine issue de la Méditerranée.



Localisation des quatre points d'évaluation sur le Rhône

5.

MODELISATION DU CUMUL DES REJETS

MODELISATION POUR LES REJETS LIQUIDES RADIOACTIFS ET CHIMIQUES

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.

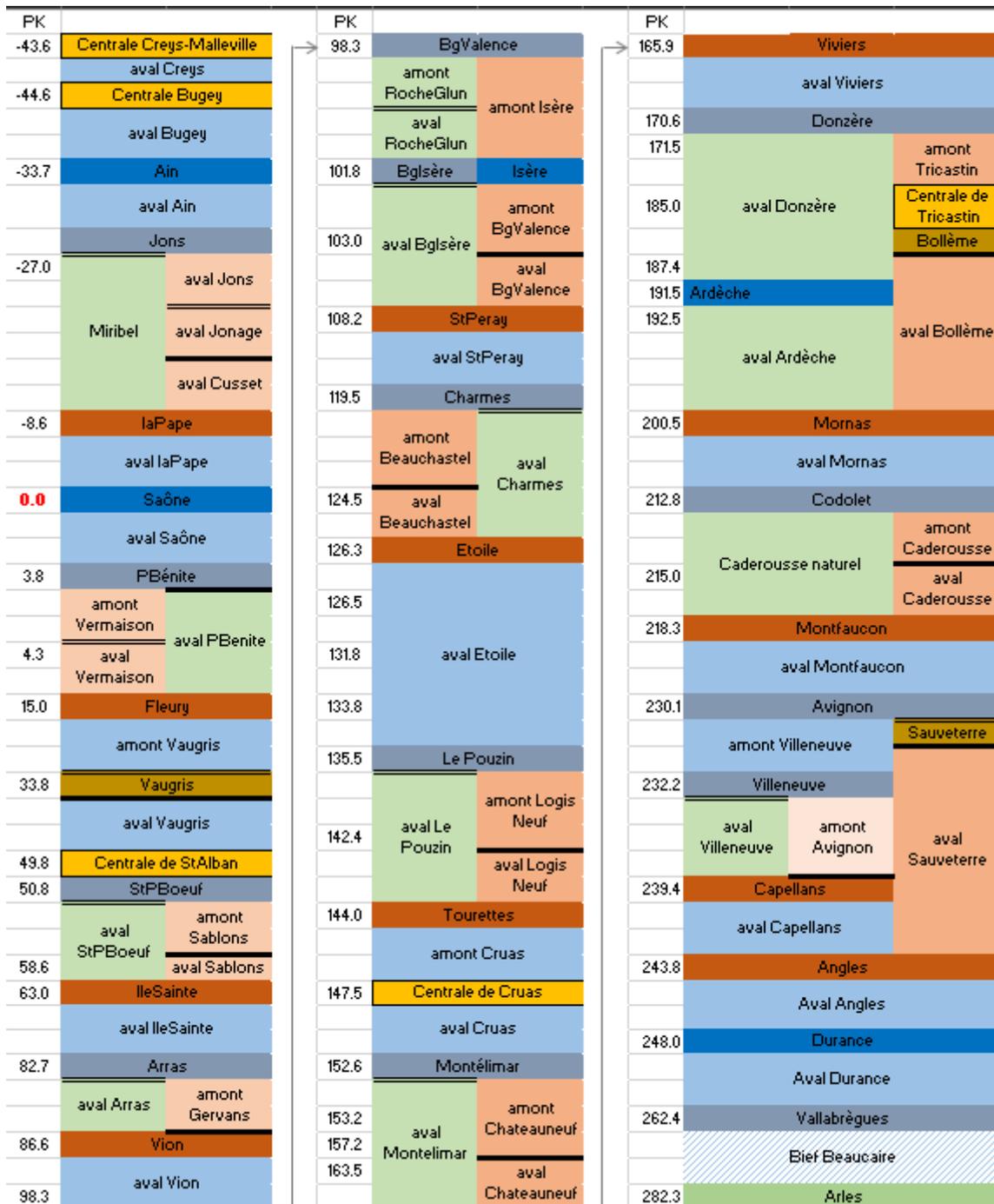
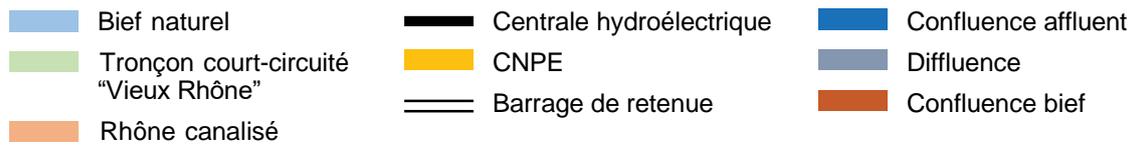
Pour chaque substance, le débit de rejet et l'activité radiologique ou concentration chimique sont ainsi définis **au pas horaire** (heure par heure).

■ *Modélisation 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). Le modèle prend en compte les bras naturels du Rhône ainsi que les tronçons court-circuités (« Vieux Rhône ») et les canaux de dérivation liés aux aménagements du Rhône.

Sur le tronçon d'étude, le Rhône est alimenté principalement par cinq affluents : l'Ain, la Saône, l'Isère, la Drôme et l'Ardèche. Les données de débit utilisées pour la modélisation proviennent de la base nationale Hydro Portail (<https://www.hydro.eafrance.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 un e portion située entre deux chutes, canaux ou autres discontinuités hydrauliques.



Discretisation du Rhône en biefs

■ 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 (radioactives 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.**

■ Résultats de la modélisation par substance

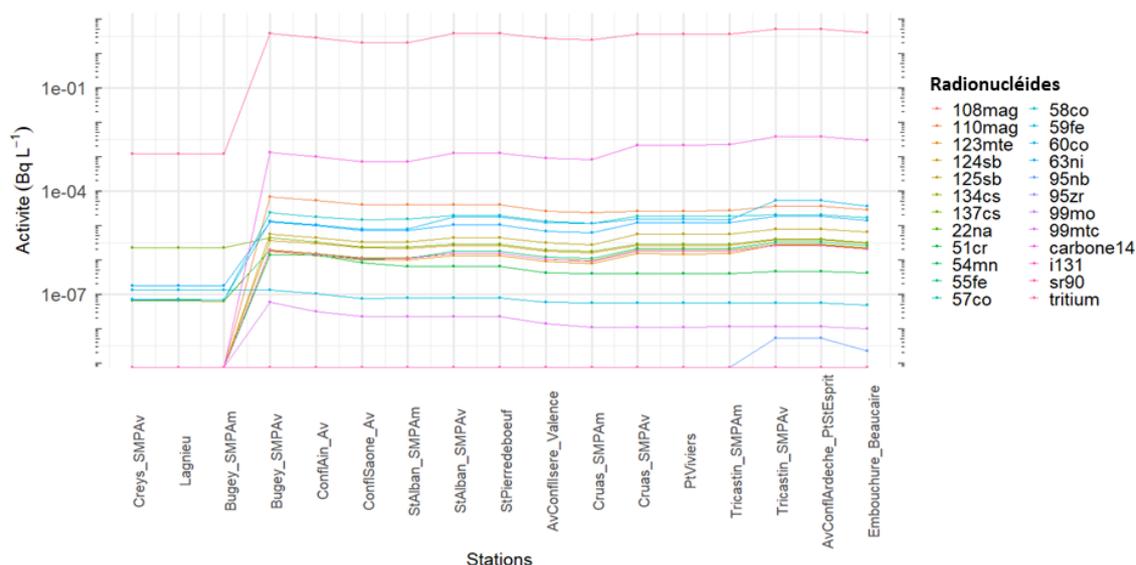
Les résultats de modélisation des concentrations (ou activités) dans le milieu sont synthétisés pour 17 points de calcul situés le long du fleuve. Il s'agit de stations de mesures « Stations multi-paramètres (SMP) » situées à l'amont et aval des sites et CNPE ainsi que de points intermédiaires parmi lesquels les quatre points d'évaluation retenus pour l'analyse quantitative des incidences (Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire).

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 2018 des radionucléides.

Liste des points de calcul :

- Creys SMP aval
- Lagnieu
- Bugey SMP amont
- Bugey SMP aval
- Aval confluence Ain
- Ternay (point nodal)
- Saint-Alban SMP amont
- Saint-Alban SMP aval
- Saint-Pierre-de-Bœuf
- Valence (point nodal)
- Cruas SMP amont
- Cruas SMP aval
- Viviers (point nodal)
- Tricastin SMP amont
- Tricastin SMP aval
- Pont-Saint-Esprit (aval confluence Ardèche)
- Beaucaire (point nodal)



Exemple : résultat de modélisation des concentrations en radionucléides le long du Rhône en 2018 (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.

MODELISATION POUR LES REJETS THERMIQUES

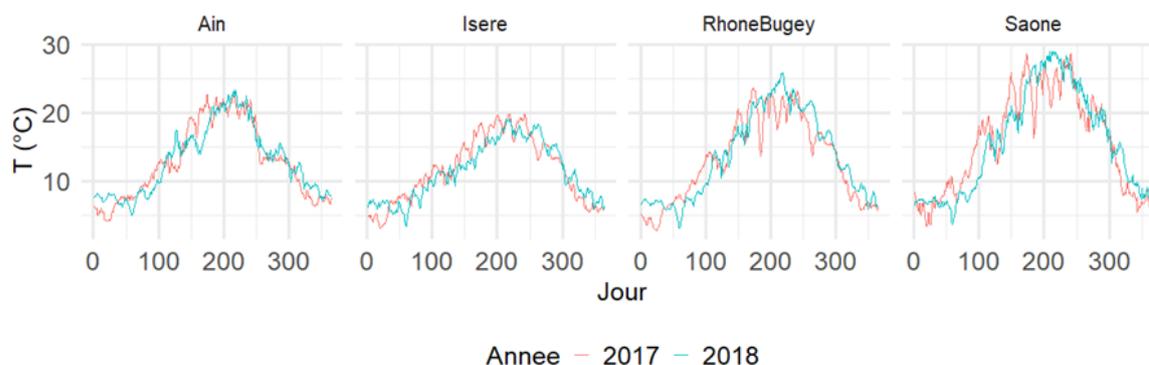
Le modèle numérique utilisé pour simuler la température d'eau du Rhône et la propagation et l'atténuation des échauffements le long du fleuve s'appuie sur l'environnement numérique décrit précédemment, avec le même découpage du fleuve en biefs.

Les données d'entrée des simulations sont :

- l'hydrologie (décrite précédemment) et la température d'eau du fleuve et de ses affluents ainsi que les données météorologiques ;
- les chroniques de rejets thermiques des CNPE.

■ Chroniques de température d'eau et données météorologiques

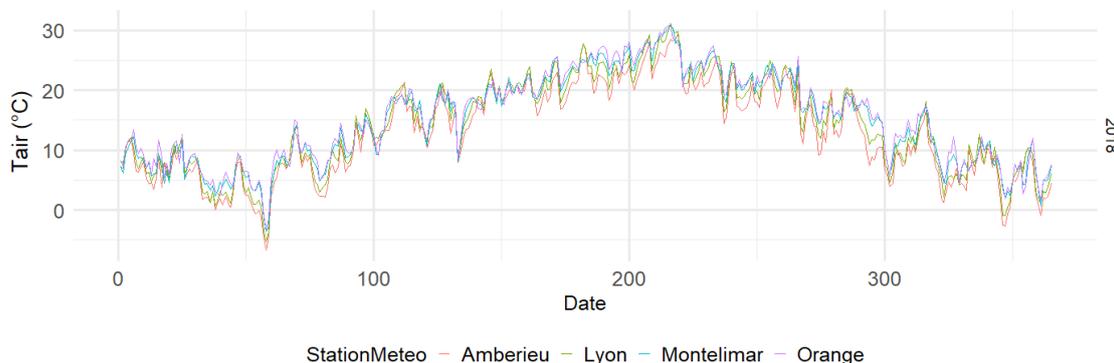
Les simulations thermiques nécessitent comme données d'entrées les températures d'eau aux conditions limites amont du modèle (température du Rhône en amont du Bugey et température d'eau des affluents). Ces données proviennent du réseau de mesure EDF et de la base nationale Hydro Portail (<https://www.hydro.eaufrance.fr/>).



Chronique des températures d'eau moyenne journalière
des affluents du Rhône en 2017 et 2018

Certaines composantes météorologiques sont également prises en compte car elles interviennent dans le processus d'évaporation de l'eau et l'évolution du régime thermique d'un cours d'eau. Il s'agit de la température de l'air, la pression partielle de vapeur d'eau de l'air, l'intensité du vent, la nébulosité, la pression atmosphérique, l'humidité spécifique de l'air et le rayonnement.

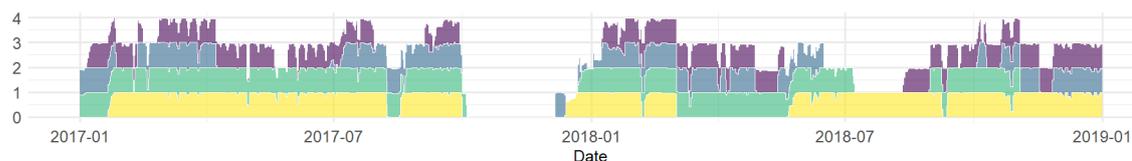
Les données au pas de temps tri-horaires sont issues de quatre stations météorologiques Météo France situées sur le linéaire du Rhône : Ambérieu, Lyon, Montélimar, Orange.



*Exemple de données météorologiques :
températures de l'air mesurées aux 4 stations météorologiques de référence en 2018*

■ Constitution des chroniques de rejets thermiques des CNPE

Les chroniques de rejets thermiques ont été établies à partir des données de production des CNPE.



*Exemple de chronique de fonctionnement : les quatre unités de production du CNPE
du Tricastin (en considérant la puissance produite rapportée à la puissance nominale)*

Un code de calcul développé par EDF permet de modéliser le fonctionnement de la source froide de chaque CNPE en fonction de la production électrique de la centrale et des conditions environnementales (température d'eau du débit d'appoint, température et humidité de l'air dans le cas d'un CNPE avec aéroréfrigérant).

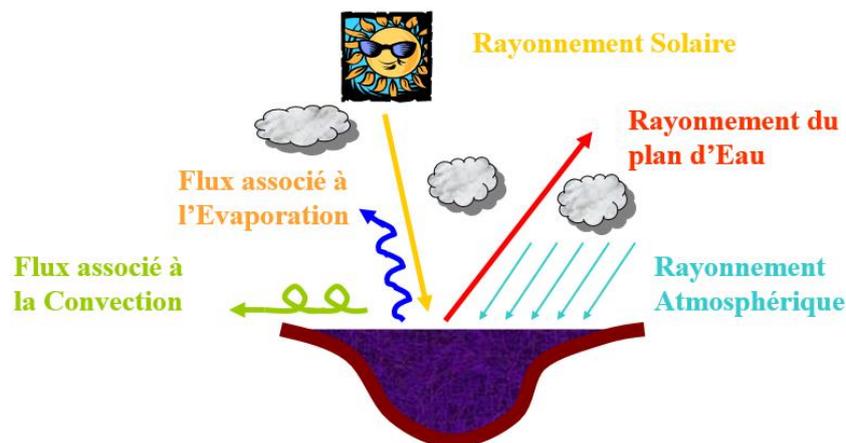
Ainsi, à partir du planning de fonctionnement de chaque réacteur (incluant les aléas de production, les arrêts fortuits, les arrêts programmés nécessaires à la maintenance des réacteurs, ainsi que les baisses de puissance liées à l'application des contraintes réglementaires), le modèle simule la température au rejet et la température en aval après mélange.

■ Simulation de la propagation et de l'atténuation des échauffements

Deux scénarios de fonctionnement sont simulés :

- **un scénario dit de « référence »**, sans le fonctionnement des CNPE, représentant l'évolution naturelle de la température du Rhône. Les facteurs qui influencent cette évolution sont les transferts amont-aval des masses d'eau ainsi que les conditions météorologiques locales et l'apport thermique des affluents ;
- **scénario avec les CNPE en fonctionnement réel**, prenant en compte le planning de fonctionnement de chaque réacteur suivant les chroniques décrites ci-dessus.

Pour chacun des deux scénarios, la modélisation prend en compte les échanges thermiques entre les eaux de surface et l'atmosphère, via la prise en compte des effets radiatifs liés au rayonnement atmosphérique, aux effets du vent et globalement aux effets du rayonnement global pouvant impacter la température d'eau (voir figure ci-dessous).



Représentation schématique des flux d'échanges thermiques modélisés

La simulation fournit, pour les années 2017 et 2018, l'évolution **au pas horaire** (heure par heure) de la température des eaux du Rhône **avec et sans influence des CNPE** sur tout le linéaire entre l'amont du Bugey et Arles (près de 320 km).

La part de l'échauffement apporté au Rhône par les différents CNPE, appelé « **échauffement résiduel** », est calculé en faisant la différence entre la température du Rhône influencée par les CNPE et la température de l'état de référence.

■ Résultats du calcul des échauffements résiduels

Les résultats sont analysés en moyenne journalière (car cela correspond au pas de temps de suivi des limites thermiques réglementaires de chaque CNPE). Plusieurs types de représentations ont été réalisés :

- moyennes annuelle et mensuelle le long du linéaire ;
- visualisation spatiale sous une forme intégrant les échelles spatiale et temporelle ;
- évolution temporelle des températures et des échauffements résiduels en huit points particuliers (en aval des quatre CNPE et aux quatre points d'évaluation).

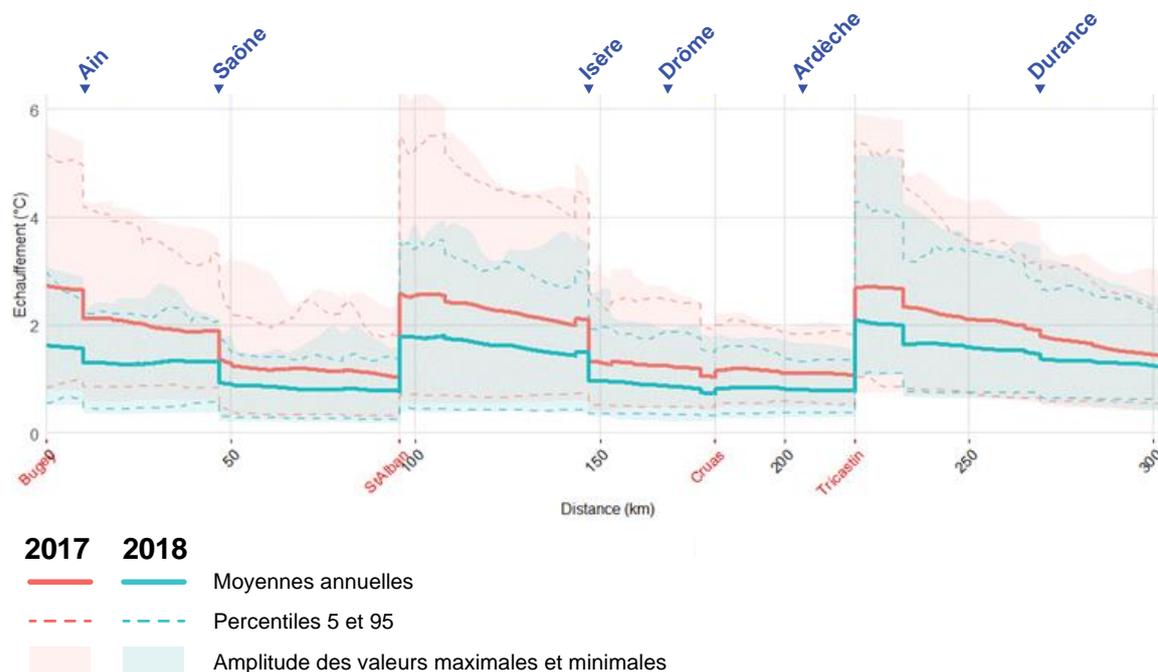
Seules quelques représentations sont reprises dans le présent résumé non technique.

Le graphe ci-dessus présente les valeurs moyennes annuelles des échauffements résiduels calculés le long du linéaire du Rhône, ainsi que les variations autour de ces moyennes (au travers des valeurs minimales et maximales et des **percentiles**). Les flèches en bleu représentent la position des principaux affluents.

Percentiles : valeurs qui divisent une distribution statistique ordonnée en cent groupes d'effectifs égaux.

Percentile 5 : valeur telle que 5 % des valeurs mesurées sont en dessous.

Percentile 95 : valeur telle que 95 % des valeurs mesurées sont en dessous.



Valeurs moyennes annuelles des échauffements résiduels calculés le long du linéaire du Rhône pour les années 2017 et 2018

Ce graphe montre une évolution globalement similaire le long du Rhône pour les deux années étudiées, avec des échauffements résiduels plus élevés en 2017 (moyennes entre 1,1 °C et 2,6 °C) qu'en 2018 (moyennes entre 0,8 °C et 1,8 °C), en lien avec des débits du Rhône plus faible en 2017. Le graphe permet de visualiser :

- les échauffements résiduels en aval de chaque CNPE (particulièrement faibles en aval de Cruas-Meysses du fait de REP fonctionnant en circuit dit « fermé ») ;
- les atténuations progressives par propagation vers l'aval ;
- les effets de dilution liés aux apports des affluents, particulièrement nets au niveau de l'Isère qui apporte en moyenne de l'eau plus froide que le Rhône et dont l'effet thermique est nettement visible.

Ce graphe montre, que sur les moyennes annuelles, les effets de propagation et les apports des affluents diminuent de manière significative l'effet de cumul des CNPE à l'échelle du Rhône et conduisant à des valeurs équivalentes (en moyenne annuelle) entre l'aval après mélange du Bugey, de Saint-Alban/Saint-Maurice-l'Exil ou du Tricastin. L'examen des moyennes mensuelles et de l'évolution des températures en différents points affine ces conclusions.

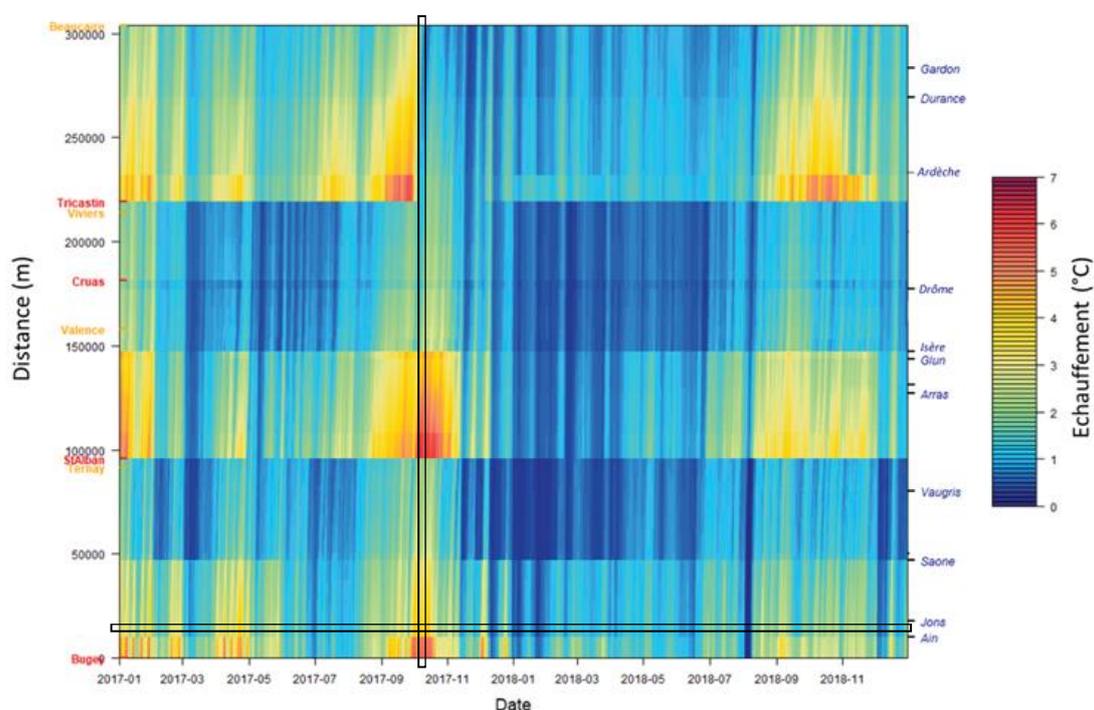
Une attention particulière a été portée aux périodes de fortes chaleurs ou de faibles débits :

- les périodes de fortes chaleurs examinées sont celles où l'eau du Rhône est élevée en amont du site du Bugey et les périodes de canicule, ce qui correspond à 11 jours en 2017 et 29 jours en 2018 ;
- les périodes de faibles débits examinées sont celles où le débit du Rhône est inférieur à 500 m³/s à Viviers, ce qui correspond à environ 1 mois pour chacune des années.

L'analyse de ces périodes montre que les échauffements résiduels moyens le long du Rhône n'augmentent pas en lien avec les fortes chaleurs. En revanche, les échauffements résiduels sont plus élevés en périodes de faibles débits.

Le graphe suivant a été créé pour synthétiser les données de températures quotidiennes sur tout le linéaire du Rhône pendant deux ans. Sur ce graphe :

- une bande horizontale représente un point géographique le long du Rhône, avec l'évolution des températures du 01/01/2017 (à gauche) au 31/12/2018 (à droite). Les sites et points d'évaluation sont indiqués sur la gauche, les affluents du Rhône repérés sur la droite. *Par exemple, la bande horizontale encadrée correspond à un point en aval de la confluence avec l'Ain ;*
- une bande verticale représente une journée, avec l'évolution des températures le long du Rhône, depuis le Bugey (en bas) jusqu'à Beaucaire (en haut). *Par exemple, la bande verticale encadrée correspond à une journée d'octobre 2017.*



Variations spatio-temporelles des échauffements résiduels le long du Rhône en 2017-2018

■ Conclusion sur les cumuls des rejets thermiques

Les échauffements du Rhône liés aux rejets des CNPE ne s'additionnent pas de manière arithmétique d'amont en aval, mais ils s'atténuent progressivement : lorsque le Rhône reçoit un échauffement supplémentaire, celui-ci est dissipé progressivement en aval en fonction des conditions météorologiques et de l'apport des affluents, notamment de la Saône et de l'Isère. Les échauffements résiduels moyens atteints à Beaucaire varient sur les deux années simulées de 1,2°C à 1,5°C en moyenne annuelle, avec des variations liées aux évolutions de fonctionnement des CNPE, ainsi qu'aux évolutions de débit du Rhône à l'échelle saisonnière (valeurs plus faibles au printemps et plus élevées à l'automne).

En complément, il est à noter qu'une étude thermique du Rhône réalisée par EDF entre 2000 et 2014 à la demande du Préfet coordonnateur du bassin Rhône-Méditerranée a montré que les principaux facteurs qui déterminent la température du fleuve sont le changement climatique, les rejets des sites nucléaires, ainsi que les débits du fleuve et de ses affluents (en lien avec les aménagements hydrauliques).

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 du Bugey, de Saint-Alban/Saint-Maurice-l'Exil, de Cruas-Meysse et du Tricastin.

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 et météorologiques 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 cinq CNPE et sites le long du Rhône, 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 du Rhône.

Une augmentation progressive des niveaux d'activité du tritium et du carbone 14 dans certaines matrices est visible entre l'amont de Creys-Malville et l'aval du Bugey ainsi qu'entre l'amont de Cruas-Meysse et l'aval de Tricastin. Cet effet est dû aux cumuls des rejets d'effluents liquides des différents CNPE et sites du Rhône, ainsi que de ceux des activités industrielles horlogères passées pour le tritium organiquement lié dans les sédiments. Cet effet de cumul n'est pas entièrement compensé par la dilution par les affluents. 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.

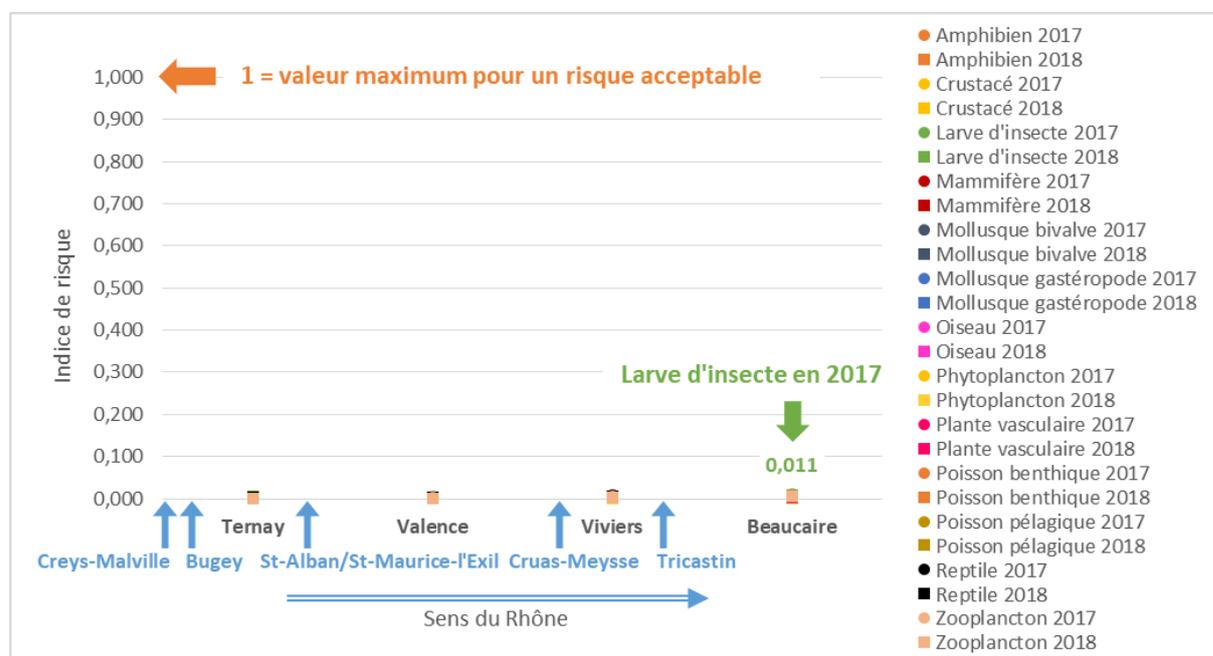
L'incidence est évaluée pour les années 2017 et 2018 en chacun des quatre points d'évaluation retenus (Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire). Ce sont ainsi huit évaluations qui sont réalisées.

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.

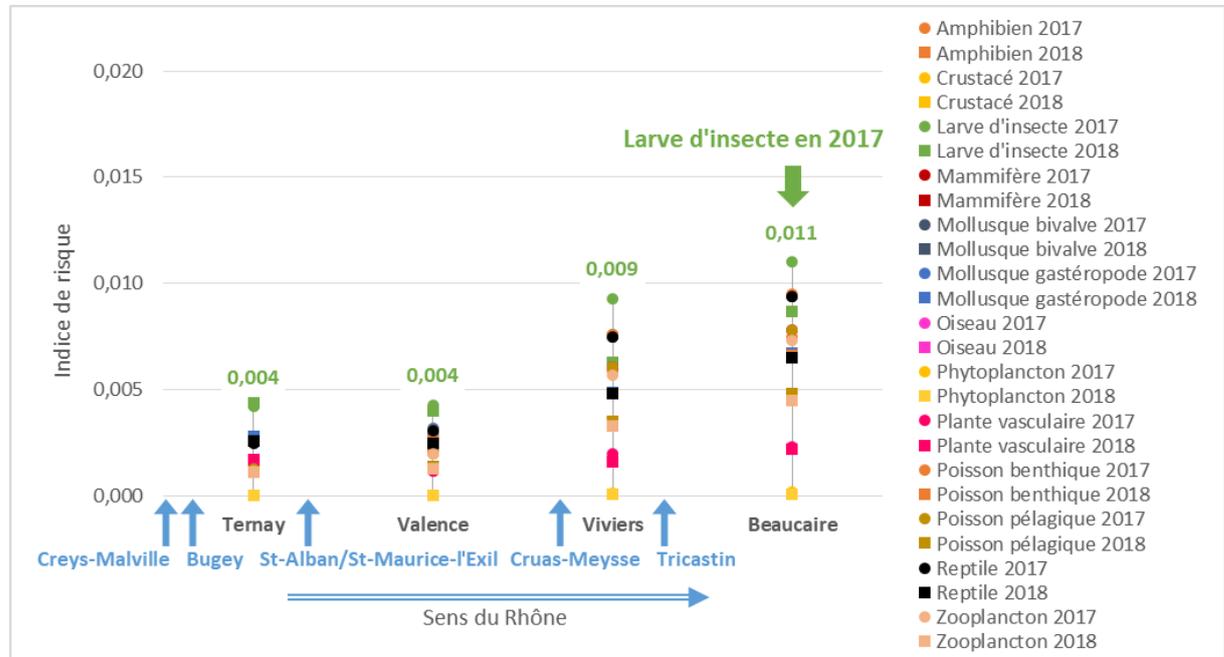
La figure ci-dessous synthétise l'évolution des indices de risque pour l'ensemble des organismes de référence en 2017 et 2018. Elle montre que **tous les indices de risque sont largement inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Beaucaire pour la larve d'insecte en 2017, est de **0,011** (soit environ 90 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 50 fois l'échelle verticale, les variations deviennent visualisables. La figure ci-dessous montre une légère augmentation des indices de risque au niveau des deux derniers points d'évaluation, avec des valeurs qui restent très inférieures à 1.



Évolution des indices de risque le long du Rhône

En conséquence, le risque environnemental induit par les rejets radioactifs liquides cumulés dans le Rhône 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) montre que les métaux sont régulièrement quantifiés, avec des concentrations chimiques mesurées globalement similaires entre l'amont et l'aval de chaque site. Les autres paramètres chimiques suivis présentent majoritairement des concentrations faibles, en dessous ou proches des limites de quantification.

Concernant la **physico-chimie**, l'analyse des paramètres mesurés (température, pH, oxygène dissous, conductivité, nitrites, nitrates, phosphates, calcium...) entre les stations amont et aval ne montre pas de différence biologiquement significative, à l'exception de la température qui est, comme attendue, plus élevée à l'aval du site du Bugey et du CNPE du Tricastin dans la veine de rejet.

Concernant la **biologie**, les peuplements végétaux et animaux observés sont conformes aux peuplements attendus dans le Rhône. 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. À l'aval du site du Bugey, on note une différence de peuplements piscicoles et de macroinvertébrés benthiques en raison de la présence de la veine échauffée en rive droite, et de différences d'habitats aux stations liées à la configuration de Rhône. Cette différence n'a pas d'incidence sur le fonctionnement des peuplements.

En conclusion, à l'exception des suivis réalisés au Bugey (site en tête de bassin) concernant les macroinvertébrés benthiques et les peuplements piscicoles, l'analyse de l'ensemble des éléments acquis dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement aquatique des CNPE de Saint-Alban/Saint-Maurice-l'Exil, de Cruas-Meyssse et du Tricastin et des sites de Creys-Malville et du Bugey ne met pas en évidence d'influence notable résultant de leur fonctionnement.

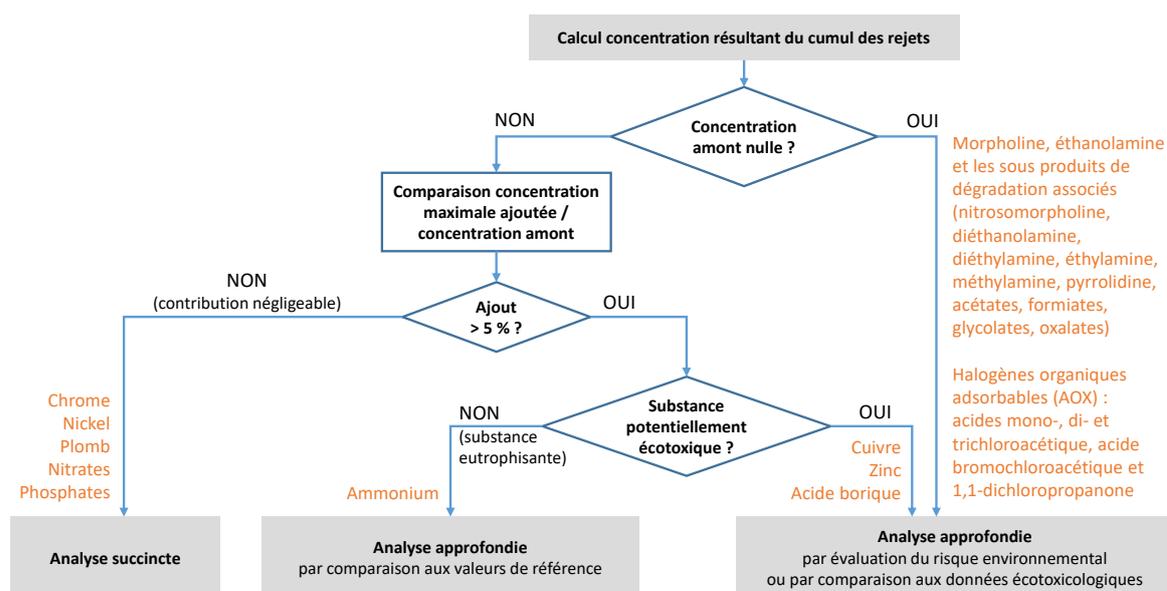
■ Approche quantitative de l'incidence chimique des rejets cumulés sur l'environnement

Pour chacune des substances rejetées, l'incidence chimique est évaluée pour les années 2017 et 2018 en chacun des quatre points d'évaluation (Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire).

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 du Rhône.

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 (moyenne et maximale) cumulée à Valence en 2017 et 2018, qui est de $1,2 \cdot 10^{-1}$ mg/L, soit environ 8 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 du Rhône.

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.

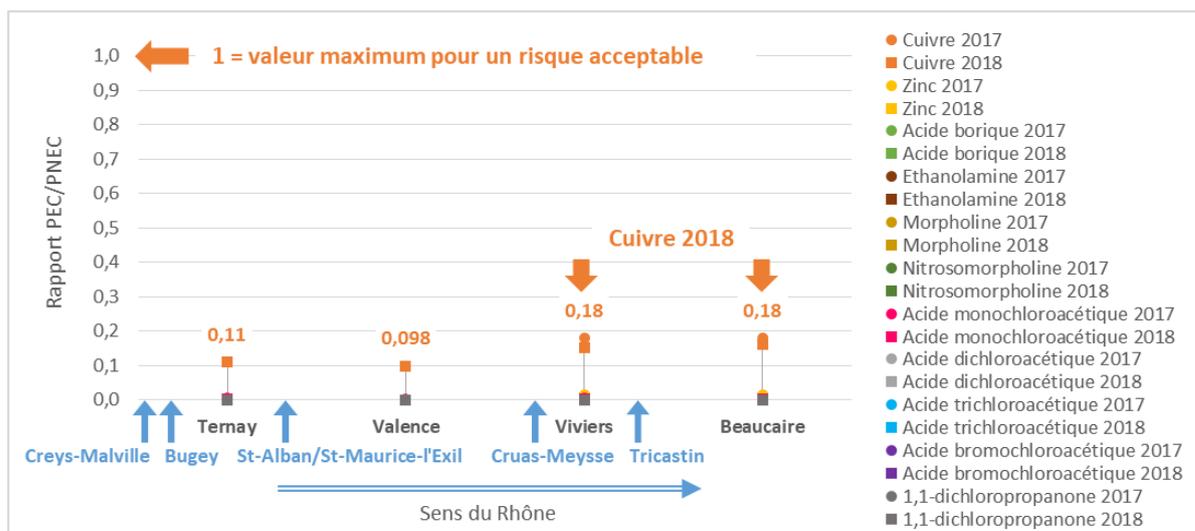
PEC : concentration résultant des rejets (*Predicted Environmental Concentration*) : la PEC retenue est la concentration totale en aval (somme de la concentration amont et de la concentration ajoutée).

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 2017 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 Viviers et Beaucaire pour le cuivre en 2018, est de **0,18** (soit environ 5 fois moins que la valeur 1).

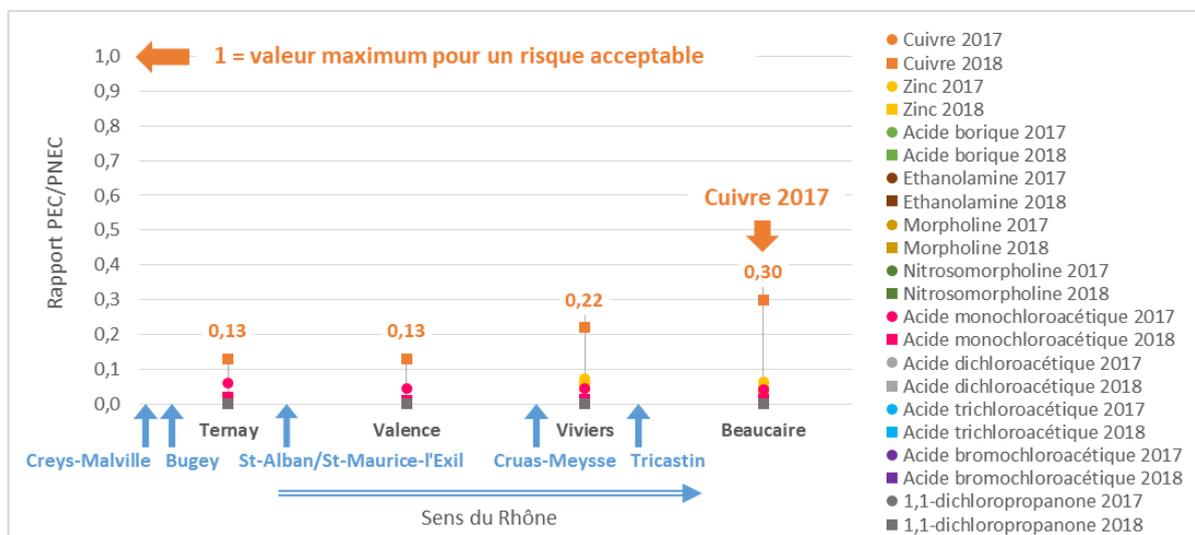
Une légère augmentation des rapports PEC/PNEC est observée au niveau des deux derniers points d'évaluation, avec des valeurs qui restent très inférieures à 1.



Évolution des rapports PEC/PNEC en approche moyenne le long du Rhône

La figure ci-dessous synthétise l'évolution des rapports PEC/PNEC en approche **maximale** en 2017 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 Beaucaire pour le cuivre en 2017, est de **0,38** (soit 2,6 fois moins que la valeur 1).

Comme pour l'approche moyenne, une légère augmentation des rapports PEC/PNEC est observée au niveau des deux derniers points d'évaluation, avec des valeurs qui restent très inférieures à 1.



Évolution des rapports PEC/PNEC en approche maximale le long du Rhône

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

L'analyse des rejets thermiques a été présentée précédemment (voir conclusion en [page 24](#)). Les évolutions des régimes thermiques et hydrologiques ou de la qualité des eaux modifient le fonctionnement des communautés et de l'écosystème aquatiques. Cependant, malgré des évolutions écologiques se faisant en concomitance d'évolutions physiques identifiées, le lien entre ces composantes n'est pas aisé à établir.

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.

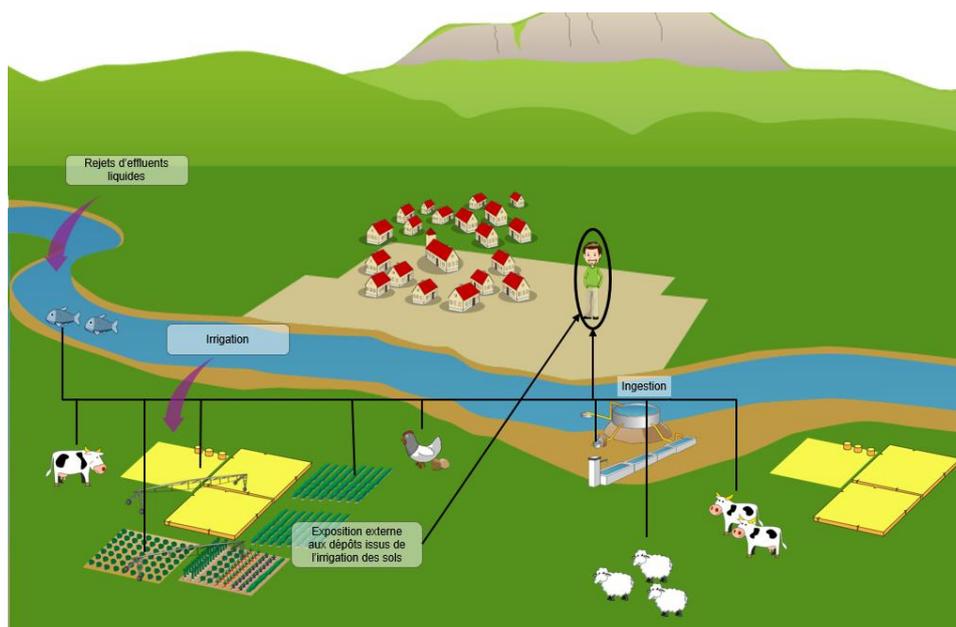
IMPACT RADIOLOGIQUE

La méthode utilisée pour le calcul de l'impact radiologique des rejets des centrales le long du Rhône 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.

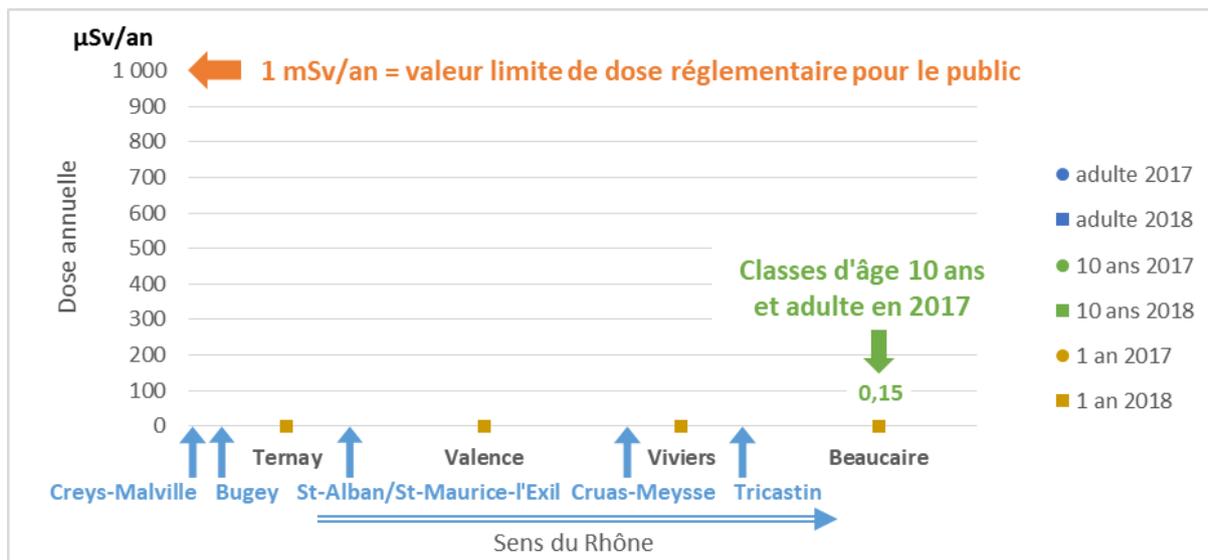
Quelques valeurs de référence :

- 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 (Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire) pour les années 2017 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.

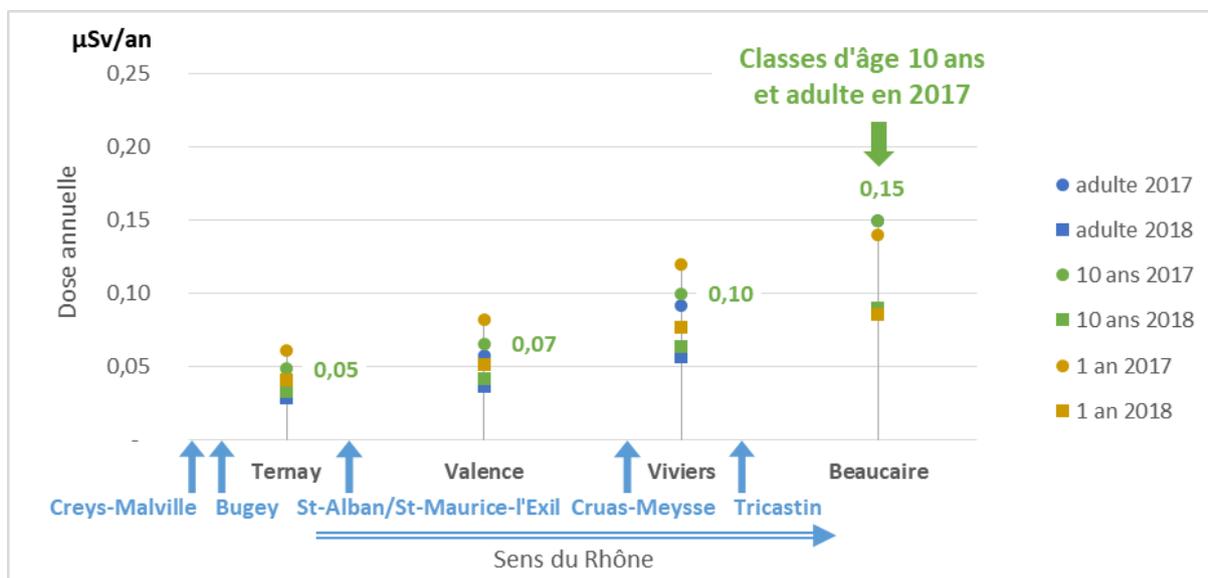
Ce sont ainsi 24 évaluations qui sont réalisées. Le calcul est effectué en utilisant un code de calcul nommé SYMBIOSE, développé par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

La figure ci-après synthétise les doses aux quatre points d'évaluation en 2017 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 Beaucaire pour les enfants de 10 ans et les individus adultes en 2017, est de **0,15 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ soit environ 6 000 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 du Rhône avec la limite réglementaire

En agrandissant 4 000 fois l'échelle verticale, les variations deviennent visualisables. La figure ci-dessous montre une augmentation progressive des doses en suivant le cours du fleuve, avec des valeurs qui restent très inférieures à 1 mSv/an.



Évolution des doses efficaces annuelles le long du Rhône (échelle agrandie)

En conclusion, sur l'ensemble du linéaire du fleuve, les doses sont environ 6 000 fois inférieures à la valeur limite de dose réglementaire pour le public.

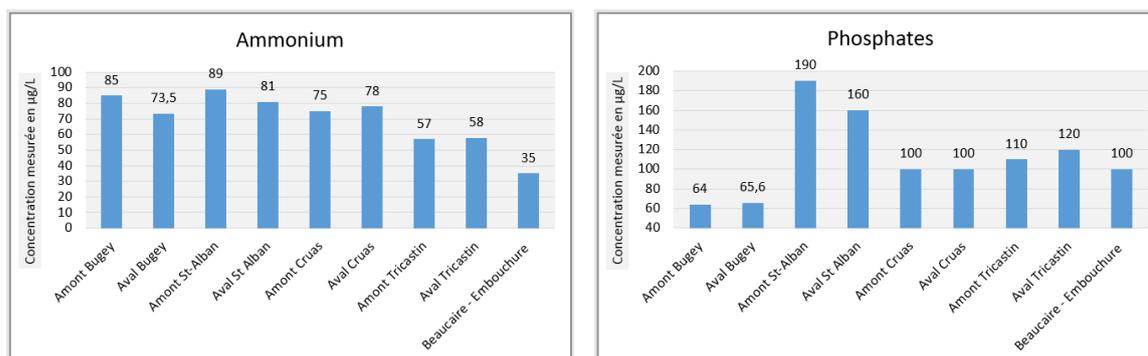
ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES DES REJETS CHIMIQUES

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 le Rhône en amont et en aval de chaque site, ainsi qu'à l'embouchure. Cependant, puisque les sites d'EDF situés le long du Rhône 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 du Rhône

Les observations effectuées diffèrent en fonction des substances. Pour certaines, les concentrations observées sont du même ordre de grandeur tout le long du Rhône, pour d'autres une augmentation progressive des concentrations est observée. Cependant, après étude de l'apport de chaque site d'EDF localisé sur le Rhône, il apparaît que ceux-ci ne semblent pas contribuer de manière significative à cette augmentation, car les concentrations entre l'amont et l'aval de chacun d'eux sont très proches. Ainsi, d'autres sources semblent à l'origine des augmentations observées le long du Rhône.

Ainsi, les rejets cumulés dans le Rhône 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.

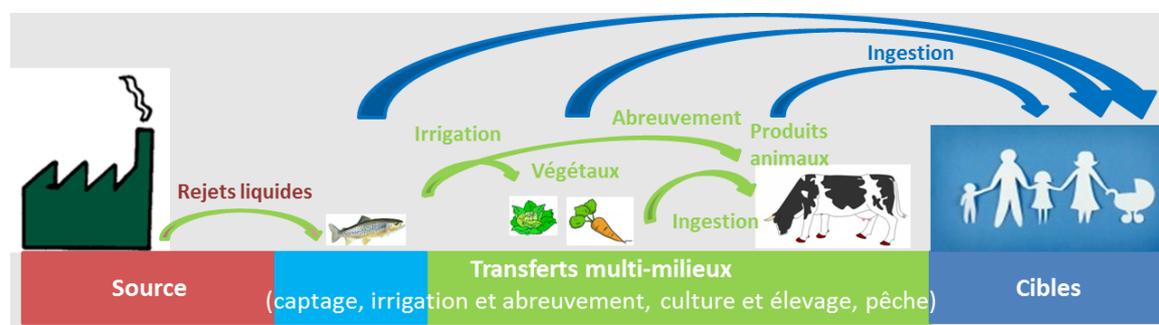


Schéma conceptuel d'exposition retenu

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.

4. Évaluation de l'exposition des populations. Les expositions sont calculées au niveau de chacun des quatre points d'évaluation retenus (Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire) pour les années 2017 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).

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.

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

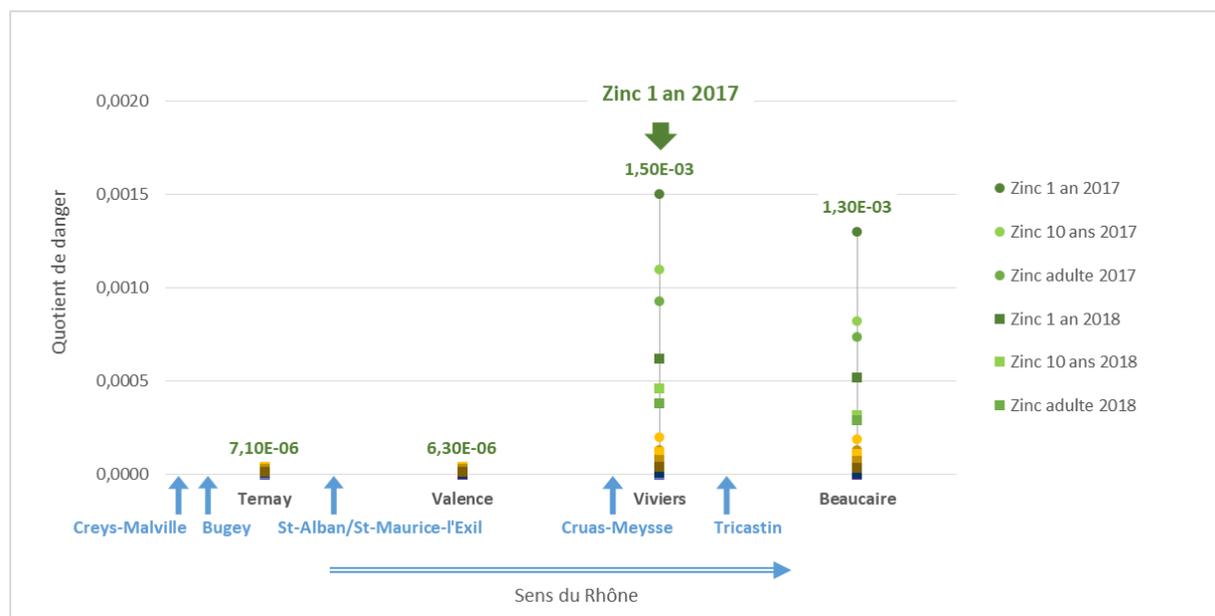
La figure ci-après synthétise l'évolution des QD pour l'exposition chronique à seuil à 11 substances (acide borique, acide dichloroacétique, acide monochloroacétique, acide trichloroacétique, chrome VI, cuivre, nickel, plomb, zinc, morpholine, nitrates) pour trois catégories d'âge en 2017 et 2018. Elle montre que **tous les QD sont largement inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Viviers pour les enfants de 1 an en 2017 pour le zinc, est de **0,0015** (soit environ 60 fois moins que la valeur 1). Les variations le long du fleuve ne sont pas 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).



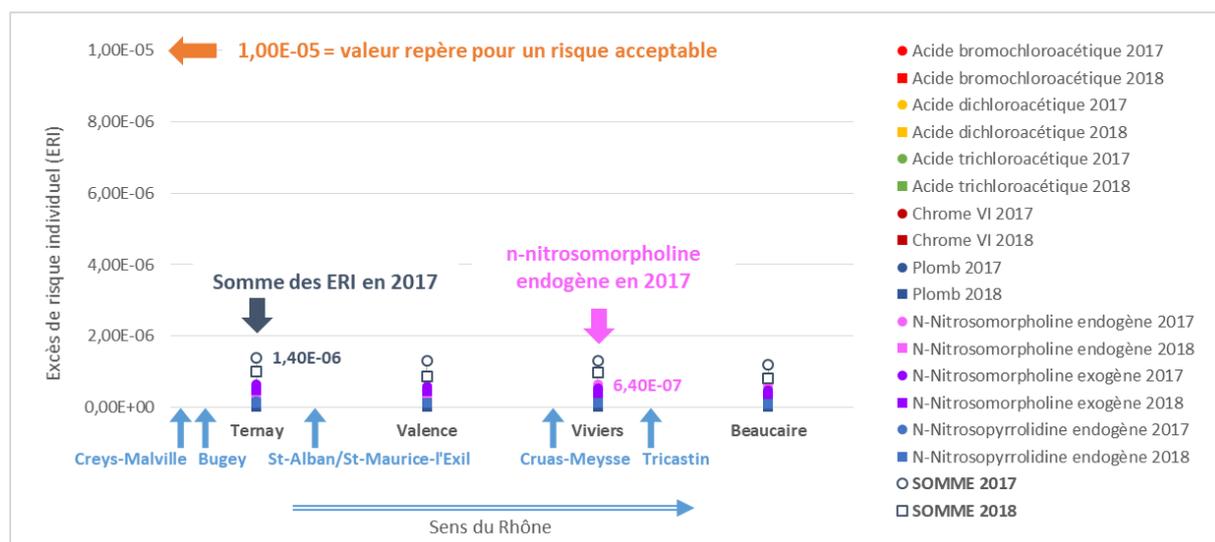
Comparaison des QD pour les expositions chroniques à seuil le long du Rhône avec la valeur 1

En agrandissant 500 fois l'échelle verticale, les variations deviennent visualisables. La figure ci-après montre une variation des quotients de danger en suivant le cours du fleuve.



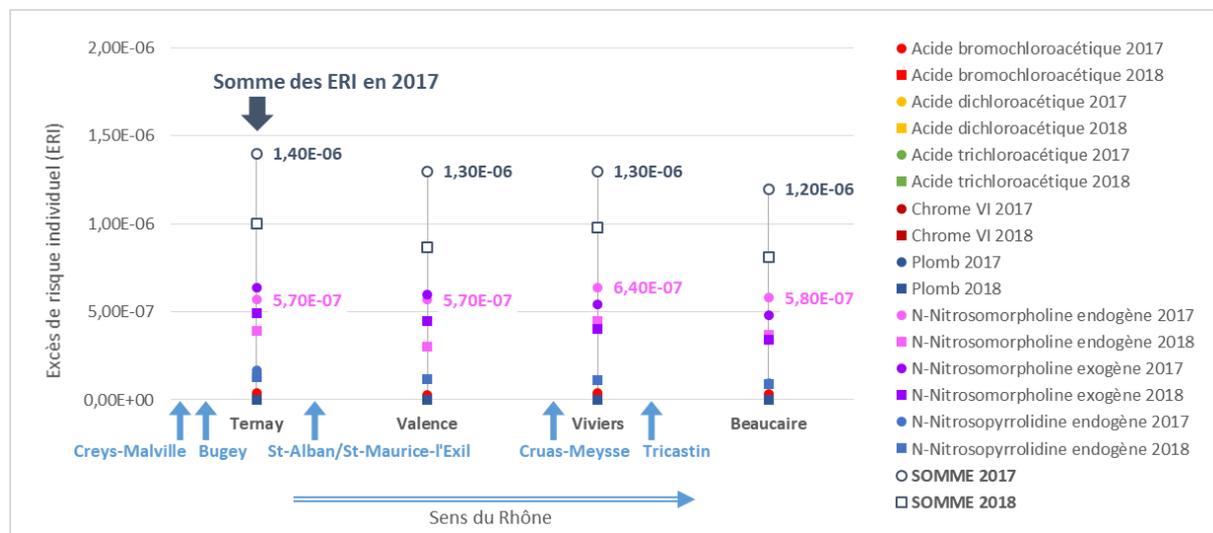
Évolution des QD pour les expositions chroniques à seuil le long du Rhône (échelle agrandie)

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 2017 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 Viviers pour la n-nitrosomorpholine endogène en 2017, étant de **$6,40 \cdot 10^{-7}$** (soit 15 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 **$1,40 \cdot 10^{-6}$** à Ternay en 2017. Les variations le long du fleuve sont peu visibles à cette échelle.



Comparaison des ERI pour les expositions chroniques sans seuil le long du Rhône avec la valeur repère

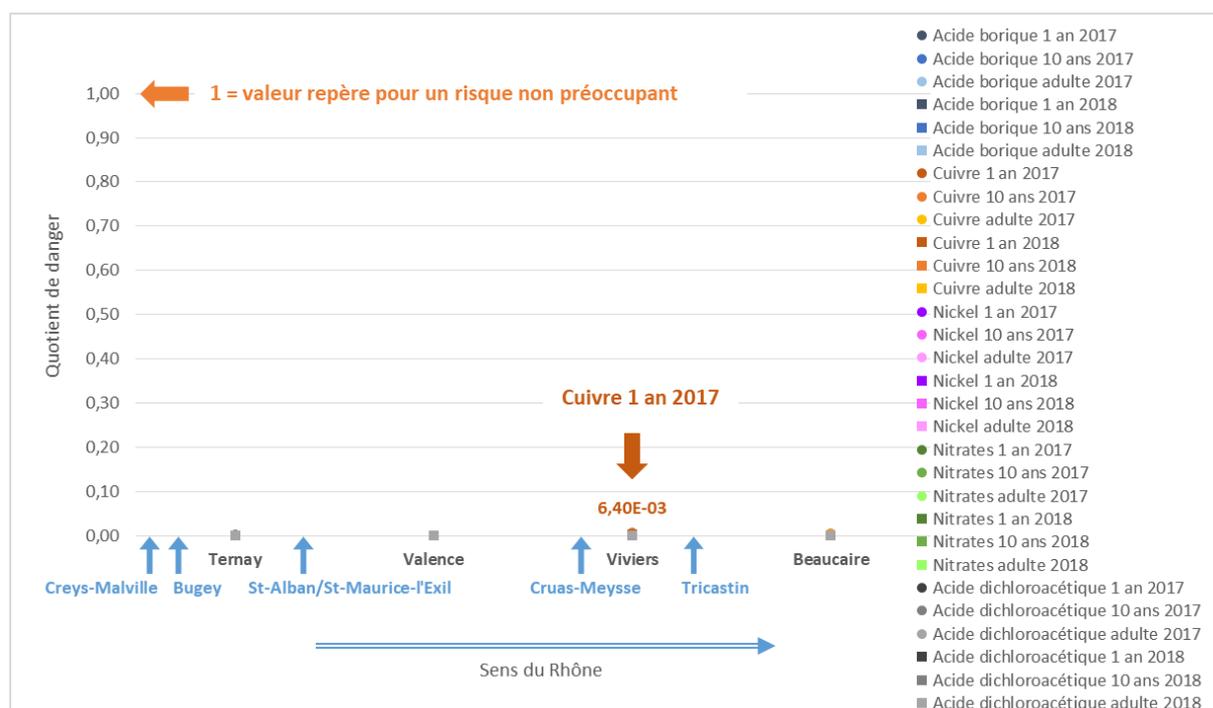
En agrandissant 5 fois l'échelle verticale, les variations sont plus facilement visibles. La figure ci-dessous montre l'absence d'augmentation du risque en suivant le cours du fleuve.



Évolution des ERI pour les expositions chroniques sans seuil le long du Rhône (échelle agrandie)

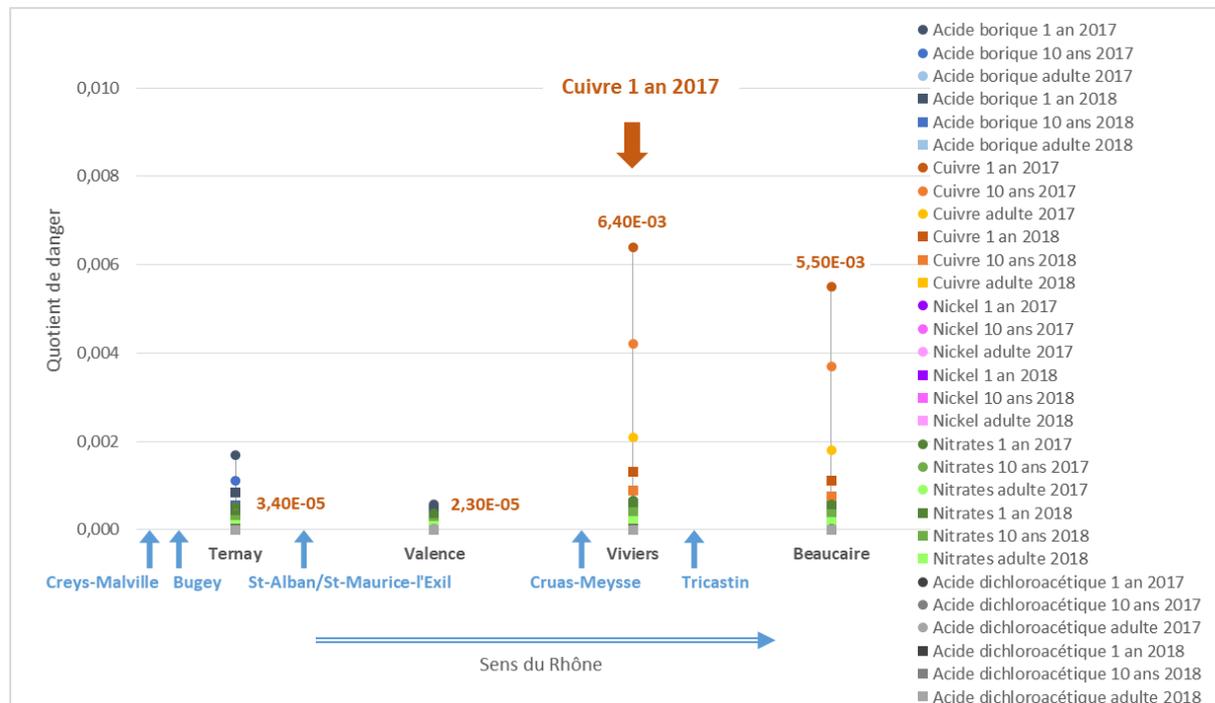
Exposition aiguë

La figure ci-dessous synthétise l'évolution des QD pour l'exposition aiguë à seuil à 5 substances (acide borique, cuivre, nickel, nitrates et acide dichloroacétique) pour trois catégories d'âge en 2017 et 2018. Elle montre que **tous les QD sont largement inférieurs à 1**. La valeur maximale liée aux rejets cumulés, atteinte à Viviers pour les enfants de 1 an en 2017 pour le cuivre, est de **0,0064** (soit plus de 150 fois moins que la valeur 1). Les variations le long du fleuve ne sont pas visibles à cette échelle.



Comparaison des QD pour les expositions aiguës à seuil le long du Rhône avec la valeur 1

En agrandissant 100 fois l'échelle verticale, les variations deviennent visualisables. La figure ci-après montre une variation des quotients de danger en suivant le cours du fleuve.



Évolution des QD pour les expositions aiguës à seuil le long du Rhône (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 le Rhône sur les populations avoisinantes.

8. CONCLUSION DE L'ANALYSE DU CUMUL DES INCIDENCES SUR LE RHONE

L'étude considère les rejets liquides réalisés par les CNPE de Saint-Alban/Saint-Maurice-l'Exil, de Cruas-Meyssse et du Tricastin ainsi que les sites de Creys-Malville et du Bugey. Elle examine l'incidence sur l'environnement aquatique et la population du cumul des rejets liquides radioactifs, chimiques et thermiques.

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 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 2017 et 2018 représentatives respectivement d'une année avec un étiage marqué et d'une année moyenne.

Par ailleurs, l'analyse de l'incidence cumulée des rejets thermiques a été réalisée selon le même principe. Ces simulations ont fourni l'évolution dans le temps et dans l'espace de la température de l'eau du Rhône et de l'échauffement résiduel lié aux rejets thermiques des CNPE (différence entre la température de l'eau du Rhône lorsque les réacteurs sont en production et la température de l'eau si toutes les centrales étaient à l'arrêt).

Radioactivité de l'environnement aquatique : l'approche qualitative montre que la radioactivité présente dans le Rhône est majoritairement d'origine naturelle. Dans certaines matrices aquatiques, une influence des rejets radioactifs liquides est visible, principalement en aval des rejets. Pour le tritium et le carbone 14, une augmentation discontinue des niveaux d'activité dans certaines matrices est observée le long du Rhône. 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, à l'exception des suivis réalisés au Bugey concernant les macroinvertébrés benthiques et les peuplements piscicoles, où des différences de peuplement sont observées probablement en lien avec les facteurs thermiques et des facteurs stationnels. L'approche quantitative ne met pas en évidence d'incidence notable sur l'écosystème du Rhône 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 les rejets cumulés dans le Rhône 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 le Rhône sur les populations avoisinantes potentiellement exposées aux substances.

Incidence des rejets thermiques : les échauffements du Rhône liés aux rejets des CNPE ne s'additionnent pas de manière arithmétique d'amont en aval, mais ils s'atténuent progressivement : lorsque le Rhône reçoit un échauffement supplémentaire, celui-ci est dissipé progressivement en fonction des conditions météorologiques et de l'apport des affluents, notamment de la Saône et de l'Isère. En période d'étiage les échauffements sont plus élevés mais avec une atténuation similaire. Les évolutions des régimes thermiques et hydrologiques ou de la qualité des eaux modifient le fonctionnement des communautés et de l'écosystème aquatique. Cependant, malgré des évolutions écologiques se faisant en concomitances d'évolutions physiques identifiées, le lien entre ces composantes n'est pas aisé à établir.

Ainsi, cette étude montre que les rejets liquides des CNPE et sites en bord de Rhône 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 Rhône.



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