

ETUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE ET DES DEBITS DU RHONE EN PERIODE DE « BASSES EAUX »



**PHASE 3 - DETERMINATION DES CONDITIONS LIMITES A
MAINTENIR DANS LE FLEUVE POUR L'AEP ET LE
FONCTIONNEMENT DES CENTRALES NUCLEAIRES**


Document A – Rapport principal



Edition finale - Octobre 2014

L'étude de la gestion quantitative et des débits du Rhône en période de basses eaux comporte les documents listés ci-dessous. Le présent document constitue le rapport surligné en gris.

Synthèse de l'étude	
Synthèse	Etude de la gestion quantitative du fleuve Rhône à l'étiage : Principaux résultats - Synthèse de l'étude en 100 pages précédée d'un résumé de 6 pages
Phase 1 - Caractérisation du territoire du fleuve Rhône et Bilan des influences anthropiques passées, actuelles et futures possibles	
A	Rapport principal de phase 1
B	Rapport thématique sur l'irrigation dans le bassin du Rhône
C	Rapport thématique sur les nappes en interaction avec le Rhône
D	Fiche de synthèse sur les ouvrages hydroélectriques situés sur la partie française du bassin du Rhône
E	Fiche de synthèse sur l'hydrologie du Rhône alpestre et l'influence des ouvrages hydrauliques suisses
F	Résumé de la phase 1
Phase 2 - Etude des étiages historiques ; Reconstitution des débits désinfluencés et Evaluation de l'empreinte des influences anthropiques sur les débits du Rhône	
A	Rapport principal de mission 1 : Etude des étiages historiques
B	Rapport principal de mission 2 : Reconstitution des débits désinfluencés et évaluation des empreintes des influences anthropiques sur les débits
C	Rapport thématique Hydrogéologie : Estimation des impacts des prélèvements en nappes sur le débit du Rhône
D	Rapport thématique Hydrométrie : Etude critique des débits mesurés aux stations d'étude
E	Résumé de la phase 2
Phase 3 - Détermination des conditions limites (débits et températures) à maintenir dans le fleuve pour l'alimentation en eau potable et le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité	
A	Rapport principal de phase 3
B	Résumé de la phase 3
C	Impact d'une baisse des débits d'étiage sur la salinisation des hydrosystèmes souterrains en Camargue
D	Impact d'une baisse de débit du fleuve sur les usages préleveurs en nappe alluviale
Phase 4 - Détermination des conditions limites de débits pour les espèces	
A	Rapport principal de phase 4
B	Résumé de la phase 4
Phase 5 - Synthèse des débits limites pouvant être définis dans le Rhône et Approche des volumes prélevables	
A	Rapport principal de phase 5
B	Résumé de la phase 5
Phase 6 - Etude de la sensibilité des étiages du Rhône à des scénarios prospectifs	
A	Rapport principal de phase 6
B	Résumé de la phase 6

	BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5
	Sous-traitant HYDROFIS (aspects hydrogéologiques)

Date de création du document	Septembre 2013
Contact	Sébastien Chazot sebastien.chazot@bri.fr

Titre du document	Phase 3 - Document A : Détermination des conditions limites (débits et températures) à maintenir dans le fleuve pour l'alimentation en eau potable et le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité
Référence du document :	800420_Ph3_A_Principal
Indice :	VFb

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
Janvier 2014	V1		Marion Mahé, Pascal Fenart (Hydrofis)	Sébastien Chazot
17 juin 2014	V2		Marion Mahé, Pascal Fenart (Hydrofis)	Sébastien Chazot
5 septembre 2014	V3	Intègre remarques EDF, AE et CNR sur V2	Marion Mahé, Sébastien Chazot, Pascal Fenart (Hydrofis)	Sébastien Chazot
Octobre 2014	VFb		Marion Mahé, Sébastien Chazot, Pascal Fenart (Hydrofis)	Sébastien Chazot

ETUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE ET DES DEBITS DU RHONE EN PERIODE DE « BASSES EAUX »

Phase 3 - Document A : Détermination des conditions limites (débits et températures) à maintenir dans le fleuve pour l'alimentation en eau potable et le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité

PREAMBULE	1
1. CONDITIONS LIMITES POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	3
1.1 Rappel du contexte : les principaux prélèvements AEP sur le Rhône et sa nappe	3
1.2 Limites en débits et température pour les prélèvements AEP superficiels	4
1.2.1 Enjeu bactériologique lié à l'évolution des températures	4
1.2.2 Contraintes de débits ou de niveaux sur le fleuve	6
1.3 Impact des variations de débit du fleuve sur les prélèvements AEP en nappe alluviale du Rhône	10
1.3.1 Où sont les secteurs pour lesquels la piézométrie va varier avec les variations de débit du fleuve ?	10
1.3.2 Où sont localisés les secteurs structurellement vulnérables ?	14
1.3.3 Où sont situés les prélèvements AEP importants ? De faibles débits du Rhône peuvent-ils compromettre leur satisfaction ?	16
1.3.4 Conclusion	17
2. CONDITIONS LIMITES VIS-A-VIS DE L'IMPACT DU BISEAU ET DU COIN SALE EN CAMARGUE	19
2.1 Relations entre débit du Rhône et remontée du biseau salé	19
2.1.1 Qu'est-ce qu'un biseau salé ?	19
2.1.2 Quels impacts les étiages remarquables du Rhône peuvent-ils avoir sur les dynamiques de salinisation des nappes ?	20
2.2 Relations entre débit du Rhône et remontée du coin salé	20
2.2.1 Qu'est-ce que le coin salé ?	20
2.2.2 Quels impacts les étiages remarquables du Rhône peuvent-ils avoir sur la remontée du coin salé ?	21
2.2.3 Conséquences de la remontée du coin salé	22
3. CONDITIONS LIMITES POUR LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES	27
3.1 Rappel sur le fonctionnement des installations nucléaires	27
3.2 Contraintes hydrologiques et thermiques pour l'exploitation des CNPE	29

3.2.1	Respect d'un échauffement et d'une température maximum à l'aval des CNPE (contrainte environnementale)	30
3.2.2	Débits seuils sur le Rhône pour permettre les rejets de produits polluants (contrainte environnementale)	35
3.3	Valeurs de débits limites pour le fonctionnement des CNPE	36
3.3.1	Étapes et processus pour l'établissement des limites. Evolution de la question posée au cours de l'étude	36
3.3.2	Signification des débits limites recherchés pour les CNPE dans le cadre de la présente étude	36
3.3.3	Débits limites proposés pour les CNPE	38
3.4	Proposition de couples débit/température pour satisfaire les usages prioritaires (AEP et sûreté des installations nucléaires)	42
ANNEXES		45
	Annexe 1 : Evolution de l'approche des débits limites pour les CNPE au cours de l'étude	47
	Annexe 2 : Note technique d'EDF pour la proposition de DOE et DCR	51

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Répartition des prélèvements bruts pour l'AEP sur le bassin versant du Rhône	3
Figure 2 : Nombre de jours par an où la température du Rhône dépasse 25°C à Aramon et Jons ..	5
Figure 3 : Caractérisation des débits journaliers mesurés à Beaucaire.....	7
Figure 4 : Schéma de la barrière hydraulique du Grand Lyon (source : Etude BURGEAP).....	8
Figure 5 : Organisation des ouvrages hydrauliques autour de l'île de Miribel-Jonage	9
Figure 6 : Cartographie des secteurs sensibles aux variations de débit du fleuve.....	11
Figure 7 : Facteurs explicatifs potentiels des variations piézométriques.....	13
Figure 8 : Cartographie des épaisseurs mouillées des alluvions du Rhône.....	14
Figure 9 : Cartographie croisée vulnérabilité (gauche), épaisseur mouillée (droite) et volume prélevé annuel pour le bas Rhône.....	15
Figure 10 : Schématisation d'un biseau salé dans un aquifère homogène.....	19
Figure 11 : Schéma d'un coin salé.....	20
Figure 12 : Camargue : carte de situation.....	22
Figure 13 : Sensibilité à la salinité des cultures de riz	23
Figure 14 : Refroidissement de centrales nucléaires en fonctionnement, circuit ouvert (haut) et circuit fermé (bas) . Source : « L'utilisation de l'eau dans les centrales nucléaires, note d'information EDF, mars 2013.....	28
Figure 15 : Positionnement des sondes de mesure de la température de l'eau sur une CNPE en circuit ouvert.....	30
Figure 16 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement de la CNPE de Bugey (avant révision de l'arrêté).....	32
Figure 17 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement de la CNPE de Saint-Alban	33
Figure 18 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement de la CNPE de Tricastin	34
Figure 19 : Abaque associant débit à Viviers, période de retour et niveau de fonctionnement du CNPE de Tricastin (source EDF).....	40
Figure 20 : Abaque associant débit à Ternay, période de retour et niveau de fonctionnement du CNPE de Saint-Alban (source EDF).....	41
Tableau 1 : Limites de températures pour les eaux destinées à la consommation humaine et les eaux brutes utilisées pour leur production.....	4
Tableau 2 : Alimentation en eau potable à partir d'eau du Rhône par le réseau BRL.....	7
Tableau 3 : Analyse des débits mensuels (gauche) et journaliers (droite) mesurés sur le Rhône à Beaucaire.....	24
Tableau 4 : bilan des sous-passements de débits seuils sur le Rhône à Beaucaire.....	25
Tableau 5 : Limites de température amont et contraintes d'échauffement pour chacune des CNP.....	31
Tableau 6 : Limites de débits pour le rejet d'effluents liquides des centrales nucléaires	35
Tableau 7 : Débits moyens journaliers limites pour le fonctionnement des CNPE du Rhône	38

PREAMBULE

L'Agence de l'Eau RMC a confié à BRLingénierie, associé à Hydrofisis et Hepia (sous-traitants), la réalisation de l'étude de la gestion quantitative et des débits du Rhône en période de basses eaux.

Le Rhône est souvent considéré comme une ressource pléthorique et susceptible de satisfaire de nombreux usages (prélèvements pour l'eau potable, l'industrie ou l'irrigation, production hydroélectrique, refroidissement de centrales nucléaires, navigation, etc.). **On peut cependant s'interroger sur l'évolution de sa capacité à satisfaire, à terme, en périodes d'étiage, tous ces usages, conjointement avec une garantie du bon état des milieux aquatiques associés**, compte tenu de plusieurs paramètres, en particulier :

- ▶ des perspectives d'évolution des usages prélevant dans le fleuve ou sa nappe ;
- ▶ des perspectives de modification de son régime hydrologique et de la température de ses eaux sous l'influence du changement climatique ;
- ▶ une émergence de divers projets de substitution ou de développement de ressource pour amener de l'eau du fleuve (eau superficielle ou nappe) vers des bassins voisins ne disposant pas des ressources suffisantes pour satisfaire leurs besoins (alimentation en eau potable, usage agricole, usage industriel) ;
- ▶ l'apparition de périodes de tensions, en particulier lors d'épisodes caniculaires et/ou d'étiage prononcé. Certaines années récentes se sont illustrées par des températures d'eau élevées (en particulier 2003 et 2006), qui ont conduit EDF à diminuer la production des CNPE.

Ces différents points soulignent l'importance de la question clé posée par le cahier des charges de l'étude : « **Quelle est la capacité du fleuve Rhône à répondre à l'ensemble des usages actuels et à venir tout en assurant le fonctionnement des milieux aquatiques ?** ». Plus précisément, l'étude doit apporter des réponses aux questions suivantes :

- ▶ Est-il pertinent de considérer le Rhône comme une ressource pléthorique ?
- ▶ Quelles sont les composantes du débit du Rhône (contributions des glaciers, du manteau neigeux, du Lac Léman, des affluents, de la pluviométrie...) et les différents leviers influençant les débits d'étiage ?
- ▶ Quels sont les impacts des variations de débits et de température sur les différents usages ?
- ▶ Quels seuils de débit ne faut-il pas dépasser sur le fleuve pour ne compromettre ni la vie biologique, ni les usages prioritaires (eau potable/sécurité civile) ?

L'étude est découpée en six phases chronologiques.

- ▶ La phase 1 caractérise le territoire de l'étude et dresse un bilan des influences anthropiques passées, actuelles et futures possibles, à l'échelle du bassin versant, sur les eaux superficielles et les eaux souterraines : gestion du lac Léman, barrages, transferts hydroélectriques, prélèvements pour l'irrigation, l'eau potable, l'industrie et le refroidissement des centrales nucléaires.
- ▶ La phase 2 reconstitue, au droit des six stations hydrométriques de référence, les débits non influencés par les prélèvements et évalue l'empreinte des influences anthropiques sur ces débits.
- ▶ La phase 3 examine les conditions limites (débits et températures) à maintenir dans le fleuve pour l'alimentation en eau potable et le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité.
- ▶ La phase 4 s'interroge sur les conditions limites de débit à maintenir pour les poissons.
- ▶ Les phases 5 et 6 font la synthèse des débits limites pouvant être définis à ce stade dans le Rhône et évaluent les effets possibles d'une augmentation des prélèvements sur les étiages du Rhône.

Le présent document expose les résultats de la phase 3 de l'étude.

Il discute en premier lieu des conditions limites de débit et de température pour assurer l'usage eau potable. Il s'intéresse à la fois aux prélèvements en eau de surface, aux prélèvements en nappes alluviales et à l'impact d'une baisse du débit du Rhône sur l'alimentation de celles-ci. Ce dernier aspect fait l'objet d'un rapport thématique plus complet, dont seules les principales conclusions sont synthétisées ici.

Les problématiques de remontées du biseau et du coin salé dans le delta du Rhône sont ensuite abordées. Comme pour les relations fleuve-nappe, seules les principales conclusions sont évoquées dans ce rapport. Les dynamiques de salinisation font l'objet d'un rapport thématique séparé où ces problèmes sont abordés plus en détail.

On présente enfin les limites en débit et température pour permettre le fonctionnement des Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) présentes sur le Rhône et garantir un niveau de production suffisant pour assurer un équilibre entre la demande et l'offre en énergie au niveau national.

1. CONDITIONS LIMITES POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

1.1 RAPPEL DU CONTEXTE : LES PRINCIPAUX PRELEVEMENTS AEP SUR LE RHONE ET SA NAPPE

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable (AEP) ont fait l'objet d'une présentation détaillée dans le rapport de phase 1 de l'étude ; les principales conclusions sont rappelées ici.

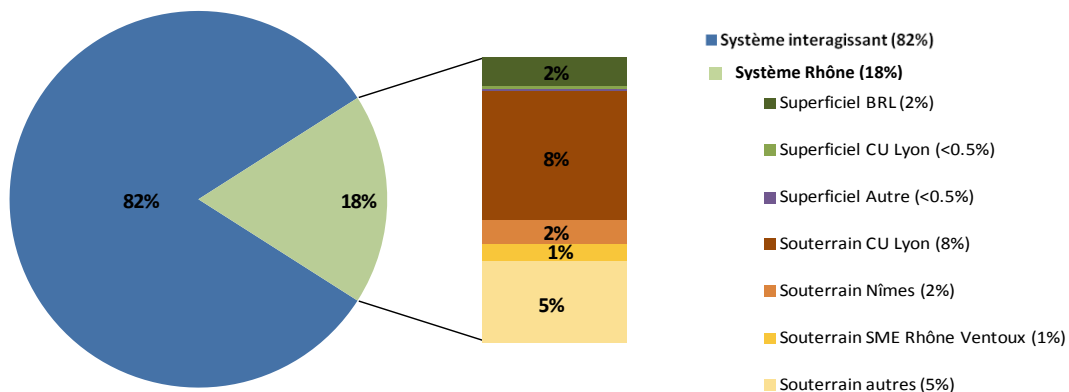
Sur les 1,1 milliards de m³ prélevés pour l'AEP sur le bassin versant du Rhône (prélèvements bruts), seuls 18 % sont prélevés directement sur le système Rhône (soit environ 200 Mm³). Le prélèvement net correspondant est estimé à 538 Mm³/an, dont 16 % sont réalisés sur le système Rhône.

Les prélèvements bruts pour l'AEP dans la nappe alluviale du Rhône s'élèvent à environ 176 millions de m³/an, dont plus de la moitié sont destinés à l'alimentation en eau potable de la Communauté Urbaine de Lyon. Parmi les autres principaux préleveurs (source : BDD Agence, année 2010) on retrouve la commune de Nîmes, le syndicat des eaux de la région Rhône-Ventoux, le SIE des monts du Lyonnais et de la basse vallée du Gier et le syndicat inter-région Rhône-Aigues-Ouvèze. Ces cinq plus gros préleveurs représentent à eux seuls plus de 70 % du prélèvement brut pour l'AEP sur la nappe alluviale du Rhône.

Les prélèvements bruts dans le fleuve lui-même représentent un volume de l'ordre de 23 millions de m³/an (2 % du prélèvement total pour l'AEP sur le bassin versant du Rhône) et concernent principalement l'alimentation de communes du Gard et de l'Hérault via la réseau BRL (de l'ordre de 20 millions de m³/an) et de la Communauté urbaine de Lyon (2 millions de m³/an, pour le fonctionnement de la barrière hydraulique mise en place pour protéger ses captages).

Les schémas ci-dessous rappellent la répartition des prélèvements bruts pour l'alimentation en eau potable sur le bassin versant du Rhône.

Figure 1 : Répartition des prélèvements bruts pour l'AEP sur le bassin versant du Rhône



A ces prélèvements s'ajoute un prélèvement dans le vieux Rhône de l'ordre de 31 Mm³/an (moyenne 2007-2011, données Agence de l'Eau RMC) pour alimenter la barrière hydraulique mise en place par la Communauté Urbaine de Lyon pour la protection de ses captages. (Ce prélèvement est classé dans la base de données dans l'usage « Réalimentation »).

Les facteurs susceptibles de limiter les possibilités de prélèvements pour l'eau potable sur le système Rhône dépendent fortement du type de prélèvement considéré (superficiel ou souterrain).

Le sous-chapitre 1.2 décrit les limites identifiées pour les prélèvements sur le fleuve. Le cas des prélèvements souterrains est plus complexe, un important travail a été réalisé afin d'évaluer les relations entre le fleuve et sa nappe (sous-chapitre 1.3).

1.2 LIMITES EN DEBITS ET TEMPERATURE POUR LES PRELEVEMENTS AEP SUPERFICIELS

Le débit et la température du Rhône vont jouer sur les possibilités de satisfaire dans de bonnes conditions la demande pour l'alimentation en eau potable. En effet, une température de l'eau trop élevée favorise le développement bactériologique, pouvant ainsi mettre en danger la santé des consommateurs. Le débit du Rhône doit quant à lui être suffisant pour satisfaire le besoin, ce qui n'est a priori pas limitant, mais surtout pour que les infrastructures de prélèvements puissent fonctionner convenablement.

1.2.1 Enjeu bactériologique lié à l'évolution des températures

ASPECTS REGLEMENTAIRES

Le code de la santé publique, modifié par le décret n°2007-49 du 11 janvier 2007 et ses arrêtés ministériels d'application (notamment l'arrêté du 11 janvier 2007) régissent les possibilités d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine ainsi que l'eau brute utilisée pour sa production (Cf. articles L1321-1 à L1321-10 et R1321-1 à R1321-68 du livre III du Code de la Santé Publique).

La réglementation française prévoit des valeurs limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, ainsi que pour l'eau brute utilisée pour sa production. Le respect de ces limites doit permettre d'assurer l'approvisionnement des populations avec une eau ne présentant pas de danger sanitaire. Le tableau ci-dessous présente les valeurs limites de températures définies (voir annexes I, II et III de l'arrêté du 11 janvier 2007).

On distingue :

- ▶ les valeurs de référence, qui sont des valeurs indicatives établies à des fins de suivi des installations de production et de distribution de l'eau, et d'évaluation des risques pour les personnes ;
- ▶ les valeurs limites, qui définissent la conformité de l'eau. Un dépassement de ces valeurs entraîne la mise en place rapide de mesures correctives.

Tableau 1 : Limites de températures pour les eaux destinées à la consommation humaine et les eaux brutes utilisées pour leur production

Valeurs de température	Valeur de référence / Valeur guide	Valeur limite impérative
Eaux destinées à la consommation humaine	25°C (non applicable dans les DOM)	-
Eaux brutes pour la production d'eau destinée à la consommation humaine	-	25 °C
dont : eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (sauf eau de source conditionnée)	22 °C	25 °C

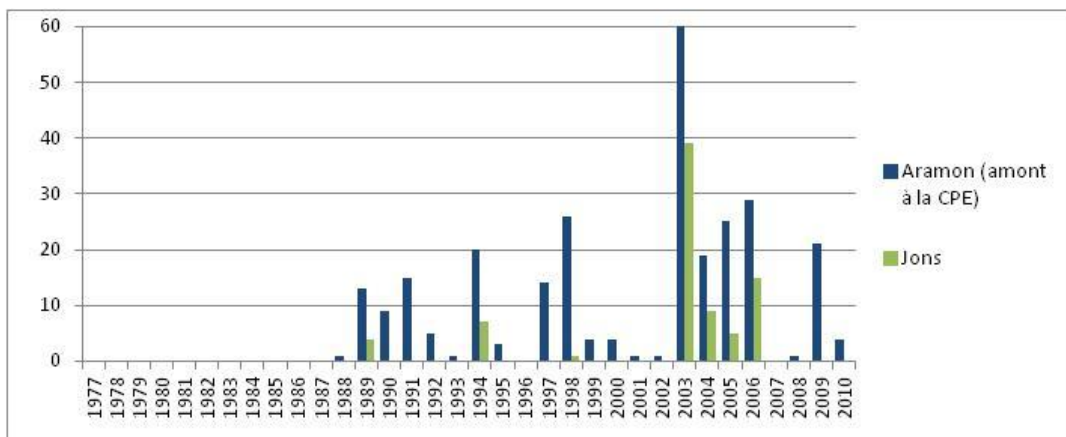
L'article R1321-17 du code de la santé publique prévoit qu'en cas de non-respect des limites fixées pour les différents paramètres mentionnés dans l'article R1321-2 et R1321-3 (dont la température), « le directeur général de l'agence régionale de santé peut, à son initiative ou à la demande du préfet, faire effectuer à la charge de la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau des analyses complémentaires ».

L'article R1321-40 prévoit des possibilités de dérogation. Il stipule notamment que « Le préfet, après vérification par le directeur général de l'agence de la santé que la décision n'aura pas de conséquences contraires à la santé des personnes, peut déroger aux limites de qualité [...], en cas d'inondations ou de catastrophes naturelles, en raison de circonstances météorologiques ou géographiques exceptionnelles [...] ».

TEMPERATURES MESUREES SUR LE RHONE

La température du Rhône excède régulièrement cette valeur de 25°C. Les graphiques ci-dessous présentent les températures du Rhône, mesurées au niveau d'Aramon (station la plus proche des prélèvements de BRL et des Saintes-Maries-de-la-Mer) et au niveau de Jons (station la plus proche du prélèvement superficiel du Grand Lyon).

Figure 2 : Nombre de jours par an où la température du Rhône dépasse 25°C à Aramon et Jons



Il arrive la plupart des années que les températures du Rhône mesurées à Aramon dépassent 25°C. En 2003, la température entre le 12 juillet et le 31 août est restée supérieure à 25°C quasiment tous les jours et a atteint un maximum de 28°C.

Les dépassements au niveau de Jons sont plus rares qu'au niveau d'Aramon. Une année très chaude comme 2003, la température y a tout de même dépassé le seuil de 25°C plus de 39 jours et a atteint un maximum de 26,5°C le 14 juillet.

MESURES A PRENDRE EN CAS DE DEPASSEMENT DE LA TEMPERATURE

Lorsque les températures des eaux brutes prélevées dépassent les limites réglementaires, une demande de dérogation doit être envoyée à l'ARS qui demande la réalisation de contrôles supplémentaires (notamment sur les légionelloses et les toxines de cyanobactéries).

Même lorsque la température de l'eau brute utilisée pour la production d'eau potable est en dessous du seuil de 25°C, il peut être difficile de maintenir la température de l'eau distribuée en dessous de ce seuil. En effet, il existe un risque de réchauffement dans les réseaux, notamment lorsqu'ils sont peu profonds, peu utilisés et avec des temps de transfert longs. Le risque de développement bactérien est alors augmenté. Pour pallier ce phénomène, on peut procéder à des purges du réseau et/ou augmenter la chloration de l'eau injectée dans le réseau afin de diminuer les possibilités de développement bactériologique.

Compte tenu des éléments présentés ci-dessus, il est difficile de considérer la température du Rhône comme un facteur limitant pour l'alimentation en eau potable. Une élévation de température ne remet pas directement en cause le fonctionnement des systèmes AEP mais augmente la probabilité de développement de pathogènes (qui, s'ils se développent, pourront rendre l'eau impropre à la consommation). Les contrôles supplémentaires demandés aux producteurs d'eau potable ainsi qu'une augmentation du traitement de l'eau permettent généralement de pallier l'effet de l'augmentation de température.

1.2.2 Contraintes de débits ou de niveaux sur le fleuve

DEBIT SUFFISANT AU BON FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS

Trois préleveurs pompent l'eau du Rhône en surface pour l'usage AEP : BRL, la Communauté urbaine de Lyon et la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.

Saintes-Maries-de-la-Mer

La commune des Saintes-Maries-de-la-Mer est alimentée à partir d'un prélèvement sur le petit Rhône. Son prélèvement annuel, de l'ordre de 710 milliers de m³/an (données Agence de l'eau, moyenne sur dix ans : 2002-2011), se répartit de façon très inégale dans l'année. En basse saison (janvier), le prélèvement peut descendre jusqu'à 600 m³/j, alors qu'il peut monter jusqu'à 4500 m³/j en été, en raison de la forte fréquentation touristique.

Le fermier en charge de la gestion du système AEP de la commune est confronté à deux types de problèmes :

- ▶ Une turbidité de l'eau trop élevée en cas de précipitations importantes sur l'amont du bassin versant et/ou en période de fonte des neiges ;
- ▶ Une diminution du débit prélevable par les pompes lorsque le niveau du Rhône est bas (généralement en juillet-août).

Depuis 2006 (date d'entrée en poste du responsable actuel) des difficultés de gestion de l'alimentation en raison de bas niveaux dans le Rhône ont été rencontrées à trois reprises, notamment en août 2007 pendant une période de plus de 3 semaines, ainsi qu'au cours de l'été 2008. A chaque fois les ruptures d'alimentation ont pu être évitées.

Pour cela, le gestionnaire dispose de deux leviers principaux :

- ▶ Gestion des stocks : une réserve de 3000 m³ est disponible (moins de 24h d'autonomie en période estivale) et, le réseau des Saintes-Maries étant très étendu¹, les volumes contenus dans le réseau permettent de disposer d'une marge de manœuvre supplémentaire.
- ▶ Diminution de la quantité d'eau distribuée : le fermier a la possibilité de passer en « mode secours », c'est-à-dire de diminuer la pression disponible au robinet.

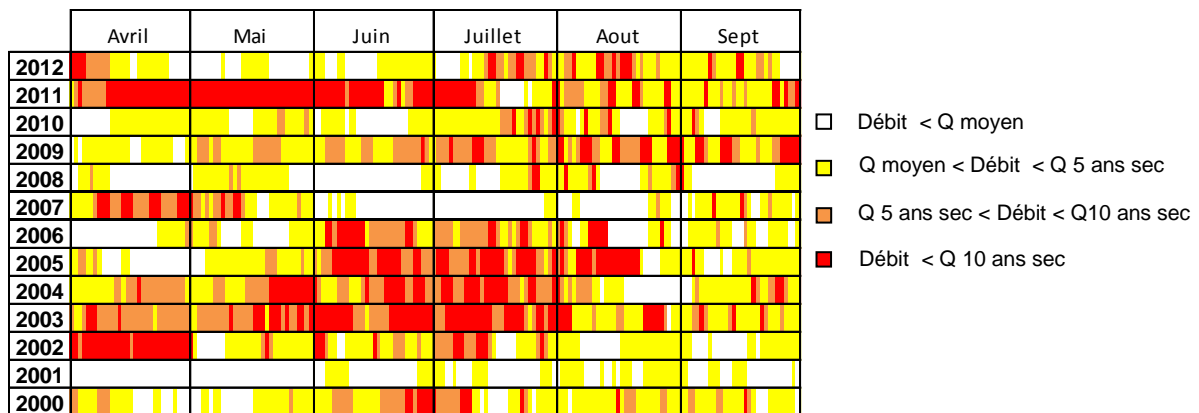
Par ailleurs les bas niveaux du Rhône amplifient également la remontée du biseau salé. De forts vents couplés à un bas niveau du Rhône amplifient la remontée d'eau salée dans le Rhône et peuvent augmenter ainsi la conductivité au niveau de la prise (Cf. sous-chapitre 2.2).

Il n'existe pas de système de mesure de hauteur d'eau ou de débit dans le Rhône au niveau de la prise et le gestionnaire n'est pas en mesure de chiffrer à partir de quel niveau ou débit dans le Rhône des difficultés apparaissent. Le graphique ci-dessous présente les débits mesurés au niveau de la station hydrométrique de Beaucaire. La période de tension estimée par le gestionnaire au cours des étés 2008 et surtout 2007 ne ressort pas de façon évidente sur ce schéma.

¹ Avec ses 375 km², la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer est la 2eme plus grande commune de France métropolitaine, après Arles

Il n'a donc pas été possible de déterminer une valeur de débit du Rhône en dessous de laquelle des problèmes quantitatifs apparaissent pour les Saintes-Maries-de-la-Mer.

Figure 3 : Caractérisation des débits journaliers mesurés à Beaucaire



Réseau BRL

BRL Exploitation fournit à la fois de l'eau potabilisée et de l'eau brute destinée à la potabilisation. Les volumes totaux prélevés par BRL sur le Rhône et destinés à l'alimentation en eau potable sont de l'ordre de 20 Mm³/an (voir rapport de phase 1). Le tableau ci-dessous présente les destinations de ce prélèvement ainsi que, pour chaque unité desservie, l'importance que revêt la ressource Rhône.

Tableau 2 : Alimentation en eau potable à partir d'eau du Rhône par le réseau BRL

Type de fourniture	Station de potabilisation BRL	Collectivité desservie	Statut de la ressource Rhône
Eau potable	LE CRES	Synd. Intercom. Salaison	Secondaire (complément/secours)
	PORT-CAMARGUE	Com. Com. Terres de Camargue	Équilibré (plusieurs ressources utilisées d'importance équivalentes)
	BOUILLARGUES	Bouillargues - Garons	Équilibré (plusieurs ressources utilisées d'importance équivalentes)
	NIMES SAINT-CESAIRE	Nîmes Métropole et Syndicat Intercommunal de la Vaunage	Secondaire (complément/secours)
Eau brute destinée à la potabilisation	-	Beauvoisin	Secondaire (complément/secours)
	-	Gallargues	100% (le Rhône est l'unique ressource utilisée)
	-	Com. Com. Pays de l'Or	Majoritaire
	-	Montpellier	Secondaire (complément/secours)
	-	Synd. Intercom. Bas Languedoc	Secondaire (complément/secours)

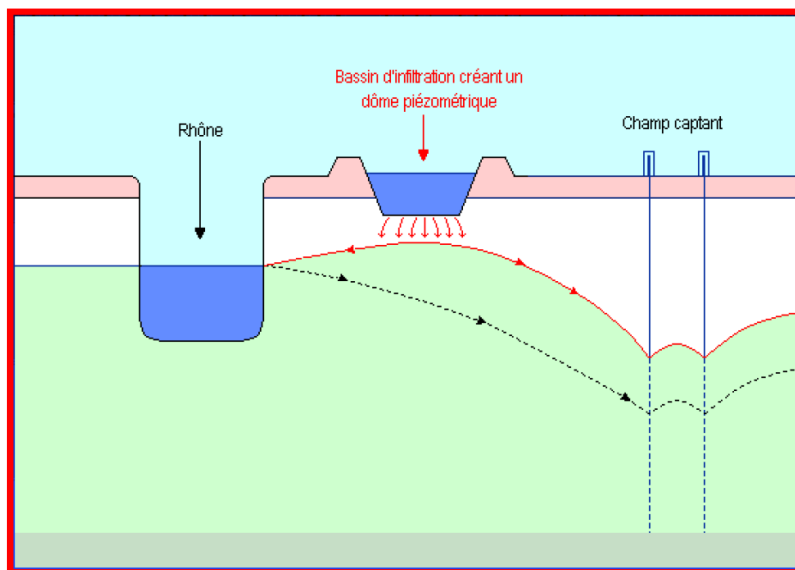
L'alimentation de la prise BRL sur le Rhône se fait par un canal d'amenée, qui amène l'eau du fleuve jusqu'à la station de pompage de Pichegu (commune de Bellegarde), située à une douzaine de kilomètres. Aucun problème particulier d'alimentation du canal par le Rhône n'a été rencontré. BRL Exploitation doit cependant rester vigilant à ce que l'alimentation de la prise soit régulièrement draguée, afin d'avoir le niveau nécessaire dans le canal d'amenée.

Prélèvements superficiels du Grand Lyon

Les prélèvements superficiels du Grand Lyon sont de deux types :

- ▶ Deux pompages dans le lac des eaux bleues pour compléter l'eau potable produite par les forages. Les volumes prélevés sont de l'ordre de 2 Mm³/an (données Agence de l'eau)
- ▶ Des pompages dans le vieux Rhône, installés au niveau du champ captant de Crépieux-Charmy, pour alimenter des bassins d'infiltration. Les volumes prélevés sont de l'ordre de 31 Mm³/an (moyenne 2007-2011, données AERMIC). Ce système permet de dévier le cône de dépression autour du captage. La barrière hydraulique ainsi constituée a été mise en place afin de sécuriser le champ captant de Crépieux-Charmy face au risque de pollution mais remplit également une fonction de soutien d'étiage.

Figure 4 : Schéma de la barrière hydraulique du Grand Lyon (source : Etude BURGEAP)



La figure ci-dessous présente le positionnement des ouvrages hydrauliques en place sur le Rhône au niveau de l'île de Miribel-Jonage et des prélèvements du Grand Lyon. Soulignons que ces prélèvements ont lieu dans le vieux Rhône (Rhône court-circuité) et que les débits objectifs qui doivent être fixés dans le cadre de cette étude concernent le Rhône canalisé. Les possibilités de satisfaction de ces prélèvements sont davantage dépendants des débits réservés maintenus à l'aval du barrage de Jons, dans le canal de Miribel, qui sont fixés à 30 ou 60 m³/s suivant les conditions de remplissage du lac des eaux bleues. Par ailleurs, un débit de 90 m³/s est nécessaire dans le canal de Jonage pour ne pas contraindre le fonctionnement de l'usine de Cusset (fonctionnement des groupes de production à débit minimum).

En cas de très basses eaux du Rhône, il peut donc y avoir des tensions pour l'allocation de l'eau disponible vers l'un ou l'autre des canaux. Ce cas a été rencontré par exemple en 2011 : le débit du Rhône avant la confluence avec la Saône a atteint des débits inférieurs à 145 m³/s² ; le débit réservé dans le canal de Miribel n'a pas été respecté.

² Estimation BRLi : calcul des débits du Rhône à Ternay, moins la Saône à Couzon, le 30/05/2011.

Figure 5 : Organisation des ouvrages hydrauliques autour de l'île de Miribel-Jonage



Les gestionnaires du système d'alimentation en eau potable de la communauté urbaine de Lyon estiment que le débit réservé de 60 m³/s dans le canal de Miribel est le strict minimum permettant le fonctionnement de leurs installations ; tout non-respect de cette limite met en péril l'approvisionnement de l'agglomération.

On propose donc de retenir un débit minimum de l'ordre de 60 m³/s en amont du barrage de Jons, permettant d'assurer le maintien d'un débit d'au moins 60 m³/s dans le canal de Miribel.

1.3 IMPACT DES VARIATIONS DE DEBIT DU FLEUVE SUR LES PRELEVEMENTS AEP EN NAPPE ALLUVIALE DU RHONE

L'impact des variations de débit du fleuve sur le niveau de la nappe du Rhône fait l'objet d'un rapport thématique spécifique³ dont les principales conclusions sont rappelées ci-après.

L'analyse réalisée montre que l'impact d'une baisse du débit du fleuve sur un champ captant est principalement conditionné par la conjonction de trois facteurs :

- ▶ le positionnement dans un secteur pour lequel la piézométrie va varier avec les variations de débit du fleuve ;
- ▶ une épaisseur mouillée faible en regard des variations possibles de la nappe ;
- ▶ les volumes prélevés qui vont induire des rabattements locaux.

Il en résulte une sensibilité des prélèvements en nappe aux variations de débit du fleuve, que l'on peut qualifier de relative : par exemple, un champ captant qui prélève moins de 1 Mm³/an dans un secteur de faible épaisseur mouillée (<10 m) peut se révéler moins sensible aux étiages du Rhône, qu'un autre qui prélève 90 Mm³/an dans une zone avec des épaisseurs mouillées pourtant comprises entre 10 et 20 m.

Chacun de ces facteurs est discuté dans les trois paragraphes suivants, qui résument les développements du rapport thématique.

1.3.1 Où sont les secteurs pour lesquels la piézométrie va varier avec les variations de débit du fleuve ?

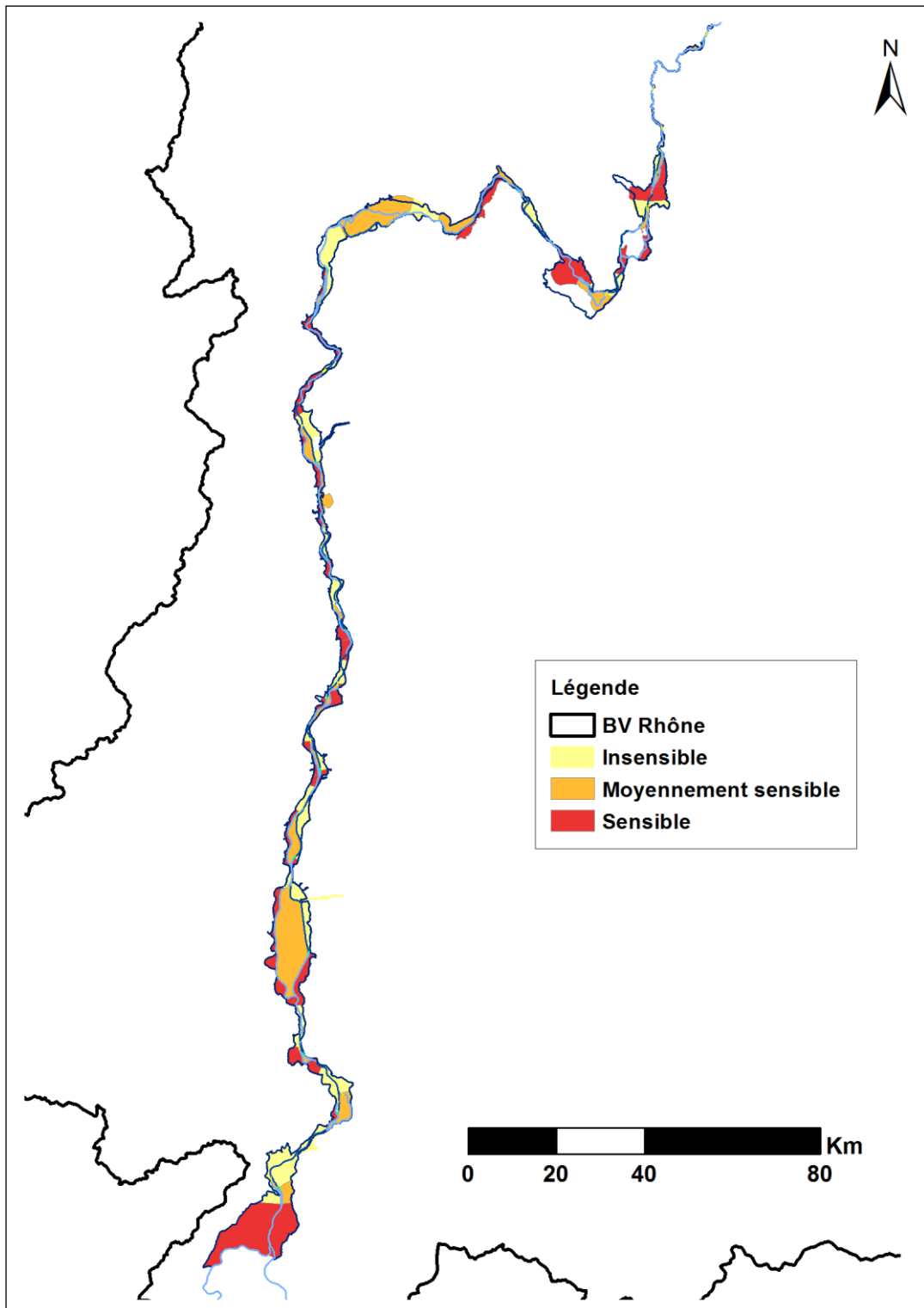
Dans un premier temps, nous avons distingué :

- ▶ les secteurs sous l'influence d'une ligne d'eau contrôlée par les aménagements CNR (retenues, barrages, contre-canaux, etc.). Sur ces secteurs les variations de débit du fleuve auront peu d'impact sur la ligne d'eau et donc sur la piézométrie de la nappe) ;
- ▶ et ceux a priori en relation avec un Rhône libre qui enregistrent des variations de sa ligne d'eau en relation avec les variations « naturelles » de débit.

La carte ci-dessous présente la sensibilité des différents secteurs de nappe aux variations de débit du fleuve.

³ Rapport de phase 3 : « Mission hydrogéologique – Impact d'une baisse de débit du fleuve sur les usages préleveurs en nappe alluviale ».

Figure 6 : Cartographie des secteurs sensibles aux variations de débit du fleuve.



En termes de surface, on observe la répartition suivante :

- ▶ 365 km² de nappe en secteurs dits insensibles au débit du fleuve (soit environ 30%) ;
- ▶ 379 km² de nappe potentiellement influencés par les variations de débit du Rhône (soit environ 30 %). Rappelons qu'il s'agit de portions de nappe alluviale en contact avec un Rhône dit libre mais aussi avec un autre hydrosystème (nappes latérales ou canaux de dérivation) susceptible de tamponner l'impact des variations des lignes d'eau dans le fleuve ;
- ▶ 485 km² de nappes a priori sensibles au débit du fleuve (soit environ 40 %). Rappelons toutefois que dans une proportion non négligeable, ces portions de nappe se situent directement à l'aval d'un ouvrage de retenue dont le débit laissé au cours d'eau non dérivé correspond au débit réservé (hors champ de l'étude). Il existe quelques secteurs de petites superficies, dépendants du débit d'étiage "global" du Rhône : il s'agit soit des portions de nappe connectées au canal de fuite après usine, sur les sections du Rhône dérivé, soit des secteurs à l'aval de barrages usines ou de la jonction entre Rhône court-circuité et Rhône dérivé, qui restent sensibles aux variations de débit du fleuve. Citons pour les plus importantes (S>10 km²) :
 - Aval de l'aménagement de Chautagne (environ 30 km²) ;
 - Aval de l'aménagement de Brégnier Cordon (environ 40 km²) ;
 - Aval de l'aménagement de Saultz-Brénat (environ 30 km²) ;
 - Aval de l'aménagement de Pierre Bénite (environ 20 km²) ;
 - Aval du barrage usine de Vaugris (environ 20 km²) ;
 - Aval de l'aménagement de Bollène (environ 20 km²) ;
 - Aval de Beaucaire (environ 160 km²).

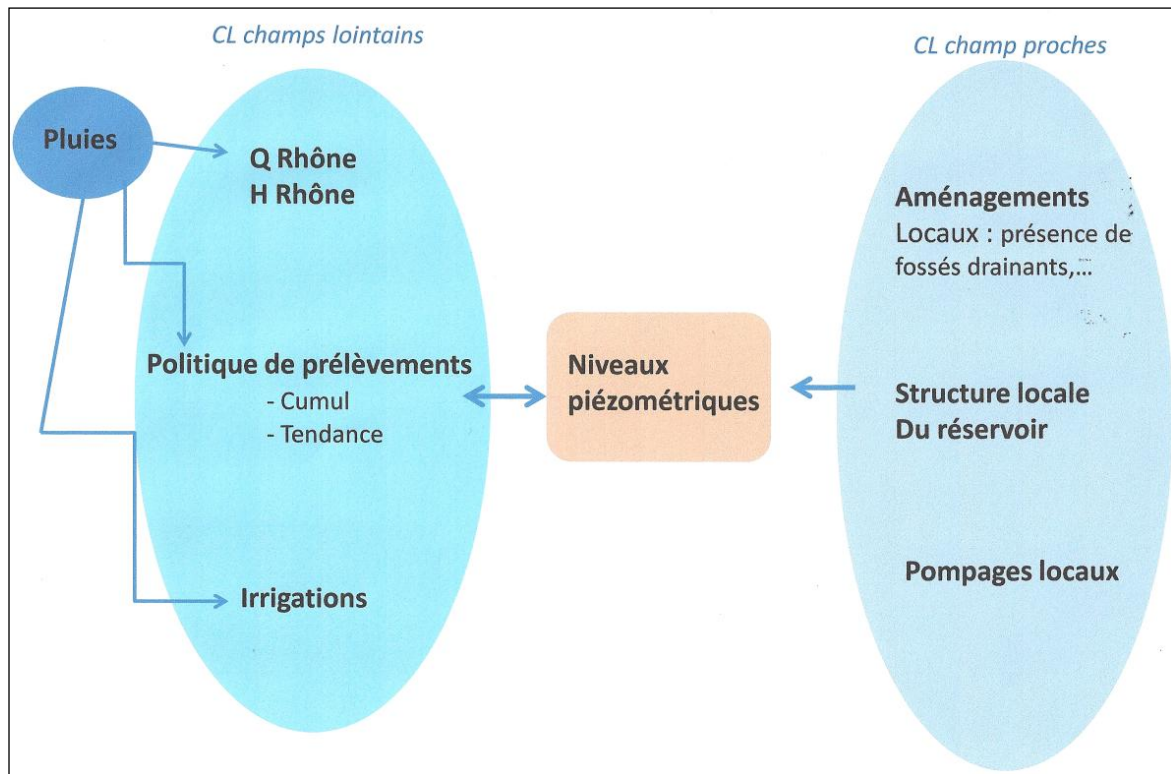
Au final, les portions de nappe sensibles aux variations globales, naturelles, du fleuve Rhône (hors sections dont le débit d'étiage correspond au débit réservé d'un ouvrage), cumulent environ 320 km² (soit environ 25 % de la superficie totale de la nappe alluviale) mais avec un secteur important en superficie : la plaine à l'aval de Beaucaire et à l'amont d'Arles (environ 160 km², soit environ 12,5 % de la superficie de la nappe alluviale de la nappe).

Dans un deuxième temps, nous avons essayé de trouver des indices d'une relation avérée entre la productivité de la nappe et les variations de débit du fleuve. Pour cela, les données de différents piézomètres ont été analysées.

Il est difficile de trouver une relation simple et univoque entre piézométrie et débit du fleuve.

- ▶ Il n'a pas été possible de mettre en évidence une corrélation entre ces deux grandeurs physiques et ce sur les cinq chroniques piézométriques disponibles.
- ▶ Il est aussi délicat de mettre en relation une correspondance simple et unique entre les étiages remarquables du Rhône et des minima dans les chroniques piézométriques.

Figure 7 : Facteurs explicatifs potentiels des variations piézométriques.



En effet, il faut rappeler que la relation entre débit et niveau piézométrique dépend de la relation entre le débit et le niveau de la ligne d'eau dans le fleuve. Or, on comprend intuitivement que cette relation n'est pas forcément linéaire : **elle va dépendre de la géométrie du lit mineur**. L'impact sur la ligne d'eau d'une augmentation de débit dans un lit mineur chenalisé, caractérisé par des bords verticaux, va être très différente dans un lit mineur latéralement très étalé avec des bordures évasées.

Cette difficulté s'explique aussi par la multiplicité des facteurs susceptibles d'influencer le signal piézométrique (cf. figure ci-dessous).

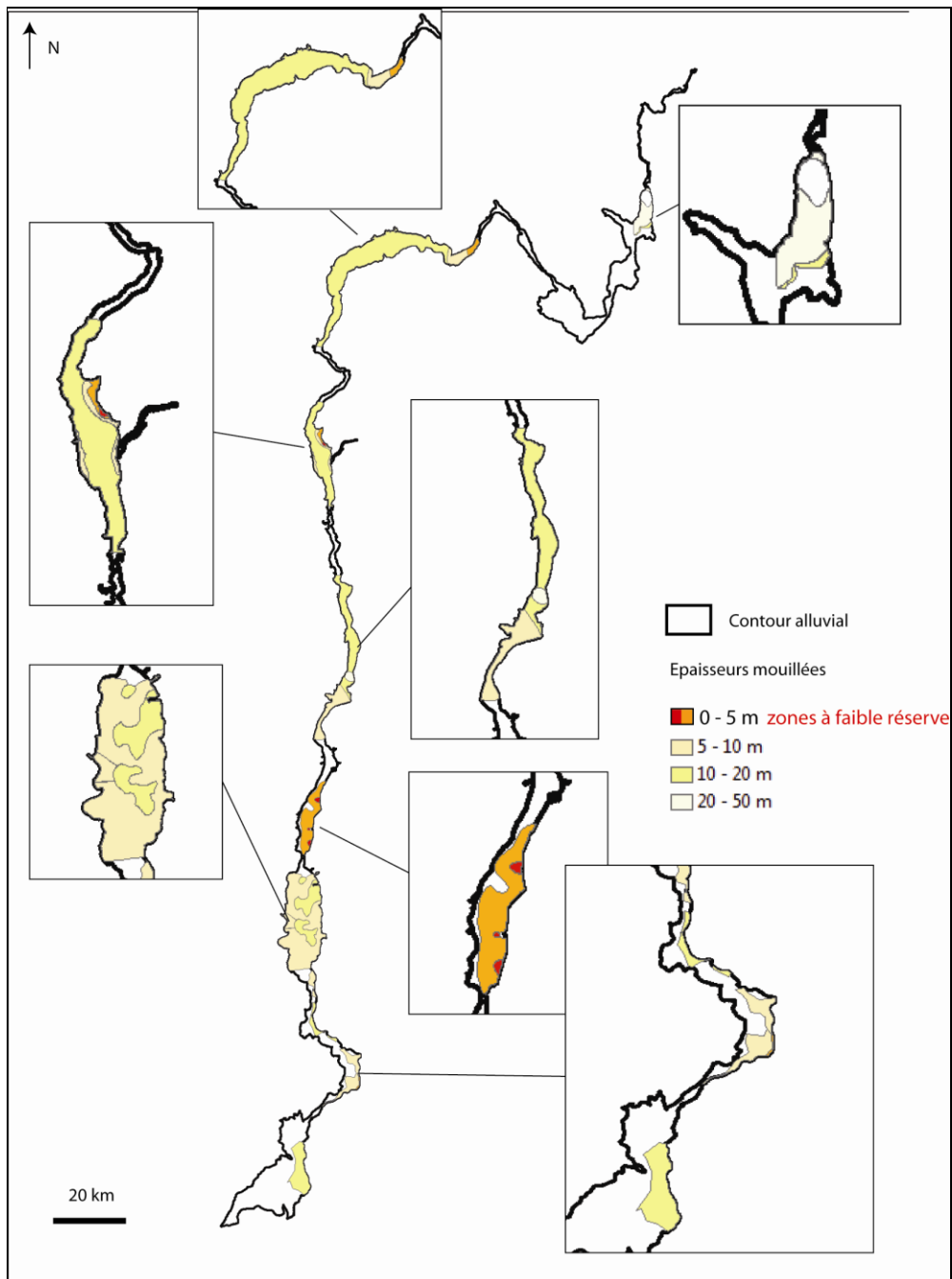
- ▶ Le signal piézométrique est la résultante de plusieurs phénomènes venant impacter la nappe, les principaux pouvant être la présence d'ouvrages qui régulent la ligne du cours d'eau, la piézométrie des encaissements géologiques aux limites de la nappe, le signal pluviométrique et les pressions anthropiques telles que l'irrigation ou les prélèvements.
- ▶ Ajoutons que le signal enregistré par un piézomètre est très sensible aux conditions locales (perméabilité autour de l'ouvrage, présence de zones préférentielles d'infiltration, etc.) et qu'il est généralement difficile de distinguer ces influences locales d'influences relatives à d'autres échelles, comme celle d'une variation de la charge aux limites (niveaux d'eau dans un cours d'eau en connexion hydraulique avec la nappe).

Sur la base des données analysées, nous constatons ainsi que même dans les secteurs sensibles aux variations de débit du Rhône, il n'est pas possible d'associer des baisses de piézométrie remarquables à des étiages exceptionnels du fleuve

1.3.2 Où sont localisés les secteurs structurellement vulnérables ?

L'analyse menée a permis de déterminer les secteurs de la nappe avec une vulnérabilité intrinsèque aux variations de débit du fleuve, en particulier à l'étiage. **Il s'agit de secteurs aquifères pour lesquels on observe en moyenne de faibles épaisseurs mouillées.**

Figure 8 : Cartographie des épaisseurs mouillées des alluvions du Rhône.

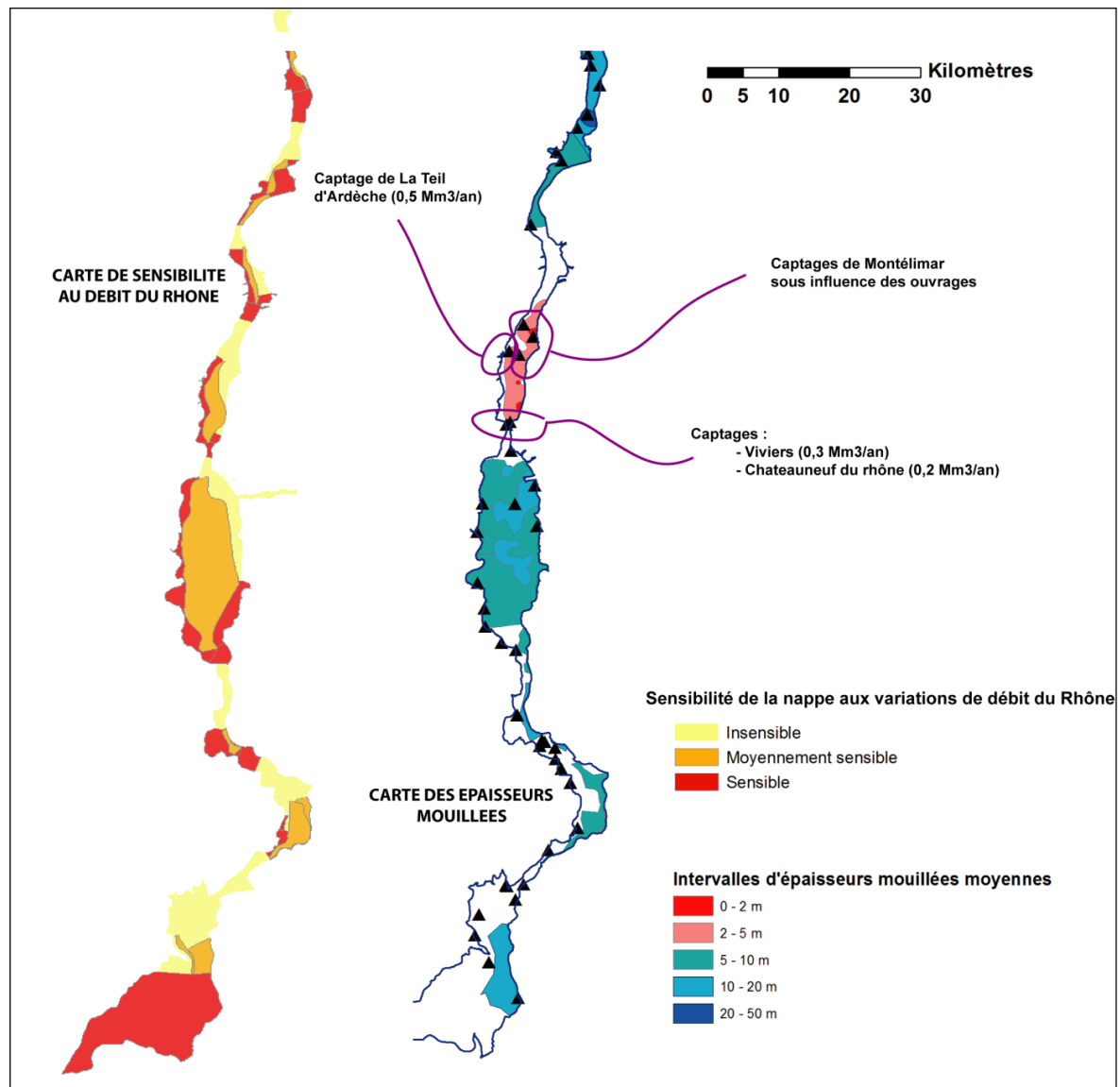


Rappelons en effet que la productivité de la nappe est directement proportionnelle à sa transmissivité, qui correspond au produit de la perméabilité par l'épaisseur mouillée. Ainsi, une baisse de piézométrie d'environ un mètre, consécutive à un étiage du Rhône, dans un secteur caractérisé par une épaisseur mouillée d'environ 5 m, conduit à une baisse de 20 % de la productivité de la nappe.

Les secteurs de superficie significative présentant de faibles réserves, supposés ayant une épaisseur mouillée de 1 à 5 m, sont principalement situés dans le secteur de St-Vulbas, Clonas-sur-Varèze et de façon plus étendue sur le secteur de Montélimar. Seul ce dernier secteur est associé à plusieurs champs captants pour l'AEP. Cela nous a conduit à une analyse spécifique sur cette zone, résumée dans la figure ci-dessous.

Pour cette zone, on constate que les champs captant de Montélimar (de 0,250 à 1,3 Mm³/an) sont situés à l'amont d'ouvrages CNR qui induisent une absence de sensibilité de la ligne d'eau (et donc du niveau piézométrique de la nappe) aux variations de débit. Les captages à l'aval de ces ouvrages (communes de La Teil d'Ardèche, de Vivier et de Châteauneuf du Rhône) sont caractérisés par des débits de prélèvement relativement faibles. Ceci explique l'absence de signalement de tension sur ces champs captant.

Figure 9 : Cartographie croisée vulnérabilité (gauche), épaisseur mouillée (droite) et volume prélevé annuel pour le bas Rhône.



Si on constate l'absence de tensions sur les champs captant situés dans les secteurs structurellement vulnérables, il ne faut pas considérer cette observation comme un résultat acquis. La faible épaisseur mouillée des alluvions est un facteur limitant aux prélèvements et l'absence de tensions constatées s'explique principalement par la relative faiblesse des prélèvements actuels.

1.3.3 Où sont situés les prélèvements AEP importants ? De faibles débits du Rhône peuvent-ils compromettre leur satisfaction ?

Il nous a semblé intéressant de faire un focus sur les champs captant qui prélèvent plus de 3 Mm³/an

MAITRE D'OUVRAGE	Vp (milliers m3/an)	Vulnérabilité	Epaisseur mouillée
COMMUNAUTE URBAINE DE LYON	91 174	Sensibilité moyenne	10-20 m
METROPOLE DE NIMES	16 614	Sensibilité moyenne	10-20 m
SIE MONTS DU LYONNAIS ET BASSE VALLEE DU GIER	5 045	Sensibilité forte	10-20 m
MAIRIE DE VALENCE	4 017	Sensibilité forte	10-20 m
SYNDICAT MIXTE EAU POTAB RHONE SUD	3 919	Sensibilité forte	10-20 m
SYNDICAT INTERCOM EAU POTABLE DE L'EST LYONNAIS	3 048	Non sensible	10-20 m

On constate que seuls deux champs captant prélèvent plus de 10 Mm³/an (le champ captant de Crépieu-Charmy à l'amont immédiat de Lyon et alimentant la Communauté Urbaine de Lyon et le champ captant de Comps à l'aval immédiat de la confluence avec le Gardon, alimentant la métropole nîmoise) et sont donc susceptibles d'être en position de vulnérabilité par rapport aux variations de débit du fleuve.

L'enquête réalisée par courrier auprès des maitres d'ouvrages prélevant dans la ressource Rhône confirme qu'en première approximation (50 % de taux de réponse), les préleveurs AEP ne font pas de lien direct et répété entre les étiages du fleuve et des baisses de productivité des champs captant. **A l'exception de deux préleveurs hors normes (le Grand Lyon et la Métropole de Nîmes) qui, de par les très importants volumes soutirés, se trouvent conjonctuellement dans des situations de grande vulnérabilité vis-à-vis du débit du fleuve.**

Dans le cas du champ captant de Comps, cette vulnérabilité est réduite par le contrôle de la ligne d'eau par les ouvrages CNR situés en aval (aménagement de Vallabrègues). Pour le champ captant de Crépieu Charmy, la vulnérabilité aux étiages est forte et ce à cause de deux phénomènes :

- ▶ Les étiages induisent une baisse du niveau d'eau dans le Vieux Rhône, qui impacte directement la productivité des champs captant ;
- ▶ Les étiages se traduisent par des vitesses d'écoulement très faibles dans ces chenaux et d favorisent ainsi le dépôt de fines qui dégradent les relations entre le cours d'eau et la nappe.

1.3.4 Conclusion

Au vu des données collectées dans cette étude, il apparaît en première approximation que les étiages du fleuve Rhône ne peuvent avoir qu'un impact mineur et localisé sur la productivité de sa nappe alluviale.

- ▶ La variation du débit qui modifie la hauteur d'eau dans le fleuve est un des paramètres parmi de nombreux susceptibles d'influencer la piézométrie de la nappe. **Au final, les secteurs potentiellement très sensibles à cette variation de débit, hors sections régies par les débits réservés, sont minoritaires (environ 25 %).**
- ▶ Les secteurs **structurellement vulnérables du fait d'une faible épaisseur de nappe** sont rares et de superficie limitée (environ 50 km² de nappes avec une puissance inférieure à 5 m pour 1300 km² de nappe alluviale).
- ▶ Les secteurs soumis à de forts prélèvements (> 10 Mm³/an) sont peu nombreux et la plupart sont dans des zones avec des niveaux de nappes insensibles aux variations de débit du fleuve.

Cet avis doit être nuancé pour certains champs captant de très grande productivité qui sont de facto dans une situation de grande dépendance vis-à-vis de la réalimentation de la nappe par le fleuve.

Il apparaît ainsi qu'actuellement, sur la base des données recueillies, seul le champ captant de Crépieu-Charmy pour l'alimentation du Grand Lyon est dans une position de forte dépendance aux débits du Rhône. Le bras d'eau en forte interrelation avec la nappe (et pour lequel la productivité de la nappe est a priori influencée par les variations de débit) correspond au Vieux Rhône, dont le débit à l'étiage est fixé par la législation relative aux débits réservés.

Cet avis doit être considéré avec prudence. Pour toutes les raisons détaillées dans l'analyse critique de la méthode (voir rapport thématique), il est nécessaire d'insister sur le caractère expéditif de la méthode qui est relative à certaines échelles spatiales et temporelles. Il résulte d'une approche à grande échelle qui intègre la nappe alluviale depuis la frontière suisse jusqu'à la Camargue ; les résultats sont donc représentatifs de cette échelle d'étude. Il est évident qu'une telle approche ne peut prétendre remplacer des études plus locales pour des contextes hydrogéologiques relatifs à d'autres échelles de description. Ces résultats ont pour seule ambition de répondre à la problématique globale de l'étude, qui est celle de fixer des règles de gestion vis à vis des débits d'objectifs d'étiage à l'échelle du bassin versant.

2. CONDITIONS LIMITES VIS-A-VIS DE L'IMPACT DU BISEAU ET DU COIN SALE EN CAMARGUE

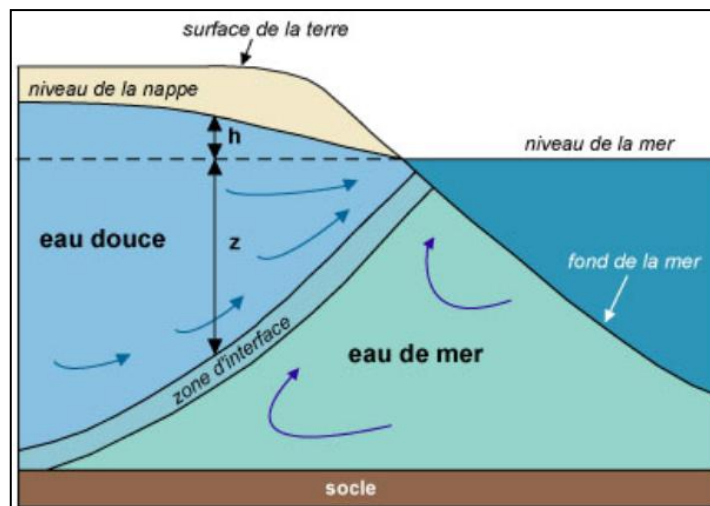
Pour davantage de détails sur les phénomènes de biseau et de coin salés, on pourra se reporter au rapport thématique de Phase 3 : « Etude de l'impact d'une diminution des débits d'étiage du Rhône sur les phénomènes de salinisation des hydrosystèmes souterrains en Camargue ».

2.1 RELATIONS ENTRE DEBIT DU RHONE ET REMONTEE DU BISEAU SALE

2.1.1 Qu'est-ce qu'un biseau salé ?

Un biseau salé est une partie d'un aquifère côtier envahie par de l'eau salée (marine) comprise entre la base de l'aquifère et une interface eau douce/eau salée (Figure 10), le biseau salé étant sous l'eau douce. Précisons que la présence d'un biseau salé est un phénomène naturel et que son extension horizontale à l'intérieur des terres est faible. Par contre, c'est généralement la surexploitation de l'aquifère qui va conduire à la pénétration du biseau salé sur de grandes distances.

Figure 10 : Schématisation d'un biseau salé dans un aquifère homogène.



Plusieurs facteurs peuvent être responsables de la pénétration anormale d'un biseau salé dans un aquifère côtier :

- ▶ Un pompage excessif : les littoraux font partie des régions les plus peuplées du monde où les activités touristiques, agricoles et industrielles sont telles que la demande en eau douce est très importante, souvent beaucoup plus que ce que peuvent offrir les réservoirs présents. Les nappes d'eau douce sont alors fortement surexploitées.
- ▶ La diminution de la recharge : la pénétration du biseau dans la nappe peut aussi être liée à une diminution de la recharge due au climat. Une consommation d'eau stable mais avec une recharge en eau inférieure aura le même effet que des pompages excessifs.
- ▶ Salinisation accidentelle : il peut également y avoir des salinisations accidentelles de la ressource par la surface lors d'événements catastrophiques comme un tsunami par exemple. L'eau de mer colonise une partie des terres et peut s'infiltrer jusque dans les nappes par la surface.

2.1.2 Quels impacts les étiages remarquables du Rhône peuvent-ils avoir sur les dynamiques de salinisation des nappes ?

Les analyses menées dans le cadre de l'étude et détaillées dans le rapport thématique sur les phénomènes de salinisation des hydrosystèmes souterrains de Camargue, montrent que l'impact d'une baisse importante du débit du fleuve ($Q < Q_{MNA5}$) peut être réduit aux considérations suivantes.

- ▶ La baisse de débit durant les étiages sévères du fleuve ne peut pas avoir d'impact direct et important sur la salinisation des nappes superficielles. Le seul impact indirect potentiel serait celui d'un pompage d'eaux salées pour l'irrigation, dans le Petit ou le Grand Rhône, simultanément à une remontée du coin salé qui entrainerait une entrée d'eau salée vers la nappe par infiltration.
- ▶ La baisse du débit durant les étiages du fleuve peut avoir un impact potentiel sur la salinisation de la nappe profonde en favorisant la pénétration du biseau salé. En effet, une diminution de débit se traduit automatiquement par une perte de charge dans la nappe alluviale associée, que ce soit dans le secteur de la plaine de Tarascon ou dans les zones de contact direct entre les alluvions modernes et les cailloutis dans le secteur d'Arles. Cette perte de charge constitue un facteur favorable à la propagation du biseau salé observé dans la nappe profonde. Ceci étant, au vu de l'importance relative des interfaces de contact entre nappe libre et nappe captive (relativement faible pour les alluvions du Rhône au regard de la superficie du contact entre les cailloutis de la nappe captive et les cailloutis de la nappe de la Crau), ce facteur peut être considéré comme secondaire voire négligeable en première approximation. En effet, au vu de la configuration hydrodynamique, ce sont les prélèvements en nappe de la Crau qui influencent le plus la dynamique actuelle de propagation du biseau salé.

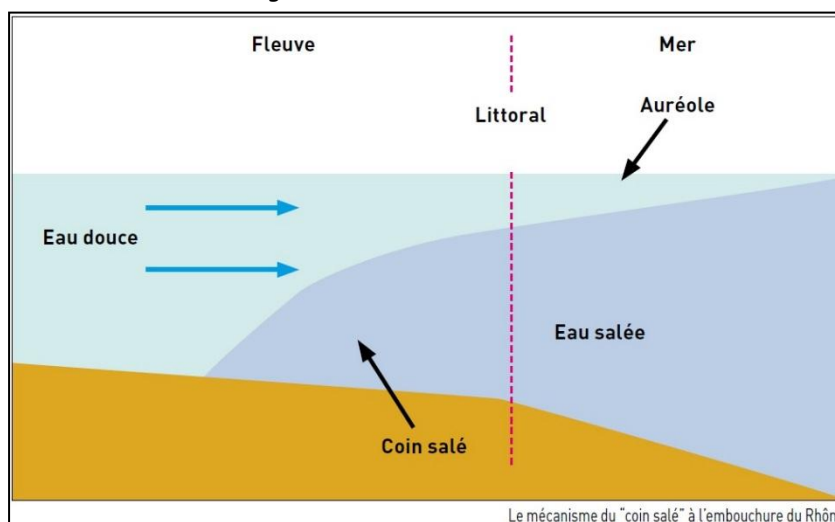
2.2 RELATIONS ENTRE DEBIT DU RHONE ET REMONTEE DU COIN SALE

2.2.1 Qu'est-ce que le coin salé ?

On appelle « coin salé », ou encore « langue salée » le phénomène d'intrusion d'eau marine dans le lit d'un fleuve, ce nom évoquant la forme de la masse d'eau salée (cf. figure suivante). L'eau salée a une densité supérieure à l'eau douce et s'insinue comme un coin sous celle-ci lorsqu'elle remonte en « rampant » dans le lit du fleuve (Le Rhône en 100 questions, ZABR, 2008).

On parle de l'intrusion de l'eau salée mais, physiquement, c'est l'eau du fleuve qui repousse l'eau salée. En effet, si le débit du fleuve était nul, l'eau de mer occuperait toute la partie du lit du Rhône jusqu'à la hauteur du niveau de la mer et elle remonterait alors jusqu'à Beaucaire.

Figure 11 : Schéma d'un coin salé



Source : Le Rhône en 100 questions, ZABR, 2008

Le facteur principal est le débit du fleuve car sa faiblesse favorise la remontée du coin salé. Évidemment, d'autres facteurs ont aussi une influence significative :

- ▶ La durée des bas débits du fleuve : si la baisse du débit est trop courte, le phénomène n'a pas le temps d'atteindre son extension maximale ;
- ▶ La direction et l'intensité du vent : le vent du nord favorise la remontée du coin salé car il augmente la vitesse de l'eau en surface et, à débit égal, la réduit en profondeur ;
- ▶ Le niveau de la mer, qui évolue avec la pression atmosphérique et l'amplitude des marées.

2.2.2 Quels impacts les étiages remarquables du Rhône peuvent-ils avoir sur la remontée du coin salé ?

Des mesures et des analyse de la CNR ainsi qu'une modélisation réalisée par EDF en 1999 dans le cadre d'une étude sur la construction d'un aqueduc entre le delta du Rhône et la Catalogne renseignent sur les dynamiques d'évolution du coin salé. On retiendra les conclusions suivantes.

Plusieurs sources bibliographiques fournissent une estimation du débit à partir duquel commence la remontée du coin salé dans le Rhône. On peut retenir les ordres de grandeur suivants (en rappelant que l'embouchure du Rhône se situe au PK330, voir aussi la Figure 12) (mesures CNR) :

- ▶ Il faut que le débit du Rhône mesuré à Beaucaire descende au-dessous de 1 300 m³/s pour voir le coin salé amorcer sa remontée.⁴ ;
- ▶ Il remonte jusqu'au Sambuc (PK 303) pour des débits entre 600 et 800 m³/s ;
- ▶ Il remonte jusqu'au seuil de Thibert (PK 299) pour des débits entre 400 et 600 m³/s ;
- ▶ Il remonte jusqu'au seuil de Terrin (PK 295) pour des débits entre 300 et 600 m³/s ;
- ▶ Depuis la mise en service des systèmes de mesure existants, le seuil de Terrin n'a été dépassé qu'une seule fois, en août 2005, pour un débit moyen journalier minimal de 406 m³/s le 15 août. La limite amont du coin salé est remontée jusqu'au Pk 293.25 (mesure CNR du 21 août 2005). Entre octobre et novembre 2007, le coin salé est resté trois semaines sur le seuil sans le franchir, le débit moyen journalier minimal mesuré sur cette période est de 370 m³/s, le 11 novembre 2007 (ZABR 2008).

La modélisation réalisée par EDF montre que pour les étiages marqués, le coin salé remonte généralement jusqu'au seuil de Terrin pour le Grand Rhône et jusqu'au seuil de Sylveréal pour le Petit Rhône. Le dépassement du seuil de Terrin ne s'observe que pour des conditions exceptionnelles ; ce n'est pas le cas du seuil de Sylveréal qui peut être franchi pour des conditions moins rares.

La carte de situation ci-dessous présente la localisation des différents seuils évoqués.

⁴ Les estimations les plus récentes, fournies par la CNR, estiment à 1300 m³/s le débit en dessous duquel s'amorcent la remontée du coin salé. D'autres sources différencient le grand et le petit Rhône et indiquent une remontée du coin salé dans le grand Rhône à partir d'un débit à Beaucaire de 1000 m³/s, et dans le petit Rhône à partir de 1200 m³/s.

Figure 12 : Camargue : carte de situation



2.2.3 Conséquences de la remontée du coin salé

ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES SAINTES-MARIES-DE-LA-MER

Le prélèvement AEP de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer se situe sur le Petit Rhône, quelques kilomètres en amont du seuil de Sylvéreal (voir Figure 12).

Le fermier en charge de l'exploitation du prélèvement de la commune constate occasionnellement des épisodes de remontée du coin salé. Un processus de surveillance est en place mais, depuis 2006 (date d'entrée en fonction du gestionnaire actuel), aucune alerte n'a nécessité la prise de mesures particulières.

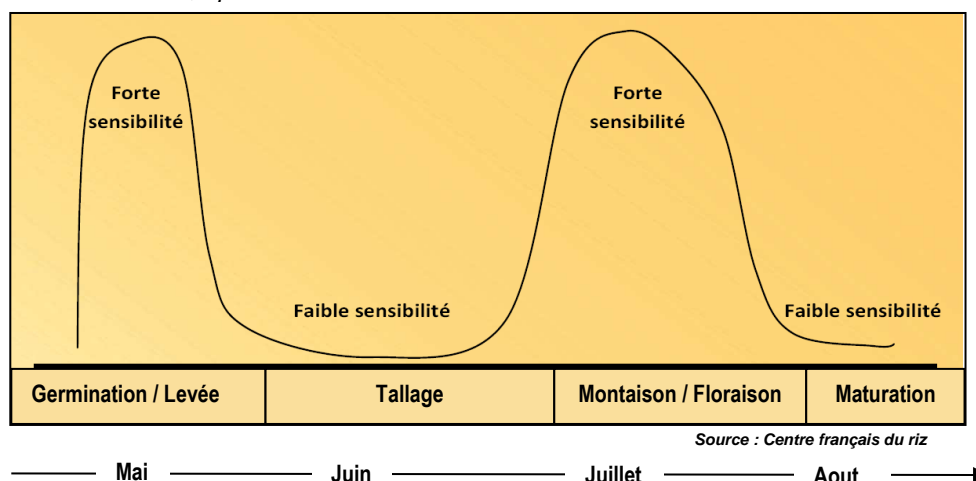
RIZICULTURE EN CAMARGUE

« La salinité représente une contrainte permanente pour l'agriculture camarguaise. En effet, la présence d'une nappe salée à faible profondeur, conjuguée à un déficit hydrique important, favorise la remontée du sel jusque dans les horizons superficiels du sol » et rend difficile le développement des cultures. (source : Centre français du riz, Convention France-Agrimer, Conduites et pratiques culturale, rapport d'activité 2011). Les importants volumes d'eau nécessaires à la riziculture permettent de lessiver le sel vers les horizons plus profonds du sol et font du riz une des principales productions de Camargue, la seule possible sur certaines parcelles particulièrement sensibles.

L'eau utilisée pour l'irrigation du riz est pompée dans le Petit ou le Grand Rhône. La remontée du coin salé jusqu'au niveau de ces pompages constitue une forte contrainte pour les riziculteurs. Les stations de pompage sont plus ou moins sensibles à la remontée du coin salé en fonction de la profondeur de ce dernier. Les coups de Mistral favorisent le mélange des eaux et peuvent induire de très fortes augmentations de la salinité des eaux d'irrigation, en particulier dans le grand Rhône. En fin de cycle (fin août), il est courant (en moyenne une fois tous les deux à trois ans selon l'expert du Centre Français du Riz contacté) que les irrigants les plus aval soient obligés d'interrompre les pompages en raison d'une trop forte salinité. **Ces interruptions sont relativement ponctuelles et ne durent généralement que quelques jours, lorsque les bas débits du Rhône sont conjugués à un épisode de mistral. Cela représente une gêne pour les riziculteurs mais reste généralement compatible avec la conduite de la culture et une production satisfaisante.** Les pompages les plus avals sont naturellement les plus touchés par la remontée du coin salé. Le canal du Japon est le réseau collectif dont le prélèvement est le plus à l'aval (en rive droite du Grand Rhône) et il est fortement touché par ces phénomènes (des pompages individuels ont lieu encore plus à l'aval et sont également fortement touchés). La profondeur où le pompage est réalisé a également un impact sur la sensibilité à la remontée du coin salé. Cette contrainte est intégrée progressivement par les riziculteurs au fur et à mesure de la modernisation des stations de pompages. Les profondeurs de pompages ont été diminuées et/ou donnent la possibilité de prélever à hauteur variable afin de limiter au maximum l'entrée de sel dans les systèmes d'irrigation.

C'est pendant les stades de germination/levée (mai) puis de floraison (de mi-juillet à mi-août) que le riz est le plus sensible et qu'une remontée du coin salé est le plus dommageable à la culture (à partir de niveaux dépassant 1 g/l).

Figure 13 : Sensibilité à la salinité des cultures de riz



La campagne 2011 a donc été particulièrement problématique pour les riziculteurs. En effet, des débits exceptionnellement bas pour la saison ont été rencontrés au printemps, à un stade critique du cycle de culture, et ont favorisé la remontée du coin salé au-delà du seuil de Terrin, (source : Centre français du riz, Convention France-Agrimer, Conduites et pratiques culturales, rapport d'activité 2011). Une salinité de l'eau d'irrigation allant jusqu'à 5 g/l a été mesurée. Au moins 2000 ha ont été fortement touchés, parmi lesquels 600 ha ont dû être ressemés selon le SRFF (Syndicat des Riziculteurs de France et Filière). Une remontée des débits du Rhône et un épisode pluvieux sur la Camargue ont toutefois permis un rétablissement de la situation au mois de juin.

En dehors du cas particulier de la campagne 2011, il semblerait qu'aucune autre année n'ait connu de problèmes aussi importants (en dehors des fins de mois d'août).

Il est difficile d'associer un débit limite qui empêcherait le coin salé d'impacter l'activité des riziculteurs car :

- ▶ les informations disponibles dans la bibliographie renseignent sur le niveau maximum atteint par le coin salé, mais pas sur la profondeur à laquelle il se situe pour différents débits et au niveau des différents point ;
- ▶ le mistral est un facteur aggravant important et, pour un même débit, les conditions de vent influenceront beaucoup sur les difficultés rencontrées ;
- ▶ les débits seuils recherchés dans le cadre de l'étude sont des débits mensuels, alors que les épisodes de crises s'étendent généralement sur quelques jours et dépendent davantage des débits journaliers.

On a donc choisi, pour définir ce seuil, de se baser sur les mesures de débits sur le Rhône à Beaucaire et sur les informations recueillies auprès du centre français du riz, synthétisées de la façon suivantes :

- ▶ des problèmes sont régulièrement rencontrés à la fin du mois d'août (1 année sur 2 à une année sur 3 environ) ; ils concernent des épisodes de quelques jours et interviennent heureusement à une période où la culture est faiblement sensible à la salinité ;
- ▶ le mois de mai 2011 a été extrêmement critique ;
- ▶ de mémoire de riziculteur, aucun autre épisode tel que celui de 2011 n'a été constaté à des périodes de forte sensibilité (mai ou juillet).

Les tableaux ci-dessous présentent les débits mesurés sur le Rhône à Beaucaire. On retrouve bien sur ces débits mesurés l'épisode de crise de mai 2011.

Tableau 3 : Analyse des débits mensuels (gauche) et journaliers (droite) mesurés sur le Rhône à Beaucaire

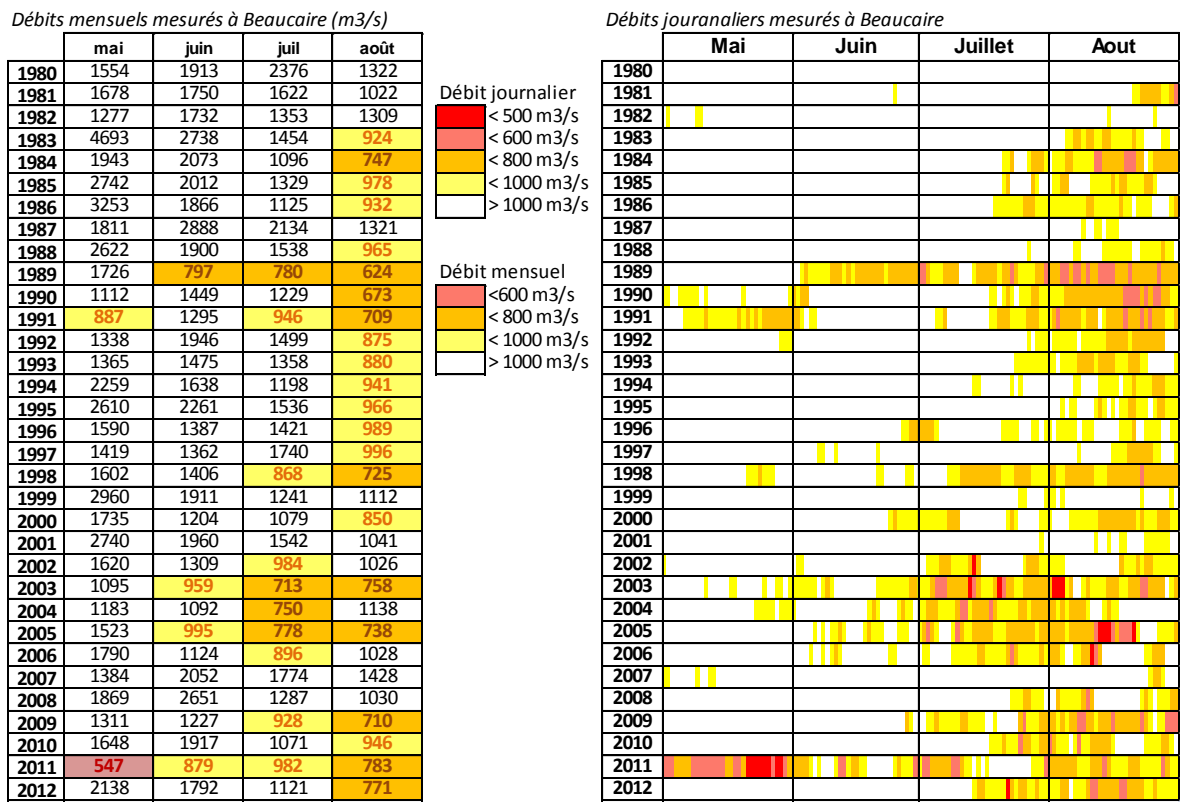


Tableau 4 : bilan des sous-passements de débits seuils sur le Rhône à Beaucaire

	Mai	juin	Juillet	Août
Proportion d'années où le débit journalier passe sous 600 m³/s				
1 jour ou plus	3%	3%	30%	42%
Au moins 2 jours	3%	3%	15%	33%
Au moins 3 jours	3%	3%	12%	24%
Proportion d'années où le débit journalier passe sous 800 m³/s				
1 jour ou plus	9%	33%	58%	85%
Au moins 2 jours	6%	24%	58%	79%
Au moins 3 jours	6%	12%	52%	76%
Proportion d'année où le débit mensuel passe sous 600 m³/s				
	3%	0%	0%	0%
Proportion d'année où le débit mensuel passe sous 800 m³/s				
	3%	3%	12%	30%

La mise en parallèle des mesures de débits sur le Rhône et des retours d'expérience des riziculteurs amène aux conclusions suivantes.

- ▶ La fréquence du passage des débits journaliers en dessous de 600 m³/s pendant plus d'une journée semble correspondre aux fréquences de crises rencontrées par les riziculteurs au mois d'août. On retrouve cependant 1 à 2 années sur 10 des débits journaliers inférieurs à 600 m³/s en juillet, sans que des périodes de crise associées n'aient été signalées.
- ▶ Le mois de mai 2011, avec une grave crise pour les riziculteurs, correspond à des débits extrêmement faibles et inférieurs à 600 m³/s en moyenne mensuelle (voir 500 m³/s en débit journalier).
- ▶ En terme de débit mensuel, le débit de 600 m³/s semble correspondre à un seuil en dessous duquel la remontée du coin salé représente un problème grave pour les riziculteurs. Depuis 1980, il n'a été rencontré qu'une fois, en mai 2011. Au vu des fréquences des crises plus brèves rencontrées au mois d'août par les riziculteurs et des débits mensuels mesurés, le seuil de 800 m³/s semble correspondre au débit à partir duquel des difficultés apparaissent.
- ▶ Il est difficile de conclure sur l'impact qu'aurait un débit mensuel entre 600 et 800 m³/s sur la riziculture au cours du mois de mai, car ce cas n'a jamais été rencontré au cours des trente dernières années. Cela est arrivé quatre fois au mois de juillet (dont 3 au cours des 10 dernières années) sans que ces années n'aient été signalées comme particulièrement problématiques par le Centre Français du Riz.

On retiendra des paragraphes précédents que le débit (mensuel) de 600 m³/s constitue un seuil en dessous duquel la remontée du coin salé est très marquée (le coin atteint le seuil de Terrain sur le Grand Rhône) et la salinité au niveau des prélèvements pour la riziculteurs est élevée. **C'est aux moments de forte sensibilité des cultures qu'il convient de contrôler au mieux les remontées du coin salé. La prise en compte des contraintes de salinisation pour les agriculteurs implique de maintenir un débit moyen mensuel supérieur à 600 m³/s notamment aux mois de mai et juillet. Maintenir un débit supérieur à 800 m³/s permettrait d'avoir l'assurance d'éviter les crises, même moins prononcées que celle de 2011, aux périodes où la culture est particulièrement sensible.**

3. CONDITIONS LIMITES POUR LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

3.1 RAPPEL SUR LE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

PRINCIPE GENERAL DE FONCTIONNEMENT⁵

Une centrale nucléaire utilise trois circuits d'eau indépendants (voir Figure 14) :

- ▶ Le circuit primaire permet d'extraire la chaleur issue de la réaction de fission : « *c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression et à une température de 300°C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuits secondaire au travers des générateurs de vapeur* ».
- ▶ Le circuit secondaire utilise la chaleur issue du circuit primaire pour produire de la vapeur qui permet de faire fonctionner les turbines : « *au contact de milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire* » au travers des générateurs de vapeur.
- ▶ « *Le circuit de refroidissement est utilisé pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur. Ce circuit comprend un condensateur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide [prélevée dans le Rhône]. Au contact de ces tubes la vapeur se condense* ».

Comme mentionné dans le rapport de phase 1, un des usages de l'eau du fleuve est le refroidissement de centrales nucléaires de production d'énergie (CNPE) de Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin.

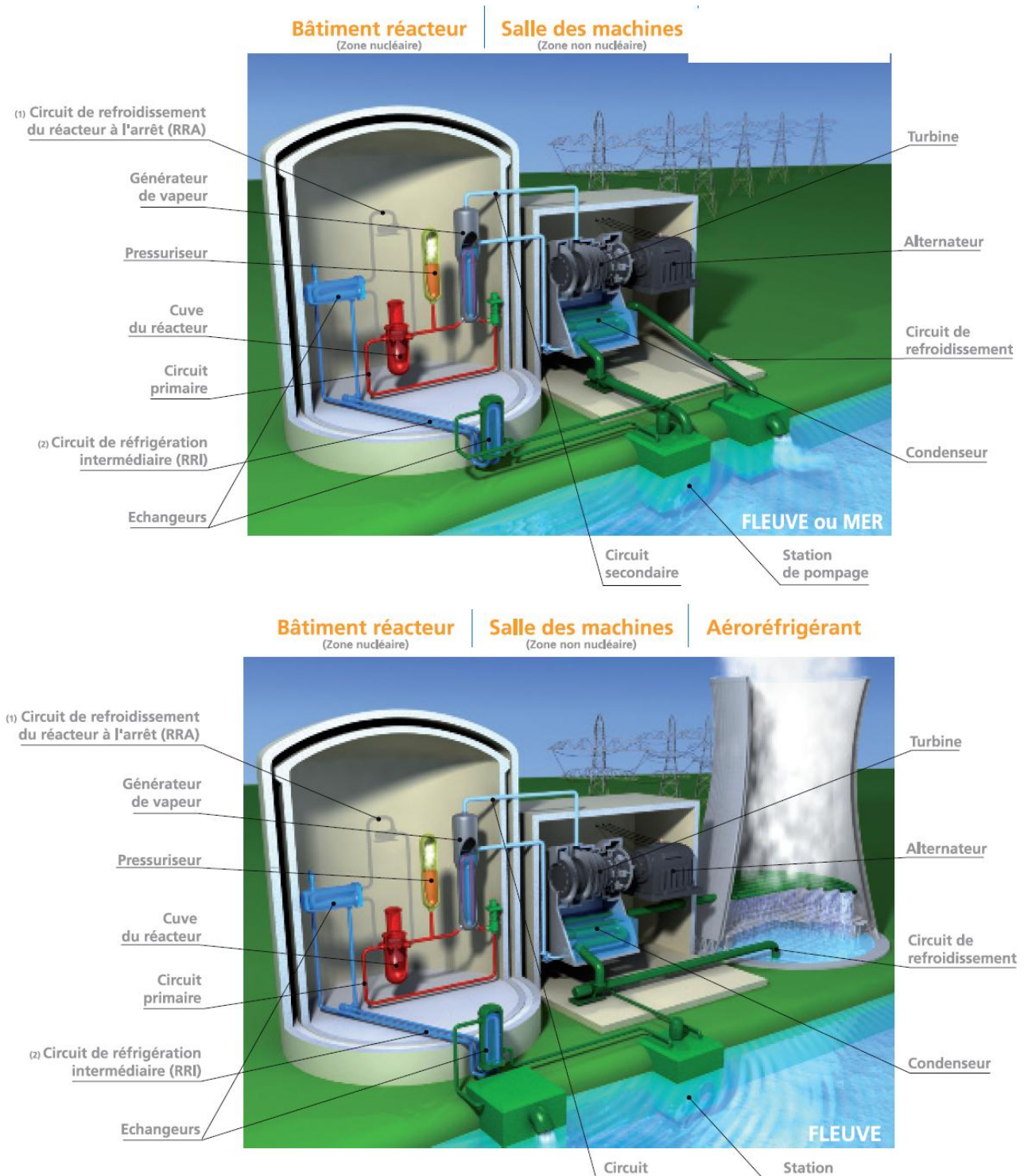
Deux technologies sont utilisées pour le refroidissement :

- ▶ le **circuit ouvert** qui sollicite de forts débits pour un échange direct avec le fleuve. L'eau du fleuve est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements. Une fois l'opération effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité est intégralement restituée au fleuve, à une température plus élevée.
- ▶ le **circuit fermé** qui utilise un plus faible volume. Le refroidissement de l'eau chaude issue du condenseur se fait par échange avec de l'air froid dans une grande tour réfrigérante atmosphérique appelée « aéroréfrigérant ». Une partie de l'eau est vaporisée (de l'eau est prélevée sur le fleuve pour la remplacer), le reste retourne dans le condenseur.

En termes d'impact sur le fleuve, on peut retenir que le refroidissement en circuit fermé est celui qui consomme le plus d'eau (de l'ordre de 24 Mm³/an/tranche, soit un débit fictif continu de l'ordre de 0,75 m³/s/tranche) mais présente un impact thermique très limité sur le fleuve. Le refroidissement en circuit ouvert prélève des volumes d'eau environ 15 fois supérieurs aux volumes nécessaires en circuit fermé mais sa consommation peut être considérée comme nulle. Ce type de refroidissement (circuit ouvert) peut avoir localement un fort impact thermique sur le fleuve.

⁵ Ce paragraphe utilise en grande partie des informations issues de la note d'EDF « *Utilisation de l'eau dans les centrales nucléaires* » de mars 2013.

Figure 14 : Refroidissement de centrales nucléaires en fonctionnement, circuit ouvert (haut) et circuit fermé (bas) . Source : « L'utilisation de l'eau dans les centrales nucléaires, note d'information EDF, mars 2013



(1) RRA (circuit de refroidissement à l'arrêt) : assure l'évacuation de la puissance résiduelle dégagée par le combustible, quand il est encore dans la cuve, pendant les périodes d'arrêt du réacteur

(2) RRI (circuit de réfrigération intermédiaire) : sert à refroidir le circuit RRA et différents équipements, que le réacteur soit en fonctionnement ou à l'arrêt.

RAPPEL SUR LES CENTRALES NUCLEAIRES DU BASSIN VERSANT DU RHONE

Quatre centrales nucléaires de production d'énergie utilisent l'eau du Rhône comme source froide. Leurs principales caractéristiques sont rappelées dans le tableau suivant. Les informations sur l'estimation des volumes bruts et nets prélevés par chacune de ces centrales ont été présentées dans le rapport de phase 1.

Unités de production	Mise en service	Circuit ferme (aerorefrigerant)		Circuit ouvert		TOTAL Puissance totale (MW)	Prelevement brut		Prelevement net	
		Nb de tranches	Puissance (MW)	Nb de tranches	Puissance (MW)		Volume annuel (Mm3)	Debit fictif continu (m3/s)	Volume annuel (Mm3)	Debit fictif continu (m3/s)
EDF-CNPE Bugey	Apr-72	2	1 760	2	1 820	3 580	3 100	98	47	1.5
EDF-CNPE St Alban	Mar-85			2	2 600	2 600	4 100	130	0	0
EDF-CNPE Cruas	Apr-83	4	3 600			3 600	500	16	95	3
EDF-CNPE Tricastin	Dec-80			4	3 600	3 600	5 000	158	0	0
Total		6	5 360	10	9 420	14 780	12 790	405	142	4.5

Les débits associés aux différentes stations correspondent aux débits mesurés sur des stations hydrométriques proches. On considère :

- ▶ pour la CNPE de Bugey, les débits mesurés à Lagnieu ;
- ▶ pour la CNPE de Saint Alban, les débits mesurés à Ternay ;
- ▶ pour la CNPE de Cruas, les débits mesurés à Viviers ;
- ▶ pour la CNPE de Tricastin, les débits mesurés à Viviers, auxquels on soustrait 74 m³/s correspondant aux débits réservés passant dans le vieux Rhône à l'aval du barrage CNR de l'aménagement de Donzère-Mondragon.

3.2 CONTRAINTES HYDROLOGIQUES ET THERMIQUES POUR L'EXPLOITATION DES CNPE

Différents échanges avec EDF ont permis de préciser quelles pouvaient être les contraintes hydrologiques et thermiques encadrant le fonctionnement des CNPE. On peut ainsi distinguer :

- ▶ Des **contraintes de température (objectif environnemental)** : la température maximale à ne pas dépasser à l'aval de l'ouvrage et l'échauffement maximal après mélange (différence entre la température à l'amont et la température à l'aval de la centrale).
- ▶ Une contrainte sur les **débits minimum et maximum du Rhône (objectif environnemental)** pour lesquels des rejets issus du conditionnement des circuits primaires et secondaires ainsi que des procédés industriels nécessaires à l'exploitation des centrales sont autorisés.

3.2.1 Respect d'un échauffement et d'une température maximum à l'aval des CNPE (contrainte environnementale)

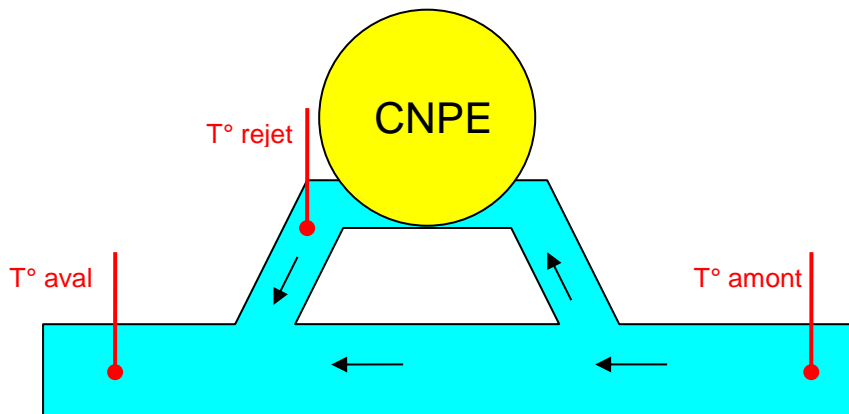
LES ARRETES D'AUTORISATION DE REJET ET DE PRISE D'EAU

Le fonctionnement de chaque centrale est cadré par un arrêté d'autorisation de rejet et de prise d'eau. Ces arrêtés précisent les valeurs d'échauffement maximal et de température maximale à l'aval des centrales. Les centrales disposant de tranches ouvertes sont davantage concernées par les contraintes thermiques. En effet, la centrale de Cruas, dont la totalité des tranches sont fermées, entraîne un échauffement très faible du Rhône pour sa production d'énergie (échauffement autorisé < 1°C).

La mise en application de ces arrêtés suppose le calcul prévisionnel d'un échauffement pour chaque CNPE, s'appuyant sur des mesures de température. Le schéma de principe suivant explicite les mesures de température effectuées sur une centrale en circuit ouvert :

- ▶ température de l'eau du fleuve en amont de la centrale,
- ▶ température de rejet dans le canal de dérivation,
- ▶ température de l'eau du fleuve en aval de la centrale (température aval calculée après mélange).

Figure 15 : Positionnement des sondes de mesure de la température de l'eau sur une CNPE en circuit ouvert



La contrainte d'échauffement implique de calculer la température en aval de la centrale. Ce calcul théorique de la température aval après mélange complet est effectué selon une formule de calcul imposée dans les autorisations de rejet de chaque site, qui permet le contrôle réglementaire des rejets thermiques. Cette température aval est calculée de la façon suivante :

$$T^{\circ} \text{ aval calculée} = \Delta t \text{ (échauffement après mélange)} + T^{\circ} \text{ amont}$$

Suivant les sites, le calcul réglementaire de l'échauffement après mélange (Δt) varie :

- ▶ Bugey, Tricastin, St Alban : $\Delta t = P_{\text{thermique}} / (Q_{\text{Rhône}} \times \text{coefficient calorifique de l'eau})$
- ▶ Cruas : $\Delta t = (\text{somme par tranche } T_{\text{rejet}} \times Q_{\text{rejet}} + T_{\text{amont}} \times Q_{\text{amont}}) / (Q_{\text{amont}} + Q_{\text{rejet}}) - T_{\text{amont}}$

C'est cette température calculée qui a une portée réglementaire. En parallèle, EDF mesure en continu la température du fleuve en aval de la CNPE au titre de la surveillance en continu dans l'environnement.

On constate donc qu'en fonction de la température et du débit du fleuve en amont, la charge thermique acceptable créée par le refroidissement de la centrale sera plus ou moins importante.

Le tableau ci-dessous présente les contraintes réglementaires de température aval limite et d'échauffement pour les différentes centrales, à l'exception de celle de Cruas dont les quatre tranches fonctionnent en circuit ouvert.

Tableau 5 : Limites de température amont et contraintes d'échauffement pour chacune des CNP

Centrale	Limite ΔT (échauffement)	Limite T aval
Bugey <i>Source : arrêté de mars 1978 – en cours de révision</i>	5,5 °C / 7,5°C (du 16/09 au 01/07) Valeurs envisagées dans le nouveau projet d'arrêté : 7°C du 16 septembre au 30 avril, 5°C du 1 ^{er} mai au 15 septembre. 1°C en conditions climatiques exceptionnelles	24 °C / 26°C du 01/06 au 30/09 (limité à 280 périodes de 3 heures) Valeurs envisagées dans le nouveau projet d'arrêté : 24°C du 16 septembre au 30 avril et 26°C du 1 ^{er} mai au 15 septembre. 27°C en conditions climatiques exceptionnelles (avec dt de 1°C)
Saint-Alban <i>Source : Arrêté du 29 décembre 2000 (demande de révision des valeurs a été déposée par EDF, des modifications sont à prévoir à moyen terme)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 4°C, si T° amont \leq 22°C • (56/3-2/3*T°amont), si T° amont est entre 22 et 28 °C • Limité à l'échauffement engendré par les réacteurs à l'arrêt si T° amont >28°C • limité à 3°C de juin à septembre 	28 °C
Cruas <i>Source : Arrêté du 30 avril 2013</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 1°C si T°amont \leq 27°C • (28-T° amont), si T° amont est comprise entre 27 et 28°C • nul, si T° amont > 28°C 	28 °C
Tricastin <i>Source : Arrêtés du 13 mai 2008 et 8 juillet 2008</i>	En conditions climatiques normales: <ul style="list-style-type: none"> • 6°C si Q amont <480 m3/s (dans le Rhône canalisé) • 4 °C si Q amont > 480 m3/s dans le Rhône canalisé) En conditions climatiques exceptionnelles : 3°C	<ul style="list-style-type: none"> • 28°C (conditions climatiques normales) • 29°C (conditions climatiques exceptionnelles)

Des conditions d'utilisation en cas de situations exceptionnelles sont prévues dans les autorisations de rejet indiquées ci-dessus. Ces utilisations sont limitées aux situations où RTE requiert le fonctionnement de la centrale à un niveau de puissance minimal, ou aux situations pour lesquelles l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite le fonctionnement de la centrale.

En effet, les situations de canicule ou de sécheresse affectent généralement plusieurs unités de production électrique sur le territoire français, que ce soit les centrales thermiques à flamme, nucléaires ou hydroélectriques, avec des opérateurs différents. Le Ministre chargé de l'énergie est alors responsable d'assurer l'approvisionnement énergétique du pays et de veiller à la sécurité du réseau électrique. Il appartient dans ce cas au Gouvernement de considérer le fonctionnement des centrales nucléaires en tant qu'usage prioritaire et d'apprécier l'importance de la poursuite du fonctionnement des réacteurs au regard de l'approvisionnement du pays. En pratique, dans ces situations exceptionnelles, le gouvernement peut autoriser EDF à dépasser momentanément les limites réglementaires.

TRADUCTION GRAPHIQUE DES LIMITES DEBITS/TEMPERATURES

Les contraintes de température maximale à l'aval des centrales ainsi que d'échauffement maximal ont été traduites par EDF sous forme d'abaques, présentées ci-après. Pour une température amont donnée, le graphique précise le débit nécessaire au fonctionnement de la centrale pour différents niveaux de production (marche/arrêt des différentes tranches de chaque centrale).

Exemple : Pour la centrale de Bugey, si la température du Rhône à l'amont de la centrale est de 23°C, pour que les 2 tranches puissent être refroidies, le débit du Rhône doit être supérieur à 1000 m³/s ; si le débit est inférieur au moins une demie-tranche devra être arrêtée ; si le débit passe en dessous de 247 m³/s, toutes les tranches doivent être arrêtées.

On a également mis en regard ces abaques avec les mesures réelles de couple débit/température (débits mesurés aux stations mentionnées au 3.1 et températures mesurées à l'amont de chaque centrale).

Figure 16 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement de la CNPE de Bugey (avant révision de l'arrêté)

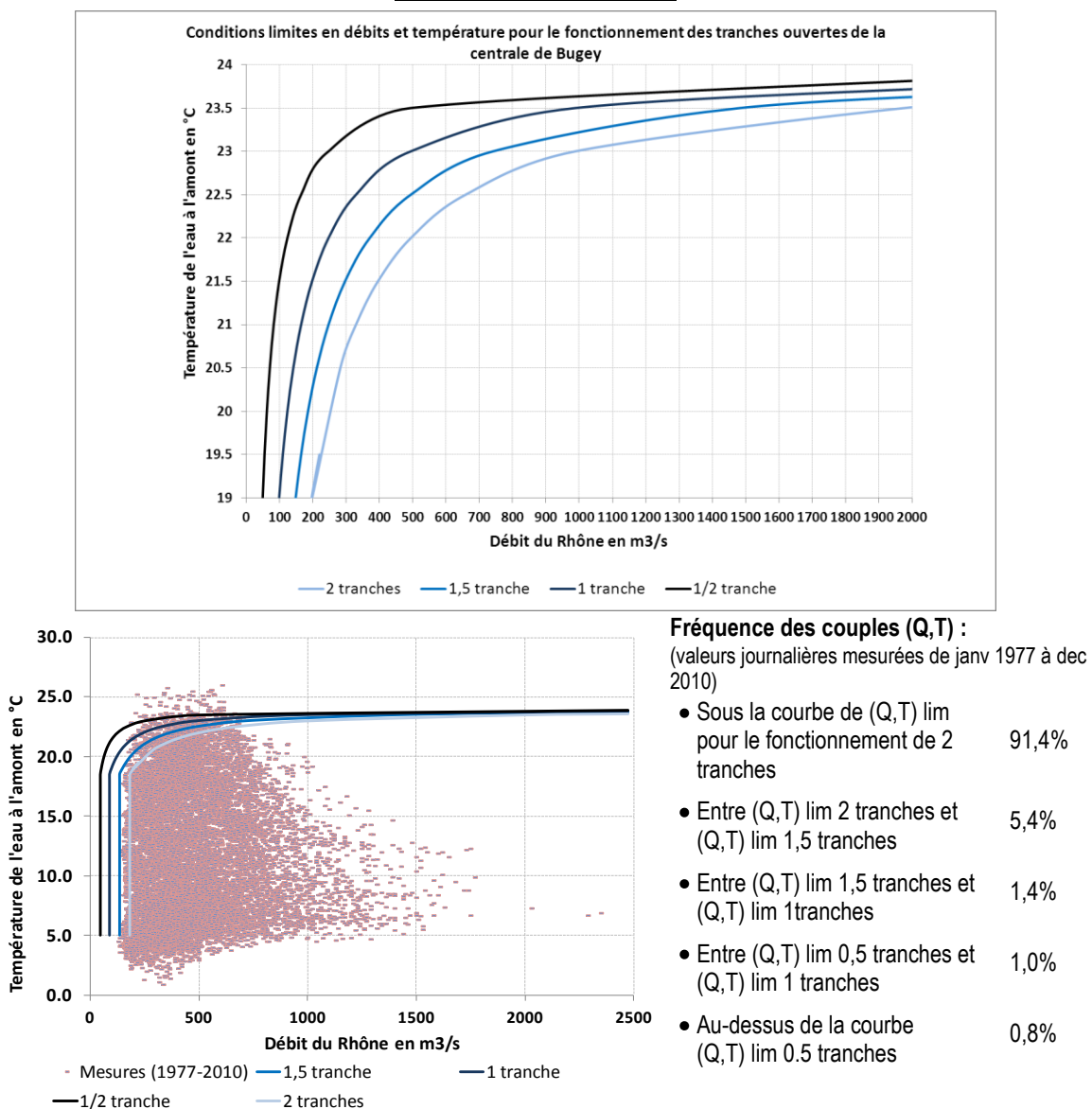
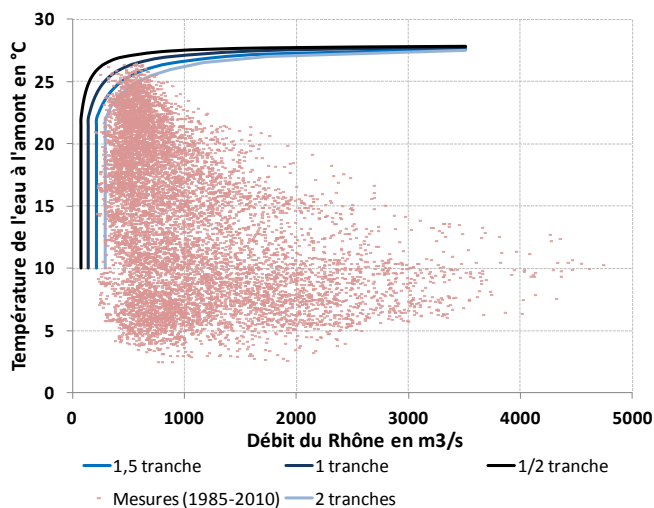
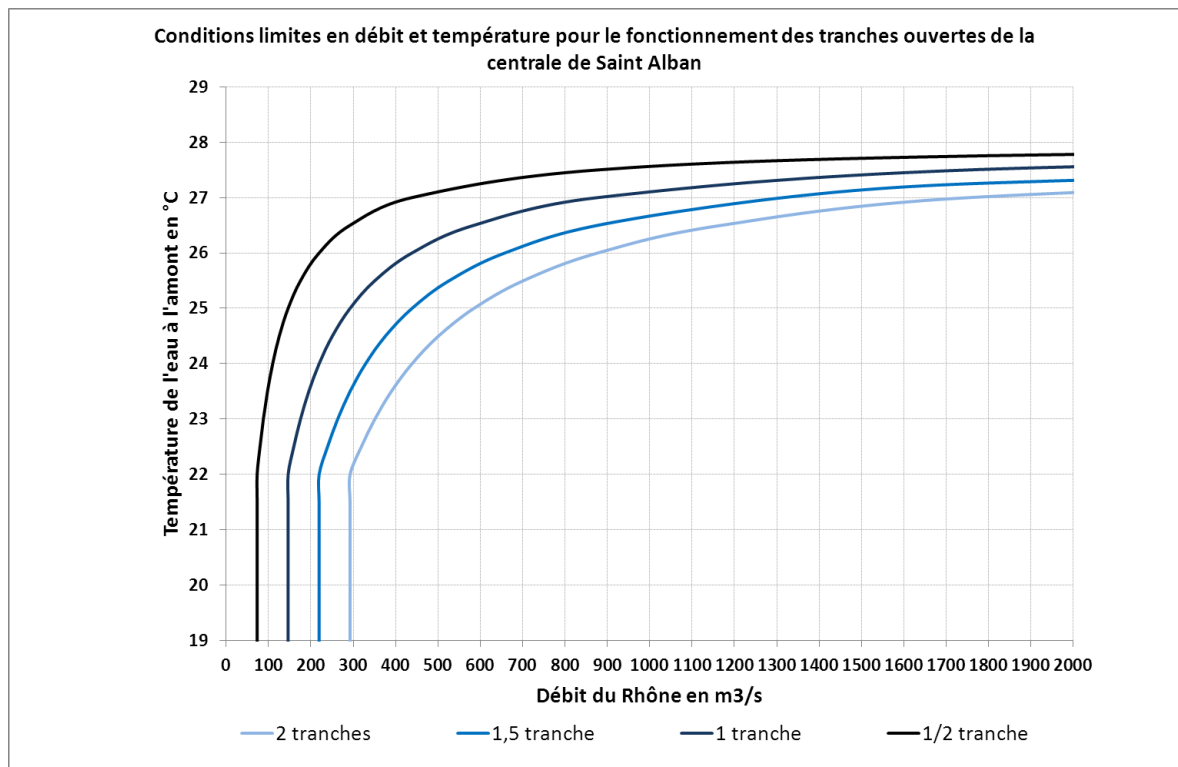


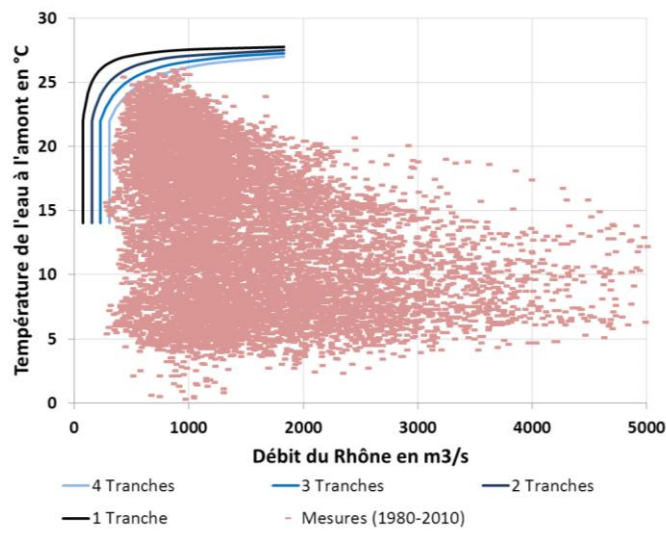
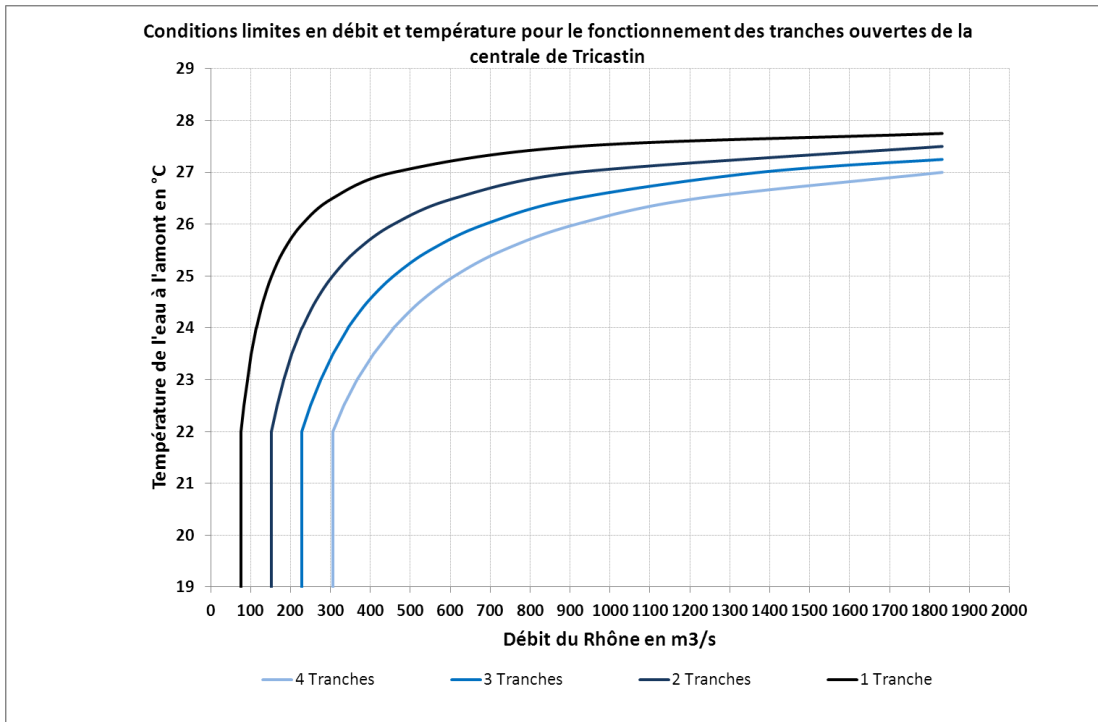
Figure 17 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement de la CNPE de Saint-Alban

**Fréquence des couples (Q,T) :**

(valeurs journalières mesurées de mars 1985 à dec 2010)

- Sous la courbe de (Q,T) lim pour le fonctionnement de 2 tranches 96.8%
- Entre (Q,T) lim 2 tranches et (Q,T) lim 1,5 tranches 2.4%
- Entre (Q,T) lim 1,5 tranches et (Q,T) lim 1 tranches 0.6%
- Entre (Q,T) lim 0,5 tranches et (Q,T) lim 1 tranches 0.1%
- Au-dessus de la courbe (Q,T) lim 0.5 tranches 0%

Figure 18 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement de la CNPE de Tricastin



Fréquence des couples (Q,T) :

(valeurs journalières mesurées de dec 1980 à dec 2010)

- Sous la courbe de (Q,T) lim pour le fonctionnement de 4 tranches 97.8%
- Entre (Q,T) lim4 tranches et (Q,T) lim 3 tranches 1.6%
- Entre (Q,T) lim 3 tranches et (Q,T) lim 2 tranches 0.6%
- Entre (Q,T) lim 2 tranches et (Q,T) lim 1 tranches 0%
- Au-dessus de la courbe (Q,T) lim 1 tranches 0%

3.2.2 Débits seuils sur le Rhône pour permettre les rejets de produits polluants (contrainte environnementale)

L'exploitation des CNPE s'accompagne de rejets d'effluents liquides (biocides et autres substances) dans les eaux du fleuve. Ces rejets ne sont permis que dans le cadre d'un intervalle réglementaire de débits défini pour chaque centrale :

- ▶ En dessous d'un débit seuil minimum, la **capacité de dilution** du fleuve n'est plus suffisante pour atténuer l'impact environnemental du rejet ;
- ▶ Au-dessus d'un débit seuil maximum, il y a un **risque de débordement** des eaux du fleuve sur les berges. Ce seuil est à surveiller principalement en situation de crue.

A l'intérieur de ces bornes, le débit de rejet est adapté compte tenu du débit du fleuve et donc de son pouvoir de dilution, de façon à limiter au maximum l'impact environnemental.

Si EDF se retrouve dans l'impossibilité de rejeter les effluents liquides pour des raisons de débit insuffisant dans le Rhône, il y a alors la possibilité de stocker temporairement ces effluents dans des bâches (réservoirs).

Le tableau ci-dessous résume les seuils limites de débit du Rhône pour les rejets.

Tableau 6 : Limites de débits pour le rejet d'effluents liquides des centrales nucléaires

	Débit min dans le Rhône	Débit max dans le Rhône	Autre / Remarque
Bugey	130 m3/s (pas de changement prévu dans le cadre de la révision)	Révision prévue: 1400 m3/s	Révision des valeurs prévue à court terme. Pour des débits entre 900 et 1400 m ³ /s les rejets donnent lieu à une information préalable de l'ASN
St Alban	300 m3/s	2700 m3/s	Valeurs soumises à révision à moyen terme
Cruas	300 m3/s	3000 m3/s	Pour des débits entre 300 et 500 m3/s les rejets donnent lieu à une information préalable de l'ASN
Tricastin	400 m3/s (200 m3/s avec accord du directeur de l'ASN) dans le canal de Donzère Mondragon	- 4000 m3/s sur le Rhône à Caderousse, ou 4500 m3/s avec accord du directeur de l'ASN. - 2000 m3/s dans le canal de Donzère Mondragon	

Mêmes sources documentaires que pour le tableau précédent

Nous n'avons pas eu connaissance des capacités de stockage des différentes centrales ni du volume des rejets en jeu. Il est donc difficile d'estimer les durées durant lesquelles il est possible de sous-passer les seuils de débit minimums ou de dépasser les seuils de débits maximum.

3.3 VALEURS DE DEBITS LIMITES POUR LE FONCTIONNEMENT DES CNPE

3.3.1 Etapes et processus pour l'établissement des limites. Evolution de la question posée au cours de l'étude

L'objectif initial affiché par l'étude était « *d'identifier les conditions limites de débit et température pour lesquelles les Centrales Nucléaires de Production d'Electricité sont contraints pour la sureté* ». Plusieurs étapes de travail ont été menées et ont conduit à une évolution, en cours d'étude, des questions soulevées. Ces étapes sont rappelées en annexe.

Au final, il a été convenu que la question de la sûreté technologique des centrales en condition ultime (conditions pour le refroidissement du cœur de la centrale à l'arrêt) n'était plus abordée dans le cadre de l'étude et que l'étude se focalisait sur la question de la sûreté vis-à-vis de la production électrique nationale. La question principalement traitée a été : « En deçà de quel débit du Rhône y-a-t-il une diminution de la production d'énergie des CNPE qui devient critique vis-à-vis des besoins d'électricité du réseau national ? ».

Notons que cette question est explicitement mentionnée dans le projet de SDAGE 2016-2021 : « *Pour le fleuve Rhône, compte-tenu de la part importante de production d'électricité hydraulique et nucléaire installée sur son linéaire, les exigences de sécurité civile comprennent les conditions nécessaires à la production minimale requise pour le maintien de la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays.* »

Dans le cadre de l'étude, une note technique d'EDF a été transmise par l'Agence de l'Eau à BRLi. Cette note présente les analyses faites par EDF et des propositions de débits limites pour le fonctionnement des centrales.

Les paragraphes suivants s'appuient largement sur cette note rédigée par EDF : « *Etude quantitative Rhône – Position d'EDF vis-à-vis des DOE et des DCR* », 23/04/2014 (Note annexée au présent rapport et dont des extraits sont cités en police italique dans le sous-chapitre suivant).

3.3.2 Signification des débits limites recherchés pour les CNPE dans le cadre de la présente étude

DEFINITION DU DEBIT LIMITE POUR LES CNPE DANS LE CADRE DE LA PRESENTE ETUDE

Le débit limite recherché pour chacun des CNPE :

- ▶ Doit permettre une production d'électricité nucléaire **suffisante pour assurer un équilibre entre la demande et l'offre en énergie au niveau national**. Selon les termes d'EDF, il doit assurer un "*fonctionnement en toute sécurité des CNPE du Rhône, en particulier pour les situations où le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement des CNPE à un niveau de puissance minimal ou pour lesquels l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite le fonctionnement des CNPE*". Sous ce débit la production d'énergie nucléaire devient trop contrainte (elle remet en cause l'équilibre offre-demande) compte tenu des dispositions à respecter par les CNPE au titre des arrêtés de rejet et prise d'eau (voir plus haut le § 3.2 du présent rapport).

- ▶ Doit rester **pertinent d'un point de vue hydrologique**. Etant donné que ces débits limites seront par la suite intégrés dans les réflexions sur la fixation des DCR (Débits de Crise Renforcée) sur le Rhône (voir phase 5 de l'étude), ces débits doivent correspondre à une notion de crise. Il est donc nécessaire d'intégrer, dans la réflexion, la notion de fréquence de retour, c'est-à-dire de se poser la question (statistiquement sur des chroniques historiques et en l'absence de changement climatique) de la fréquence avec laquelle le débit du Rhône risque de passer sous ces débits limites. Le choix a été fait par l'Etat de fixer pour ces valeurs limites une **fréquence de retour de 30 ans** sur les débits journaliers.

En pratique, les contraintes sur les rejets thermiques et donc les baisses de production associées sont nécessairement liées à un **couple (débit, température amont)**. En effet, comme vu plus haut, les limites réglementaires portent sur l'échauffement et la température aval, qui dépendent directement du débit du fleuve et de la température amont.

UTILISATION DE CE DEBIT LIMITE

Les débits limites ainsi définis pourront être intégrés dans les réflexions menées en phase 5 sur la fixation de DCR.

La recherche du non sous-passement de ces débits limites pour le fonctionnement des CNPE pourra conduire à soutenir les débits du Rhône par une limitation des prélèvements non prioritaires (industrie, agriculture) situés dans le bassin à l'amont de la centrale concernée et/ou par des lâchers depuis les stocks disponibles dans les vallées des affluents du Rhône, dans le barrage de Génissiat ou dans le lac Léman.

Le sous-passement de ces valeurs limites ne devrait pas modifier les processus de décision en vigueur sur le niveau de production des CNPE. En effet, les situations de sous-passement des débits limites définis pour les CNPE correspondent à des situations pour lesquelles la production des centrales est déjà limitée au titre du respect des arrêtés de rejets et de prise d'eau. Le risque de mise en danger du réseau électrique à l'échelle nationale est donc examiné dans le cadre de l'application des contraintes réglementaires existantes (cf..3.2).

3.3.3 Débits limites proposés pour les CNPE

Les valeurs finalement proposées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous. Le détail des réflexions menées pour aboutir à ces résultats est présenté dans les paragraphes qui suivent.

Tableau 7 : Débits moyens journaliers limites pour le fonctionnement des CNPE du Rhône

CNPE	Débit limite proposé (station hydrométrique de référence)	Niveau de production associé
Bugey	130 m ³ /s (Lagnieu)	100%
Saint-Alban	205 m ³ /s (Ternay)	Pour T° amont < 22°C : 70 % Pour T° amont = 23°C : 56 % Pour T° amont = 24°C : 45 %
Cruas	Contraintes moins fortes car refroidissement en circuit fermé (les débits maintenus à Viviers pour la centrale de Tricastin assurent le bon fonctionnement du CNPE de Cruas).	
Tricastin	320 m ³ /s (Viviers)	Pour T° amont < 22°C : 80 % Pour T° amont = 23°C : 62 % Pour T° amont = 24°C : 50 %

Remarque : les valeurs indiquées dans le tableau sont des arrondis à 5 m³/s près des valeurs lues sur les abaques présentées ci-dessous.

CENTRALE DE BUGEY

La centrale de Bugey est la seule des centrales refroidies par le Rhône dont le rapport de sûreté définit un « débit de production en toute sûreté ». Ce débit est fixé à 130 m³/s, ce qui correspond également à la valeur basse pour laquelle le CNPE est autorisé à effectuer des rejets (voir Tableau 6).

« Le lac Lemman situé en amont du CNPE de Bugey constitue un élément régulateur fondamental des débits du Haut Rhône notamment en période de basses eaux. Le règlement d'eau qui lui est associé et qui est opéré par les Services Industriels de la ville de Genève (SIG) autorise des variations qu'EDF doit anticiper pour la gestion du CNPE. La convention entre la France et la Suisse dite des « mesures d'exécution des eaux d'Arve » et le protocole de gestion hydraulique coordonnée du Rhône conclu entre EDF et CNR permettent de garantir au maximum le respect de la valeur de 130 m³/s. Le sous-passement éventuel de cette valeur étant bien entendu intégré dans les dispositions réglementaires applicables du DARPE ⁶».

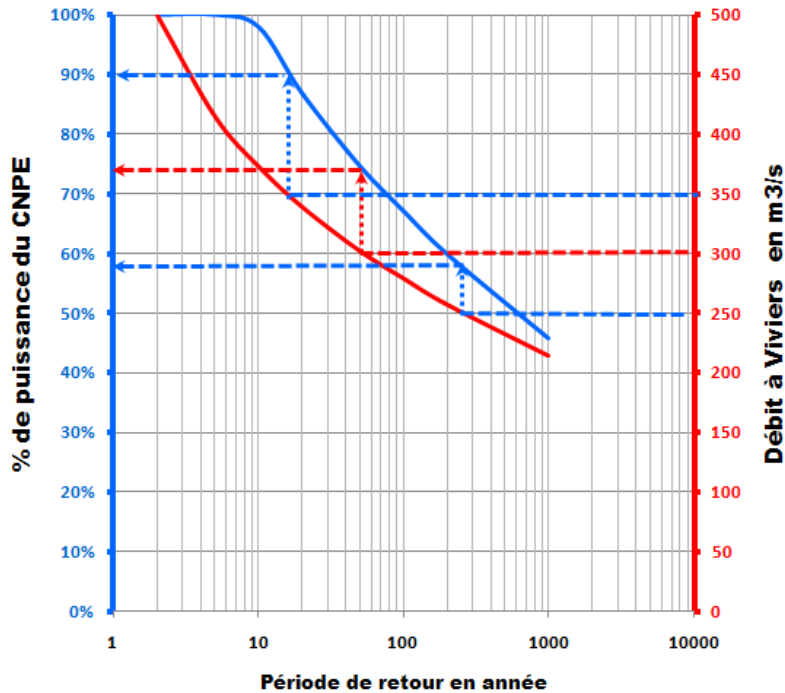
La valeur de **130 m³/s** mesurée au point de référence de Lagnieu est proposée comme **débit minimum permettant le fonctionnement en toute sécurité du CNPE de Bugey**. Elle sera intégrée dans les réflexions menées pour la fixation des DCR dans les phases ultérieures de l'étude.

⁶ Demande d'Autorisation des Rejets et Prélèvements d'Eau

CENTRALES DE TRICASTIN, SAINT-ALBAN

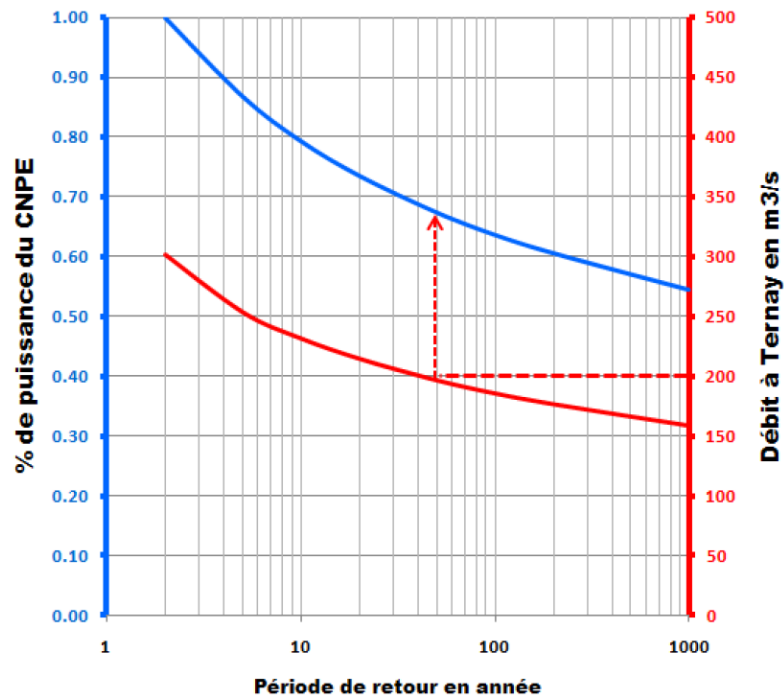
Les analyses développées par EDF dans la note annexée au présent rapport aboutissent à l'élaboration d'abaques qui donnent pour différents débits du Rhône, les périodes de retour de ces débits, ainsi que la perte de production associée.

Figure 19 : Abaque associant débit à Viviers, période de retour et niveau de fonctionnement du CNPE de Tricastin (source EDF)



On peut lire par exemple sur le graphique suivant qu'un débit journalier de 300 m³/s à Viviers revient en moyenne tous les 50 ans et entraîne un niveau de puissance de l'ordre de 75 % de la puissance maximale, soit une baisse de puissance de 25 %.

Figure 20 : Abaque associant débit à Ternay, période de retour et niveau de fonctionnement du CNPE de Saint-Alban (source EDF)



On recherche donc, sur les abaques ci-avant, les débits journaliers correspondant à une fréquence de retour de 30 années.

- ▶ Pour le CNPE de Tricastin, (associé aux mesures de débit réalisées à Viviers), il s'agit d'un débit proche de 320 m³/s, pour lequel la puissance du CNPE est réduite à 80 % de sa puissance maximale (20 % de réduction).
- ▶ Pour le CNPE de Saint-Alban, associé aux mesures de débit réalisée à Ternay, il s'agit d'un débit proche de 205 m³/s, pour lequel la puissance du CNPE est réduite à 70 % de sa puissance maximale (30 % de réduction).

Remarque : La prise d'eau du CNPE de Tricastin est située au bord du canal d'amenée de l'usine CNR de Bollène. « Le débit qui transite au droit de la centrale correspond à celui qui est observé au point nodal de Pont de Viviers auquel il faut retrancher le débit réservé du barrage de Donzère [(circulant dans le vieux Rhône)] ». Les chiffres et graphiques présentés ici considèrent un débit réservé de 74 m³/s au barrage de Donzère, valeur en vigueur depuis janvier 2014. Si à l'avenir cette valeur vient à être révisée à nouveau, il sera donc nécessaire de prendre ces modifications en compte pour mettre à jour les valeurs de débit limite pour le fonctionnement de la centrale.

CENTRALE DE CRUAS

Le circuit de refroidissement de la centrale de Cruas fonctionne avec des aéro-réfrigérants et exerce des contraintes bien plus faibles sur le fleuve en terme de charge thermique. « Les contraintes de production liées à l'échauffement sont plus faibles qu'à Tricastin ». Les débits limites fixés à Viviers pour la centrale de Tricastin sont donc suffisants pour permettre le bon fonctionnement de ce CNPE.

3.4 PROPOSITION DE COUPLES DEBIT/TEMPERATURE POUR SATISFAIRE LES USAGES PRIORITAIRES (AEP ET SURETE DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES)

L'objectif strict fixé par le cahier des charges pour cette phase 3 était de définir des conditions limites en débit et température pour les usages AEP et le fonctionnement des installations nucléaires.

On rappellera toutefois l'ensemble des conclusions du présent rapport, y compris pour d'autres usages.

CENTRALES NUCLEAIRES

Des débits limites pour le fonctionnement des centrales nucléaires du Rhône ont été déterminés. Ils correspondent à un débit :

- ▶ qui permet d'assurer en permanence la production d'un minimum d'électricité nécessaire pour la sécurité civile (équilibre du réseau électrique, alimentation en eau potable, hôpitaux, etc.) tout en respectant les milieux aquatiques ;
- ▶ qui risque d'être rencontré sur le Rhône en moyenne une fois tous les 30 ans (dans les conditions climatiques actuelles et compte tenu des prélèvements et de la gestion actuelle des ouvrages sur le fleuve).

Les débits proposés sont

- 130 m³/s à Lagnieu (pour la centrale de Bugey),
- 205 m³/s à Ternay (pour la centrale de Saint-Alban),
- 320 m³/s à Viviers (pour la centrale de Tricastin ; cette condition est également suffisante pour assurer le bon fonctionnement du CNPE de Cruas).

Suivant la température du fleuve, ces seuils correspondent à différents niveaux de production des CNPE (voir Tableau 7).

ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Températures

Les températures limites de l'eau à potabiliser et de l'eau distribuée sont fixées par le code de la santé publique à 25 °C, et ce pour éviter la prolifération de bactéries. Cette température est cependant dépassée chaque été, sans que cela empêche les gestionnaires AEP d'assurer l'approvisionnement. Il ne semble donc pas pertinent de retenir cette valeur comme un facteur limitant pour l'AEP.

Débits pour les prélèvements en nappe

Comme mentionné plus haut, il apparaît que les étiages du fleuve Rhône n'ont qu'un impact mineur et localisé sur la productivité des nappes alluviales associées. Le captage du Grand Lyon est le seul prélèvement souterrain pour l'AEP à être dans une position de forte dépendance aux débits du Rhône. En effet, la productivité du champ captant est sensible aux variations de débit du fleuve et des débits faibles favorisent le colmatage des captages. Le Grand Lyon estime qu'en **dessous de 60 m³/s dans le vieux Rhône, le fonctionnement de son système d'approvisionnement est menacé.**

Débits pour les prélèvements superficiels

Les prélèvements sur le fleuve pour l'alimentation en eau potable se limitent :

- ▶ au prélèvement du réseau BRL, qui n'a pas signalé de problème en lien avec les débits du Rhône pour l'alimentation de sa prise ;
- ▶ et à celui de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer. Bien que le gestionnaire du captage ait toujours réussi à éviter l'interruption du service d'approvisionnement en eau potable, ce dernier prélèvement est plus problématique. La commune est confrontée de façon occasionnelle à des problèmes de quantité d'eau disponible (débit trop faible pour un fonctionnement satisfaisant des pompes au niveau du point de prélèvement). Il n'a pas été possible de faire le lien entre les périodes indiquées par le responsable du prélèvement de la commune comme des épisodes de tension et des débits particulièrement bas du Rhône.

RIZICULTURE

Les riziculteurs sont régulièrement gênés par des remontées du coin salé (environ une année sur deux). Ces phénomènes ont généralement lieu en fin de saison (fin du mois d'août) et les obligent à interrompre pendant quelques jours les pompages mais ne compromettent pas de façon trop importante les récoltes.

Des phénomènes exceptionnels peuvent par contre être plus dommageables aux riziculteurs. Cela a été le cas en 2011, où une baisse exceptionnelle des débits a eu lieu au printemps et a favorisé une remontée du coin salé à une période où le riz est particulièrement sensible.

La mise en parallèle des débits mesurés sur le Rhône et de la fréquence des périodes où le coin salé pose des problèmes pour les riziculteurs semble montrer **qu'un débit de plus de 600 à 800 m³/s doit être maintenu dans le Rhône aux stades critiques du développement du riz (principalement mai et juillet).**

CONCLUSION

Les éléments disponibles ne permettent pas de trancher sur des valeurs seuils pour l'usage AEP, à l'exception du besoin minimum de 60 m³/s dans le Rhône court-circuité à l'amont de Lyon pour l'alimentation du Grand Lyon.

Les débits limites du Rhône pour le fonctionnement des CNPE vis-à-vis d'une problématique de sécurité de la production électrique nationale sont estimés à l'échelle journalière et sont de :

- ▶ 130 m³/s à Lagnieu, pour la centrale de Bugey,
- ▶ 205 m³/s à Ternay, pour la centrale de Saint-Alban,
- ▶ 320 m³/s à Viviers, pour la centrale de Tricastin. Cette condition est également suffisante pour assurer le bon fonctionnement du CNPE de Cruas.

Suivant la température du fleuve, ces seuils correspondent à différents niveaux de production des CNPE (voir Tableau 7)

Bien que l'irrigation ne soit pas considérée comme un usage prioritaire, soulignons que les riziculteurs de Camargue souffrent certaines années de la remontée du coin salé. Au cours des périodes de forte sensibilité du riz (mai et de juillet à mi-août), des débits supérieurs à 600 m³/s, voire 800 m³/s, limitent la remontée du coin salé.

ANNEXES

Annexe 1 : Evolution de l'approche des débits limites pour les CNPE au cours de l'étude

On rappelle ci-après les principales étapes de la réflexion sur les débits et températures limites conduite dans le cadre de la présente étude.

- ▶ Février 2013 : premiers échanges et demandes d'information à EDF, entre autres sur les débits minimums dans le Rhône pour la sécurité des centrales ainsi que les conditions limites pour le fonctionnement de chacune des centrales (remise d'un tableau vierge à compléter). Présentation par le SEPTEN (Service Etudes et Projets Thermiques et Nucléaires de EDF) des contraintes de sureté sur l'utilisation de la ressource en eau : fonctionnement d'une centrale, prises d'eau du Rhône, fonctions source froide, système d'eau brute secourue, agressions basses eaux.
- ▶ Décembre 2013 : fourniture par EDF de valeurs de débits étudiés dans les scénarios de caractérisation des situations de PBES (plus basses eaux de sécurité). Pour la CNPE de Bugey, le tableau indique 130 m³/s avec la mention « 4 tranches en fonctionnement ». Pour les autres CNPE, toutes situées en aval de Lyon, les Plus Basses Eaux de sécurité ne dépendent plus de l'hydrologie car les centrales sont positionnées sur des retenues. Il n'y a donc pas de relation univoque entre une hauteur d'eau correspondant à la cote de l'entonnement du canal de dérivation, et le débit du fleuve au même endroit. Pour ces centrales, une cote correspondant aux plus basses eaux de sécurité est fixée dans le rapport de sureté. Les débits minimum pris en compte dans les scénarios de caractérisation des PBES correspondent à des hypothèses concomitantes de basses eaux du Rhône et d'une défaillance d'ouvrages en aval des CNPE (voir tableau ci-dessous). Des débits inférieurs sur le Rhône peuvent suffire à assurer la sécurité des centrales en l'absence de catastrophe sur les aménagements situés à leur aval.

Centrale	Debit min (m ³ /s)	Conditions exploitation ou défaillance associées
Bugey	130	4 tranches en fonctionnement
Saint-Alban	222	Effacement du barrage de Saint Pierre de Boëuf
Cruas	358	Défaillance de vanne sur le barrage de Rochemaure
Tricastin	298	Ouverture interpestive des déchargeurs de l'usine de Bollène

- ▶ Janvier 2014 : la réunion en comité de pilotage du 16 janvier 2014 a mis en évidence une incompréhension de l'interprétation et de l'utilisation faites des débits minimum décrits ci-dessus. Contrairement à ce qu'avaient compris l'Agence et le bureau d'étude, les débits limites indiqués par EDF précédemment ne sont pas utilisés comme débits d'alerte et leur sous-passement ne provoque pas le déclenchement de procédures particulières. Ce sont des éléments de scénario. Prise de conscience collective sur le besoin de plutôt se pencher sur les conditions de fonctionnement des centrales. La centrale du Bugey est la seule à disposer d'éléments dans son rapport de sureté concernant la production de ses réacteurs en toute sureté avec un débit qui s'établit à 130 m³/s.
- ▶ Février 2014 : une réunion est programmée afin de discuter des valeurs à retenir. Cette réunion est finalement annulée.
- ▶ La DREAL sollicite l'ASN par courriel en date de 30/01/2014. Réponse de l'ASN par courriel le 11 février 2014. Ce courriel indique les points suivants :
 - Actualisation de certaines valeurs de débit limite de dilution et de température maximum à l'aval de certaines des centrales (réactualisation des arrêtés fixant les limites environnementales à respecter par les CNPE),
 - En terme de « plus basses eaux de sécurité » le courrier cite le débit de 65 m³/s pour Bugey et des valeurs de niveau minimum pour les trois autres centrales,

- Il indique également le débit de 130 m³/s pour Bugey pour la « *production de ses réacteurs en toute sûreté* » et mentionne qu'il n'y a pas de données équivalentes pour les autres centrales dans leur « rapport de sûreté ».
 - En conclusion, ce courrier renvoie vers l'Etat pour l'arbitrage sur la priorité à donner au fonctionnement des centrales.
- 27 février 2014 : Réunion de travail (Agence, DREAL, ONEMA et BRLi) pour faire le point sur les valeurs de DOE et DCR à fixer au niveau des points de référence et les débits seuils pour les centrales nucléaires.
- Il est convenu que la question de la sûreté technologique des centrales en condition ultime (conditions pour le refroidissement du cœur de la centrale à l'arrêt) n'est plus abordée dans le cadre de l'étude. L'étude se recentre sur la question de la sûreté vis-à-vis de la production électrique nationale. La question devient : en deçà de quel débit du Rhône y-a-t-il une diminution de la production d'énergie des CNPE qui devient critique vis-à-vis des besoins d'électricité du réseau national ?
- 15 avril 2014: une dernière réunion est programmée avec EDF et l'ASN (ainsi que l'Agence, la DREAL et BRLi) afin de déterminer quelles valeurs sont les plus appropriées pour être utilisées dans le cadre de l'étude. L'ASN n'a finalement pas pu être représentée à cette réunion. Il a été convenu à l'issue de cette réunion qu'EDF produirait un document précisant les débits limites du Rhône nécessaires au fonctionnement des centrales nucléaires dans les conditions définies en concertation avec l'ASN et la DREAL.
- Le 23 mai 2014, une note technique d'EDF est transmise par l'Agence de l'Eau à BRLi. Cette note présente les analyses faites par EDF et des propositions de débits limites pour le fonctionnement des centrales.

Annexe 2 : Note technique d'EDF pour la proposition de DOE et DCR

C. PERRET

Date 23/04/2014

NOTE TECHNIQUE
Etude quantitative Rhône
Position d'EDF vis à vis des DOE et des DCR

H-44200965-2014-0172-A

Indice : A

8 Pages

annexe(s)

0 pièce(s) jointe(s)

Entité émettrice :

Documents associés :

Résumé :

Le présent document précise les propositions d'EDF quant à la fixation des Débits de Crise Renforcée sur le linéaire du Rhône en considérant le fonctionnement en toute sécurité des CNPE du Rhône.

Pour Bugey (Pont de Lagnieu), la valeur de 130 m³/s qui correspond à la limite basse du fonctionnement du site est proposée.

Pour les sites de St Alban et Tricastin, l'analyse est basée sur une étude de simulation des baisses de production liées aux contraintes hydrologiques et thermiques encadrant actuellement le fonctionnement des centrales à partir des chroniques de 1977 à 2011. Au final, les valeurs proposées sont calées approximativement sur une période de retour cinquantennale : 200 m³/s pour St Alban (Ternay) et 300 m³/s pour Tricastin (Pont de Viviers) sachant que cette dernière valeur vaudra également pour Cruas.

Intérêt documentaire : Non

Documentation de référence : Non

Accessibilité :

Libre

1. CONTEXTE

Le SDAGE du bassin Rhône Méditerranée promulgué en 2009 n'avait pas précisé les valeurs de Débits Objectifs d'Étiage (DOE) et Débits de Crise Renforcée (DCR) du fait de la faiblesse des connaissances des acteurs du bassin sur l'état de la ressource en eau et du niveau des pressions anthropiques. Le prochain SDAGE 2016-2021 qui sera publié en décembre 2015 doit corriger ce manque. Aussi, des études ont été commanditées par les services de l'État et l'Agence de bassin pour déterminer d'une part, les volumes prélevables sur les affluents et d'autre part, pour quantifier l'état de la ressource et des pressions anthropiques sur le linéaire du fleuve. In fine, des valeurs de DOE et de DCR pourront être affichées. Dans le cadre de cette dernière étude et à la demande de l'Agence et de la DREAL, EDF comme d'autres parties prenantes, a été amenée à s'investir dès l'écriture du cahier des charges et par la suite, dans le comité de pilotage. P. Tourasse (DPIH-CE) et C. Perret (DPIH – DTG) sont les représentants d'EDF.

Dès l'enclenchement de l'étude, un point majeur pour EDF a retenu notre attention :

Le fonctionnement normal des CNPE de la vallée du Rhône est encadré par des contraintes hydrologiques et thermiques en application des prescriptions inscrites dans les arrêtés d'autorisation de rejets et de prise d'eau (DARPE). Ces prescriptions prévoient aussi des dispositions particulières en cas de conditions climatiques exceptionnelles. Par ailleurs, on précise que le sous passage du DCR peut entraîner une restriction des usages autres que la satisfaction des besoins biologiques, l'eau potable et la sécurité civile et que par conséquent, les capacités de production des centrales pourraient être réduites dans ces conditions.

Les premières phases de l'étude n'ont pas soulevé de questions majeures pour EDF. Le bureau d'étude mandaté (BRLi) a produit un travail d'étude sur l'hydrologie et d'inventaire des usages qu'EDF a jugé de qualité et de nature à enrichir le niveau de connaissance globale des parties prenantes, EDF compris.

Au début de l'année 2014, des difficultés sont apparues au moment où l'étude a abordé la question du lien entre le débit du fleuve et les niveaux de contrainte des différents usages. Elles se sont cristallisées lorsque l'Agence, la DREAL et leur BE ont fait le constat suivant :

Que ce soit pour l'eau potable, la biologie et la sûreté des CNPE, les contraintes ne dépendent pas du débit du fleuve mais du niveau d'eau dans les biefs aménagés, à l'exception du site du Bugey pour lequel une valeur de débit de production en toute sûreté est effectivement précisée du fait de sa situation particulière en amont du bassin du Rhône et de la configuration de sa prise d'eau

La DREAL a sollicité l'avis de l'ASN sur le projet de rapport de phase 3 de l'étude visant à déterminer les conditions limites (débit et température) pour les usages spécifiques, notamment concernant le fonctionnement des centrales nucléaires et la production d'électricité en période de « basses eaux ». L'ASN a produit un courrier qui précise les conditions de fonctionnement et de sûreté des CNPE du Rhône [CODEP-LYO-2014-007086]. Coté EDF, nous avons réuni SEPTEN, CIDEN et UNIE, unités d'ingénierie du parc nucléaire, pour bien préciser à la fois les contraintes et l'état d'avancement dans l'instruction des différents dossiers concernant le fonctionnement et la sûreté.

Une réunion de synthèse a eu lieu le 15 avril à Lyon à la DREAL. Elle a réuni outre la DREAL, l'Agence de bassin, le bureau d'étude BRLi et EDF. Elle a permis de définir la position suivante :

- ✓ La sûreté des tranches dans les conditions ultimes est assurée sur le Rhône et n'est pas dimensionnante pour délivrer les valeurs de DCR et de DOE.
- ✓ Considérant que l'objectif visé par l'étude consiste à assurer la sécurité civile, elle doit considérer qu'un « fonctionnement des tranches en toute sûreté » peut être assuré lorsque le DCR est atteint.
- ✓ Les représentants d'EDF et des Services de l'État ont précisé d'autre part que l'observation du DCR ne devait pas remettre en question le fonctionnement actuel des CNPE au sens où ce dernier est déjà encadré par un document réglementaire : le DARPE qui prend notamment en compte les besoins des milieux aquatiques.
- ✓ **Il a été convenu qu'EDF produirait un document qui précise les valeurs de DCR qui seraient pertinentes d'un point de vue hydrologique et environnemental au regard des objectifs de fixation des DCR et qui permettraient le fonctionnement en toute sécurité des CNPE du Rhône, en particulier pour les situations où le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement des CNPE à un niveau de puissance minimal ou pour lesquelles l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite le fonctionnement des CNPE.**

Le présent document répond à la demande de la DREAL Rhône Alpes. On procède par inventaire des contraintes de chaque CNPE.

2. INVENTAIRE DES CONTRAINTES

Les contraintes hydrologiques et thermiques encadrant le fonctionnement des CNPE sont précisées par des arrêtés d'autorisation de rejets et de prise d'eau communément appelés DARPE et par un rapport de sûreté. Le courrier de l'ASN [CODEP-LYO-2014-007086] a repris les principales dispositions de ces documents pour les CNPE du Rhône.

2.1. CNPE DE BUGEY

Comme le rappelle le courrier cité en référence, le rapport de sûreté du CNPE définit la valeur de 130 m³/s comme étant le débit de production en toute sûreté du CNPE. Le débit des Plus Basses Eaux de Sécurité (PBES) s'établit quant à lui à 65 m³/s.

Le DARPE précise de son côté que la valeur de débit de 130 m³/s constitue la valeur basse pour laquelle le CNPE est autorisé à effectuer des rejets.

Le lac Léman situé en amont du CNPE de Bugey constitue un élément régulateur fondamental des débits du Haut Rhône notamment en période de basses eaux. Le règlement d'eau qui lui est associé et qui est opéré par les Services Industriels de la ville de Genève (SIG) autorise des variations qu'EDF doit anticiper pour la gestion du CNPE. La convention entre la France et la Suisse dite des « mesures d'exécution des eaux d'Arve » et le protocole de gestion hydraulique coordonnée du Rhône conclu entre EDF et CNR permettent de garantir au maximum le respect de la valeur de 130 m³/s. Le sous passement éventuel de cette valeur étant bien entendu intégré dans les dispositions réglementaires applicables du DARPE.

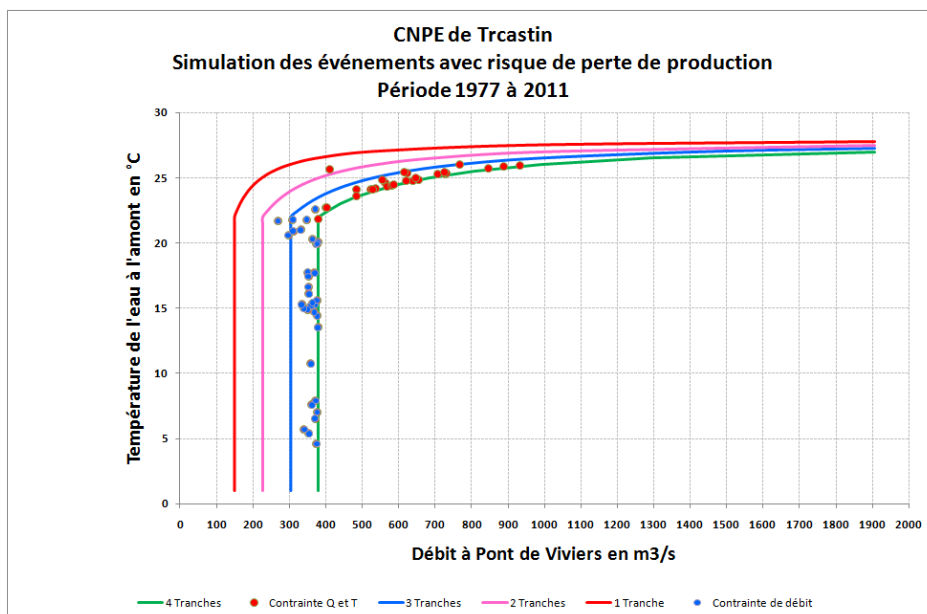
Au final pour EDF, un DCR fixé à 130 m³/s au point nodal de Pont de Lagnieu n'engendrerait aucune contrainte supplémentaire par rapport aux dispositions réglementaires applicables.

2.2. CNPE DE TRICASTIN

Les conditions limites de fonctionnement telles que rappelées par le courrier cité en référence [CODEP-LYO-2014-007086] peuvent être représentées de manière graphique. La particularité du CNPE de Tricastin est d'être situé au bord du canal usinier de l'usine CNR de Bollène et que par conséquent le débit qui transite au droit de la centrale correspond à celui qui est observé au point nodal de Pont de Viviers auquel il faut retrancher le débit réservé du barrage de Donzère. A partir des chroniques de débits (Pont de Viviers) et de températures de l'eau (Amont CNPE) observées de 1977 à 2011, on peut effectuer une simulation des situations où des pertes de production auraient ou ont été enregistrées avec les contraintes hydrologiques et thermiques actuelles encadrant le fonctionnement du CNPE.

La simulation est effectuée avec une hypothèse d'un débit réservé de 74 m³/s au barrage de Donzère. Cette valeur est celle qui est en place depuis le 1 janvier 2014.

Le graphique ci-dessous représente donc les limites de fonctionnement du CNPE relativement au débit disponible au point nodal de Pont de Viviers



Le DARPE prévoit deux types de restrictions :

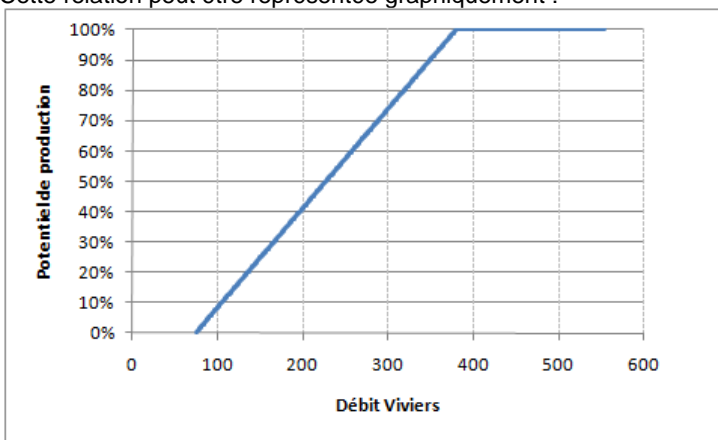
- Une limitation de la température aval à 28°C où c'est le couple débit température de l'eau qui pilote le fonctionnement.
- Une limitation de l'échauffement - Température aval moins Température amont – à 6°C lorsque le débit est inférieur à 480 m³/s et à 4°C dans le cas où le débit est supérieur à 480 m³/s. Dans ce cas, en pratique, seul le débit pilote le fonctionnement.

Le CNPE doit baisser sa charge thermique lorsque l'une des deux limites est atteinte. C'est ainsi que lorsque le débit devient faible, la seconde condition prime toujours sur la première et de fait, la seule baisse du débit entraîne inmanquablement une baisse de la charge thermique disponible.

La capacité de production du CNPE peut être modélisée en première approche par la relation suivante :

$$\% \text{ Pr od} = \min\left(1; \frac{\text{delta}T \cdot Q_{\text{Rhône}}}{6^{\circ}\text{C} \cdot Q_{\text{pompesCNPE}}}\right)$$

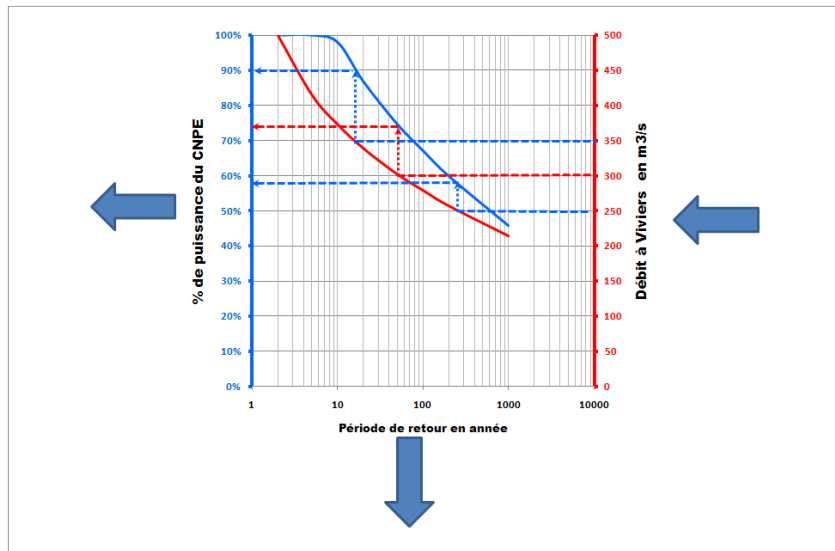
Cette relation peut être représentée graphiquement :



On visualise bien qu'en dessous d'un certain débit propre à un type de fonctionnement (Nombre de tranches en service), le fonctionnement est limité car le critère d'échauffement est atteint. Ainsi :

- En dessous de 305 m³/s sur le canal de Donzère soit **379 m³/s en amont**, on ne peut plus fonctionner à 4 tranches. Période de retour entre 5 et 10 ans.
- En dessous de 229 m³/s sur le canal de Donzère soit **303 m³/s en amont**, on ne peut plus fonctionner à 3 tranches. Période de retour de l'ordre de 50 ans.
- En dessous de 153 m³/s sur le canal de Donzère soit **227 m³/s en amont**, on ne peut plus fonctionner à 2 tranches. Période de retour de l'ordre de 1000 ans.
- En dessous de 76 m³/s sur le canal de Donzère soit **150 m³/s en amont**, on ne peut plus fonctionner à 1 tranche. Période de retour >>1000 ans.

On peut proposer un abaque permettant d'affiner la prise de décision :

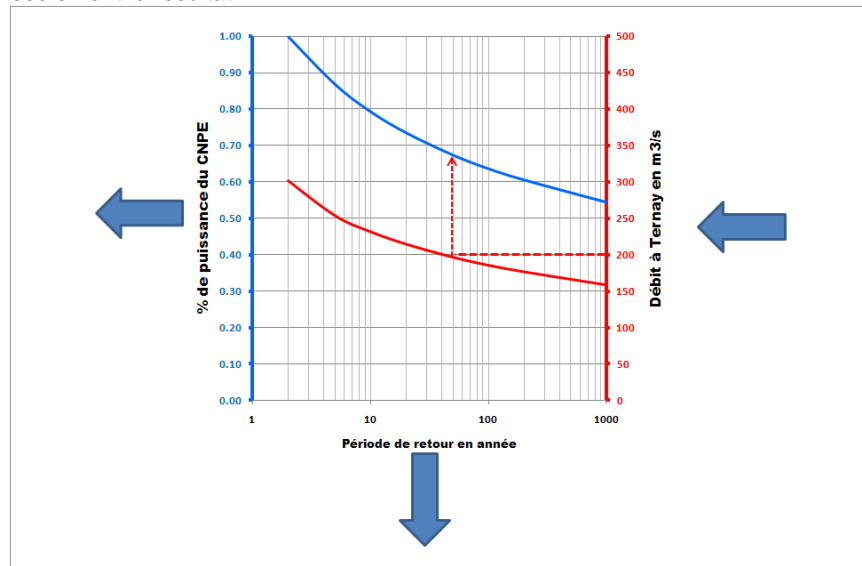


Connaissant le DCR à Viviers qui serait choisi, on déduit le pourcentage de puissance que l'on peut perdre et sa période de retour associée.

Ainsi, pour DCR = 250 m³/s débit moyen journalier dont la période de retour vaut approximativement 250 ans, la capacité de production est réduite de 40 environ % durant un jour au moins.
 Pour DCR = 300 m³/s débit moyen journalier dont la période de retour vaut approximativement 50 ans, la capacité de production est réduite de 25 % environ durant un jour au moins.
 Pour DCR = 350 m³/s débit moyen journalier dont la période de retour vaut approximativement 15 ans, la capacité de production est réduite de 10 % environ durant un jour au moins.

2.1. CNPE DE ST ALBAN

On ne reprend pas l'ensemble de la démonstration pour le CNPE de St Alban car le développement serait identique à celui de Tricastin. On présente seulement le résultat.



Ainsi, pour DCR = 160 m³/s débit moyen journalier dont la période de retour vaut approximativement 1000 ans, la capacité de production est réduite de 45% environ durant un jour au moins.
 Pour DCR = 200 m³/s débit moyen journalier dont la période de retour vaut approximativement 50 ans, la capacité de production est réduite de 35% environ durant un jour au moins.
 Pour DCR = 250 m³/s débit moyen journalier dont la période de retour vaut approximativement 6 ans, la capacité de production est réduite de 15% environ durant au moins un jour.

3. POSITION D'EDF

EDF a bien intégré que la position de la DREAL consisterait à intégrer le fonctionnement des CNPE comme un usage prioritaire compte tenu de sa contribution à la sécurité publique en particulier dans les situations déjà prévues par les DARPE où le réseau de transport d'électricité (RTE) requiert le fonctionnement des CNPE à un niveau de puissance minimal ou pour lesquelles l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite le fonctionnement des CNPE. De ce fait, le fonctionnement actuel des CNPE ne serait pas remis en question. Par ailleurs, le retour d'expérience fait par EDF sur les autres fleuves où sont implantés des CNPE montre que pour rester sur une notion de crise, il n'est de l'intérêt d'aucune des parties prenantes que ces situations soient trop fréquentes. De fait, les valeurs retenues pour les DCR de la Garonne ou de la Loire positionnés au voisinage de CNPE n'ont jamais été observées durant les 30 dernières années. Pour la Garonne en particulier, le DCR correspond est calée pour une période avoisinant les 100 ans.

Les textes réglementaires en vigueur encadrant le fonctionnement des CNPE prévoient déjà les conditions de baisse de charge liées à de faibles débits dans le Rhône. La démonstration qui a été faite précédemment des capacités de production en toute sûreté montre qu'EDF intègre parfaitement ces baisses de charge dans ses programmes de production. De plus, EDF grâce à ses moyens de prévision a mis en place toute une organisation qui anticipe ces situations et dans la mesure du possible, active des leviers qui sont à sa disposition pour les limiter. Par conséquent, pour les CNPE de St Alban et de Tricastin, EDF propose la fixation d'un DCR sur la base d'une période de retour cinquantennale .

Considérant les éléments techniques détaillés dans ce document et les objectifs de la fixation des valeurs de DCR, EDF est en mesure de faire les propositions suivantes concernant les valeurs des DCR aux points nodaux du Rhône. En réponse à la demande de l'agence de l'eau et de la DREAL, deux scénarios encadrant les propositions faites sont présentés avec leur fréquence d'incidence.

Pour St Alban, une valeur de DCR égale à 200 m³/s au point nodal de Ternay serait observée avec une période de retour de 50 ans environ. **Cette valeur conduirait à une baisse de production de l'ordre de 35% durant un jour par stricte application de l'arrêt d'exploitation.**

Un DCR fixée à 160 m³/s à Ternay serait évidemment moins fréquent : 1 année sur 1000 environ.

A l'inverse, un DCR fixé à 250 m³/s à Ternay serait observé avec une période de retour de 6 ans environ. Cette situation plus fréquente ne correspond pas à la notion de crise. Elle pourrait impacter le fonctionnement actuel du CNPE sans plus-value en termes de protection des milieux aquatiques (du fait de la prise en compte actuelle des besoins des milieux aquatiques dans la préparation des DARPE) et pourrait avoir des impacts sur la production d'électricité en cas de restriction d'usage.

Pour Tricastin, une valeur de DCR égale à 300 m³/s au point nodal de Pont de Viviers serait observée avec une période de retour de 50 ans environ. **Cette valeur conduirait à une baisse de production de l'ordre de 25% durant un jour par stricte application de l'arrêt d'exploitation.**

Un DCR fixé à 250 m³/s à Pont de Viviers serait évidemment moins fréquent : 1 année sur 250.

A l'inverse, un DCR fixé à 350 m³/s à Pont de Viviers serait observé plus fréquemment : 1 année sur 15 environ. Cette situation plus fréquente ne correspond pas à la notion de crise. Elle pourrait impacter le fonctionnement actuel du CNPE sans plus-value en termes de protection des milieux aquatiques (du fait de la prise en compte actuelle des besoins des milieux aquatiques dans la préparation des DARPE) et pourrait avoir des impacts sur la production d'électricité en cas de restriction d'usage.

Le CNPE de Cruas dépend également du point nodal de pont de Viviers. Le CNPE de Cruas étant équipé d'aéroréfrigérants, les contraintes de production liées à l'échauffement sont plus faibles qu'à Tricastin.

Pour le CNPE de Bugey, la contrainte de sûreté en fonctionnement fixée à 130 m³/s conditionne l'exploitation du CNPE. Par conséquent, on propose de fixer le DCR à 130 m³/s. Cette disposition ne rajoute aucune contrainte supplémentaire à la situation actuelle.

On propose ci-après une vision graphique en intégrant la notion de DOE que l'on a assimilé en première approche au QMNA5.

