

CONSEIL
SCIENTIFIQUE
DU COMITÉ
DE BASSIN
RHÔNE
MÉDITERRANÉE



ETUDE DE L'IMPACT THERMIQUE DES CENTRALES
NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE SUR LE
RHÔNE – PHASE IV

Avis sur le contenu des résultats sur les volets hydrologie-
thermie (lot 5) et thermie-biologie (lots 3 et 7)

JUIN 2014

ETUDE DE L'IMPACT THERMIQUE DES CENTRALES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE SUR LE RHÔNE – PHASE IV

AVIS SUR LE CONTENU DES RESULTATS SUR LES VOLETS HYDROLOGIE-THERMIE (lot 5) ET THERMIE-BIOLOGIE (lots 3 et 7)

L'impact des rejets thermiques des CNPE sur le fleuve Rhône est étudié depuis 2000 à la demande du Préfet coordonnateur de bassin, suite à une recommandation du conseil scientifique du comité de bassin en mars 1999. Trois premières phases d'étude ont été menées par Electricité de France jusqu'en 2007. En 2009, EDF a proposé au Préfet coordonnateur de bassin de lancer une phase IV, pour mieux comprendre les relations entre température et biologie, avec pour objectif final de réunir des éléments pouvant éventuellement conduire à une évolution de la réglementation française en matière de rejets thermiques.

Le suivi des études est assuré par un comité de pilotage présidé par délégation du Préfet de bassin par la DREAL Rhône-Alpes, délégation de bassin, qui associe l'agence de l'eau, l'ONEMA, le Service navigation Rhône-Saône (jusqu'en 2010), l'Agence régionale de santé (ARS), les organismes scientifiques prestataires d'EDF (IRSTEA, l'Université Lyon 1) et depuis 2009, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), le conseil scientifique du comité de bassin et la Compagnie nationale du Rhône (CNR).

Le Préfet coordonnateur de bassin a souhaité bénéficier de l'appui du conseil scientifique du comité de bassin qu'il a saisi le 27 juillet 2009. Le comité de pilotage de l'étude bénéficie ainsi de l'appui du conseil scientifique tout au long de la réalisation de cette phase IV :

- un avis sur les projets de cahier des charges élaborés par EdF. Les études étaient déjà très largement engagées lorsque le conseil scientifique a été saisi ; toutefois deux volets ont été ajoutés à la demande du conseil scientifique, l'un concernant les relations hydrologie-thermie et l'autre relatif la bactériologie ;
- un appui scientifique direct au comité de pilotage durant les études, assuré par Daniel Gerdeaux, président du conseil scientifique ;
- un avis sur les conclusions de la phase IV, impliquant un examen par le conseil scientifique des rapports finaux ainsi que des éléments de synthèse et de communication produits à l'issue de l'étude.

Concernant le cahier des charges, deux avis ont déjà été rendus et publiés : un avis initial (novembre 2009) et un avis complémentaire (juillet 2010).

C'est sur l'examen des résultats de la phase IV que porte le présent avis.

La réalisation des études, l'examen de leurs résultats et l'extraction des principaux enseignements (dans les rapports techniques et les synthèses communicantes) aura été un processus long. Les dernières versions des rapports ont ainsi été fournies au conseil scientifique le 26 février 2014. C'est pourquoi deux avis partiels ont déjà été produits, afin de permettre à EdF d'intégrer au mieux et le plus vite possible les observations du conseil scientifique :

- un premier avis partiel sur le lot 5 de l'étude (relations hydrologie et température du fleuve) transmis au Préfet en juin 2013 ;
- un second avis partiel concernant la biologie et les éléments de la synthèse sur ce thème, transmis au Préfet en octobre 2013 ;
- une nouvelle version du rapport sur le lot 5 a été remise en février 2014. Un avis complémentaire sur les résultats relatifs aux relations entre hydrologie et température du fleuve a été formulé en juin 2014.

Le présent avis intègre les avis et recommandations de ces trois étapes dans un document unique, structuré de la manière suivante :

- une synthèse générale ;
- le volet hydrologie et température (avis de juin 2014 accompagné de l'avis partiel de juin 2013) ;
- le volet biologie (avis partiel d'octobre 2013, légèrement amendé en juin 2014).

Un lien sera prochainement ajouté sur le site de bassin pour accéder aux rapports dès qu'ils seront dans leur version définitive (www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr - Rubrique : Usages et Pression – Industrie.

1. SYNTHESE

L'avis du conseil scientifique porte sur les résultats de la phase IV de l'étude EdF pour deux volets majeurs : les relations entre la température et l'hydrologie du fleuve ; les relations entre la température et la biologie du fleuve.

1.1 Résultats sur les relations entre hydrologie et température du Rhône

1.1.1 *Les rapports techniques*

Le conseil scientifique souligne un très gros effort d'objectivation, de clarification et de présentation des résultats au regard des versions précédentes des rapports. Ces améliorations répondent à la plupart des remarques faites dans l'avis partiel du conseil scientifique de juin 2013, déjà transmis : résumé reformulé, rappel des résultats des phases antérieures, encadrés de conclusions des chapitres revus ; contribution des différentes sources thermiques plus explicite (les rejets des centrales nucléaires sont à nouveau mentionnés) ; reformulation des questions auxquelles le projet doit répondre, précisions sur les modélisations par réseaux de neurones.

Quelques points restent encore en suspens, mais ils sont liés à la **gouvernance générale de l'étude** : l'absence de référence sur d'autres grands cours d'eau mais, aussi, un cahier des charges insuffisamment défini en amont de cette phase IV. Le second point se révèle, comme signalé en juin 2013, par la difficulté du rapport à faire converger les enjeux industriels et les enjeux environnementaux, convergence qui constitue pourtant un des défis majeurs du développement durable. Il se traduit par un déficit de jeux d'hypothèses de travail, de livrables et d'objectifs finalisés pour répondre aux besoins des gestionnaires.

Le dernier rapport identifie plus clairement, dans la période étudiée (1920-2010), que le régime thermique des eaux du Rhône a changé à partir des années 1987-1988. L'augmentation des températures moyennes annuelles en à peu près un siècle est quasi exclusivement attribuable à la période 1988-2010 : sur un siècle de régime thermique reconstitué, la période antérieure à 1988 est globalement stationnaire, alors que 1988 marque une rupture et que la période qui suit présente un changement significatif de tendance. La période 1987-1988 marque simultanément le passage à une production nucléaire à plein régime et à des températures de l'air atmosphérique plus élevées. A l'échelle mensuelle, cette augmentation interannuelle est sensible sur presque tous les mois, avec un maximum pendant les mois d'été. Les résultats confirment que la période des grands aménagements hydrauliques entre 1950 et 1970 ne s'accompagne pas d'un changement du régime thermique moyen annuel du fleuve.

1.1.2 - *Les synthèses des résultats*

Un effort considérable a été consenti pour refondre ces synthèses dont la rédaction et le rendu ont été très nettement améliorés. Dans son avis en juin 2013, le conseil scientifique estimait que les résumés non techniques (à l'instar des encadrés-résumés des rapports techniques) n'étaient pas à la hauteur du travail fourni, par un manque de consolidation suffisante des résultats individuellement intéressants. Ces lacunes ont été comblées dans le dernier rapport, dans la limite du cadre non entièrement satisfaisant du cahier des charges initial.

Enfin, **les grandeurs utilisées dans les calculs sont des variables moyennées qui ne traduisent pas nécessairement toutes les variabilités, instantanées ou locales** : la synthèse courte montre bien que l'évaluation des échauffements à l'aval du CNPE de Bugey vaut pour l'eau du fleuve après mélange total alors que **des échauffements nettement supérieurs peuvent être mesurés localement**.

1.2 Résultats sur les relations entre températures du fleuve et biologie

1.2.1 Les rapports techniques

Le conseil scientifique a souligné l'impossibilité de décrire finement les effets des rejets thermiques au moyen d'espèces indicatrices, car l'impact des barrages et les tendances climatiques masquent les impacts des rejets. Par ailleurs, le choix du modèle « crustacés » est discutable car ceux-ci sont déplacés dans les ballasts des bateaux ou via les embarcations de loisirs. La part des facteurs environnementaux dans la dynamique de leurs populations est difficile à déterminer. **Le conseil suggère pour l'avenir de retenir le site de Bugey**, le plus favorable a priori pour affiner l'étude de ces effets, car il abrite une faune encore sensible à la température (la faune du fleuve plus à l'aval est plus banale et thermophile).

L'étude des peuplements de poissons, malgré de grosses difficultés pour cerner la dynamique des peuplements de cyprinidés, **a confirmé la dépendance à la température du déclenchement des pontes et des vitesses de croissance** (ceci dans les gammes de température favorables à l'espèce), précisé les stades de développement les plus vulnérables aux variations de débit... Mais **les auteurs concluent trop rapidement sur les effets favorables pour les espèces suivies d'une régulation des débits** par rapport aux débits naturels, alors que des processus d'autres natures peuvent opérer, par exemple par des effets de seuils (vitesses-limite, accélération-décélération des débits en interaction avec les abris que constitue les formes des rives ...) dont les occurrences sont rares et donc difficiles à capter dans un suivi court : par exemple, une seule restructuration de peuplement imputable à des crues a pu être observée en 1993-1994 sur une période d'une trentaine d'année.

Les poissons colonisent les habitats disponibles qui leur sont les plus favorables et l'étude a mis en évidence des seuils thermiques pour la mobilité **des espèces, qui se répartissent dans les veines d'eau selon leur préférence thermique**. Parmi les trois espèces étudiées (chevaine, barbeau, silure) seul le silure peut se maintenir à plus de 25°C.

Pour les invertébrés, le conseil scientifique estime impossible, ou à tout le moins très difficile, d'identifier des indicateurs thermiques en utilisant les traits écologiques, insuffisamment précis dans le référentiel actuel des préférences thermiques. Les assemblages d'invertébrés répondent à plusieurs paramètres simultanément ; **un assemblage pouvant expliquer par ses changements le seul facteur température reste très hypothétique**.

Les biofilms microbiens, dont l'étude avait été explicitement demandée par le conseil scientifique dans son avis sur le cahier des charges en 2010, montre qu'il existe sur le site de Bugey des **points de rupture** qui expliquent les changements de biofilms observés entre juillet et septembre 2012.

1.2.2 La synthèse des résultats

Le conseil scientifique a apprécié la qualité du document. Il regrette toutefois que les illustrations n'aient pas été retravaillées.

Cette synthèse ne souligne pas assez les résultats pertinents vis-à-vis de la question « fil rouge » de l'incidence croisée de l'hydrologie et de la thermie sur l'écologie du fleuve. Le travail derrière les résultats présentés est le fruit d'efforts conséquents de recueil de données parfois anciennes, d'échantillonnage et de suivis de terrain et d'analyse de données complexes qui méritent d'être mieux valorisés.

Enfin, **quelques messages des synthèses courte et longue devraient être revus, d'autres supprimés**, en général parce qu'ils résultent de **conclusions trop génériques** à partir de résultats acquis dans des conditions spécifiques non généralisables. A tout le moins, ces messages devraient être accompagnés des précisions nécessaires pour en cerner les limites d'interprétation.

2. HYDROLOGIE ET THERMIE DU FLEUVE

On distingue ci-après l'avis général, qui porte sur le fond du rapport hydrologie-thermie, des remarques éventuelles concernant les synthèses courte et longue, textes les plus lus, pour lesquels la forme et les formulations adoptées peuvent prendre une importance particulière. L'avis partiel rendu en juin 2013, auquel il est fait référence à plusieurs reprises, est repris in extenso et sans modification de contenu à la fin de ce volet.

2.1 Avis général sur le rapport

Un très gros effort d'objectivation, de clarification et de présentation des résultats et des conclusions a été fourni. Il convient de le saluer. Ceci répond également à la plupart des remarques faites par le conseil scientifique en juin 2013, relatives notamment à :

- la reformulation du résumé incluant une présentation des principaux résultats des phases précédentes ;
- la révision des encadrés synthétisant les conclusions principales de différents chapitres et sous chapitres ;
- la clarification des contributions des différents facteurs, dont les CNPE, influençant les températures du fleuve ;
- la reformulation des questions auxquelles le projet prétend répondre ;
- la description et l'utilisation des modélisations par réseau de neurones.

Quelques points, qui ont fait l'objet de remarques, parfois récurrentes, du conseil scientifique ne sont pas abordés. On ne doit pas oublier qu'ils ne relèvent pas spécifiquement des résultats obtenus ou des méthodologies développées dans la présente étude, mais qu'ils renvoient plus généralement à la faisabilité du pilotage, du moins du suivi scientifique et technique de telles études lourdes. On citera en particulier :

- l'insuffisance de définition initiale du cahier des charges, et la probable non disponibilité de certaines données exploitées ou acquises à l'occasion de l'étude, cette dernière question dépassant largement celle de la contrôlabilité des résultats par la communauté scientifique ;

- la suggestion, émise par le conseil scientifique, de rechercher des références possibles sur d'autres grands cours d'eau européens, qui a été peu suivie. Cette question excédait les moyens de la présente étude, mais elle reste une perspective très intéressante pour d'éventuels futurs développements.

Dans le détail, le nouveau rapport identifie plus nettement que dans la version antérieure la deuxième moitié de la décennie 1980-1990, précisément la période 1987-1988, comme marquant un changement de comportement du régime des températures du système. L'évolution séculaire de la température de l'eau sur l'ensemble de la période étudiée (1920-2010) est portée quasi-intégralement par la hausse des températures sur la seule période récente (1988-2010).

Un chapitre, nouveau chapitre 3.3, est dédié à l'évaluation de la contribution des rejets thermiques des CNPE à l'élévation des températures du Rhône. Il s'appuie également sur le constat d'une rupture dans la série des températures de l'air à partir de l'année 1987 et sur le fait que la période 1987-1988 marque à la fois le passage au plein régime de production nucléaire et à un régime thermique nouveau, plus chaud, de l'air atmosphérique.

Trois périodes marquent ainsi l'analyse des évolutions thermiques du système :

- la période ancienne (1920-1977) pré-équipement nucléaire fonctionnel ;
- la période intermédiaire (1978-1987) de montée en puissance progressive du parc nucléaire ;
- la période récente (1988-2010) où la puissance du parc est stabilisée.

L'effet des CNPE est évalué en comparant les températures de la période ancienne à celles obtenues dans la période récente avec ou sans rejets thermiques du parc nucléaire.

Ces analyses, bien conduites et très intéressantes, reposent pour partie sur la pertinence et la validité des modèles neuronaux, qui permettent de reconstituer les séries de données anciennes. Elles sont en cohérence avec le fait, établi par ailleurs, que la période d'installation des grands aménagements hydrauliques du Rhône (1950 – 1970) ne s'accompagne pas d'un changement significatif du régime thermique du fleuve. Il est important de noter que ces résultats sont établis en régime interannuel et ne sont pas valides pour les variables relatives à la gestion à des pas de temps plus fins (journaliers et infra, hebdomadaires et même saisonniers).

Sur l'analyse des leviers hydrauliques possibles sur la thermie du Rhône, le rapport inclut maintenant également les effets de modifications des débits de l'Ain, ce qui ne modifie pas les conclusions générales sur la relative faiblesse de ces leviers, actionnés individuellement. Les analyses marginalistes montrent que "seule l'activation synchrone de plusieurs leviers à des niveaux importants (plusieurs dizaines de m³/s supplémentaires chacun) permettrait d'arriver à un effet thermique de l'ordre du degré Celsius, notamment en situation chaude ; elles ne sont cependant pas totalement convaincantes dans la mesure où elles ne simulent pas vraiment ces activations conjointes des leviers d'action et les non linéarités avec lesquelles le système va les prendre en compte.

Enfin, les considérations sur les développements relatifs aux effets des modifications hydrologiques sur les écosystèmes aquatiques (chapitres 3.9 et 4.6 du rapport précédent), concernant le fonctionnement thermique du TCC de Péage et les analyses hydrologiques des évolutions du système en amplitude-durée-fréquence, ont été supprimées de la présente version.

2.2 Remarques sur les synthèses courte et longue

Il faut de même souligner l'effort consenti pour la refonte de ces synthèses dont la rédaction et le rendu ont été très nettement améliorés.

En se limitant à ce qui relève essentiellement de l'analyse des liaisons entre hydrologie et thermie, on fera essentiellement la remarque suivante : de manière générale, les grandeurs manipulées sont des variables moyennées dans l'espace ou le temps ; elles ne traduisent pas nécessairement toutes les variabilités, éventuellement perceptibles sur les grandeurs instantanées ou locales. Au moment de lire les synthèses, il convient de garder en mémoire ce point - qui avait été mentionné dans l'avis précédent du conseil scientifique -. Le deuxième alinéa de la page 3 de la synthèse courte, concernant « les échauffements des CNPE », illustre bien : les élévations de température mentionnées pour les échauffements à Bugey, sont les températures théoriques après mélange établies pour ce site, alors que les échauffements mesurés localement peuvent être très nettement supérieurs.

2.3 Contenu de l'avis partiel établi en juin 2013

2.3.1 Préambule

Sur saisine du Préfet coordonnateur de bassin relative au projet de cahier des charges proposé par EDF à l'Etat concernant la phase IV de l'étude thermique du fleuve Rhône, le conseil scientifique a rendu un premier avis en novembre 2009, puis, un complément d'avis en juillet 2010, après modification du cahier des charges explicitée par une note de réponse élaborée par EDF en juin 2010.

Le conseil scientifique est représenté au sein du comité de pilotage de cette étude phase IV par son actuel président, Daniel Gerdeaux. Il est également sollicité pour donner un avis sur les conclusions de l'étude. Le conseil scientifique souhaite rendre un avis global lorsque l'ensemble des rapports relatifs aux différents volets de l'étude seront disponibles, c'est à dire à l'automne 2013.

Cependant, la forte attente de l'État concernant le volet hydrologie-thermie, notamment en vue de discussions avec la Confédération Helvétique sur la gestion des débits du Rhône, amène le conseil scientifique à examiner sans délai le rapport, déjà disponible, sur ce volet.

Le présent texte constitue ainsi l'avis du conseil scientifique sur le seul volet hydrologie-thermie de l'étude Phase IV. Compte tenu des délais très courts, il a été élaboré en sollicitant l'ensemble des membres du conseil scientifique dans une consultation pilotée par son bureau. Il sera ultérieurement intégré, sous la forme adaptée, à l'avis global à rendre *in fine*, à réception de l'ensemble des rapports de l'étude.

2.3.2 Observations et recommandations

En appréciation d'ensemble, le conseil scientifique :

- note en premier lieu l'importance et la qualité des travaux menés à bien par EDF dans cette étude. Cette appréciation est motivée plus en détail dans les points particuliers ci-après ;

- constate également les difficultés, dont le rapport témoigne, à faire converger deux systèmes de valeurs, à savoir, d'une part un système que l'on pourrait qualifier d'historique, fondé sur des logiques et des stratégies strictement industrielles, d'autre part un système, aux légitimités plus récentes, fondé sur des enjeux environnementaux, ici la ressource et la qualité de l'eau. Concilier les deux approches est un des défis majeurs du développement durable. Cette tension apparaît renforcée par l'insuffisance de définition du cahier des charges, que le conseil scientifique avait relevée dans ses avis précédents (novembre 2009, juillet 2010) ;
- s'interroge à nouveau sur la diffusion et la disponibilité à terme des informations et données qui ont été exploitées ou acquises à l'occasion de cette étude.

Certains points particuliers suivants ont en outre été principalement notés. Ils sont suivis de quelques remarques et commentaires plus détaillés qui peuvent compléter, illustrer ou expliciter le propos central :

- La quantité et la qualité du travail effectué par EDF sont unanimement reconnues et saluées. De nombreux points peuvent être mentionnés pour le souligner :
 - ✓ EDF a mobilisé dans ces travaux sa maîtrise, scientifiquement reconnue, du traitement et de l'analyse statistiques de séries temporelles,
 - ✓ les analyses sont remarquablement détaillées, tant sur la qualité des données traitées que sur les approches utilisées,
 - ✓ des points originaux et très éclairants sur le fonctionnement du système sont approfondis, comme par exemple l'étude sur les transferts hydrauliques et thermiques du Léman au delta,
 - ✓ il n'y a pas, semble-t-il à ce jour d'effort équivalent consenti sur d'autres grands bassins,
 - ✓ la disponibilité d'un jeu de données calibrées (brutes et reconstituées, critiquées, accompagnées des méthodes d'analyse et de reconstitution employées) sur l'ensemble du fleuve a une grande valeur.
- En contraste, le contenu de la synthèse des résultats du résumé non technique n'est pas à la hauteur du travail fourni. Cette synthèse, qui restera la partie la plus visible du rapport, devrait être quasi entièrement reprise, en essayant de dégager de façon plus construite et plus claire les principaux enseignements et conclusions de l'étude, nonobstant les difficultés d'analyse dues à l'intervention de nombreux facteurs en interaction.

Cette synthèse s'appuie notamment sur les encadrés concluant certains chapitres et en résumant les résultats principaux. Pour partie, ces encadrés souffrent des mêmes faiblesses.

Sans en faire une analyse exhaustive, le présent avis s'efforce de présenter des exemples significatifs de ces critiques dans les remarques plus détaillées rassemblées en fin d'avis ci-dessous.

- Le conseil scientifique avait insisté dans ses avis précédents sur la nécessité de définir, dans le cahier des charges, une ligne méthodologique plus précise permettant de se référer à des jeux d'hypothèses de travail, de livrables, d'objectifs finalisés par les besoins des gestionnaires (entre autres, quels objectifs détaillés visent les travaux engagés, quels degrés de libertés sont admis et/ou souhaités dans les différents scénarios à tester...).

Ces remarques n'ont été que très partiellement prises en compte, le cahier des charges final étant resté défini en termes très génériques sur deux grandes questions : l'analyse statistique des données disponibles et le bilan de leurs tendances temporelles d'une part ; l'analyse de l'impact des modes de gestion du Rhône sur les relations entre les variables hydrologiques et thermiques d'autre part.

Le conseil scientifique considère que l'insuffisance de ce jalonnement méthodologique dans le cahier des charges rend l'analyse des résultats obtenus particulièrement délicate et renforce la critique signalée vis à vis de la synthèse non technique, consolidation insuffisamment construite de résultats individuellement intéressants.

En tentative d'illustration très générale de ce propos, le conseil scientifique note que la synthèse ne fait plus aucune mention des CNPE comme un des éléments en cause dans l'évolution de la thermie du système.

Du point de vue méthodologique, une interrogation majeure porte sur la pertinence d'un unique modèle à réseau de neurones pour l'ensemble de la période 1920 - 2010 alors que, du constat même des auteurs, la période des années 1950 aux années 1970 d'intense aménagement hydraulique du Rhône signe une modification du régime hydrologique du fleuve et peut- être, en conséquence, une instationnarité concomitante de la liaison hydrologie-thermie.

Compte tenu de la nouveauté de ce travail, il serait utile de conforter la validité du modèle RN par tout moyen permettant d'en recouper les résultats (autre type de modélisation, étude apparentée menée sur un autre grand cours d'eau européen,...).

- Le chapitre concernant la sensibilité du système au levier hydraulique constitué par l'Isère suscite l'étonnement. Les conclusions sur le rôle très atténué, voire négligeable, de l'Isère sur la station du Tricastin apparaissent surprenantes a priori dans la mesure où l'Isère est une source froide reconnue du bassin (comme d'ailleurs également indiqué dans le rapport, cf. pages 23-24). Faut-il comprendre que les retenues qui émaillent son cours, et notamment la dernière à Pont de l'Isère, tempèrent à ce point la thermie ; doit-on plutôt considérer que les variations de débit testées sont insuffisantes pour provoquer un effet sensible ? Il faudrait faire la clarté sur ce point au plan scientifique et technique.
- De manière générale, le travail aborde peu la thermie des tronçons court-circuités, qui sont très importants du point de vue du fonctionnement biologique du système. On note également que les considérations développées et les éléments obtenus sur le cas particulier du TCC de Péage de Roussillon ne sont pas généralisables en l'état. Plus globalement encore, une approche du fonctionnement thermique du système et de ses incidences sur son fonctionnement écologique devrait s'intéresser également aux variations rapides et aux pics de températures à un pas de temps horaire ou, pour le moins, infra-journalier.
- Enfin, un résumé, en tête de rapport, des résultats principaux établis dans les phases précédentes serait extrêmement utile et aiderait également à mieux cadrer le travail effectué et les nouveaux acquis qu'il apporte.

Annexe de l'avis partiel de juin 2013

Remarques et commentaires plus détaillés

- Encadré page 20, principales caractéristiques hydrologiques

...Les apports en eau et les débits moyens annuels ont peu évolué depuis 1920...

Par contre à l'échelle saisonnière, des évolutions très significatives se sont produites. Contrairement à ce qui est écrit dans l'encadré (et dans le résumé non technique) il y a une augmentation des débits hivernaux et une diminution des débits estivaux après 1960 c'est-à-dire après la période d'aménagement hydraulique du Rhône 1950-1970 (se reporter pour cela aux graphiques 3.4, 3.5 et 3.6 pages 16 et 17).

On peut à ce propos se demander si ce changement significatif dans le comportement (et peut être dans les mécanismes de fonctionnement) du système à partir de cette période n'affaiblit pas la pertinence du modèle réseau de neurones établi sur l'ensemble de la période.

- Un exemple de formulation que l'on pourrait considérer comme imprécise, voire tendancieuse : La synthèse annonce de prime abord une hausse marquée des températures de l'eau (0,5°C à 2°C) sur la période 1920-2010. En fait cette augmentation s'observe essentiellement durant les 3 dernières décennies où se produit un véritable décrochage à la hausse en 1980-1985. Pour la période qui précède, on observe une alternance de décennies froides et chaudes mais pas d'augmentation uniforme. Ceci est bien précisé par la suite mais pourquoi ne pas l'écrire d'entrée.

- Il existe effectivement des liens étroits entre température de l'eau et de l'air avec une même allure des courbes à l'échelle annuelle. Cela est très bien décrit, pages 22 et 23. Mais il est aussi écrit, page 28, qu'on observe des tendances généralisées à la hausse depuis 1980 de la température de l'eau entre Aramon et Pougny et Aramon et St-Alban alors que rien de tel n'est observé dans la température de l'air entre Nîmes, Lyon et Genève avec la conclusion « Cette hausse des écarts de température de l'eau s'amorce véritablement à partir des années 1980 et correspond à la mise en service des installations nucléaires ». Pourquoi ne trouve-t-on pas ces propos inclus dans la synthèse ?

- Le recours à des données lissées par transformées de Fourier laisse peut être de côté des épisodes critiques infra journaliers, exprimés en T°C non lissées et essentiels à connaître quand on cherchera à faire le lien avec le fonctionnement écologique du fleuve.

- Encadré page 30, synthèse sur les analyses de tendance :

...A l'exception de l'Arve, toutes les séries de température montrent une tendance à la hausse en moyenne annuelle sur la période 1920-2010 (de 0,5 à 2 °C). L'augmentation est maximale pendant les mois d'été, elle peut atteindre 3,5 °C à Aramon....

La formulation tautologique utilisée dans la suite de l'encadré n'est pas correcte :

« on retiendra que cette augmentation globale sur la période [1920-2010] est principalement la conséquence de l'évolution des températures ces 20 à 30 dernières années, pour presque tous les sites »

La suggestion de causalité ne peut pas être ainsi énoncée sur la base des éléments de la présente étude. A minima, le paragraphe suivant du texte, introduisant un décrochage positif des températures après 1980, en concordance avec la mise en service du parc nucléaire, devrait être inclus.

A ce propos, n'y a-t-il pas un moyen de vérifier si les modèles neuronaux construits donnent des résultats raisonnables en les utilisant pour simuler ce que seraient les températures du système en l'absence des centrales nucléaires (en mettant à zéro les variables d'entrées correspondant aux puissances des CNPE) ?

- P. 30, il est indiqué que l'incertitude de données modélisées utilisées pouvait constituer un « point de blocage ». Cela n'est le cas que si cette incertitude est quantifiée, or la méthode même utilisée, ne permet pas cette quantification.

- P. 37 dans l'encadré, il est indiqué que sur le Rhône à l'aval de St Alban, on ne peut faire la part entre l'influence de la température de l'air et celle du débit « sauf à analyser chaque station ». Or c'est justement sur ce bief que se situent les principaux sites nucléaires. On peut donc s'étonner que cette analyse stationnaire n'ait pas été faite.

- Lors d'une analyse précédente, nous avons noté que le risque thermique était le plus grand à l'occasion de variations importantes et rapide (des crues de température...) qui pourraient entre autres méthodes être traitées avec une approche de type analyse fréquentielle ou tout simplement avec une approche non plus continue, mais événementielle. Par exemple, on note ce type de phénomène sur la figure 13 avec un pic violent en juillet à Tricastin qu'il serait d'ailleurs intéressant de dater afin d'en vérifier les éventuelles conséquences. On observe aussi de nombreux pics à Pougny.

- Encadré page 37, synthèse des analyses marginalistes et de la conservation des perturbations :

On peut là aussi critiquer la formulation employée. En effet la variation de température de l'eau est étudiée en fonction des variations de 3 variables d'entrées (température de l'air, température de l'eau amont et débit) et en ignorant les variations des autres variables d'entrée (dont la puissance des CNPE).

Ce qui est dit dans l'encadré est donc vrai « toutes choses égales par ailleurs » c'est-à-dire notamment à puissance invariante des CNPE, ce qui n'est pas précisé. La formulation générique employée incite à oublier cette condition non explicitée et à utiliser une formulation qui devient alors abusive.

- Encadré page 44, synthèse des vitesses de transfert hydraulique et thermique :

L'encadré énonce d'abord « L'analyse statistique des longues séries a permis de préciser le fonctionnement thermique du fleuve et notamment l'influence forte des débits et de leur gestion sur les températures de l'eau »

Ce rappel n'est pas en concordance avec l'encadré page 34, de synthèse sur l'effet des aménagements qui énonce « l'incidence des retenues a été mise en évidence mais avec une intensité limitée ». Il n'est pas non plus en concordance avec des analyses ultérieures (voir pages 53 et suivantes sur la modification des débits réservés sur la température du Rhône) qui semblent conclure au contraire à un faible effet des modifications de gestion.

Il y a là un besoin de précision et de clarification.

- Encadré page 50, synthèse sur les amplitudes journalières :

La deuxième phrase « Sur l'ensemble du linéaire du Rhône, les écarts de température air-eau expliquent une partie significative de ces amplitudes. » est un emploi plutôt abusif des conclusions de l'analyse des variations de température.

- Encadré page 59 et paragraphes suivants 3.8.4 à 3.8.6, effets de la modification de débits réservés :

Les résultats, indiquant la modestie des effets de ces modifications, apparaissent plutôt surprenants, notamment pour l'Isère qui est une des sources froides visibles du bassin (cf. par exemple dans le présent rapport les graphiques de la figure 26 page 24). Cela amène à s'interroger sur les valeurs relatives des modifications prises en compte (pour l'Isère 10 m³/s pour un débit moyen en août de 267 m³/s), sur la puissance des CNPE prise en compte dans ces simulations, sur les variables utilisées, température amont ou aval des CNPE (la figure du paragraphe 3.8.4 n'a pas de légende).

3. TEMPERATURE ET BIOLOGIE DU FLEUVE

Le conseil scientifique du comité de bassin a déjà formulé des avis sur les différentes études de cette phase 4, en particulier sur son cahier des charges (avis de novembre 2009 et son avis complémentaire de juillet 2010) et lors des séances du comité de pilotage auquel il est représenté. Un avis détaillé sur le lot 5 (relations entre hydrologie et température) a déjà été transmis au Préfet coordonnateur en 2012.

Le conseil scientifique a attendu de disposer de l'ensemble des études biologiques pour émettre un avis sur les autres lots de l'étude. Les rapports des lots 7 (processus microbiens) et 3 d (rôle de la température sur les communautés aquatiques) nous ont été communiqués en même temps que la synthèse de l'ensemble des résultats du programme.

Le présent avis porte ainsi essentiellement sur la synthèse des résultats biologiques. Cette synthèse est structurée en un rappel bref des acquis des phases précédentes, une liste des résultats déclinés en 9 questions et une conclusion.

3.1 Observations sur la forme de la synthèse

Le conseil scientifique a apprécié la qualité de ce document. Le texte a été rédigé spécialement pour la synthèse. Toutefois, il reformule les résultats en réponse à 9 questions alors que les illustrations sont souvent copiées-collées et mériteraient d'être retravaillées pour mieux illustrer ce texte synthétique.

Quelques exemples d'améliorations souhaitées sur la forme des figures:

- Il manque des éléments essentiels de situations géographiques indispensables à la compréhension des résultats. Il conviendrait de les réinsérer dans le corps du texte avant les différents développements, au lieu de les repousser en annexe ;
- Enseignements de la phase 1 : le graphique est petit et peu lisible en 3D, le 2D serait suffisant ; comme cette étude est maintenant ancienne, on attendrait une actualisation du graphique, avec les séries plus récentes jusqu'à 2012, d'autant que plusieurs prélèvements de la phase 4 sont opérés au cours de cette période récente ;

- Graphique phase 2 : il est peu lisible ; deux graphiques présentant la **Température réelle** sur les 2 rives en plus de la température théorique après mélange serait nécessaire ;
- Les présentations d'analyses multivariées sont très chargées et ne « parlent » pas instantanément : ex. fig. 14 p. 27 qui gagnerait à être éclatée en autant de fenêtres que de sites et fig. 16 p. 31, même suggestion ;
- La figure 7 est trop petite pour qu'on distingue vraiment les différences de figurés des aires de répartition.

Le travail de cette phase 4 représente des efforts conséquents de recueils de données parfois anciennes, d'échantillonnages et de suivis de terrain et d'analyse d'ensembles de données complexes. Une synthèse plus claire permet de les valoriser.

3.2 Le choix des espèces descriptives des changements écologiques

Le bilan cartographique de l'évolution de la distribution spatiale des espèces descriptives des changements consécutifs à l'augmentation des pressions anthropiques est un travail intéressant qui contribuera à la définition du bon potentiel écologique du fleuve.

Par contre, il n'est pas possible d'affiner la vision sur l'impact des rejets thermiques car l'impact des barrages et les tendances climatiques masquent ces impacts. Comme cela est bien écrit en page 16 « L'examen de l'évolution temporelle de la distribution spatiale d'une sélection d'espèces, en particulier de poissons et de crustacés, a permis de préciser les effets globaux de l'augmentation de la température de l'eau sur la répartition de ces espèces ».

L'accès à la base de données et à l'atlas n'est pas mentionné dans la synthèse alors qu'il a été évoqué précédemment.

Les crustacés sont retenus comme « modèle biologique en raison de leur durée de vie et de leur mobilité réduite » alors qu'ils peuvent être très rapidement déplacés dans les ballasts des bateaux ou des embarcations de loisir. A l'échelle locale, l'étude a bien montré des changements dans le développement de crustacés allochtones dans l'environnement des CNPE sans qu'il soit possible de déterminer la part de ces environnements dans la dynamique des populations. De plus, les résultats obtenus sur les crustacés sont abusivement extrapolés à l'ensemble des invertébrés. Si il y a un secteur où les études pourraient être affinées et apporter des résultats, c'est celui du Bugey où il reste une fraction de faune encore sensible à la température alors qu'à l'aval la faune est plus banale, homogène, et plus thermophile.

3.3 Les peuplements de poissons

3.3.1 Recrutement des cyprinidés

Les études sur la dynamique de recrutement des cyprinidés se sont heurtées à de grosses difficultés. Cela n'est pas surprenant. On abordait des processus de dynamiques de population et de communautés soumis à une très forte variabilité à l'échelle de quelques mois et à des évolutions de mortalité épousant grossièrement une exponentielle inverse.

De plus des espèces suivies effectuent plusieurs pontes échelonnées dans le temps, ce qui est d'ailleurs une stratégie « gagnante » qui leur permet de survivre mieux que d'autres dans des milieux artificiellement régulés.

L'étude confirme cependant que l'initiation des pontes et les vitesses de croissance sont dépendantes de la température (dans une gamme favorable à l'espèce), précise les stades qui semblent les plus vulnérables à des variations de débit (contrastes élevés en situations artificielles de débit réservé) et fournit des éléments sur la phénologie des très jeunes phases.

Toutefois, les auteurs ont tendance à considérer que les phases régulées de débit sont plus favorables aux espèces suivies qu'un régime considéré comme naturel, ce qui est certainement abusif : remarquons simplement que ces conditions ont pu favoriser celles-ci au détriment d'autres espèces au fil du temps et que les stratégies reproductives des poissons sont adaptées à la variabilité hydrologique ; ce qui explique en partie pourquoi il est si difficile de trouver une relation linéaire entre débit et force des cohortes, processus qu'on peut imaginer plutôt comme obéissant à des seuils (vitesses limites, accélération et décélération des débits conjuguées aux types de formes rivulaires offrant plus ou moins de refuges). Ces seuils ont une probabilité d'occurrence et de répétition rares à rencontrer dans un suivi court (mais néanmoins très fastidieux en opérations de terrain et de laboratoire) : rappelons qu'une seule restructuration de peuplement imputable à des crues a pu être observé en 1993-1994 sur le Rhône dans une chronique de 30 ans environ.

Par ailleurs, passé les stades précoces de plus grande vulnérabilité aux vitesses et débits forts, et vraisemblablement de mortalité, la diminution des effectifs d'une cohorte sur un site donné peut s'expliquer par une dérive des organismes et leur participation à la recolonisation plus générale du système fluvial aval. C'est un phénomène qui est évoqué dans les textes, qui attribue aux parties court-circuitées et aux annexes fluviales un rôle de frayère et de nurserie bénéficiant à l'ensemble du fleuve.

3.3.2 - Colonisation des habitats disponibles

L'étude du positionnement dynamique des poissons dans les habitats au voisinage du CNPE de Bugey représente un important travail original de télémétrie acoustique. L'originalité principale de cette recherche est d'avoir pu suivre simultanément 3 espèces de poissons (chevaine, barbeau, silure) et chaque espèce en nombre suffisant pour sa représentativité. Cependant les très fortes contraintes d'équipement et de suivi en milieu fluvial n'autorisent pas encore d'obtenir une vision plus large du comportement de toute la communauté de poissons (plus de 20 espèces). La mise en évidence de seuils thermiques pour la mobilité des espèces, les choix de positionnement dans les veines d'eau confirment bien les préférences thermiques spécifiques. Les 3 espèces privilégient les habitats rivulaires et seul le silure se maintient dans des habitats dépassant 25°C. Les deux espèces de cyprinidés étudiées ne représentent toutefois pas les préférences de toutes les espèces de cette famille.

Cet ensemble de données important mérite d'être exploré de façon plus poussée pour rechercher des mises en relation entre les régimes thermiques, l'hydrologie et la biologie des espèces. Quand le silure sort ou entre dans des veines les plus chaudes, est-ce pour sa nutrition par exemple ?

3.4 Les invertébrés

Le codage des invertébrés en traits écologiques ne peut être suffisamment précis pour discriminer aisément des évolutions faunistiques à imputer à la température. Il sera toujours difficile, voire impossible, d'identifier des espèces indicatrices thermiques. S'orienter vers « des métriques basées sur l'évolution des proportions de groupes d'espèces et/ou de groupes de traits » est peut-être une piste plus réaliste pour surmonter cette difficulté.

Mais quels que soient ces assemblages, ils répondent à des pressions multi paramétriques. Il semble très hypothétique de trouver un assemblage pour lequel la thermie expliquerait l'essentiel des changements observés.

3.5 Les biofilms microbiens

L'étude sollicitée par le conseil scientifique sur le fonctionnement des biofilms repose sur un dispositif expérimental bien maîtrisé, au sein duquel ont pu être testées des valeurs allant jusqu'à 35 °C.

Des intervalles de rupture de fonctionnement ont été mis en évidence. Le rapprochement évoqué dans le rapport entre hydrologie (Banque hydro) et échantillons de terrain montre bien que juillet 2012 à Bugey fait suite à une période longue à 700 m³/s soit près de 2 fois le module, ce qui étaye l'hypothèse d'un décrochage probable d'une forte fraction du biofilm et corrobore les différences de niveaux observées entre juillet et septembre 2012.

3.6 Conclusion sur la synthèse des études

Dans sa conclusion générale, la synthèse ne souligne pas assez les quelques résultats pertinents vis-à-vis de la question fil rouge de cette phase d'étude (l'incidence croisée de l'hydrologie et de la thermie sur l'écologie du fleuve).

Par ailleurs il faut souligner la quantité et la qualité des études réalisées qui apportent des connaissances nouvelles et/ou des bilans de connaissance utiles pour d'autres objectifs.

Composition du Conseil scientifique du Comité de bassin Rhône-Méditerranée

(à la date de validation du présent avis)

- Président : D. Gerdeaux
- 1^{er} vice-président : L.A. Romaña
- 2^{ème} vice-Président : B. Chastan

- **Membres du bureau :**
D. Cœur, A. Farinetti, A. Micoud, A.Rivière-Honegger, Y. Souchon

- **Autres membres :**
D. Ami, C. Amoros, B. Barraqué, C. Barthelemy, P. Chambon, P. Chevallier, J. Croize, C. Drogue, M.C. Fabbri, P. Garin, P. Gourbesville, M. Harmelin-Vivien, P. Isnard, C. Lévêque, P. Mériaux, J. Montain-Domenach, P. Morlon, G. Oberlin, H. Piégay,, A.L. Roux, P. Roux, D. Sauzade, M. Tchamitchian, M. Tissut, S. Thoyer, P. Valarié, D. Viale.

Les contributions au contenu de ce document sont faites à titre personnel et n'engagent pas les institutions qui emploient les personnes sus-mentionnées, conformément aux statuts du conseil scientifique.

Secrétariat : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse