

LES SYNTHÈSES

de l'Office International de l'Eau

**Adaptation des services d'eau potable
au changement climatique en France**

Fares AOUICHAT

Janvier 2016



*Office
International
de l'Eau*

En partenariat avec des organismes d'enseignement supérieur, l'OIEau propose des états de l'art synthétiques sur différents sujets liés à l'eau. Ces synthèses sont rédigées par des élèves dans le cadre de leur cursus de formation.

Cette synthèse documentaire « **Adaptation des services d'eau potable au changement climatique en France** » a été effectuée par **Fares Auichat**, élève post-master (bac+6/7) d'AgroParisTech-ENGREF en voie d'approfondissement et mastère spécialisé « Gestion de l'eau » à Montpellier.

Le contenu de ce document n'engage la responsabilité que de son auteur, il ne reflète pas nécessairement les opinions ou la politique de l'OIEau.

Toute utilisation, diffusion, citation ou reproduction, en totalité ou en partie, de ce document ne peut se faire sans la mention expresse du rédacteur, de l'Établissement d'origine et de l'OIEau.

SYNTHESE

Adaptation des services d'eau potable au changement climatique en France

Fares Auichat

fares.auichat@agroparistech.fr

Janvier 2016

AgroParisTech
Centre de Montpellier
648 rue Jean-François Breton – BP 44494
34093 MONTPELLIER CEDEX 5
Tél. : (33) 4 67 04 71 00
Fax : (33) 4 67 04 71 01
www.agroparistech.fr

Office International de l'Eau
Service gestion et valorisation
de l'information et des données
15 rue Edouard Chamberland
87 065 LIMOGES CEDEX
Tél : (33) 5 55 11 47 47
www.oieau.org

Résumé

Selon les dernières observations scientifiques, nous serons vraisemblablement confrontés dans le futur aux effets du changement climatique. Il n'y a aucun doute quant au sens de son évolution, bien que résident encore quelques incertitudes sur son ampleur et de son réel impact avenir. Il faut ajouter à cela une augmentation de la population qui se traduira par une hausse de la demande en eau potable.

L'objectif de cette est d'identifier l'impact du changement climatique sur la ressource en eau potable, évaluer la vulnérabilité de cette dernière et de répertorier les bonnes pratiques, actions, innovations et stratégies d'adaptation mis en œuvre par les services d'eau potable afin de pallier à un éventuel déficit qualitatif et quantitatif de la ressource en France.

Mots clé : Changement climatique, vulnérabilité, eau potable, adaptation, services d'eau

Abstract

We are already being confronted with the impact of climate change. But this confrontation is only going to become more acute in the years ahead. Of that there is no doubt. However, there is an element of uncertainty about the precise extent and actual impact of these changes. On top of this we need to bear in mind that population growth will result in an increase in drinking water demand.

The objective of this technical synthesis is first to assess the impact of climate change on drinking water resources, second, to examine the vulnerability of drinking water networks, and third, to analyze good practices, actions, innovations and adaptation strategies in order to relieve the quantitative and qualitative gap of drinking water resources in France.

Key Words: Climate change, vulnerability, Drinking water, adaptation, water services

Glossaire :

AEP : Alimentation en eau potable

CNRM : Centre national de recherche Météorologique

COP : Conférence des parties

GES : Gaz à effet de serre

IFEN : Institut français de l'environnement

IPSL : Institut Pierre-Simon Laplace

ONEMA : Office nationale de l'eau et des milieux aquatique

PBACC : Plan de bassin d'adaptation au changement climatique

PNACC : Plan national d'adaptation au changement climatique

QMNA5 : Débit minimal annuel ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé une année donnée

RMC : Rhône Méditerrané Corse

SAGE : Schéma d'aménagement et gestion des eaux

SOMMAIRE

INTRODUCTION :	4
CONTEXTE GENERAL:.....	5
LES PRELEVEMENTS D’EAU EN FRANCE :	5
BESOINS EN EAU POTABLE :	5
IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA RESSOURCE EN EAU :	6
LES PREVISIONS CLIMATIQUES POUR LA FRANCE AUX HORIZONS 2030-2050.....	6
VULNERABILITE DE LA RESSOURCE EN EAU POTABLE :	6
TYPOLOGIE DES METHODES ET ACTIONS D’ADAPATION DES SERVICES D’EAU AU CHANGEMENT CLIMATIQUE :	8
GESTION DES FUITES ET DE LA CONSOMMATION :	8
SECURISATION DE LA RESSOURCE D’EAU POTABLE:.....	10
METHODES ALTERNATIVES POUR L’ALIMENTATION EN EAU POTABLE :	11
REDUCTION DES GAZ A EFFET DE SERRE :	12
CONCLUSION :	14
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	15

Liste des figures :

Figure 1 : Evolution du volume d’eau potable prélevé par habitant pour les différents bassins de la métropole. Source : Agence de l’eau Adour-Garonne, 2014.....	5
Figure 2 : Impact prévisible en France au 21 ^{ème} siècle. Source : Ademe, 2015.....	7
Figure 3 : Ecart minimal, moyen et maximal de la recharge futur / présent. Source : Explore 2070, 2012.....	8

INTRODUCTION :

Le phénomène du changement climatique fait consensus au sein de la communauté internationale. Ses effets sont irréversibles mais réside quelques incertitudes quant aux impacts réels de ce phénomène. Le GIEC, groupement intergouvernemental sur l'évolution du climat, est un groupe d'experts dont l'objectif est de collecter les données nécessaires afin d'évaluer les enjeux, les impacts et la variabilité géographique du changement climatique.

L'eau comme ressource naturelle, et l'eau potable en particulier, est fortement affectée par les effets du changement climatique, conséquence directe de la hausse des températures et de la variabilité temporelle de la pluviométrie. L'adaptation des services d'eau potable est d'une importance majeure pour faire face aux éventuelles baisses des quantités et de la qualité de la ressource (sécheresse, inondations) et limiter les conflits d'usages qui en résulteront.

En France, un premier plan d'adaptation nationale au changement climatique a été élaboré en 2011, il en est ressorti cinq actions visant à atténuer les effets du changement climatique sur la ressource en eau. En 2015 s'est tenue à Paris la COP 21 mais dans l'Accord de Paris aucune mention explicite n'inclut l'eau, néanmoins 2/3 des parties des 147 parties engagées mentionnent leurs contributions au volet adaptation au changement climatique dont 89% indiquent que l'eau est un domaine primordial (Le Jeune, 2016). En parallèle les Agence de l'eau du bassin Adour-Garonne et RMC ont rédigé un plan de bassin d'adaptation au changement climatique (PBACC). En novembre 2015 c'est au tour de l'Agence de l'eau Loire Bretagne de lancer la rédaction de son PBACC. Toutes ces actions sont une marque de la volonté des acteurs français de s'adapter au changement climatique.

Dans cette étude un focus est fait sur les mesures adaptatives des services d'eau potable en France au changement climatique. Pour ce faire, une étude bibliographique a été réalisée dans le but de faire un état des lieux des méthodes mises en place par les acteurs de l'eau potable afin d'assurer la protection de la ressource et l'alimentation en eau potable des consommateurs dans un contexte de changement climatique. On évaluera dans un premier lieu les besoins en eau potable. Ensuite, on évaluera l'impact du changement climatique en France et la vulnérabilité des ressources en eau potable. Enfin, une typologie a été dressée des méthodes d'adaptation des services d'eau potable français au changement climatique.

CONTEXTE GENERAL:

LES PRELEVEMENTS D'EAU EN FRANCE :

En France, les précipitations représentent 800 mm annuellement dont une partie alimente l'écoulement, le reste retourne à l'atmosphère sous forme d'évaporation-évapotranspiration (météo France). Selon l'IFEN les prélèvements et les consommations représentent respectivement 20%, et 3,5% des apports annuels moyens, les ressources renouvelables varieraient entre 170 et 200 km³. En conséquence, La France dispose d'un volume d'eau renouvelable de 3200 m³/hab, ce qui se rapproche des moyennes européennes (Blum, 2005), Par ailleurs, plusieurs études évalueraient les besoins en eaux pour l'ensemble des usages à l'échelle du globe à 1000m³/hab (La Jeunesse, 2015).

L'intensité de l'exploitation des ressources en France est évaluée à 19% par l'IFEN, ce qui est inférieur à ses voisins européens, Belgique (46%), Italie (32%), Espagne (23%), Allemagne (22%) (Boulangier, 2007). La France semble donc bien dotée en ressources hydriques, sauf que l'on observe des disparités d'une région à une autre (Boulangier, 2007). En effet, entre 1997 et 2007 on a observé chaque année une vingtaine de départements qui atteignaient les limitations de consommations, leur nombre peut tripler pendant les années les plus sèches (2003 2005 2006) (Paumier et al., 2007).

L'eau potable pour sa part représente 3.4% des prélèvements annuels et 1% de la consommation nette. Ils sont estimés à 6 milliards m³ se répartissant en 2,5 milliards de m³ en eau de surface et 3.5 milliards m³ en eau souterraine (Haeffner, 2007).

BESOINS EN EAU POTABLE :

Entre 1980 et les années 2000, les volumes prélevés à destination de l'AEP sont restés relativement stables (Blum, 2005). Depuis 2005, une nouvelle tendance est observable, les prélèvements pour la production d'eau potable ont baissé de 6% entre 2005 et 2009 (Chazot et al., 2012), tandis que la population a augmenté de 7% entre 1999 et 2009. Néanmoins, les conditions climatiques peuvent avoir une influence, comme lors de la sécheresse de 2003 où une augmentation de la consommation de 3.4% a été observée, pour monter à 6,2 milliards de m³.

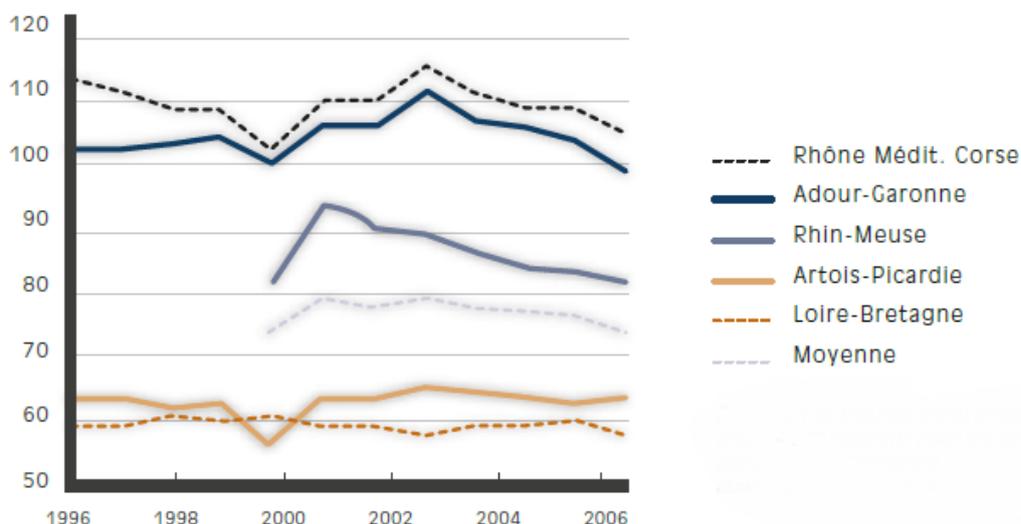


Figure 1 : Evolution du volume d'eau potable prélevé par habitant pour les différents bassins de la métropole.
Source : (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2014)

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA RESSOURCE EN EAU :

LES PREVISIONS CLIMATIQUES POUR LA FRANCE AUX HORIZONS 2030-2050

Le changement climatique futur à l'échelle de la France est simulé à partir de deux modèles climatiques régionaux français ARPEGE-Climat et LMDZ respectivement développés par le CNRM-Météo France et l'IPSL, dans le cadre du Plan National d'Adaptation au changement Climatique. Les simulations choisies se basent sur deux scénarios : un premier optimiste (B2) et un second pessimiste (A2) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (PNACC, 2011).

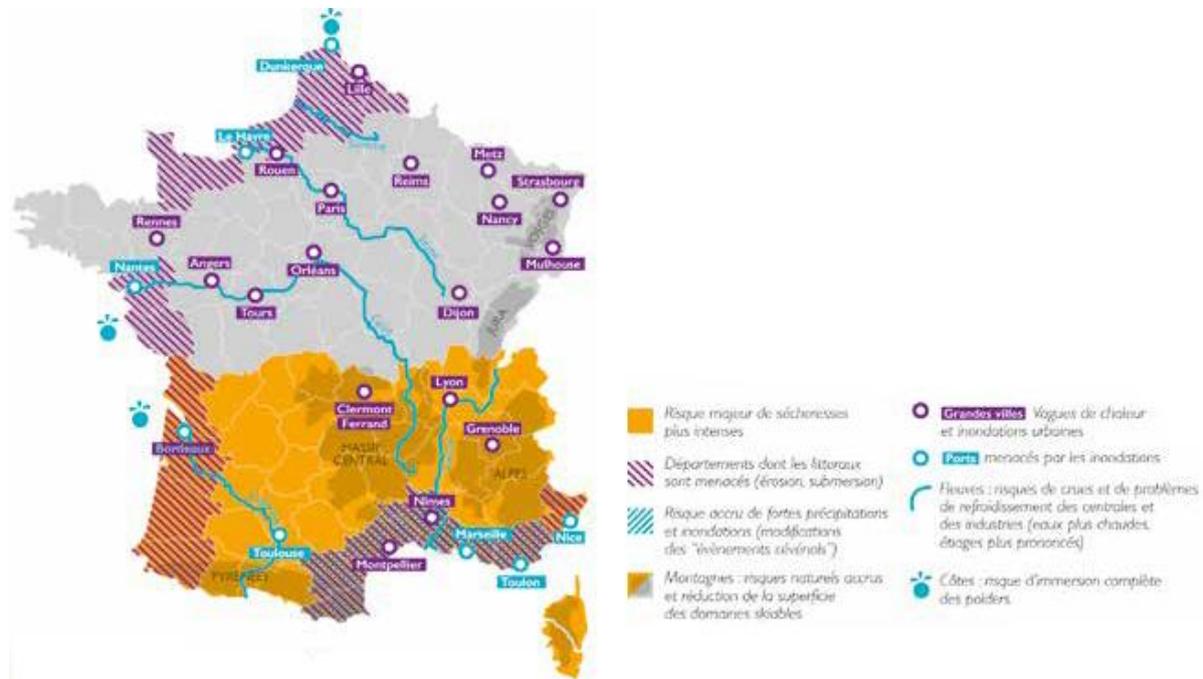
Des augmentations des températures moyennes évaluées entre 2° à 3° C seront observées aux horizons 2030-2050. Le signe des changements de précipitations moyennes est relativement incertain pour l'hiver et l'automne où il varie selon les horizons, les régions ou les scénarios. En revanche, les deux scénarios montrent une tendance à la diminution des précipitations au printemps et en été. Néanmoins subsistent quelques incertitudes : la variabilité naturelle du climat, la capacité des modèles numériques à reproduire le fonctionnement du climat et les quantités de GES qui seront réellement émises durant la période ciblée pour la modélisation (PNACC, 2011).

VULNERABILITE DE LA RESSOURCE EN EAU POTABLE :

Hydrologie de surface :

Les résultats en France métropolitaine montrent une diminution des débits moyens annuels à l'échelle du territoire qui seraient de l'ordre de 10% à 40% selon les simulations projet Explore 2070, à l'exception des affluents rive droite du Bas-Rhône (EXPLORE 2070, 2012b). Tous les modèles projettent des débits d'étiage plus sévères sur les exutoires des grands bassins versants, le QMNA5 pourrait baisser jusqu'à 70% sur La Garonne. Concernant les débits de crue, on ne peut détecter une tendance compte tenu de la divergence entre les projections. Par contre, selon le 5^{ème} rapport du GIEC (IPCC, 2014), le risque d'inondations et de crues augmentera durant les prochaines années.

La qualité des eaux de surface sera impactée par les événements de crues qui s'amplifieront les années à venir. Les polluants présents dans les sols seront ainsi transportés par lessivage et par écoulement, 90% des contaminants des cours d'eau seraient amenés durant ces événements (Laperche, 2012). L'augmentation de la température, la diminution des débits des cours d'eau auront un impact sur la concentration en oxygène dissous de l'eau qui aura



tendance à baisser : ceci provoquera une diminution de la capacité d'autoépuration des eaux de surface (Guiraudie, 2016).

Figure 2 : Impact prévisible en France au 21^{ème} siècle. Source (Ademe, 2015)

Hydrologie souterraine :

Les résultats de l'Explore 2070 font ressortir une baisse générale de la piézométrie associée à une diminution de la recharge comprise entre 10 et 25%, avec des zones qui seraient plus sévèrement touchées, notamment le bassin de la Loire et le Sud-Ouest de la France où la diminution du niveau piézométrique peut aller jusqu'à 50%.

En plus de l'évolution de la recharge, les aquifères marins seront impactés par l'évolution du niveau marin. L'élévation de celui-ci risque de conduire à une intrusion des eaux salées dans l'aquifère, et donc, à une forte dégradation de la qualité de l'eau. Sur les aquifères métropolitains, l'intrusion saline due à la seule évolution du niveau marin devrait avoir un impact relativement limité. Un impact plus fort pourrait être lié à une diminution du niveau piézométrique associée à la baisse de la recharge ou à l'augmentation des prélèvements en nappe (EXPLORE 2070, 2012a).

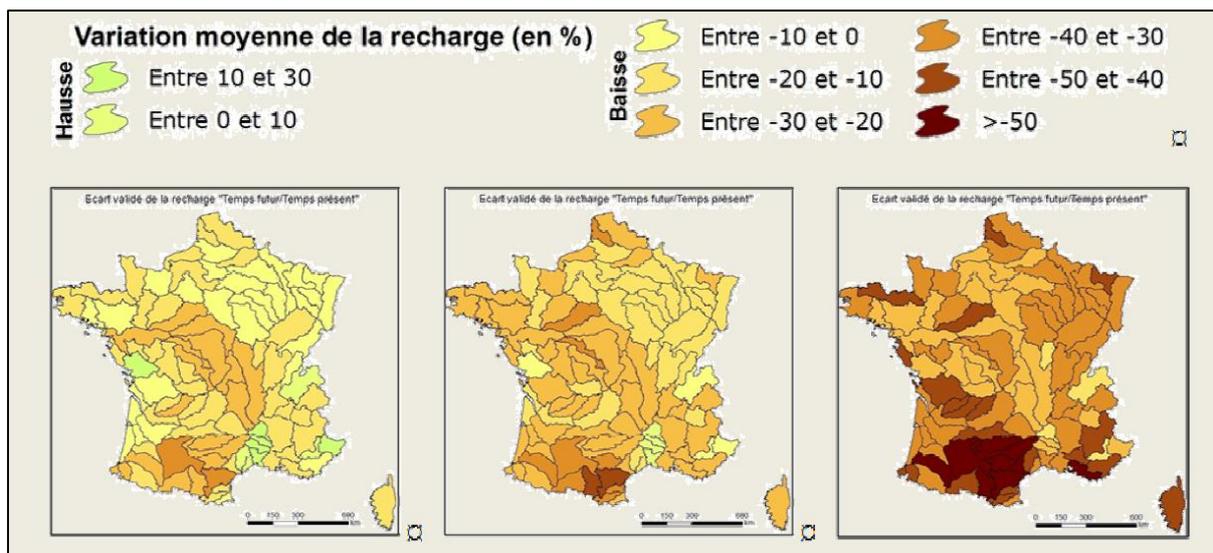


Figure 2 : Ecart minimal, moyen et maximal de la recharge futur / présent. Source, Explore 2070a

TYOLOGIE DES METHODES ET ACTIONS D'ADAPATION DES SERVICES D'EAU AU CHANGEMENT CLIMATIQUE :

L'adaptation est définie par le GIEC comme "un processus d'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs et à leurs effets, afin d'atténuer les risques qui en découlent ou d'exploiter des opportunités bénéfiques".

L'adaptation correspond à l'ensemble des évolutions politiques, techniques, institutionnelles, sociétales et comportementales que les acteurs de l'AEP devront conduire pour limiter les impacts négatifs ou tirer profit des opportunités engendrées par l'évolution du climat.

GESTION DES FUITES ET DE LA CONSOMMATION :

Réduction des fuites :

Selon l'ONEMA, les fuites d'eau sont estimées à près de 22% de l'eau captée et transportée mais elles peuvent atteindre 40% par endroit. Les pertes en eau constituent un prélèvement supplémentaire sur la ressource mais auront aussi d'autres impacts tels que l'énergie nécessaire au pompage et la production, l'utilisation de produits chimiques pour la potabilisation de l'eau.

En conséquence, il est important d'engager une démarche permettant de gérer d'une façon optimale les pertes d'eau et cela par une mise en œuvre d'actions qui aura comme objectif :

- une meilleure connaissance du patrimoine de distribution et de son fonctionnement ;
- la mise en place d'outils de surveillance et de recherche des pertes sur réseau.

La connaissance du patrimoine consiste en la récolte de données structurées des canalisations et de leur environnement telles que le diamètre, le matériau, l'année de pose de la canalisation. Les données historiques contribuent à appréhender l'état des réseaux notamment les interventions liées aux casses et fuites des canalisations et branchements. L'évolution de la connaissance du patrimoine peut se faire en s'appuyant sur les indicateurs de performance. En France, on dénombre cinq indicateurs de base :

- le rendement du réseau de distribution,
- l'indice linéaire des pertes en réseau (ILP),

- l'indice linéaire des volumes non comptés,
- l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable,
- le taux moyens de renouvellement des réseaux d'eau potable,

Les outils utilisés pour limiter les pertes d'eau et le maintien de la performance du réseau sont :

- La sectorisation qui est la décomposition du réseau en plusieurs niveau de sous réseaux pour lesquels les volumes sont mesurés en permanence.
- La prélocalisation acoustique des fuites consiste à évaluer les niveaux sonores par rapport à un niveau de référence.
- La modulation de pression qui permet de diminuer les pressions sur le réseau sans perturber la continuité du service. De ce fait, le débit des fuites correspondant est moindre et après calage permet le suivi du bon fonctionnement du réseau.
- Le télérelevé des consommations des clients permet de détecter des consommations anormales pendant les heures où la demande en eau est la plus faible, pour pouvoir ainsi détecter les fuites.

C'est ainsi qu'on pourra déterminer les opérations à mener (restauration des conduites, renouvellement du patrimoine, mise en place d'une interconnexion). Néanmoins, de pareils aménagements sont très coûteux, entre 545 et 680 M€ sur 15 ans en Languedoc Roussillon (Bullet, 2008) en plus des sources de gênes causées (perturbation de la continuité du service, trafic routier).

Dispositifs hydro-économiques :

La pose de matériels hydro-économiques a pour but de diminuer la consommation en eau potable des consommateurs pour leurs usages courants (cuisine, douche, sanitaire). Les dispositifs hydro-économiques permettent des économies d'eau allant jusqu'à 30% (Rinaudo et al., 2011). Ces mesures concernent l'installation de réducteurs débit / pression sur les robinets, pommes de douche et chasses d'eau à faible consommation.

Sensibilisation :

La sensibilisation serait principalement axée sur l'amélioration de la connaissance et non par une incitation directe à adopter des gestes économes. Une action de sensibilisation peut porter sur les enjeux liés à la rareté de la ressource, la nécessité de la rationalisation de la consommation et rendre les personnes sensibilisées vecteurs au sein de leur entourage.

Le programme MAC Eau (Maîtrise de la Consommation en Eau) s'inscrit dans la démarche mise en place en Gironde avec le SAGE Nappes profondes. Ce projet a pour but de préserver la ressource en eau des nappes profondes dont les prélèvements sont principalement destinés à l'AEP. La distribution gratuite de 80 000 kits hydro-économiques, l'installation de 70 récupérateurs d'eau de pluie et la pose de modulateurs de pression sur le réseau du Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable de Blayais sont autant d'actions entreprises par le programme MAC Eau. Ces opérations permettront une économie d'eau pouvant atteindre 1,9 Mm³/an (jeconomiseleau, 2016).

Tarification :

En France, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) encourage les services d'eau à mettre en place une tarification incitative, ce qui encouragera les usagers à réduire leurs consommations. Plusieurs structures forfaitaires peuvent être envisagées (tarification binôme, tarification par palier progressif, tarification saisonnière). L'utilisation d'outils d'aide à la décision pourrait éclairer les décideurs sur l'intérêt économique d'un changement de tarification. Les MHE (modèles hydro économiques) sont des outils exploratoires d'aide à la décision qui permettent aux acteurs d'examiner une large gamme de stratégies de gestion de

l'eau en les informant sur les impacts techniques, physiques, environnementaux, climatiques et socio-économiques de divers scénarios de mesures ou politiques de gestion de l'eau qu'ils pourraient envisager de mettre en œuvre. Un MHE a été développé dans un cadre de recherche pour concevoir un programme qui permettrait de pallier au déficit à moindre coût à l'échelle du bassin versant de l'Orb (Hérault) à l'horizon 2030. Un ensemble d'actions « sans regret » ont été identifiés telles que la nécessité d'améliorer les rendements des réseaux d'eau potable, quel que soit le scénario climatique retenu (Grémont et al., 2015).

SECURISATION DE LA RESSOURCE D'EAU POTABLE:

Avec l'épuisement des réserves en eau dû à l'augmentation de la demande et aux variations climatiques, des actions sont à entreprendre pour maintenir l'équilibre entre la demande et la disponibilité de la ressource.

Réalimentation des nappes :

La réalimentation artificielle d'une nappe aquifère consiste à introduire dans un réservoir souterrain une quantité d'eau issue d'eaux de surface excédentaires afin d'augmenter les quantités d'eau souterraine disponible. Un traitement de l'eau peut être envisagé en fonction de la qualité de l'eau introduite, du type d'injection ainsi que de la qualité de l'eau souterraine. L'injection de l'eau s'effectue généralement par le biais de bassins d'infiltration de grande surface ou bien de puits d'injection (Haefner, 2007). En plus de la maîtrise du niveau des nappes, la réalimentation des aquifères permettrait de :

- Stocker de l'eau à moindre coût.
- Améliorer la qualité de l'eau souterraine par injection d'une eau d'une meilleure qualité.
- Limiter les intrusions salines.

En France, on dénombre 49 sites de recharge artificielle des nappes pour l'usage de l'AEP. La méthode la plus couramment utilisée est l'injection par bassin d'infiltration de grande surface. La nécessité d'une gestion rationnelle de l'hydrosystème environnant doit s'imposer dans la mesure où l'eau détournée de sa destination normale pour être injectée dans l'aquifère ne doit pas faire défaut à d'autres usages de la ressource. La réalimentation artificielle de la nappe doit être considérée, dans le contexte climatique actuel, comme un instrument d'une gestion globale de la ressource de bassin (Weuilleumier et al., 2008).

Transport d'eau :

Outre la construction de barrages et de retenues d'eau qui reste la solution la plus simple pour la sécurisation de l'alimentation en eau potable, qui comprends de gros impacts sur l'environnement, le système hydrique et la qualité des eaux (piégeage de sédiments, concentration de pollution, interruption de la continuité écologique). Un nouveau mode de sécurisation a fait son apparition en France qui est le transport d'eau caractérisé par le projet Aquadomia. Ce projet consiste à prolonger des réseaux alimentés par le Rhône et en assurer l'interconnexion avec ceux alimentés par l'Orb, l'Hérault, le canal du midi ou l'Aude, en partenariat avec les Départements de l'Aude et de l'Hérault (Région Languedoc-Roussillon, 2013). L'objectif du projet est d'acheminer 15 Mm³ avec une capacité maximum de 2,5 m³/s. Par ailleurs, le projet a une incidence sur les eaux du Rhône particulièrement durant les périodes de tensions où la question des volumes prélevables devra se poser, ajouter à cela d'autres régions et départements qui souffrent de stress hydrique en période de sécheresse souhaitent avoir un projet semblable : le nord du Gard, le Vaucluse (Conseil scientifique du comité de bassin Rhône méditerrané, 2014).

Désimperméabilisation des sols :

La désimperméabilisation des sols est une technique d'infiltration d'eau pluviale par des bassins d'infiltration, jardins de pluie et de noues. Ce sont des solutions qui en plus de la

réduction de la pollution fluviale, permettront de capter un maximum d'eau de pluie pendant les événements extrêmes et recharger les nappes par infiltration. Plusieurs projets ont vu le jour avec le soutien de l'agence de l'eau. La ville de Marseillan a créé des bassins de rétention/infiltration d'une capacité de 13 200 m³. Voreppe en Isère, a aménagé une noue ainsi que d'un bassin de rétention de 2900 m³. La désimperméabilisation des berges du Rhône a été entreprise par la ville de Laveyron par la mise en place d'un amphithéâtre de verdure perméable et d'un parking herbagé qui faciliteront l'infiltration des eaux pluviales (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2014).

Protection des captages :

Depuis la loi sur l'eau du 16 décembre 1964, les services d'eau sont obligés de mettre en place des périmètres de protection au niveau de leurs captages, ceci permettra la prévention contre la diffusion de polluants. Par ailleurs, au vu des effets du changement climatique, les épisodes d'inondation auront tendance à augmenter, et auront pour effet un transport de forte teneur de polluant. Les collectivités doivent élaborer des systèmes de protection de captage des eaux de surface qui seront les plus vulnérables à l'apport de pollution pendant les périodes de crues. Le Syndicat Intercommunal d'Eaux et d'assainissement de Ganges qui puise son eau potable de l'Hérault, a installé un truitomètre au niveau de son captage d'eau. Le truitomètre est constitué d'un bac, contenant de jeunes truites, par où l'eau du captage transite. La truite étant fortement sensible aux eaux polluées, si une excitation anormale de la truite est observée, une alarme le signalera et bloquera le pompage de l'eau. Cependant une solution de secours (forage ou une interconnexion avec un réseau voisin) est à prévoir dans ce cas de figure pour assurer la continuité du service. (Molières, 2016)

Outils d'aide à la décision :

Le syndicat des eaux du Viviers qui gère la production et l'alimentation en eau potable de la ville de Niort, a entrepris un programme d'évaluation des besoins futurs via une modélisation besoin-ressource depuis 2004. L'étude se divise en plusieurs étapes, tout d'abord un recueil a été fait de l'historique sur quelques décennies de mesures des besoins en eau potable sur la zone de compétence du syndicat. S'ensuit une modélisation du comportement de la ressource associée à une modélisation quantitative du comportement des consommateurs en prenant en considération plusieurs paramètres : lien température maximum journalière/consommation du jour, effet élasticité prix de l'eau, évolution démographique et urbanistique, effets saisonniers, scénarios de crise sur une base historique (sécheresse). Au final, le syndicat définit des ressources de secours ou d'appoint nécessaires, en prenant en compte l'hypothèse d'augmentation de la fréquence d'événements climatiques (étiages sévères ou gros épisode pluvieux), avec une recherche de diversification des ressources en eau potable (nappe d'accompagnement de la sèvre, interconnexion avec syndicats d'eau producteurs voisins) (Lambert, 2016).

METHODES ALTERNATIVES POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE :

Eaux usées :

La réutilisation des eaux usées est souvent destinée à l'irrigation ou à l'arrosage d'espaces verts. Cependant, les eaux résiduaires urbaines peuvent faire l'objet de traitement poussé afin de réintégrer les circuits d'eau potable. Effectivement, Singapour semble être un des leaders mondiaux de cette technologie au vu des difficultés rencontrées par la cité-état quant à son approvisionnement en eau potable. En 2003, le projet NEWater a été développé, il consiste à pousser le traitement des eaux usées par couplage de plusieurs traitements (ultrafiltration, osmose inverse et désinfection UV), cela permet à Singapour d'assurer 30% de son alimentation en eau potable (Martine, 2015). Bien que le processus consomme énormément d'énergie et de produits chimiques.

Dessalement d'eau de mer :

Le dessalement d'eau de mer est une technique de production d'eau potable qui réside en la séparation de l'eau et des sels à partir d'eaux marines mais également d'eaux saumâtres. La distillation et l'osmose inverse sont les deux techniques les plus répandues pour ce procédé. Toutefois, le dessalement a un impact significatif sur l'environnement, destruction d'habitat suite à de gros prélèvements d'eau, rejets des condensats, rejet des produits de traitement (produits antitartres, agents antimousses et dérivés du chlore) ainsi que l'évolution des émissions de GES car les procédés utilisés sont très énergivores (Dunglas, 2014). Toutefois, de nombreuses solutions existent pour diminuer les consommations d'énergie du dessalement et donc, de réduire son impact sur l'environnement et ses coûts (choix d'équipements performants et économes en énergie, optimisation de la conception de la station, recherche sur les membranes) (Boulanger, 2007). Les nouveaux procédés à osmose inverse en fonctionnement optimal ont une consommation énergétique allant de 2,5 à 3,5 KWh/m³, tandis que les procédés par distillation peuvent atteindre 19 KWh/m³ (Dunglas, 2014). Le couplage du dessalement aux énergies renouvelables est d'actualité, un premier projet pilote a été inauguré récemment au Maroc d'une usine de dessalement d'eau de la ville Benguerir qui fonctionne à l'énergie solaire, produisant 5m³/h (Savage, 2016).

Le dessalement d'eau de mer en France est peu développé, la plupart des unités sont de petite taille et concernent des îles. Il s'agit par exemple des projets de Belle-Ile-en-Mer (Morbihan), de l'île d'Yeu (Vendée) ou aux environs des Sables-d'Olonne (Vendée). Le projet des Sables-D'olonne, porté par le département, le syndicat Vendée eau et le Syndicat départemental d'énergie et d'équipement de la Vendée (Sydev), doit pallier un manque d'eau évalué à 4 millions de m³ en 2025. Il pourrait aboutir à la construction d'une usine d'une capacité de 10 à 20.000 m³ par jour d'ici 2020 couplée aux énergies renouvelables afin de pallier aux problèmes énergétiques. Une étude de faisabilité technique, juridique, financière, énergétique et environnementale a été financée par la région Pays-de-la-Loire et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne fin 2011 (Collet, 2012).

Appr'eau :

Il s'agit d'un outil d'accompagnement des réflexions autour de l'approvisionnement d'eau potable développé par « Veolia », il apporte une aide au diagnostic pour :

- évaluer la situation de l'approvisionnement en eau sur la zone étudiée,
- étudier le contexte local et déterminer la possibilité de mise en pratique de méthodes alternatives (dessalement, eaux usées).

L'outil est adapté à l'aide au diagnostic pour les zones peu connues. Par ailleurs, il fournit un accès à une base de données documentée qui comporte des informations d'ordre technique, réglementaire et économique (Pagotto et al., 2007).

REDUCTION DES GAZ A EFFET DE SERRE :

La réduction des émissions des GES est d'une importance majeure pour les services d'eau, comme toute activité industrielle, la filière de production et de distribution d'eau potable génère des GES qui sont responsables en grande partie du changement climatique.

Optimisation énergétique du cycle d'AEP :

Les émissions sont dues globalement à la consommation d'énergie pour le transport de l'eau (prélèvement, relevage, refoulement) ainsi qu'aux réactifs utilisés pour les procédés de traitement d'eau (Charbon actif en grain ou en poudre, coagulant floculant, l'oxygène pour la production d'ozone). Cependant l'évolution des quantités de GES émises dépend de plusieurs paramètres :

- Nature de la ressource (eau de surface, eau souterraine) ;

- Types d'énergies et de combustibles utilisés ;
- Nature et quantité des réactifs utilisés ;
- Situation topographique des systèmes de production et de distribution.

Par exemple, dans le cas de l'alimentation en eau potable de la ville de Paris, une eau souterraine générerait entre 21,4 et 26,2 g CO₂/m³ tandis qu'une eau de surface aura un niveau d'émission compris entre 78,8 et 84,2 g CO₂/m³ (Duguet et al., 2007).

Afin de minimiser les émissions des GES, il est important de remplacer les équipements électriques par du matériel plus faiblement consommateur d'énergie, la mise en place de source d'énergie faiblement productrices de GES (turbines, éolien, photovoltaïques). Concernant les réactifs, des études ont montré qu'il est possible d'optimiser les fréquences de régénération/changement de charbon actif en grain qui constitue à lui seul 75% des émissions de GES dues aux réactifs (Duguet et al., 2007).

Mise en place de turbines sur les réseaux AEP :

L'utilisation de turbines sur les cours d'eau pour la génération d'électricité est une pratique courante en France. En effet, 1,5% de la production énergétique nationale provient de l'hydroélectricité. Cependant, la mise en place de turbines sur les réseaux d'AEP est moins commune. Le fonctionnement des turbines réside en la transformation de l'énergie potentielle de l'eau en énergie électrique, ce qui les rend plus efficaces en région montagneuse où les hauteurs d'eau sont importantes. En France, en 2008 le service d'eau de la ville « Nice Côte d'Azur » a été le premier à générer de l'électricité à partir de son réseau d'eau potable notamment avec la microturbine de Cap de Croix, situé en amont de l'usine de traitement de la ville niçoise. Trois autres microturbines suivront avec une capacité à terme de 1,9 MW qui représente 60% de l'électricité nécessaire au fonctionnement du tramway niçois (Enerzine, 2010).

A Tahiti, Le projet « Vaimarama » qui résulte de la coopération entre la ville de Papeete et la Polynésienne des Eaux, qui ont mis en place un système de microturbines en 2014 qui produisent 95.000 KWh, soit l'équivalent de la consommation annuelle de 35 ménages polynésiens (Tixier, 2015).

D'autres projets ont vu le jour notamment chez Suez Environnement, avec la pose de deux microturbines, une à Vallauris et une à Monestier, avec respectivement une capacité de l'équivalent de la consommation annuelle de 23 et 38 foyers.

Cogénération :

La cogénération consiste à produire et à utiliser conjointement de l'électricité et de la chaleur à partir d'une même source d'énergie. MiCROSOL est une nouvelle offre innovante de Schneider Electric qui repose sur ce principe. Elle permet de produire simultanément de l'électricité, de l'eau potable et de la chaleur, destinées principalement aux communautés rurales isolées. Un projet pilote a été inauguré en 2013 à Caradache, son principe de fonctionnement se base sur une alimentation en énergie solaire via des panneaux photovoltaïques qui par cogénération généreront de l'énergie électrique et de l'énergie thermique. Cette dernière sera utilisée pour accélérer le cycle évaporation- condensation de l'eau qui permettra la production de 2 m³/jour d'eau potable. L'unité MiCROSOL est capable d'alimenter un village de 500 habitants 24h/24 en électricité, chaleur et eau potable (Souquet, 2013).

CONCLUSION :

L'étude de l'impact du changement climatique sur la ressource en eau potable nous a permis d'évaluer la vulnérabilité du territoire français face à ce phénomène qui variera selon le contexte régional. Ajouter à cela, plusieurs questionnements résident notamment par rapport à l'évolution du changement climatique car de nombreuses incertitudes subsistent le concernant.

Les services d'eau potable ont développé des stratégies afin de s'adapter face à ces vulnérabilités. Plusieurs actions ont été entreprises à différentes échelles pour assurer la continuité et la qualité de l'alimentation en eau potable face aux aléas du changement climatique. Ces opérations comportent plusieurs niveaux : Maitrise des consommations et des pertes, sécurisation de la ressource en eau potable, évaluation de l'application de méthodes alternatives d'alimentation en eau potable, réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Par ailleurs, de nouvelles possibilités d'évolution sont à prévoir par les services d'eau potable pour assurer une meilleure stratégie d'adaptation au changement climatique. Cela concerne l'éventuelle optimisation du traitement d'eau potable des captages d'eau de surfaces qui souffriront de la baisse de leur capacité autoépuration, une nouvelle approche relative aux modes de pauses des canalisations et la construction des réservoirs qui seront plus exposés à la hausse de la température et donc de la qualité des eaux, la potentialité de la mise en œuvre d'un indicateur d'empreinte carbone pour les services d'eau potables afin d'optimiser leur consommation énergétique mais qui semble difficile à mettre en œuvre car nécessitant une bonne connaissance de l'état du réseau et du service (Bolognesi, 2016), cet aspect « empreinte carbone » peut se traduire aussi par l'intégration de l'enjeu climatique dans les schémas directeurs d'eau potable.

C'est grâce à ces évolutions associées à la volonté des services d'eaux potables à se développer et rechercher les moyens efficaces pour adopter la meilleure politique d'adaptation afin d'assurer une bonne transition face aux évolutions du changement climatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Ademe, 2015. *Le changement climatique. Comprendre ses causes et ses conséquences pour mieux réagir*. ADEME, Les Enjeux, Comprendre, mai 2015, 40p. Disponible sur internet : <https://ile-de-france.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Changement-climatique/guide-pratique-changement-climatique.pdf>, [Consulté le 24/01/2016].
- Agence de l'eau Adour-Garonne., 2014. *Les enjeux pour la ressource, les usages et les milieux*. Agence de l'eau Adour-Garonne, 19 p.
- Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2016. Disponible sur internet : <http://www.eaurmc.fr/les-grands-dossiers-prioritaires-pour-latteinte-du-bon-etat-des-eaux/epuration-des-eaux-usees/pollutionpluviale/journees-techniques-oons-desimpermeabiliser-les-sols.html> [Consulté le 24/01/2016].
- Blum.A., 2005. *Les prélèvements d'eau en France et en Europe*. Les données de l'environnement (IFEN), (n°104), 4 p.
- Bolognesi T., Chercheur à l'université de Genève. Entretien par mail le 20/01/2016.
- Boulangier G., 2007. Eau potable et sécheresse : perspectives. *TSM. Techniques sciences et méthodes*, Génie urbain génie rural, (n°9), pp. 55 - 63.
- Bullet C., 2008. *Changements climatiques et usages en eau dans le bassin méditerranéen : impacts et adaptations*. Synthèse technique, AgroParisTech, Montpellier, 17 p.
- Chazot.S., Terrasson I., Dorcourt A., 2012. *Ressource et besoins en eau en France à l'horizon 2030*. Etude réalisée par BRL Ingénierie pour le Centre d'Analyse Stratégique. 167 p.
- Collet P., 2012. Le dessalement d'eau de mer. *Actu-Environnement*. Disponible sur internet : <http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/nouvelles-ressources-eau/dessalement.php> [Consulté le 23/01/2016].
- Conseil scientifique du Comité de Bassin Rhône Méditerranée, 2014. *Avis sur le rapport d'analyse de la récupération des coûts du projet Aquadomitia*. Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Lyons, 20 p.
- Duguet J.P., Gripois S., 2007. Le bilan carbone de la production d'eau de consommation : l'exemple d'Eau de Paris. *TSM. Techniques sciences et méthodes*, Génie urbain génie rural, (n°9), pp. 67 - 72.
- Dunglas J., 2014. *Le dessalement de l'eau de mer. Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau*. Académie d'Agriculture de France, Groupe Eau, note de travail n°4,

- 10p. Disponible sur internet : <http://www.agrisalon.com/fr/fichiers/divers/dessalement-de-l-eau-de-mer.pdf>, [Consulté le 23/01/2016]
- Energine, 2010. Disponible sur internet : <http://www.energine.com/7/9709+des-microturbines-integrees-au-reseau-deau-potable+.html> [Consulté le 23/01/2016]
- Grémont M., Girard C., Gauthey J., Augeard B., 2015. *Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ?* Onema, 20 p.
- Guiraudie M., Responsable environnement et développement durable à la mairie de Lunel. Entretien par mail le 12/01/2016.
- Haefner H., 2007. Gestion préventive des ressources en eau. *TSM. Techniques sciences et méthodes, Génie urbain génie rural*, (n°9), pp. 49 - 53.
- IPCC, 2014. *Climate change 2014 : synthesis report*. New York, Cambridge University Press, 180 p.
- jeconomiseleau, 2016. *SAGE Nappe Profonde de Gironde*. Disponible sur internet <http://www.jeconomiseleau.org/index.php/fr/> [consulté le 21/01/2016].
- Lambert M., Président du Syndicat des Eaux du Viviers. Entretien par mail le 06/01/2016.
- La Jeunesse I., 2015. Changement climatique et impacts sur l'eau. *Techniques de l'ingénieur Les grands rendez-vous de l'année 2015*, pp. 1-19.
- Laperche D., 2012. Crues : quelles contaminations des eaux de rivières en milieu agricole ?. Disponible sur Internet : <http://www.actu-environnement.com/ae/news/cruces-pollutions-pesticides-agriculture-rivieres-eau-de-surface-15529.php4>, [consulté le 02/12/2015]
- Le Jeune T., Chargé de projet Eau et Assainissement chez GRET. Cours « Aide au Développement » le 26/01/2016.
- Martine A., 2015. *La problématique de l'eau à Singapour : Rapport d'ambassade*. Singapour, Institut Français Singapour, 45 p.
- Molières J.F., Président du Syndicat Intercommunal d'Eaux et d'Assainissement de la région de Ganges. Entretien le 15/01/2016
- EXPLORE 2070, 2012a. *Synthèse du projet Explore 2070. Hydrologie souterraine*. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du logement. Paris, 4 p.
- EXPLORE 2070, 2012b *Synthèse du projet Explore 2070. Hydrologie de surface*. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du logement. Paris, 4 p.
- Pagotto C., Soyeux E., Rinck Pfeiffer S., 2007. Approvisionnement en eau : vers de nouvelles solutions ?. *TSM. Techniques sciences et méthodes, Génie urbain génie rural*, (n°9), pp. 37 - 47.
- Paumier G., Deferetin E., Berthault D., Martin A., Lemandé S., Cousin A.C., de Thé C., 2007. Limitation des pertes en eau des réseaux. *TSM. Techniques sciences et méthodes, Génie urbain génie rural*, (n°9), pp. 17 - 37.
- PNACC, 2011. Plan national d'adaptation au changement climatique 2011-2015. MEDDTL, Paris, 188p. Disponible sur internet : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ONERC-PNACC-complet.pdf>, [consulté le 07/01/2016]
- Région Languedoc – Roussillon, BRL, 2016. Disponible sur internet <http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-aquadomia/site/> [consulté le 07/01/2016].

Rinaudo J.D., Muller C., Graveline N., Bouzit L., 2011. *Economiser l'eau potable Typologie des actions possibles, évaluation du potentiel d'économie dans le Pays Coeur d'Hérault et expérimentation*. Montpellier, 37 p.

Savage T., 2016. La première station de dessalement d'eau alimentée à l'énergie solaire fonctionnelle au Maroc. Disponible sur internet : http://telquel.ma/2016/01/08/premiere-station-dessalement-deau-alimentee-lenergie-solaire-fonctionnelle-au-maroc_1476912 [Consulté le 10/01/2016].

Souquet S., 2013. *MiCROSOL, une solution d'accès à l'énergie pour accompagner le développement de micro-industries à la base de la pyramide*. Cadarache, Schneider Electric, 12 p.

Tixier G., 2015. Tahiti : de l'électricité dans l'eau potable. Disponible sur internet : <http://www.faiteslepleindavenir.com/2015/03/17/tahiti-lelectricite-leau-potable/> [Consulté le 23/01/2016]

Weuilleumier A., Segui J., 2008. *Réalimentation artificielle des aquifères en France. Une synthèse*. Orléans, 69 p.

AUTRES RESSOURCES UTILES

Nassopoulos H., 2012. Les impacts du changement climatique sur les ressources en eaux en Méditerranée. Thèse pour l'obtention du doctorat en sciences économiques. Université Paris-Est, Paris, 153 p

Planton S., Déqué M., Douville H., Spagnoli B., 2005. Impact du réchauffement climatique sur le cycle hydrologique. *Comptes Rendus Geoscience*, 337 (1-2), pp. 193-202.

Taabni M., El Jihad M.-D., 2012. Eau et changement climatique au Maghreb : quelles stratégies d'adaptation ? *Les Cahiers d'Outre-Mer*, (n° 260), pp. pp. 493-518.

Autres synthèses disponibles

Titre	Année de parution
Adaptation technique des villes méditerranéennes au risque inondation en contexte de changement climatique	2015
Retour d'expériences sur les mesures d'adaptation liées à la gestion de la ressource en eau aux changements climatiques au travers des SRCAE et des PCET des grandes collectivités	2015
Les énergies renouvelables : une alternative pour la production et l'économie d'énergie dans le domaine de l'eau et de l'assainissement	2015
Agroforesterie et ressources en eau : les pratiques anciennes en réponse aux problématiques modernes	2015
La compétence communale « gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations » Quel dispositif de création pour quelle mise en œuvre ?	2015
Caractérisation et évaluation des dommages environnementaux liés à l'eau en France	2015
La loi Oudin-Santini, dix ans après	2015
Vers une économie circulaire dans le domaine de l'eau	2015
Changement de mode de gestion des services d'eau : les transferts de personnels et de moyens techniques entre DSP et régie	2014
Eau et économie verte : enjeux, risques et opportunités autour de la Méditerranée	2014
L'accès au financement pour les acteurs locaux africains pour investir dans les services d'eau et d'assainissement	2014
Prix de l'eau et recouvrements des coûts : quelles pratiques et retours d'expérience en Europe ?	2014
La mise en place d'un contrat d'objectifs entre autorité et exploitant publics comme outil pour améliorer les performances des services d'eau	2014
Réutilisation des eaux usées et des excréments	2014
Nouvelles pollutions médicamenteuses : Quels risques ? Quelles solutions ?	2014
La place de l'hydromorphologie dans l'atteinte du « bon état »	2013
Analyse critique des stratégies de gestion et de mobilisation de la ressource en eau pour s'adapter au changement climatique	2013
La gestion intégrée des eaux littorales : Quelle stratégie française ?	2013
Villes durables. Eau, énergie et urbanisme	2013

Retour d'expérience sur la valorisation du biogaz : Contraintes techniques et réglementaires	2013
La réforme de la Politique Agricole Commune pour 2014-2020 et la Gestion de l'eau»	2013
Les marchés publics dans la gestion des services d'eau et d'assainissement collectif en France	2013
Les stratégies socio-économiques d'adaptation à la sécheresse en agriculture en Méditerranée	2012
Les conséquences hydrologiques et hydrogéologiques de l'exploitation des gaz de schiste	2012
Quelles structures locales de gestion de l'eau pour la mise en oeuvre de la DCE ? Application au bassin Rhône Méditerranée à partir d'expériences acquises et d'innovations proposées en France	2012
Application de la DCE à la gestion quantitative des ressources en eau	2012
Les effluents liquides hospitaliers	2012
Capacité d'acceptation de la pollution domestique résiduelle par des zones naturelles	2012
Les Normes de Qualité Environnementale de la Directive Cadre sur l'Eau Historique, définition et Modalités de mise en oeuvre en France	2012
Les impacts de l'application française de la politique agricole commune et de la fiscalité française sur les zones humides	2011
La gestion durable du risque inondation. Cas des polders de la vallée du Rhin	2011
Irrigation - Les marchés de l'eau : quels impacts ?	2011
Les techniques alternatives d'assainissement : quelle efficacité en termes de lutte contre les inondations ?	2011
Nouvelles sources d'appoint en eau potable Etude de trois prototypes	2011
Retours d'expérience européens sur l'application de la Directive Cadre sur l'Eau : Quelles difficultés ? Quels enseignements ?	2011
Les impacts de l'application française de la politique agricole commune et de la fiscalité française sur les zones humides	2011
Gestion quantitative conjointe des eaux souterraines et des eaux de surface	2010

Retrouvez tous les titres disponibles :
<http://documentation.oieau.fr/publications/syntheses-techniques>



648 rue Jean-François Breton – BP 44494
34093 MONPELLIER CEDEX 5

Tél. : (33) 4 67 04 71 00

Fax. : (33) 4 67 04 71 01

www.agroparistech.fr



*Office
International
de l'Eau*

15 rue Edouard Chamberland
87065 Limoges Cedex

Tél. (33) 5 55 11 47 80

Fax. (33) 5 55 11 47 48

www.oieau.org