



Urbanisme  
Tarification  
Investissement  
Démographie  
Incertitude  
Scénario  
Recherche de suite

**La prévision** à moyen et long terme  
de la demande en **eau potable** :  
bilan des méthodes et pratiques actuelles

Jean-Daniel Rinaudo et Noémie Neverre

## L'Agence française pour la biodiversité

Créée le 1<sup>er</sup> janvier 2017, l'Agence française pour la biodiversité (AFB) est un établissement public du ministère de la Transition écologique et solidaire. En métropole et en outre-mer, elle a pour mission d'améliorer la connaissance, de protéger, de gérer, et de sensibiliser à la biodiversité terrestre, aquatique et marine.

Investissement

Démographie

Cet ouvrage poursuit la collection **Comprendre pour agir** qui accueille des ouvrages issus de travaux de recherche et d'expertise mis à la disposition des enseignants, formateurs, étudiants, scientifiques, ingénieurs et des gestionnaires concernés par la biodiversité.

Il est consultable sur le site internet de l'Agence française pour la biodiversité ([professionnels.afbiodiversite.fr/fr/comprendre-pour-agir](http://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/comprendre-pour-agir)), sur le portail national les *documents sur l'eau et la biodiversité* ([www.documentation.eauetbiodiversite.fr](http://www.documentation.eauetbiodiversite.fr)).

# La prévision à moyen et long terme de la demande en eau potable : bilan des méthodes et pratiques actuelles



Jean-Daniel Rinaudo et Noémie Neverre  
(BRGM)

# Sommaire

Recherche de fuite  
Investissement  
Démographie  
Parification  
Investissement  
Scénario  
Démographie

4	■ Résumé
7	<b>A - CONCEPTS ET MÉTHODES</b>
8	■ Quelques rappels conceptuels sur la demande en eau potable
15	■ Typologie des méthodes de prévision
19	■ La prise en compte de l'incertitude
25	<b>B - MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE DES MÉTHODES DE PRÉVISION EN FRANCE ET DANS LE MONDE</b>
26	■ Introduction
27	■ État des lieux des pratiques en France
39	■ Los Angeles : une articulation des prévisions régionales et locales
44	■ Royaume-Uni : la modélisation des composantes d'usage
49	■ Hambourg : intégration de la planification de l'urbanisme et de la prévision de la demande en eau potable
54	■ Canada : un outil d'aide à la décision au service des collectivités ( <i>Brockwater</i> )
57	<b>C - ENJEUX MÉTHODOLOGIQUES ET BONNES PRATIQUES</b>
58	■ Prévision de la demande électrique : quels enseignements pour le secteur de l'eau potable ?
66	■ Quelques bonnes pratiques et pistes de progrès pour les collectivités françaises
71	<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>
78	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>
81	<b>LISTE DES FIGURES</b>
83	<b>LISTE DES TABLEAUX</b>
84	<b>AUTEURS, CONTRIBUTEURS ET REMERCIEMENTS</b>



## Résumé

**D**ans le cadre de la préparation des schémas directeurs d'alimentation en eau potable ou lors de l'élaboration de certains schémas d'aménagement et de gestion des eaux, les collectivités sont amenées à construire des scénarios d'évolution de la demande en eau potable. Ces études prévisionnelles et prospectives doivent les aider à dimensionner leurs équipements d'alimentation en eau potable.

Cependant, les méthodes utilisées jusqu'à aujourd'hui, relativement basiques, se révèlent insatisfaisantes. D'une part, elles conduisent souvent les collectivités à surestimer la demande future en eau potable et ainsi à surdimensionner leurs équipements d'approvisionnement, les mettant alors en difficulté pour recouvrir les coûts de ces infrastructures. D'autre part, la remise en cause de certaines tendances historiques, comme celle qui liait l'augmentation de la demande en eau potable avec la croissance de la population, et l'apparition de nouvelles incertitudes liées au changement climatique, à l'évolution des structures économiques, à l'aménagement du territoire, etc. augmentent les risques d'erreur de prévision. Il convient donc, en particulier pour certaines collectivités, de recourir à des méthodes de prévision plus aptes à rendre compte de l'évolution future de la demande en eau potable.

Cette publication présente un bilan des méthodes de prévision de la demande en eau potable, en analysant les pratiques opérationnelles en France et à l'international mais aussi des innovations issues du monde de la recherche.

# A

**La partie A** de cet ouvrage rappelle quelques concepts et éléments de méthode relatifs à la prévision de la demande en eau potable. Les principales composantes de cette demande, qui émane d'acteurs économiques divers, de collectivités et des ménages, sont décrites et les évolutions tendanciennes de ces dernières décennies en France sont présentées. Les facteurs pouvant expliquer ces tendances et déterminer l'évolution future sont analysés en s'appuyant sur une revue de la littérature scientifique. Les principales méthodes de prévision de la demande, utilisées par les acteurs du secteur de l'eau potable en France et à l'étranger, ainsi que celles produites par le monde de la recherche sont ensuite présentées. La question de la prise en compte des incertitudes dans l'exercice de prévision fait l'objet d'une analyse approfondie.

# B

**La partie B** propose un état des lieux des méthodes réellement mises en œuvre par les services d'eau potable en France et dans le monde. L'analyse des pratiques en France s'appuie sur des études réalisées à l'échelle de syndicats d'eau potable, de départements, de régions (Ile-de-France), de schémas d'aménagement et de gestion de l'eau (Sage) (nappes profondes de Gironde) ou encore de schémas de cohérence territoriale (SCOT) (Grenoble). Des exemples choisis aux États-Unis (Los Angeles), en Allemagne (Hambourg) et en Angleterre (Londres) sont ensuite présentés, mettant en évidence l'intérêt d'approches plus sophistiquées que celles déployées dans l'Hexagone.

# C

**La partie C** de l'ouvrage tente de tirer des enseignements des cas d'étude présentés. Une comparaison avec les méthodes de prévision de la demande en électricité est ainsi proposée au lecteur.

L'ouvrage se termine par l'identification de quelques bonnes pratiques à promouvoir par l'ensemble des acteurs impliqués dans les exercices de prévision de la demande en eau potable à long terme.



## A Concepts et méthodes



- 8 ■ Quelques rappels conceptuels sur la demande en eau potable
- 15 ■ Typologie des méthodes de prévision
- 19 ■ La prise en compte de l'incertitude



# 1 - Quelques rappels conceptuels sur la demande en eau potable

## 1.1 Qu'est-ce que la demande en eau ?

Les services publics d'eau potable produisent, transportent et distribuent de l'eau pour satisfaire les besoins des usagers. Les ingénieurs appréhendent souvent la demande en eau comme la quantité de ressource en eau devant être prélevée pour satisfaire ces besoins, en tenant compte des pertes qui ont lieu pendant la production, l'adduction et la distribution. La demande totale est alors définie comme la somme de la consommation facturée et non facturée des différents usagers et des pertes survenant dans les réseaux (Figure 1). Dans cette conception technique de la demande, celle-ci est considérée comme une variable exogène au service, c'est-à-dire qu'elle s'impose au gestionnaire qui doit s'organiser pour la satisfaire. Le terme de demande est d'ailleurs assez peu utilisé dans les études techniques qui lui préfèrent la notion de besoin en eau.

Les économistes ont une conception différente de cette notion de demande. Ils la définissent comme la quantité d'eau que les usagers seront prêts à acheter pour un prix donné. L'utilisateur est supposé pouvoir modifier ses pratiques en fonction du prix de l'eau, par exemple investir dans des équipements moins consommateurs ou changer ses habitudes de consommation (arrosage du jardin, durée des douches). Cette conception implique que le gestionnaire est capable de modifier la demande en jouant sur des leviers incitatifs, comme la tarification ou la sensibilisation. La demande peut ainsi être représentée par une fonction mathématique décrivant la relation entre, d'une part, la quantité totale d'eau que les consommateurs sont prêts à acheter et, d'autre part, les variables qui déterminent cette décision de consommation. C'est cette dernière définition de la demande qui est retenue pour réaliser des prévisions à long terme. Nous verrons plus bas quels sont les facteurs qui entrent dans les fonctions de demande (section 1.4) et comment celles-ci peuvent être établies en utilisant des approches statistiques (section 2.3).

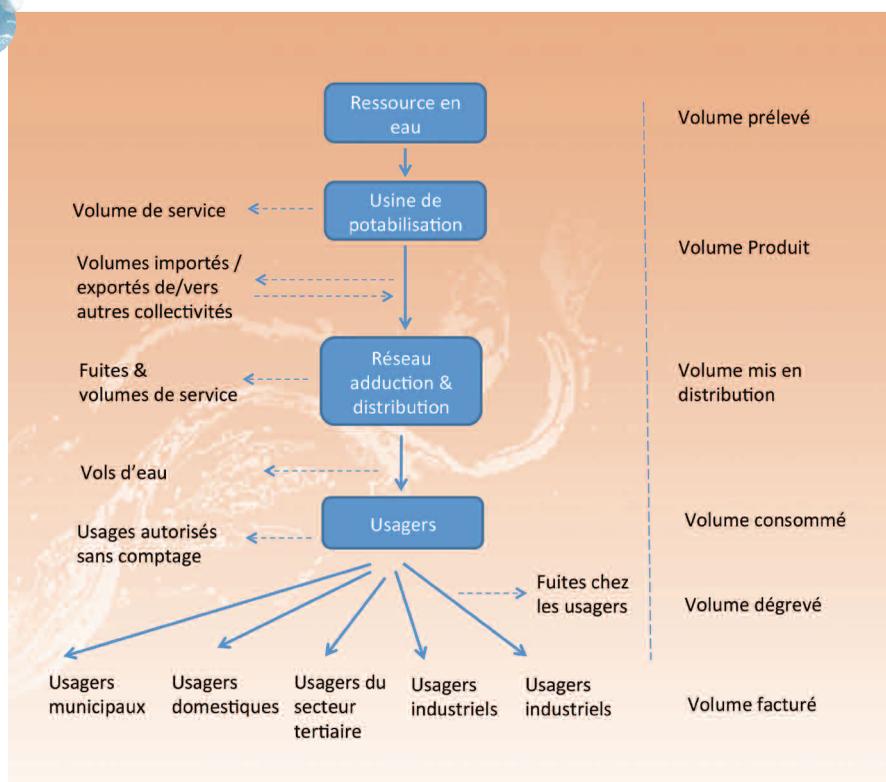
## 1.2 Les composantes de la demande en eau potable ?

Les services d'eau potable desservent cinq grandes catégories d'usagers : (1) des usagers domestiques et (2) municipaux pour qui l'eau est un bien de consommation final ; et des usagers (3) industriels, (4) agricoles ou (5) du secteur tertiaire (commerce, artisans, hôtellerie...) qui utilisent l'eau comme un intrant dans un processus de production. Ces différents usages ne sont pas présents dans les mêmes proportions dans tous les territoires. Cela explique la grande diversité des valeurs de consommation par habitant sur le territoire national.

Les gestionnaires des services connaissent généralement assez mal la répartition de la demande entre ces catégories d'usagers : leurs bases de données ne sont généralement pas conçues pour recueillir ou analyser cette information avec précision. Le plus souvent, la seule information disponible est une consommation moyenne annuelle par usager, calculée en divisant le volume total facturé par le nombre d'abonnés du service.

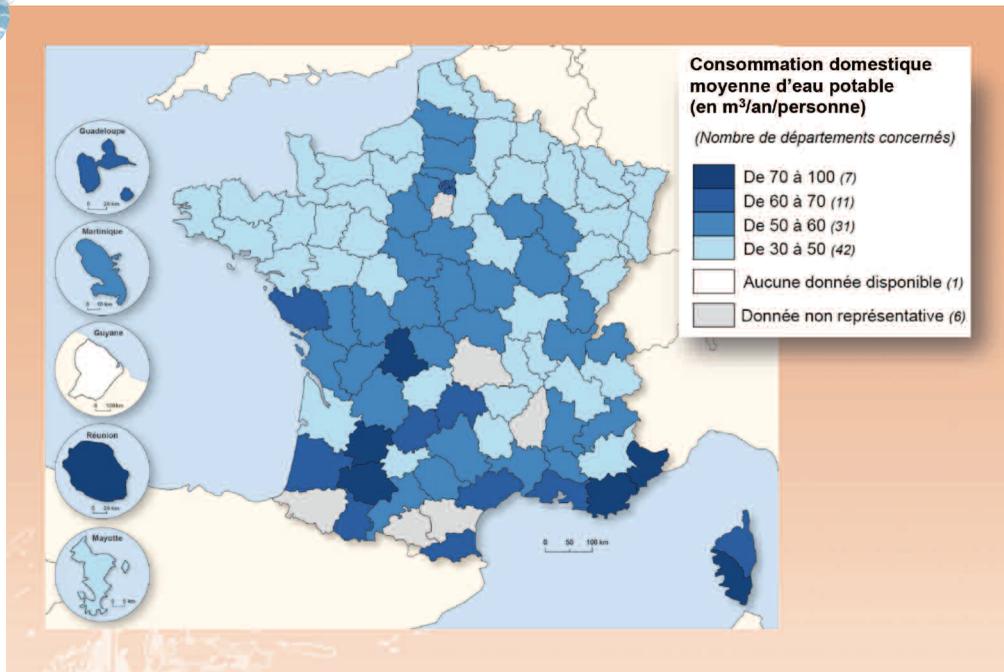
Une connaissance précise de la consommation spécifique par type d'utilisateur est un préalable nécessaire à toute prévision. En effet, les ratios de consommation sont très différents d'un usage à l'autre ou d'une collectivité à l'autre pour un même usage : la figure 2 (page suivante) illustre par exemple la variabilité de la consommation des abonnés domestiques au niveau national. L'estimation précise de ces ratios peut être réalisée à partir des fichiers de facturation, ce qui nécessite de les retravailler pour affecter une catégorie d'utilisateur à chaque client. Cette classification peut être établie soit manuellement, soit en utilisant des procédures automatiques de recherche lexicale. Une étude réalisée par Irstea et le BRGM illustre l'intérêt de ce type d'analyse (Montginoul *et al.*, 2017). En repartant du fichier de facturation, les auteurs ont pu évaluer précisément la répartition de la demande entre ses différentes composantes et calculer des ratios de consommation par type d'utilisateurs. L'application de la méthode aux métropoles de Montpellier et Perpignan montre que les consommations spécifiques peuvent fortement différer dans un même contexte régional. Ainsi, un ménage résidant en maison individuelle consomme 85 m<sup>3</sup> par an à Perpignan contre 134 m<sup>3</sup> à Montpellier et 57 m<sup>3</sup> par an contre 100 m<sup>3</sup> pour un appartement dans ces deux métropoles.

Figure 1



Du prélèvement à la consommation. Données 2013, SISPEA. Source : Onema 2016.

L'analyse de la demande peut encore être affinée en établissant des sous-catégories. Les usagers domestiques peuvent par exemple être regroupés en fonction des caractéristiques de leur habitat, lesquelles déterminent fortement les usages extérieurs (arrosage de jardin, présence de piscine, etc.). L'étude Irstea-BRGM à Perpignan et Montpellier a permis de quantifier ces usages extérieurs. En s'appuyant sur des photographies aériennes à haute résolution, les auteurs analysent plus de 30 000 parcelles dans chaque agglomération. Ils estiment le taux d'équipement en piscine à 45 % sur les parcelles de plus de 350 m<sup>2</sup> (Montpellier). La surface en pelouse arrosée représente entre 11 et 15 % de la superficie de la parcelle selon les lotissements (Desprats *et al.*, 2011 ; Desprats *et al.*, 2012). Globalement la consommation en eau à l'extérieur représente entre 40 et 50 m<sup>3</sup> par an (respectivement à Perpignan et Montpellier) pour les parcelles dont la taille est comprise entre 350 et 500 m<sup>2</sup>. L'étude montre également qu'il existe une relation linéaire entre le volume d'eau utilisé à l'extérieur et la taille de la parcelle : la consommation annuelle augmentant de 100 litres pour chaque m<sup>2</sup> supplémentaire.



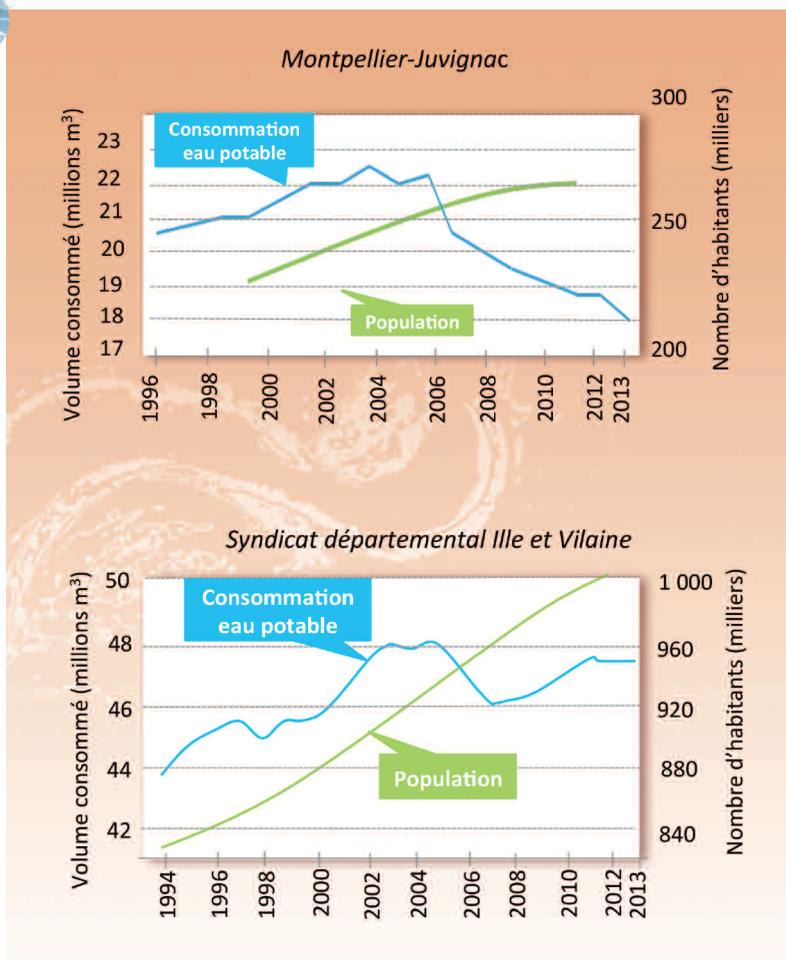
Consommation domestique moyenne annuelle. Données 2013, SISPEA. Source : Onema 2016.

### 1.3 Les tendances d'évolution de la demande en eau potable en France

Depuis plus de 10 ans, les données statistiques mettent en évidence un découplage croissant entre la croissance démographique et la demande en eau potable. La Figure 3 illustre ce découplage à travers deux exemples choisis dans des régions très contrastées d'un point de vue climatique (Bretagne et Occitanie). Cette tendance, qui a été mise en évidence au début des années 2000 à l'échelle de quelques grandes agglomérations françaises et européennes (Poquet, 2003 ; Poquet et Maresca, 2006) est confirmée par des données plus récentes (Barraqué *et al.*, 2011 ; Montginoul, 2013 ; Montginoul, Even *et al.*, 2013 ; Montginoul *et al.*, 2017) ainsi que par les données agrégées au niveau national produites dans le cadre de l'observatoire Soes puis Sispea. Bien que la qualité des données fournies par les gestionnaires pour alimenter ces observatoires demeure incertaine, le découplage entre la croissance démographique et la demande en eau potable est particulièrement bien marqué en ce qui concerne la consommation domestique (Figure 4).

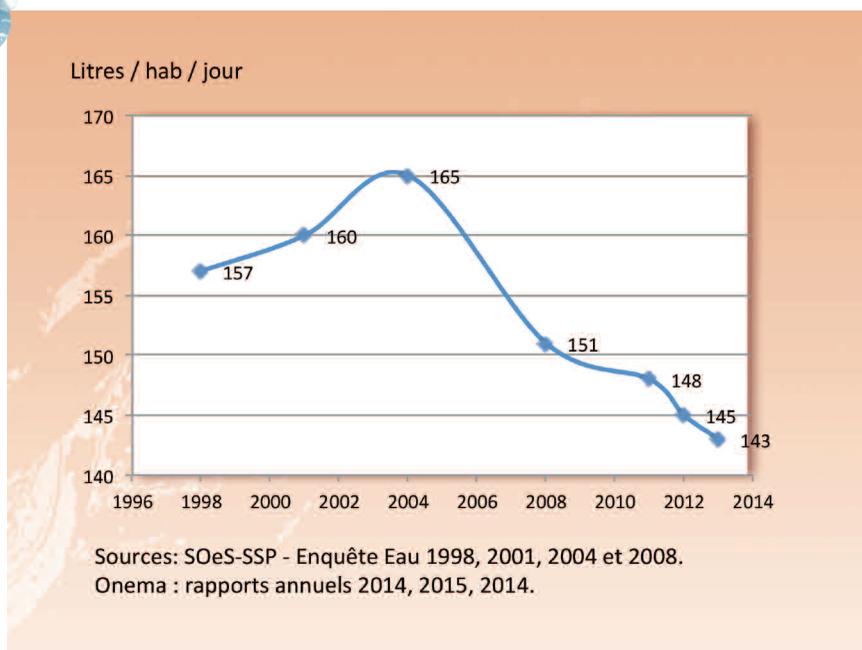
Des études ponctuelles réalisées dans quelques grandes villes ont montré que la baisse provenait en grande partie des activités économiques, commerciales et industrielles. À Perpignan, la baisse provient principalement des gros consommateurs : ainsi les 20 % d'utilisateurs qui ont les consommations les plus élevées (5<sup>e</sup> quintile) ont vu leur consommation baisser de 7 % par an entre 2005 et 2011. La consommation des usagers des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> quintiles accusent également une baisse significative de l'ordre de 5 à 6 % pendant la même période. En revanche, le volume des plus petits consommateurs (1<sup>er</sup> quintile) augmentent de 6 % par an. Les chiffres globaux cachent donc une grande hétérogénéité de situations. Une évolution similaire est mise en évidence à Montpellier où la consommation des plus petits consommateurs (1<sup>er</sup> quintile) augmente de 11 % entre 2007 et 2011 alors que celle des quatre autres quintiles diminue de 1 à 5 % (Montginoul *et al.*, 2017). Le constat de cette tendance à la baisse de la consommation interpelle nécessairement les prévisionnistes. Cette tendance est-elle conjoncturelle ou susceptible de se prolonger ? La consommation par habitant tend-elle vers une asymptote ? Si oui, quel sera le niveau de consommation incompressible et quand sera-t-il atteint ? Ces questions invitent à réfléchir aux facteurs déterminant le niveau de la consommation en eau potable et donc de son évolution.

Figure 3



Découplage entre démographie et demande en eau potable : exemples de Montpellier et de l'Ille-et-Vilaine. Sources : Montginoul et al. (2017) et Syndicat mixte de gestion pour l'approvisionnement en eau potable d'Ille-et-Vilaine.

Figure 4



Évolution de la consommation domestique moyenne en eau potable en France.

## 1.4 Les facteurs qui déterminent l'évolution de la demande à long terme

Ayant constaté le découplage entre la demande en eau et la croissance démographique, les économistes ont cherché à modéliser l'évolution de la consommation unitaire, en litres par habitant et par jour. Les études statistiques sur ce thème, dont la plupart se focalisent sur la demande domestique (Espey, Espey *et al.*, 1997; Arbués, Garcia-Valinas *et al.*, 2003; Dalhuisen, Florax *et al.*, 2003 ; Barraque, Isnard *et al.*, 2011; Montginoul 2013) ont mis en évidence les principaux facteurs que nous décrivons dans le Tableau 1.

**Tableau 1** Facteurs déterminant la consommation en eau

Facteur	Influence sur la consommation domestique	Évolution future probable et impact sur la demande	
Revenu des ménages	En moyenne, une augmentation du revenu de 10 % génère une hausse de la consommation d'eau de 4 %. Cette réponse, mesurée statistiquement sur des centaines d'individu, est appelée « élasticité revenu de la demande »	Très dépendante de la situation locale	?
Taux d'équipement en appareils hydro-économiques	Électro-ménager (lave-linge et lave-vaisselle), chasses d'eau à double bouton, robinetterie et douches économes, etc.	Hausse du taux d'équipement efficaces => baisse de la consommation	-
Développement de nouveaux usages	Nouveaux équipements (jacuzzis dans les petites maisons voir immeubles, cabines de douche multi-jets)	Hausse de la consommation	+
Le climat	La consommation augmente avec la température (arrosage des jardins et remplissage des piscines, fréquence des douches) et baisse avec les précipitations	Réchauffement climatique => hausse de la consommation	+
Caractéristiques de l'habitat	Superficie habitable, taille de la parcelle, présence de jardin et de piscine sont autant de facteurs augmentant la consommation en eau. Les logements individuels consomment davantage que les appartements	Densification de l'urbanisme => baisse de la consommation	-
L'accès à une ressource de substitution	Certains ménages ont accès à une ressource alternative au réseau public, ils la substituent à l'eau potable pour certains usages ne nécessitant pas une eau de qualité (arrosage des jardins, chasses d'eau, voire douches et piscines). Il peut s'agir d'un forage, de l'accès à un réseau d'eau brute agricole ou de la récupération d'eau de pluie. Le développement de ces ressources pose un problème de prévision aux gestionnaires des services (voir Montginoul et Rinaudo, 2011)	Augmentation de l'accès aux ressources alternatives => baisse de la consommation d'eau potable	-
La culture de l'eau des ménages	La relation des populations à l'eau, en tant que bien de consommation, ressource naturelle et milieu environnemental est très variable d'une localité à l'autre. Elle reflète souvent des spécificités culturelles locales mais aussi la composition de la population (notamment dans le cas de villes à forte croissance où les migrations font disparaître la culture locale, par exemple en Méditerranée). Elle est influencée par les actions de la collectivité en matière de sensibilisation et par le développement de certaines technologies (smartphones)	Sensibilisation croissante à l'environnement en général et l'eau en particulier => baisse de la consommation	-
Comptage individuel	Les logements équipés d'un compteur individuel consomment moins que ceux ne disposant que d'un compteur collectif. Les compteurs intelligents aident à détecter les fuites	Généralisation des compteurs individuels y.c. intelligents => baisse de la consommation	-
La tarification des services d'eau	La consommation décroît lorsque le prix augmente. La réponse du consommateur à une augmentation de prix de 10 % est de l'ordre de 2 à 4 % de baisse de consommation. Cette réponse, appelée « élasticité prix » par l'économiste, est plus importante pour certains usages (par exemple arrosage des jardins) que pour d'autres (usages intérieurs). La structure de tarification influence aussi la consommation : par exemple une tarification par paliers croissants réduit plus la consommation des usagers qu'une tarification binôme, pour un prix moyen 120 m <sup>3</sup> équivalent	Augmentation du coût de l'eau donc du prix, généralisation des tarifications incitatives => baisse de la consommation	-

Certains de ces facteurs représentent des leviers que les collectivités locales peuvent actionner dans le cadre de leurs politiques publiques pour maîtriser la demande en eau. Les prévisions de la demande future devront donc réaliser des hypothèses concernant ces facteurs et les actions futures mises en place par les collectivités :

- sensibilisation des consommateurs à la nécessité d'utiliser l'eau avec modération, pouvant être accompagnée de distribution de kits hydro-économiques ;
- mise en place de tarifications incitatives, par palier croissant, ou saisonnière, visant à modifier le comportement des plus gros consommateurs notamment ceux utilisant beaucoup d'eau à l'extérieur ;
- généralisation des compteurs individuels et des compteurs intelligents à télérelève, qui permettent de sensibiliser les usagers à leur consommation et de les avertir en cas de fuite<sup>1</sup> ;
- densification de l'urbanisme et maîtrise des surfaces privatives et publiques consommatrices d'eau.

## 1.5 Qu'est-ce que la prévision à long terme?

Les gestionnaires ont besoin de prévoir la demande à laquelle ils auront à répondre à court, moyen et long terme. Chaque horizon temporel correspond à une problématique spécifique (Tableau 2). Ce document s'intéresse plus particulièrement à la prévision à long terme (de 15 à 30 ans). Ce type de prévision alimente les décisions relatives à la construction de grandes infrastructures dont les délais de réalisation dépassent la décennie (recherche d'eau souterraine, gros adducteur, transfert interbassin, usine de dessalement, barrage). Le risque associé à l'erreur de prévision est double. En cas de surestimation de la demande, les infrastructures construites seront surdimensionnées et le coût du capital associé pèsera durablement sur les usagers, entraînant une augmentation du prix de l'eau. En cas de sous-estimation, il existe un risque de défaillance du système : le réseau risque de ne pas satisfaire la demande en période de pointe ou, en année exceptionnellement sèche, générer des pertes d'activité économique et bloquer la réalisation de projets de développement urbain (projets suspendus du fait de la contrainte eau).

**Tableau 2** Les différents horizons temporels de la prévision de la demande en eau potable

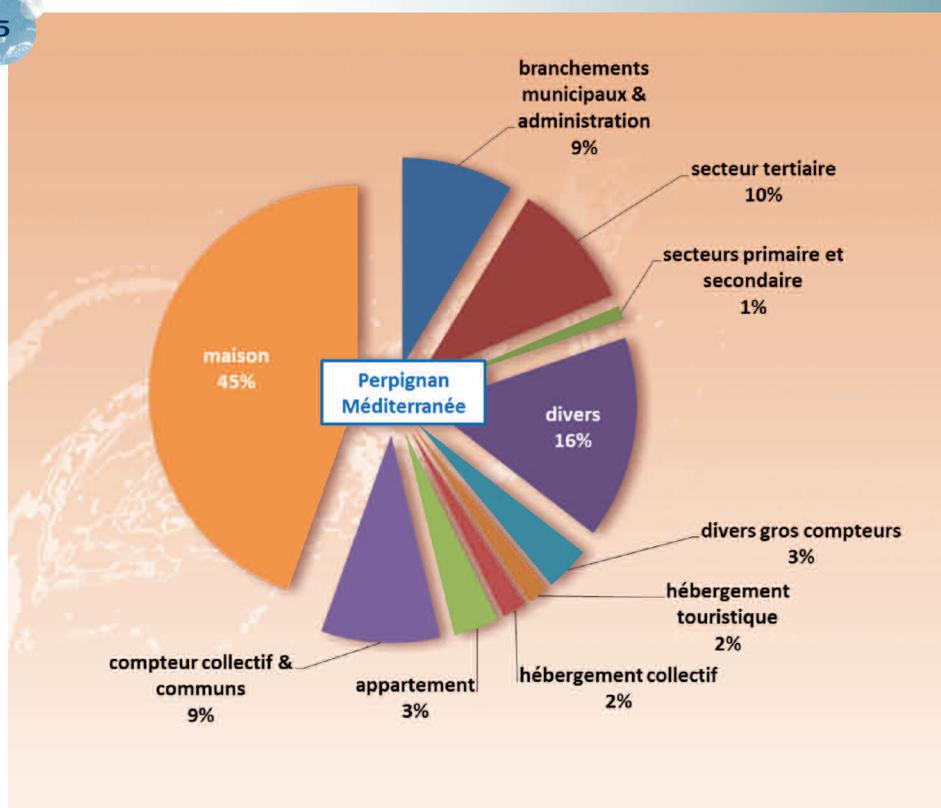
Horizon temporel	Finalité
Très court terme (quelques jours, semaines)	Anticiper les pics de demande pour optimiser le pilotage du réseau (stockage, pompage, démarrage de station), la consommation d'énergie ou pour planifier la maintenance
Court terme (1-2 ans)	Gestion tactique de l'utilisation d'un portefeuille de ressources pluriannuelles. Prévision des recettes et décision d'engager des dépenses de maintenance ou d'investissement (enjeu budgétaire) Ajustement de la tarification pour équilibrer le budget
Moyen terme (7-10 ans)	Phasage de la construction d'infrastructures Choix de politiques de tarification
Long terme (15-30 ans)	Dimensionnement des infrastructures principales (barrages, transfert, dessalement) de durée de vie importante

1 - À titre d'exemple, une étude australienne a montré que les ménages équipés d'un compteur associé à un affichage en temps réel de la consommation à l'intérieur de la maison réduisaient leur consommation de 6.8 % par rapport un échantillon témoin non équipé de cette technologie (Davies et al., 2014).

## Analyse des composantes de la demande dans les métropoles de Perpignan et Montpellier

Dans une étude portant sur les métropoles de Perpignan et Montpellier, Irstea a développé un outil d'analyse des fichiers de facturation qui permet d'évaluer les différentes composantes de la demande, d'estimer des ratios de consommation spécifique pour chacun et de caractériser les tendances d'évolution sur les 5 à 10 dernières années (Montginoul et al., 2017). La méthode consiste tout d'abord à affecter chaque client à une catégorie d'usager, en s'appuyant sur une procédure de recherche lexicale automatisée dans le nom et l'adresse du client. La deuxième étape consiste à calculer une consommation annuelle pour une durée exacte de 365 jours, en tenant compte de la date réelle des relevés d'index. Enfin, des tendances d'évolution sont calculées pour chaque client en analysant l'évolution de sa consommation sur plusieurs années. Les résultats obtenus sont illustrés figure 5, ci-dessous.

Figure 5



Poids des différentes catégories d'abonnés dans le volume facturé par catégorie d'abonnés ( $m^3/abonné/an$ ) à Perpignan (49 141 abonnés) et Montpellier (78 644). Source : Montginoul et al., 2017.



## 2 - Typologie des méthodes de prévision

Diverses méthodes ont été développées et mises en œuvre par les acteurs de l'eau pour prévoir l'évolution future de la demande en eau (Bauman *et al.*, 1998 ; Billing et Jones, 2008). Nous distinguons ici cinq principaux types d'approches méthodologiques utilisées dans le monde.

### 2.1 Modèles d'extrapolation temporelle

Cette méthode suppose que l'évolution future de la demande peut être déduite des tendances passées. La projection des tendances peut être appliquée globalement à l'échelle d'un service d'eau potable ou d'une région. Elle peut être affinée en raisonnant par classes de consommateurs (usagers domestiques, secteur tertiaire, industrie) ou par secteurs géographiques. La capacité prédictive de ce type de méthode est cependant très limitée car elles ne peuvent pas rendre compte de l'évolution du contexte socio-économique (tarification, technologie, emploi, démographie et urbanisme) et de l'occurrence de ruptures par rapport au passé.

### 2.2 Modèle basé sur des ratios de consommation spécifique

Cette méthode repose sur l'utilisation d'un ratio de consommation spécifique correspondant à la consommation moyenne annuelle d'un habitant ou d'un ménage. La demande est estimée en multipliant ce ratio par le nombre d'habitants (ou de ménages) que le service est susceptible de desservir dans le futur. Les applications diffèrent principalement en fonction du niveau de décomposition de la demande qui est retenu pour réaliser les calculs :

- estimation globale, on estime un unique ratio de consommation en divisant la consommation totale de la commune par le nombre d'habitants ; la projection réalisée suppose implicitement que la consommation liée aux activités économiques (commerce, industrie) et aux services publics (écoles, hôpitaux...) augmentera proportionnellement au nombre d'habitants ;
- estimation séparée de la demande domestique, de celle des usages publics (écoles, services publics...) et de la demande des usagers économiques (commerçants et industriels) ; chacune de ces composantes de la demande peut à son tour être décomposée en sous catégories. La demande domestique peut ainsi être estimée séparément pour l'habitat collectif et les maisons individuelles, pour les logements avec et sans compteurs, en utilisant des ratios de consommation différents pour chaque catégorie. De même la demande des usagers industriels et commerciaux peut faire l'objet d'une décomposition par branche d'activité (voir l'exemple californien ci-dessous). Les ratios de consommation peuvent être éventuellement considérés comme variables dans le temps, leur évolution future étant extrapolée à partir de l'observation des tendances passées.

### 2.3 Modèles statistiques multivariés

Cette méthode consiste à construire un modèle statistique établissant une relation numérique entre consommation unitaire d'une part (variable expliquée) et un ensemble de variables explicatives d'autre part. Les principales variables explicatives sont le prix de l'eau, le revenu des ménages, le niveau d'activité économique (emploi ou chiffre d'affaire), les caractéristiques de l'habitat (proportion d'habitat individuel ou collectif, densité urbaine), éventuellement les conditions météorologiques, etc. Le modèle est généralement établi en utilisant des données de panel, c'est-à-dire un échantillon de communes pour lesquelles on dispose de données sur cinq à dix ans. Le modèle peut ensuite être utilisé en prédiction pour calculer la demande à laquelle conduirait une évolution hypothétique des variables explicatives, en supposant que les coefficients du modèle, estimés sur une chronique passée, restent valables pour la période future considérée.

### 2.4 Modèle de simulation des composantes des usages (*end use models*)

Cette méthode consiste à simuler finement les différents usages que les consommateurs font de l'eau potable pour évaluer leur consommation totale. Principalement appliquée à la consommation domestique, la démarche estime séparément les volumes des usages liés à l'hygiène corporelle (douches, lavabos...), à l'utilisation des sanitaires, des équipements électroménagers (lave-linge et lave-vaisselle), aux autres usages intérieurs (cuisine) et aux usages extérieurs (arrosage des jardins, remplissage des piscines). Le principal intérêt de ces méthodes est de permettre de simuler l'effet à long terme de l'évolution de la technologie : performance de l'électroménager, réduction du volume des chasses d'eau, etc. Il s'agit donc de modèles plus prospectifs, permettant de simuler l'effet de politiques d'incitation aux économies d'eau. Cette capacité prospective reste cependant limitée par l'impossibilité d'intégrer l'effet de tous les facteurs déterminants, comme l'évolution du prix de l'eau, les changements de caractéristiques économiques de la population (gentrification ou popularisation de certains quartiers), etc. Cette méthode est utilisée depuis une dizaine d'années par les compagnies d'eau d'Angleterre et du pays de Galles.

### 2.5 Modèles liés aux prévisions d'urbanisme

Cette méthode consiste à appuyer la prévision de la demande en eau potable sur les documents d'urbanisme, le plus souvent à l'échelle du territoire d'une intercommunalité. Le modèle de prévision de la demande est alors intégré dans un Système d'information géographique. La demande en eau est estimée à l'échelle d'entités spatiales homogènes, en distinguant quelques grands types d'aménagements tels que des lotissements de maisons individuelles, des zones d'habitat collectif peu dense (R+2 / R+3), des zones d'habitat collectif dense, des zones d'activités économiques, etc. Chaque type d'aménagement est caractérisé par une consommation moyenne par hectare, le coefficient unitaire de consommation étant estimé sur la base d'observations. Cette méthode peut uniquement être utilisée lorsque la collectivité dispose d'un plan d'urbanisme détaillé qui se projette à moyen ou long terme. L'intérêt de cette approche est de pouvoir mettre en évidence les conséquences sur la demande en eau potable de différents scénarios d'aménagements urbains susceptibles de différer en termes de densification par exemple. Elle est particulièrement pertinente lorsqu'il existe une grande différence de consommation entre différentes formes d'habitat, par exemple du fait des consommations associées aux jardins (Encadré 2 page 18).

## 2.6 Modèles hybrides

Les méthodes décrites ci-dessus peuvent être combinées, notamment dans des outils logiciels spécifiques. Citons par exemple le logiciel IWR-MAIN. Développé et utilisé aux États-Unis, il repose sur un modèle statistique très élaboré qui décompose très finement la demande par secteur d'activité (industriel et commercial). Le logiciel intègre également une modélisation des usages finaux permettant de simuler l'effet de politiques volontaristes en matière d'économie d'eau. Le cas de la métropole de Los Angeles présenté plus loin illustre l'utilisation de ce type de méthodes hybrides.

## 2.7 Conclusion

Le choix de l'une des méthodes décrites ci-dessus dépend en grande partie du contexte et, en particulier, des principaux facteurs susceptibles d'expliquer l'évolution future de la demande (Tableau 3). Par ailleurs, la mise en œuvre de ces différentes méthodes suppose des niveaux d'investissement technique (données, logiciels, compétences) et financier très différents. Le choix d'une méthode est donc très dépendant de l'intensité des enjeux liés à la prévision. Le recours à des méthodes simples peut être approprié pour des services dont la population desservie et la consommation moyenne par habitant évolue relativement lentement, ou lorsque les prévisions n'ont pas vocation à supporter des choix d'investissement relativement importants et coûteux ou des durées d'amortissement de plusieurs décennies.

Tableau

3

*Vue d'ensemble des principales méthodes de prévision de la demande en eau potable*

Principal facteur déterminant l'évolution future de la demande en eau potable	Méthode adaptée	Résultat attendu
Tendance lourde, peu sensible aux variations de l'environnement économique, technique, climatique, donc susceptible de perdurer	Modèles d'extrapolation temporelle (projection des tendances passées)	Scenario tendanciel
Évolution du nombre d'usagers avec une consommation unitaire relativement stable, ou caractérisée par une tendance lourde	Utilisation des coefficients de consommation unitaires (litres/jour/habitants), éventuellement pondérés par une tendance (-x % / an)	Quantification de la demande associée à différents scénarios d'évolution démographique et économique
Évolution simultanée de plusieurs facteurs tels que les caractéristiques des ménages, l'activité économique, le prix de l'eau...	Modèles statistiques multivariés permettant de simuler l'évolution future du ratio de consommation unitaire en fonction d'hypothèses relatives aux facteurs de changement	Estimation intégrant les perspectives d'évolution des caractéristiques de la population (revenu, composition des ménages, etc.) et de l'activité économique Demande associée à différents scénarios de tarification
Évolution des pratiques de consommation et des équipements de ménages du fait du progrès technique ou de politiques volontaristes des collectivités	Modélisation par décomposition des usages finaux (liés à la cuisine, l'hygiène, les WC, etc.)	Estimation de la demande pour différents scénarios de politiques en faveur des économies d'eau
Évolution de l'urbanisme, du type de logement, du poids relatif des zones résidentielle et des zones d'activité économique	Modèles de prévisions basés sur l'occupation du sol, permettant d'estimer la demande à l'échelle d'entités spatiales homogènes	Prévision spatialement distribuée de la demande future, en lien avec les orientations des plans d'urbanisme (ex. Scot)

## Relation entre consommation et caractéristiques de l'habitat

De nombreuses études ont montré que la consommation domestique est fortement corrélée aux caractéristiques de l'urbanisme et en particulier à la densité de l'habitat. La consommation par habitant est beaucoup plus élevée dans les zones dominées par les lotissements de maisons individuelles avec jardin. De même, la consommation extérieure tend à augmenter avec la taille des parcelles. Une étude conduite à Barcelone a montré que la consommation varie de 120 litres par habitant et par jour en habitat collectif dense à 200 litres dans les zones d'habitat à faible densité (Daumene et Sauri, 2006). Au Royaume-Uni, une étude conduite dans le Yorkshire estime la consommation à respectivement 370, 280, et 170 litres par habitant et par jour dans les maisons individuelles, les maisons jumelées en rangées et les appartements (Clarke *et al.*, 1997). En Californie, la consommation par habitant vivant en maison individuelle est le double de ceux résidant dans des petits immeubles collectifs (Hanak et Davis, 2006). Cette différence est particulièrement marquée dans les climats secs et chauds, où l'usage extérieur de l'eau pour les jardins et piscines peut représenter jusqu'à 50, voire 70 % de la consommation totale (Hanak & Davis 2006; Wentz & Gober 2007).

La précision des modèles de prévision de la demande en eau potable peut donc être améliorée en tenant compte de la nature des logements qui seront créés pour accueillir la population future (en cas de croissance). Ce facteur peut être pris en compte par différents types de modèles : les modèles basés sur des coefficients unitaires, les modèles statistiques multivariés ou les modèles décomposant les usages finaux (Jacobs & Haarhoff 2004). Le lecteur intéressé par cette problématique se rapportera à l'étude de Patterson & Wentz (2008) dans laquelle les auteurs estiment la demande associée à quatre scénarios d'urbanisme pour la ville de Phoenix aux États-Unis. Une approche plus complexe est présentée par Polebitski *et al.* (2011) qui couplent un modèle de simulation du développement urbain avec un modèle de demande en eau potable. Enfin, un exemple français est présenté par Desprats *et al.* (2015), avec une application à la ville de Montpellier.



## 3 - La prise en compte de l'incertitude

### 3.1 L'incertitude, une problématique émergente

Au cours des trois dernières décennies, les travaux de recherche appliquée développés en partenariat avec des gestionnaires des services d'eau potable ont donné naissance à de nombreux modèles innovants pour prévoir l'évolution de la demande à long terme. Quelle que soit l'approche technique adoptée (chapitre 2), ces modèles sont utilisés de manière assez déterministe pour construire des scénarios prédictifs. En effet, ils accordent généralement peu d'importance à l'incertitude associée aux facteurs déterminants la demande future, incertitude qui est au mieux traitée sous forme de tests de sensibilité ou par la construction de variantes autour d'un scénario tendanciel. Les résultats de ces modèles de prévision servent ensuite de base à un exercice de planification des investissements, réalisé en France dans le cadre des schémas directeurs d'alimentation en eau potable.

Or, les gestionnaires sont confrontés à une incertitude croissante concernant les facteurs qui déterminent l'évolution de la demande en eau future. Cette incertitude peut être d'origine naturelle (changement climatique), technique et technologique, réglementaire, économique ou politique. Le Tableau 4 décrit plusieurs facteurs d'incertitude et leurs conséquences sur la prévision de la demande en eau potable à long terme. En situation d'incertitude, la plupart des décideurs fondent leurs exercices de planification sur l'analyse d'un scénario tendanciel, éventuellement encadré par des variantes pessimistes ou optimistes, sans véritablement analyser l'incertitude, ni tenter de la quantifier en termes probabilistes. Il est pourtant essentiel d'en reconnaître l'existence dans le cadre de tout exercice de prévision de la demande en eau potable à long terme.

La reconnaissance de cette incertitude pose deux questions distinctes. La première est de savoir comment évaluer les conséquences sur la demande en eau future. Nous verrons dans les paragraphes qui suivent comment cette question peut être traitée via l'utilisation de scénarios ou avec des approches probabilistes reposant sur des simulations Monte Carlo<sup>2</sup>. La seconde question est relative à l'utilisation des résultats de la prévision pour la prise de décision par le gestionnaire. Lorsque le gestionnaire adopte une approche probabiliste de la prévision, il se prépare à faire face à une large gamme de valeurs de la demande en eau future. Il abandonne alors une logique de planification fondée sur l'optimisation pour une logique fondée sur la capacité d'adaptation, lui permettant d'ajuster ses choix stratégiques au fur et à mesure que la demande évolue dans le temps. La reconnaissance des incertitudes et les approches probabilistes vont de pair avec un changement de paradigme en termes de décision.

2 - La méthode de simulation Monte Carlo consiste à isoler un certain nombre de variables déterminant la demande future en eau potable et à leur affecter une distribution de probabilité. Pour chacune, un grand nombre de tirages aléatoires est réalisé afin de calculer une fonction de densité de probabilité de la demande en eau.

Facteur d'incertitude	Nature de l'incertitude	Conséquences sur la prévision de la demande en eau potable
Évolution climatique	Durée et intensité des sécheresses et des vagues de chaleur estivales	Difficulté à prévoir la consommation liée aux douches, à l'arrosage des jardins, le développement des piscines. Difficulté à anticiper de nouveaux usages liés au refroidissement de la ville. Impact +++ sur la prévision de consommation en période de pointe, ++ sur la moyenne estivale, + sur la moyenne annuelle
Équipements des ménages	Évolution technique des équipements (ex. électroménager). Évolution des normes relatives à la robinetterie, chasses d'eau. Évolution des taux d'adoption par les ménages	Difficulté à prévoir la consommation par habitant. La tendance à la baisse observée depuis les années 2000 se poursuivra-t-elle ? A quel niveau se stabilisera-t-elle à moyen-long terme ?
Développement des ressources de substitution	Évolution des solutions techniques et de leur coût (récupération d'eau de pluie, forage individuel, recyclage des eaux usées). Évolution de la réglementation en la matière. Méconnaissance de l'usage fait des ressources alternatives et du taux de substitution	Difficulté à prévoir le nombre de ménages substituant une ressource alternative à l'eau du réseau
Prix de l'eau	Pérennité des subventions publiques (agences) accordées aux investissements AEP et assainissement. Coûts de production (exigences de traitement croissante). Évolution de l'assiette de facturation	Difficulté à anticiper la réduction de la consommation (élasticité) associée à une hausse de prix incertaine Quel développement des ressources de substitution ? Quel effort d'économie d'eau ? Les estimations actuelles de l'élasticité prix restent-elles valables dans le futur ?
Urbanisme	Densification plus ou moins poussée des formes d'urbanisme. Poids relatif de l'habitat collectif et individuel	Réduction de la consommation associée aux jardins
Activité économique	Évolution des process industriels pouvant entraîner une forte réduction de la consommation de gros clients Évolution de l'activité économique et de l'emploi pouvant conduire à la substitution d'activités fortement consommatrices d'eau par des activités tertiaires	Risque de perte d'un client majeur représentant un volume très significatif
Politique	Évolution des choix stratégiques de collectivités clientes qui achètent de gros volumes d'eau et qui pourraient opter pour des approvisionnements alternatifs	Risque de perte d'un client majeur représentant un volume très significatif

### Quel impact du changement climatique sur la demande en eau potable ?

Le changement climatique est susceptible d'impacter la demande en eau potable associée aux usages intérieurs et extérieurs. La hausse des températures pourrait augmenter la fréquence des douches et l'utilisation de systèmes de refroidissement à eau (brumisateurs). À l'extérieur, l'usage de l'eau pour les jardins et les piscines augmentera en réponse à la hausse de l'évapotranspiration et à la baisse des précipitations. Des études mobilisant trois approches méthodologiques distinctes ont été conduites en France ou à l'étranger sur ce sujet.

La première approche consiste à établir des corrélations statistiques entre la consommation et les variables climatiques à partir de données observées dans le passé. Ces relations sont ensuite utilisées en simulation pour évaluer les conséquences probables de différents scénarios de changement climatique. En France, le SMEGREG (Syndicat mixte d'étude et de gestion de la ressource en eau du département de la Gironde) a par exemple montré que, pendant les étés chauds et secs, le volume mis en distribution dans le département de la Gironde augmente de 1,6 % par degré d'augmentation de la température maximale (Hébert *et al.*, 2009). Une étude conduite début 2000 au Royaume Uni estime que le changement climatique n'augmenterait la demande annuelle en eau potable que de 2 %, toutes choses égales par ailleurs (Goodchild, 2003). Une étude similaire à Seattle aux USA estime cet impact à 7 % pour 2030 et 15 % pour la fin du siècle (Polebitski *et al.*, 2011). À noter que ce faible pourcentage cache le fait que la hausse sera concentrée sur quelques mois en été et augmentera le pic de consommation de manière significative. L'une des limites de cette approche statistique est qu'elle suppose que les usagers se comporteront de la même manière aujourd'hui et dans le futur.

Une deuxième approche consiste à calculer les besoins d'irrigation des jardins pour le climat futur. Cette estimation peut être réalisée avec des modèles agronomiques, en se basant par exemple sur les besoins d'une pelouse. Cette méthode a été utilisée dans le sud de la France par Desprats *et al.* (2013). Utilisant des photographies aériennes à haute résolution, les auteurs quantifient d'abord les surfaces de jardin arrosées et celles des piscines pour 45 000 maisons. Ils estiment ensuite les besoins en eau associés pour le climat présent et futur. Les résultats suggèrent que la consommation des usagers résidant en maisons individuelles augmentera de l'ordre de 8-10 %, soit une hausse de 4 à 5 % de la demande totale pour des agglomérations comme celles de Montpellier et Perpignan.

Une troisième approche, déployée au Royaume Uni (Downing *et al.*, 2003), repose sur l'utilisation des modèles de simulation des micro-composantes (section 2.4). Les paramètres relatifs à la fréquence de certains usages ou à la consommation associée à chaque utilisation sont modifiés, en s'appuyant éventuellement sur des observations passées (voir exemple du SMEGREG, Hébert *et al.*, 2009). Cette étude anglaise suggère que l'impact sera faible, de l'ordre de 1,8 % en 2020 et entre 2,7 et 3,7 % en 2050.

L'un des problèmes communs à toutes les études citées ci-dessus est l'incertitude associée aux prévisions d'évolution du climat. Les prévisions issues des modèles climatiques globaux sont assez contrastées, parfois même contradictoires (en termes de sens de variation) sur certains territoires. Il en résulte une grande incertitude quant à l'impact sur la demande en eau. Cette incertitude est illustrée par une étude américaine déjà ancienne (Boland 1997) qui estimait l'impact sur la demande du changement climatique entre - 4 % et + 11 %. L'approche la plus commune pour résoudre cette difficulté consiste à travailler sur des ensembles de modèles (voir par exemple Goodchild 2003 ; Polebitski *et al.*, 2011 ; Desprats *et al.*, 2011).

Dans la pratique, le changement climatique est progressivement pris en compte dans les prévisions à long terme. C'est le cas au Royaume-Uni par exemple où certaines compagnies appliquent un coefficient d'augmentation annuel uniforme, basé sur l'étude nationale de Downing (2003) citée ci-dessus. Selon Charlton et Arnell (2011) qui ont passé en revue les plans de gestion de ressources de 21 compagnies, une augmentation de 2 à 5 % est généralement supposée pour l'horizon 2030. Ils soulignent que ce facteur d'évolution est secondaire par rapport à d'autres déterminants de la demande, mais aussi par rapport à l'impact du changement climatique sur les ressources disponibles.

Enfin le changement climatique n'aura pas que des effets directs sur la demande. Il impactera aussi l'intensité de certaines activités comme le tourisme, certaines activités industrielles et globalement l'ensemble de l'économie. Une étude appliquée à l'État d'Australie de l'Ouest (Thomas, 2008) a montré par exemple, à l'aide d'un modèle macro-économique (*Equilibre Général Calculable*), que cet impact dépasse de loin l'impact direct sur la demande en eau.

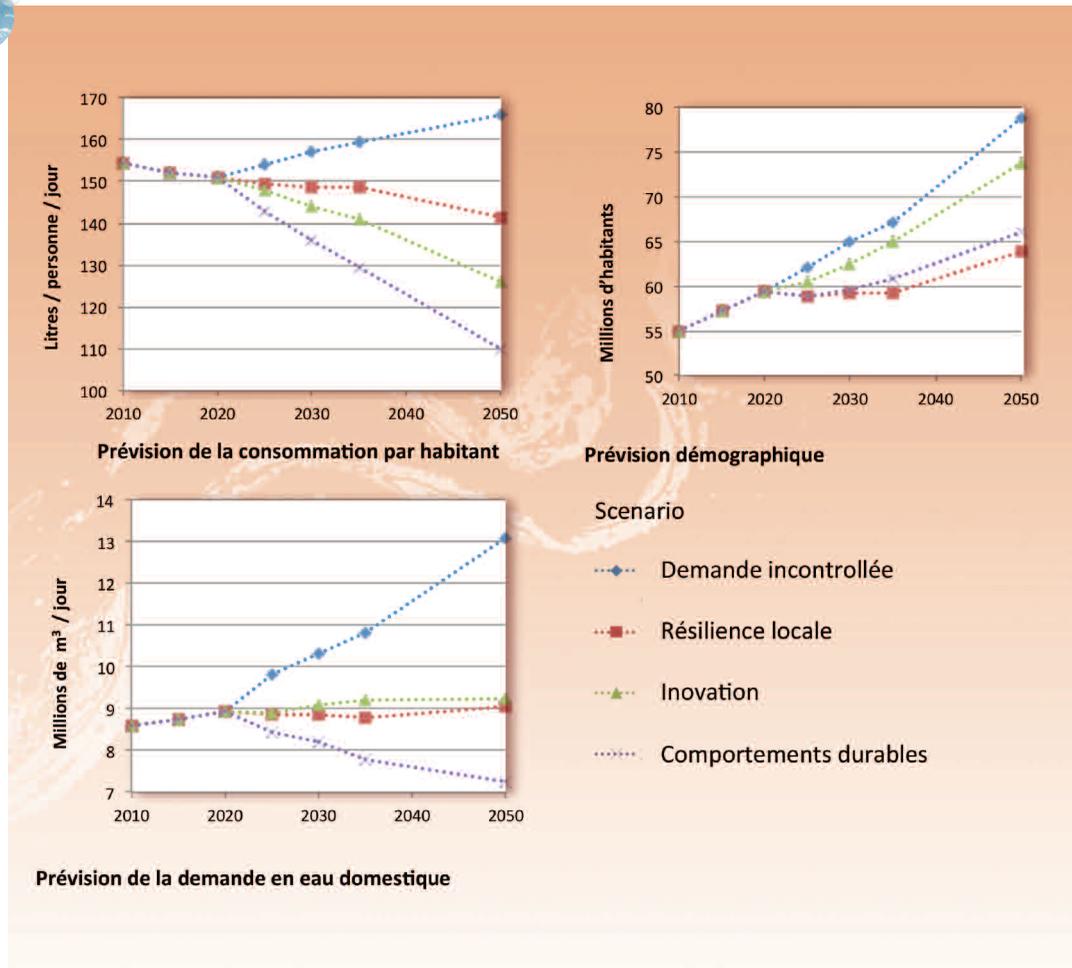
### 3.2 L'utilisation de scénarios

L'utilisation d'un nombre limité de scénarios contrastés est une première manière d'aborder l'incertitude associée aux prévisions de la demande en eau. On distingue ici la méthode des scénarios de l'analyse de sensibilité :

- l'approche des scénarios consiste à décrire de manière qualitative et narrative l'évolution probable de la société dans ses différentes composantes (domestique, industrielle, etc.) et celle des usages de l'eau associés. Les scénarios représentent ainsi différentes évolutions possibles du monde sous l'effet de changements globaux que le gestionnaire ne maîtrise pas. Ils servent ensuite de situations de référence pour évaluer la performance de stratégies de gestion et de développement du service d'eau face à une pluralité de futurs possibles ;
- l'analyse de sensibilité quant à elle consiste essentiellement à analyser comment évolue la demande calculée lorsque l'on fait varier les paramètres qui la déterminent dans une plage de valeurs. Une pratique courante consiste à utiliser l'analyse de sensibilité pour construire des variantes hautes et basses autour d'un scénario tendanciel.

Au Royaume-Uni, l'approche par scénarios a été mise en œuvre par l'Agence de l'environnement (*Westcott, 2004 ; Environment Agency 2009*). La démarche s'appuyait sur des scénarios développés dans le cadre d'une prospective environnementale antérieure qui visait à explorer l'évolution des pressions sur l'environnement à l'horizon 2030<sup>3</sup>. Ces scénarios ont ensuite été analysés par des experts du domaine de l'eau qui établissent des hypothèses quantitatives d'évolution de la demande cohérentes avec ces scénarios. Ces hypothèses ont ensuite été déclinées à l'échelle des grandes zones de gestion des services d'eau potable de l'Angleterre. La Figure 6 illustre les résultats obtenus, présentés sous forme d'une enveloppe encadrant les possibilités d'évolution de la demande à l'horizon 2050. Le résultat de cet exercice a été utilisé par les compagnies gestionnaires du service d'eau potable pour évaluer la robustesse de leur stratégie dans les contextes hypothétiques représentés par les scénarios.

3 - Ces scénarios décrivent quatre trajectoires possibles de l'économie, qui peuvent être positionnés selon deux axes principaux, l'un décrivant l'orientation sociétale dominante (société consumériste versus société tournée vers l'environnement), l'autre décrivant le mode de gouvernance dominant (tournée vers la croissance ou vers la durabilité).

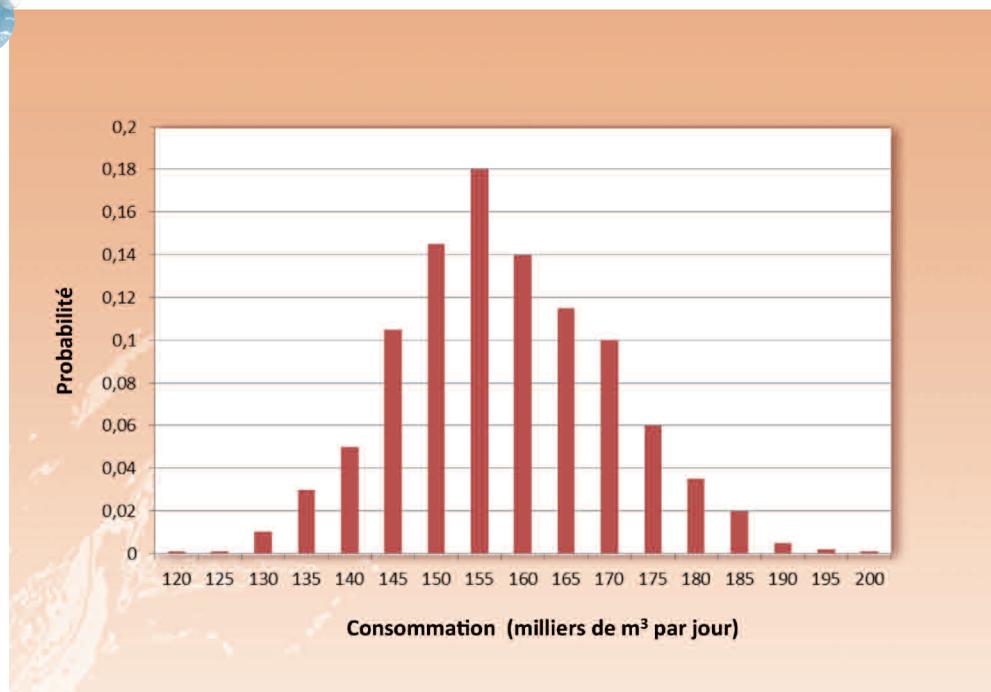


Évolution de la population, de la consommation par habitant et de la consommation résidentielle totale pour quatre scénarios. Source: Adapté de Environment Agency (2009): pp. 21–24.

### 3.3 L'approche probabiliste

Une critique fréquemment adressée à la méthode des scénarios décrite ci-dessus est d'utiliser un nombre trop réduit de scénarios pour véritablement représenter l'incertitude relative à l'évolution future des paramètres déterminant la demande. C'est pourquoi certains auteurs proposent de généraliser la démarche des scénarios en considérant plusieurs centaines, voire milliers de représentations des futurs possibles. Concrètement, cette approche dite probabiliste consiste à utiliser les modèles de prévision de manière répétée, en faisant varier les paramètres d'entrée de manière aléatoire ou selon des lois de distribution statistique prédéfinies (méthode Monte Carlo). Les principales sources d'incertitude considérées dans ces simulations Monte Carlo sont : l'évolution démographique, l'activité économique et l'emploi, l'évolution des ratios de consommation unitaire, le climat.

La Figure 7 (page suivante) présente un exemple fictif de résultat d'une approche probabiliste. Le graphe représente la distribution du résultat de plusieurs milliers de simulations de la demande en eau future d'une collectivité. Chaque barre donne la fréquence avec laquelle le modèle prévoit une valeur de demande future. Le résultat le plus probable (18 %) est une consommation de 155 000 m<sup>3</sup> par jour. Le graphe montre également qu'il y a 68 % des chances que la consommation soit comprise entre 145 000 et 165 000 m<sup>3</sup>. La probabilité que la consommation dépasse 180 000 m<sup>3</sup> est quant à elle de 6,3 %.



Exemple de prévision probabiliste de la demande en eau.

Cette approche commence à être utilisée de manière opérationnelle par les opérateurs du secteur de l'eau au Royaume-Uni par exemple, utilisant des logiciels comme @Risk (Palissade Corporation<sup>4</sup>). Le lecteur intéressé se reportera aux études réalisées à Tampa Bay aux USA (Hazen et Sawyer, 2004) et à Londres (Thames Water, 2010 ; voir également la partie B de cet ouvrage). La confrontation de ces scénarios de demande future aux stratégies de gestion alternatives considérées par le gestionnaire (en termes d'investissement par exemple) vise à faire émerger les stratégies les plus robustes, c'est-à-dire celles qui permettent de minimiser le risque de défaillance et pas nécessairement celles qui minimisent les coûts (Lempert *et al.*, 2003).

# **B** Mise en œuvre opérationnelle des méthodes de prévision en France et dans le monde

- 26 ■ Introduction
- 27 ■ État des lieux des pratiques en France
- 39 ■ Los Angeles : une articulation des prévisions régionales et locales
- 44 ■ Royaume-Uni : la modélisation des composantes d'usage
- 49 ■ Hambourg : intégration de la planification de l'urbanisme et de la prévision de la demande en eau potable
- 54 ■ Canada : un outil d'aide à la décision au service des collectivités (*Brockwater*)



## 4 - Introduction

Depuis une dizaine d'années, les acteurs de la recherche scientifique ont développé plusieurs méthodes innovantes dans le domaine de la prévision de la demande en eau potable à long terme. Ces travaux ont fait l'objet de nombreuses publications dans la littérature scientifique (pour une revue voir Donkor *et al.*, 2012) et ont servi de base pour produire des guides méthodologiques destinés aux acteurs opérationnels (pour un exemple voir Billings & Clive, 2008). En revanche, il existe très peu de documents décrivant comment ces méthodes sont mises en œuvre et utilisées par les gestionnaires des services d'eau et d'assainissement. Cette partie vise à combler ce manque à travers une revue d'une dizaine de cas d'études en France et à l'international. L'objectif est d'illustrer la diversité des pratiques, de décrire les difficultés rencontrées et d'identifier des verrous que la recherche appliquée pourrait s'attacher à lever.

Cette partie B est composée, après l'introduction, de cinq chapitres numérotés de 5 à 9. Le premier chapitre présente un état des lieux des méthodes utilisées en France, en s'appuyant sur une analyse d'une trentaine des schémas directeurs de petites collectivités dans l'Hérault, des schémas directeurs départementaux du bassin Loire Bretagne et de plusieurs études de type bilan ressources-besoin réalisées à l'échelle de métropoles (Grand Paris, agglomération Grenobloise, schéma d'aménagement et de gestion des eaux [Sage] nappes profondes de Gironde). Le chapitre suivant s'intéresse au cas de la Californie du Sud, où la prévision de la demande s'appuie sur des modèles de prévision développés à plusieurs échelles, et reposant sur plusieurs méthodes (modèles statistiques, modèles de composantes d'usage et modèles basés sur les plans d'urbanisme). Le cas de Londres est ensuite présenté afin d'illustrer l'utilisation des modèles basés sur la simulation des usages finaux (end-use models). L'avant-dernier chapitre rend compte d'un travail de modélisation statistique développé pour prévoir la demande en eau de l'agglomération de Hambourg en Allemagne. Enfin, le dernier chapitre présente un outil de simulation accessible en ligne développé au Canada, qui permet notamment d'évaluer l'impact sur la demande en eau de changement de tarification.



## 5 - État des lieux des pratiques en France

### 5.1 La prévision de la demande en eau potable dans les démarches de planification en France

En France, les exercices de prévision de la demande en eau potable s'inscrivent dans trois types de démarches de planification :

- l'élaboration des schémas directeurs d'alimentation en eau potable (SDAEP) ;
- la réalisation de bilans ressources-besoins à l'échelle de services ou de regroupement de services d'eau potable et d'assainissement ;
- et l'élaboration des schémas de gestion des ressources en eau à l'échelle de bassins versants ou aquifères (Sage, PGE).

Concernant les **schémas directeurs d'alimentation en eau potable (SDAEP)**, ils sont principalement portés par les collectivités responsables du service d'eau potable (commune ou établissement public de coopération intercommunale). Complétant un inventaire du patrimoine technique, la prévision des besoins futurs vise à évaluer les besoins de nouvelles ressources en eau, à dimensionner les ouvrages et équipements (pompage, stockage, traitement) et à prévoir le montant des investissements associés ainsi que leur plan de financement. Les schémas directeurs AEP peuvent également être élaborés à l'échelle départementale. La prévision de la demande est alors réalisée de manière plus globale, l'objectif étant essentiellement d'identifier les besoins de mutualisation entre collectivités en matière d'investissement. Ce type de démarche est illustré dans la section 5.2 qui présente une analyse d'une trentaine de SDAEP établis à l'échelle de collectivités ainsi qu'une série de schémas départementaux.

Concernant les études de type **bilan ressources-besoins**, l'objectif principal est de mettre en évidence un éventuel risque de déficit ou de surexploitation des ressources. Le résultat vise à identifier des besoins de restructuration des services (interconnexion pour mutualiser des ressources) ou la recherche de ressources de substitution. L'analyse est le plus souvent conduite à l'échelle d'un territoire regroupant plusieurs services (agglomération, département, région). La section 5.3 présente deux études de cette catégorie, conduites en région Ile-de-France et à Grenoble.

À l'échelle de bassins versants ou d'aquifères, les exercices de prévision de la demande en eau potable peuvent être réalisés dans le **cadre de schémas d'aménagement et de gestion des eaux (Sage), de plan de gestion des étiages (PGE)** ou encore dans le cadre des études d'identification et protection des ressources majeures pour l'alimentation en eau potable. L'objectif est d'établir un plan de gestion des ressources en eau garantissant la satisfaction des usages à long terme, dans le respect de contraintes environnementales. Le cas du Sage des nappes profondes de Gironde est présenté en section 5.4.

## 5.2 Les schémas directeurs d'alimentation en eau potable (SDAEP)

### ■ Cas étudiés

Pour illustrer la diversité des pratiques en matière de prévision de la demande en eau potable, nous avons réalisé une analyse de deux types de schémas directeurs. Nous avons tout d'abord passé en revue des schémas directeurs AEP (alimentation en eau potable) réalisés par les collectivités responsables du service d'alimentation en eau potable. L'échantillon étudié a été choisi dans le département de l'Hérault, sur la période 2005-2010. Trente-cinq schémas, réalisés par dix bureaux d'études différents, ont été analysés. Nous avons ensuite étudié des schémas directeurs établis à l'échelle départementale. L'analyse porte sur 40 schémas. L'information a été extraite de deux rapports détaillés produits par la société de conseil Safège pour les Agences de l'eau Loire Bretagne (2006) et Adour Garonne (2008), qui présentent un bilan du contenu des schémas directeurs départementaux de ces bassins.

### ■ Bilan des méthodes utilisées

Globalement, nous constatons que les méthodes utilisées dans les schémas directeurs sont très simples. L'évaluation de la demande future repose le plus souvent sur une estimation de la population future, multipliée par un ratio de consommation par habitant. Certaines études fondent encore les prévisions sur le ratio de consommation par abonné. Cette pratique s'avère peu pertinente puisque ce ratio ne correspond à aucune réalité homogène d'une commune à l'autre (un abonné peut correspondre à une maison individuelle comme à une résidence de 50 appartements).

Concernant la projection démographique, trois approches ont été identifiées :

- la première consiste à appliquer aux communes étudiées les prévisions d'évolution démographique calculées par l'INSEE à l'échelle départementale. Si la zone étudiée n'est pas représentative du département il existe un risque de sur ou sous évaluer la tendance ;
- la deuxième évalue la population future de chaque commune de la zone étudiée en extrapolant les tendances observées entre les derniers recensements de la population. Le risque est d'amplifier artificiellement les écarts de croissance entre communes de la zone d'étude ;
- la troisième consiste à reprendre les hypothèses de construction de logements formulées dans les documents d'urbanisme (Plu et Scot). Le risque, dans ce cas, est de prendre en compte des hypothèses qui reflètent plus une volonté politique des élus qu'une évaluation objective des changements probables. Par ailleurs, la population n'augmente pas proportionnellement au nombre de logements (phénomène de décohabitation par exemple).

Dans la pratique, ces trois approches sont souvent combinées et enrichies par des dires d'expert pour tenir compte de facteurs locaux, comme la présence d'une infrastructure routière représentant un axe de croissance démographique par exemple. À noter que plusieurs scénarios sont parfois construits pour rendre compte de l'incertitude relative aux hypothèses de croissance démographique.

Les schémas considèrent généralement le ratio de consommation par habitant comme constant et égal aux valeurs actuelles. Il n'est pas rare que ce ratio soit basé sur les données de consommation d'une année unique et qu'il ne soit pas étayé par une analyse rétrospective. De plus, aucun des schémas directeurs concernés n'intègre d'hypothèse relative aux types de nouveaux logements qui seront construits (collectif ou individuel, taille moyenne des parcelles en individuel) lors du choix des valeurs de ratios de consommation par habitant. L'évolution future du prix de l'eau n'est pas prise en compte. Un seul des SDAEP consultés émet des hypothèses relatives aux mesures d'économie d'eau pouvant être mises en place à l'horizon temporel considéré. En revanche, la plupart des schémas posent des hypothèses quant à l'évolution du rendement des réseaux qui est systématiquement considéré à la hausse – sans nécessairement justifier les hypothèses de progrès, et sans en évaluer les conséquences économiques (répercussion sur le prix de l'eau). Il s'agit dans la plupart des cas d'afficher un objectif compatible avec les exigences de l'Agence de l'Eau, du Sage ou de l'article 161 de la loi sur l'Environnement du Grenelle 2. Lorsque exceptionnellement, une baisse du ratio de consommation unitaire est supposée, l'hypothèse est généralement très conservative (baisse de 5 à 10 % sur vingt-cinq à trente ans)

et elle est rarement justifiée par l'existence de ruptures possibles dans les facteurs déterminant ce ratio (tarification, revenu, climat...).

Les besoins commerciaux et industriels (gros consommateurs) ne sont estimés séparément que dans les schémas des grandes collectivités (syndicats intercommunaux et communautés d'agglomérations). Certaines études basent alors les calculs sur les projets de construction (zone industrielle, zone d'aménagement concerté) déclarés dans les Scot et sur des ratios de consommation exprimés en m<sup>3</sup>/jour/hectare d'activité.

### 5.3 Études bilan ressources-besoins

#### ■ Projection de la demande en région Ile-de-France

Plusieurs démarches de planification du développement économique et urbain de la région Ile-de-France ont été engagées dans les années 2010. Il s'agit notamment des projets du Grand Paris et de son schéma directeur à l'horizon 2030, qui permettent de disposer de projections de développement à moyen et long terme.

Dans ce contexte, l'Agence de l'eau Seine Normandie a financé, en 2012, la réalisation d'un état des lieux de l'alimentation en eau potable. L'objectif était de vérifier la compatibilité des projets de développement économiques avec les ressources et les infrastructures d'alimentation en eau potable disponibles sur ce territoire. Cette réflexion prospective s'est appuyée sur la construction de scénarios d'évolution des besoins en eau potable (étude Safège 2012). À noter que cette première étude utilisait le concept de besoin en eau et pas celui de demande, n'intégrant pas la possibilité de modifier la consommation par une modification de la tarification et des autres acteurs qui la déterminent.

La réflexion s'est poursuivie avec une nouvelle étude basée sur une évaluation statistique de la fonction de demande en eau en Ile-de-France (étude Credoc, 2016). Les résultats ont été intégrés dans un outil interactif, mis à disposition des acteurs, permettant de simuler l'évolution future de la demande en eau potable.

Ces deux études sont successivement présentées ci-dessous.

#### ***Bilan ressources-besoins (étude Safège 2012)***

Suite à la réalisation d'un état des lieux ressources-besoins, différents scénarios d'évolution des besoins et des ressources disponibles ont été construits. Ces scénarios reposent sur différentes hypothèses relatives à l'évolution de la population ; du ratio de consommation unitaire par habitant ; et du rendement des réseaux de distribution.

**Concernant la démographie**, la population future a été projetée en combinant deux sources d'information : les projections démographiques tendanciennes de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) ; et les hypothèses associées aux projets de développement du Grand Paris. Ainsi, l'objectif de création de 10 000 logements par an en lien avec le développement de futurs pôles d'excellence économique (par exemple le Plateau de Saclay) est pris en compte. Il se traduit par une population supplémentaire de l'ordre de 23 000 habitants par an sur les territoires concernés, sur la base d'un nombre moyen d'habitants par logement dans les départements. Deux scénarios d'évolution de la population sont utilisés, un scénario bas correspondant au scénario central de l'Insee et un scénario haut correspondant au scénario haut de l'Insee additionné de la population supplémentaire liée aux nouveaux logements.

**Concernant le ratio de consommation par habitant**, les auteurs de l'étude partent du constat d'une diminution de 14 % entre 2001 et 2010, qu'ils expliquent par une amélioration des équipements, une tertiarisation de l'économie et une évolution des comportements des usagers. Cette diminution connaît un ralentissement après 2008, avec une baisse d'environ 0,8 % par an. Deux hypothèses d'évolution future sont formulées pour chaque commune. La première suppose que la tendance à la baisse de la consommation observée sur chaque commune se prolonge à l'horizon 2030, conduisant à un ratio de 151 L/hab/jour. La seconde suppose que la consommation unitaire a atteint un palier et qu'elle restera stable à 176 L/hab/jour.

Concernant le rendement des réseaux de distribution d'eau potable, deux hypothèses sont formulées, considérant un maintien des rendements actuels (hypothèse basse) et une amélioration du rendement permettant d'atteindre les objectifs de rendement fixés par décret (ou de les maintenir s'ils sont déjà atteints).

Les hypothèses relatives à ces trois facteurs (population, consommation par habitant et rendement des réseaux) ont été combinées pour construire trois scénarios d'évolution des besoins en eau à l'horizon 2030 (Figure 8). Dans un scénario « hypothèse haute » (hypothèses hautes de population et consommation unitaire, et basse de rendement), les besoins augmentent et atteignent en 2030 des besoins comparables à ceux observés au début des années 2000. Dans un scénario intermédiaire, les besoins en eau stagnent au niveau actuel. Enfin, dans un scénario « hypothèse basse » (hypothèses basses de population et consommation unitaire, et haute de rendement) les besoins en eau décroissent d'environ 7 % d'ici 2030.

Figure 8

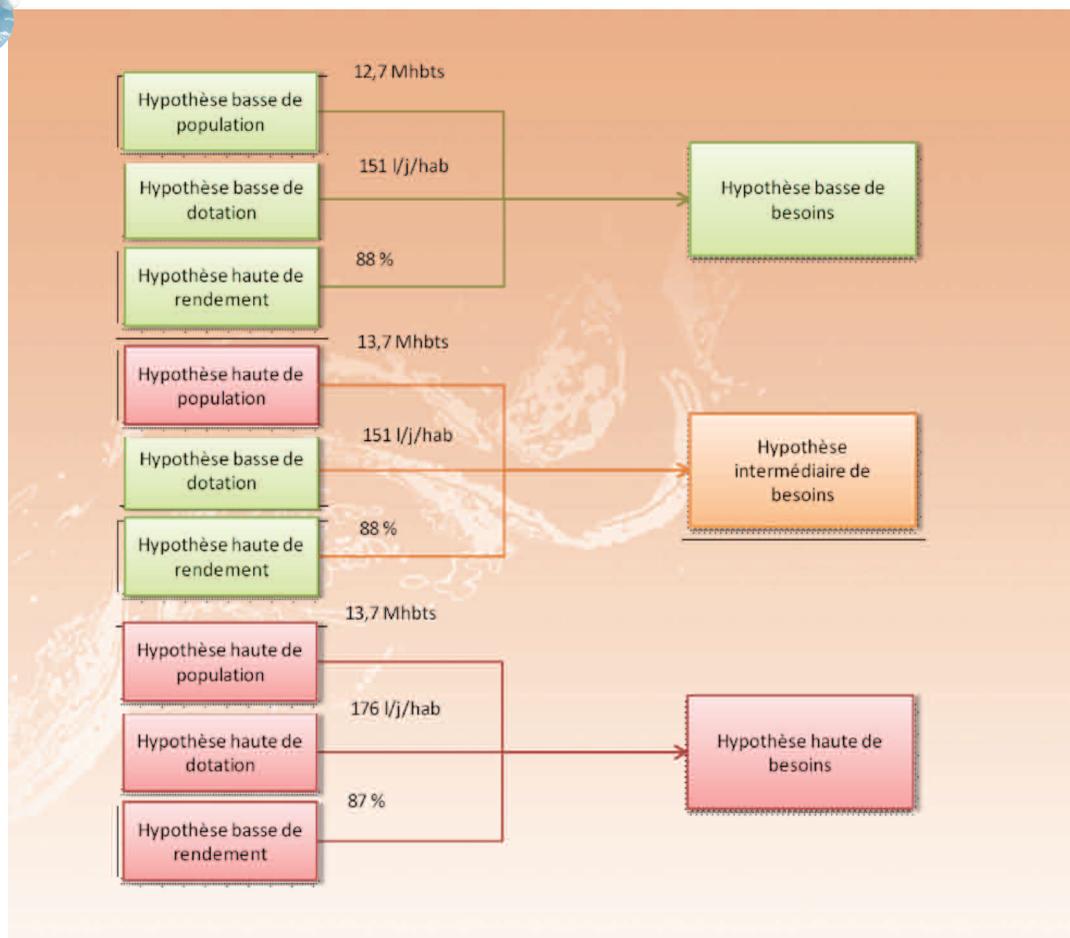


Schéma des hypothèses retenues pour les scénarios de besoins en eau d'Ile-de-France à horizon 2030. Source : Safège 2012.

### Sicomore, un outil de simulation de la demande en eau potable (Credoc 2016)

L'une des limites de l'exercice de prévision réalisé dans l'étude Safège de 2012 était de ne pas pouvoir intégrer la dimension « développement économique » dans les scénarios d'évolution de la demande en eau. Une nouvelle étude a donc été mise en place pour développer un outil permettant de simuler l'impact sur les besoins en eau potable de différents scénarios de transformations économiques et sociales et des grands projets de développement du Grand Paris. L'objectif était non seulement d'augmenter le nombre de facteurs pris en comptes (emploi, type d'activités économiques, formes d'urbanismes, caractéristiques socioéconomiques de la population, etc.) mais aussi de créer un outil interactif pouvant servir de support de discussion à des groupes d'acteurs.

L'étude a été réalisée par le Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (Credoc) et Énergies demain, sous maîtrise d'ouvrage de l'Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (Astee). Elle a consisté à réaliser une analyse statistique des facteurs déterminant le niveau de consommation d'eau potable (section 2.3) à partir de données de consommation passée collectées dans 900 communes, représentant 90 % de la population d'Île-de-France<sup>5</sup>.

Une analyse statistique préliminaire sur l'ensemble des 900 communes a révélé des disparités importantes entre territoires. Un seul modèle global ne permettait pas de capter tous les mécanismes à l'œuvre dans les différentes communes. Il a donc été décidé de scinder le territoire en quatre parties et d'élaborer un modèle statistique pour chacun :

- territoire 1 : les 20 arrondissements de Paris ;
- territoire 2 : les communes de plus de 10 000 habitants hors Paris (soit 244 communes) ;
- territoire 3 : les communes de 1 000 à 10 000 habitants (soit 461 communes) ;
- territoire 4 : les communes de moins de 1 000 habitants (soit 557 communes).

Les quatre modèles ont une architecture similaire : ce sont des modèles statistiques de régression linéaire qui expriment la consommation moyenne par habitant d'une commune comme une fonction linéaire de variables explicatives. Les facteurs explicatifs pris en compte dans chaque modèle statistique et leur impact positif ou négatif sur la consommation en eau par habitant sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau

5

Facteurs explicatifs pris en compte dans les modèles statistiques et leur impact positif (+) ou négatif (-) sur la consommation en eau par habitant

La consommation d'eau par habitants est une fonction		
+	du nombre d'emplois dans la commune par rapport au nombre d'habitants	Emploi et activités économiques
+	de la part de l'emploi dans le secteur de l'hôtellerie, des cafés et des restaurants	
+	de la densité des activités économiques par rapport au nombre d'habitants	
+	de la densité de commerces par rapport au nombre d'habitants	
+	de la densité des équipements (sportifs, culturels, scolaires, administratifs, de santé, etc.)	
+	de la présence de jardins (publics ou individuels)	Urbanisme
+	de la taille des logements (effet économie d'échelle)	
-	de la densité de population (effet économie d'échelle)	
+	de l'importance des logements individuels par rapport aux logements collectifs	
-	du revenu des habitants dans la commune	
+	du nombre de personnes par foyer (effet économies d'échelle)	Population
-	du prix de l'eau	
-	décroissante du temps (que l'on pourrait qualifier d'effet « économies d'eau »)	
-		Prix
-		Économies d'eau

Source : Credoc 2016.

Le premier résultat issu de la modélisation statistique est de pouvoir quantifier l'impact relatif de chacun des facteurs déterminants. À titre d'illustration, le modèle établi pour les communes de plus de 10 000 habitants (Figure 9 page suivante) montre que toutes choses égales par ailleurs :

- l'augmentation de 1 % de la part des maisons individuelles dans le parc de logement conduit à une baisse de 26 m<sup>3</sup> par an et par habitant ;
- une augmentation d'une unité du ratio « nombre d'emploi par habitant » génère une consommation de l'ordre de 20 m<sup>3</sup>/an et par habitant ;
- chaque mètre carré supplémentaire d'équipements publics (ramenée à l'habitant) augmente la consommation de 0,14 m<sup>3</sup>/an/habitant ;
- une augmentation de 1 000 € du revenu médian de la population entraîne une augmentation de 0,3 m<sup>3</sup>/an/habitant ;
- une augmentation du prix de l'eau de 1 € entraîne une baisse de la consommation de 1,44 m<sup>3</sup>/an/habitant ;
- la consommation diminue tendanciellement en fonction du temps (relation log-linéaire). Il est à noter que la variable temporelle a beaucoup plus de poids que les autres variables explicatives.

5 - Les données de consommation ont été spécialement collectées auprès d'Eau de Paris, du Syndicat des eaux d'Île-de-France (SEDIF), ainsi que de Suez et Veolia. Il s'agit des volumes facturés annuels d'eau potable tous usages confondus (usages résidentiels principalement, mais également usages du secteur tertiaire et des petites industries). Les variables explicatives ont été constituées à partir de données sur le prix de l'eau (données Eau de Paris, SEDIF et Veolia), des données Insee décrivant la démographie, le logement et l'emploi au niveau communal, les revenus, le tourisme, l'urbanisme, l'équipement et les activités économiques et des données de Météo France.

$$\text{CONSO} = 62,35 - 26,5 \times \text{MAISON} + 20,27 \times \text{EMPLOI} + 29,385 \times \text{HOTELCAFERESTO} + 0,000389 \times \text{REVENU} \\ - 1,44 \times \text{PRIX} + 0,14 \times \text{EQUIPEMENTS} - 12,04 \times \text{DIPLOMSUP} - 15,70 \times \text{ORLY} - 4,73 \times \text{LOGTEMPS}$$

Avec

CONSO = consommation d'eau rapportée au nombre d'habitant en m<sup>3</sup> par an

MAISON = proportion de maisons parmi les résidences principales

EMPLOI = nombre d'emplois dans l'arrondissement rapporté au nombre d'habitants

HOTELCAFERESTO = part de l'emploi dans le secteur des cafés, hôtels et restaurants

REVENU = Niveau de vie médian par unité de consommation dans la commune

PRIX = prix de l'eau

EQUIPEMENTS = surface des équipements rapportée au nombre d'habitants

DIPLOMSUP = proportion de logements dont le chef de ménage est titulaire d'une licence ou d'un diplôme équivalent ou supérieur

ORLY = variable indicatrice (1 ou 0) correspondant à la commune d'Orly

LOGTEMPS = logarithme népérien du temps (temps = année – 2004)

*Expression mathématique simplifiée du modèle statistique établi pour les communes de plus de 10 000 habitants.  
Source : Credoc, 2016.*

Les modèles établis peuvent ensuite être utilisés en prévision, pour simuler l'évolution de la consommation par habitant en fonction de scénarios de développement de l'emploi, de la part du secteur de la restauration et de l'hôtellerie dans l'emploi total, etc. Pour en faciliter l'utilisation, une application internet nommée Sicomore a été développée ([www.sicomore.astee.org](http://www.sicomore.astee.org)). Celle-ci permet à l'utilisateur de créer des scénarios d'évolution du territoire. Plusieurs scénarios peuvent être créés pour être ensuite évalués en termes de consommation d'eau potable à l'horizon 2030, à l'échelle géographique choisie par l'utilisateur (commune, département, EPCI, région).

Les variables à renseigner pour la création des scénarios permettent de décrire :

- l'évolution démographique (nombre d'habitants, revenu fiscal, éducation) ;
- les caractéristiques du parc de logement (nombre d'habitants par logement, pourcentage de maisons, surface des jardins, emprise au sol par habitant) ;
- le niveau d'activité économique et sa structure (emploi total, importance du secteur hôtellerie-restauration, surface de zones d'activités économiques) ;
- le niveau d'équipements collectifs (en surface d'équipement par habitant) ;
- le prix de l'eau ;
- un facteur de baisse tendancielle de la consommation que l'utilisateur peut ajuster.

La Figure 10 présente une copie d'écran de l'interface grâce à laquelle l'utilisateur peut construire ses scénarios. L'utilisateur peut créer, simuler plusieurs scénarios différents en parallèle, en modifiant les scénarios d'évolution des différentes variables explicatives. Il peut indiquer soit la valeur absolue attendue, soit une variation en pourcentage. Pour aider l'utilisateur, la valeur de chaque variable lors de l'année de référence 2012 est rappelée tandis que les scénarios d'évolution tendanciels sont indiqués pour certaines variables (projections de l'Insee pour les variables démographiques, scénarios de baisse tendancielle de la consommation).

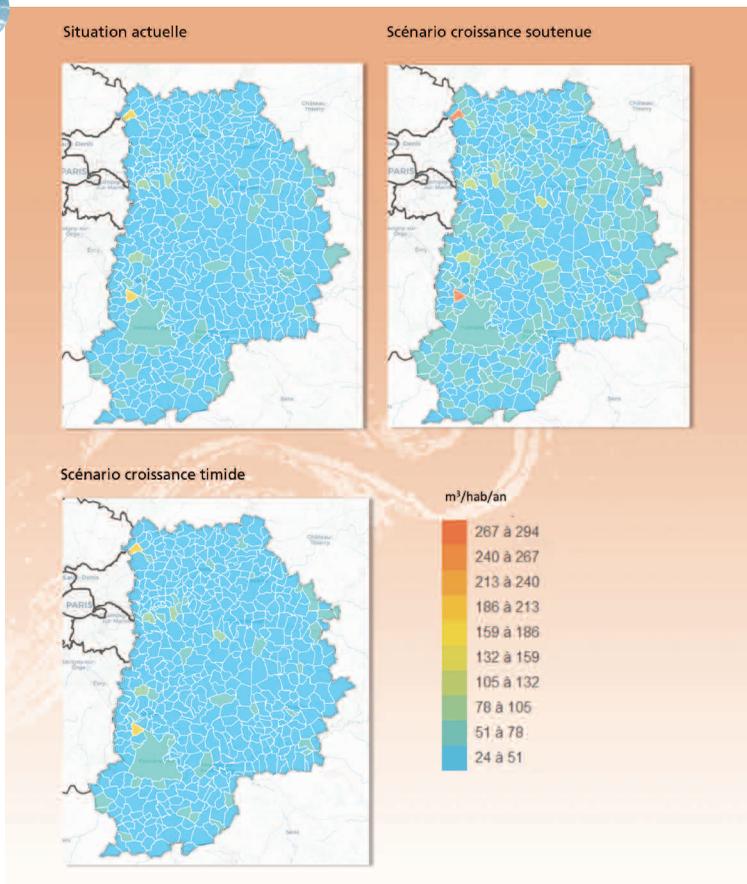
À l'issue de la simulation, l'utilisateur peut visualiser la consommation d'eau totale par habitant pour l'ensemble des scénarios simulés. Ces résultats sont présentés sous forme de graphiques, tableaux et de cartes si la simulation porte sur plusieurs communes (Figure 11). L'outil permet également de quantifier l'impact marginal sur la consommation d'eau de chacune des hypothèses réalisées dans le scénario, comme le montre la Figure 12 (page 34). En prenant l'exemple des deux scénarios présentés sur celle-ci, on constate que l'hypothèse d'augmentation du revenu fiscal des ménages faite dans le scénario 1 et 2 conduit respectivement à une hausse de la consommation de 2,5 et 0,5 m<sup>3</sup> par an et par habitant ; l'augmentation du prix supposée dans les scénarios 1 et 2 conduit à une baisse de la consommation de 1,25 et 0,75 m<sup>3</sup>/hab/an respectivement. La figure montre également que les hypothèses de décroissance tendancielle réalisées dans les deux scénarios conduisent à une baisse de 2 et 3 m<sup>3</sup>.

Figure 10

	2012	i	tendanciel 2030	S1 - développement soutenu	
<b>Population</b>					
Nombre d'habitants	1 331 810 hab.		1 453 730 hab. (+9%)	1331810	(+0%)
Revenu fiscal déclaré médian par unité de consommation	22 019 €/UC			22019	(+0%)
Part de ménages dont le référent est diplômé BAC+3 et plus	25,68 %			25,68	(+0%)
<b>Logements</b>					
Nombre d'habitants par logement	2,32 hab./lgt.		2,14 hab./lgt. (-8%)	2,32	(+0%)
Part de maisons	59,62 %			59,62	(+0%)
Emprise au sol des logements collectifs par habitant	18,28 m <sup>2</sup> /hab.			18,28	(+0%)
Superficie de jardins privés par habitant	65,15 m <sup>2</sup> /hab.			65,15	(+0%)
<b>Activités économiques</b>					
Nombre d'emplois par habitant	0,337 emp./hab.			0,337	(+0%)
Part des emplois du secteur hôtel café restaurant	4,1 %			4,1	(+0%)
Superficie des espaces d'activités économiques par habitant	54,5 m <sup>2</sup> /hab.			54,5	(+0%)
<b>Equipements</b>					
Superficie d'équipements par habitant	21,57 m <sup>2</sup> /hab.			21,57	(+0%)
<b>Eau</b>					
Prix	▲ i	100 (base 100)		100	(+0%)
Baisse tendancielle des consommations d'eau (effet temps)	i	100 (base 100)	88,8 (base 100) (-11%)	100	(+0%)

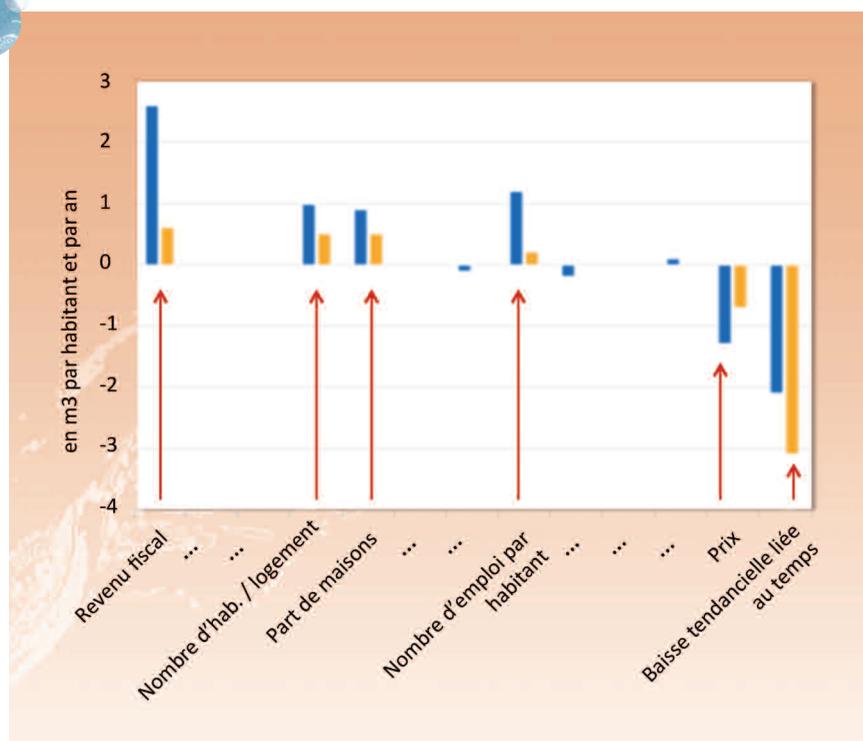
Capture d'écran de l'interface permettant de définir les paramètres de simulation sur l'outil Sicomore.

Figure 11



Exemple de sortie cartographique de Sicomore pour 2 scénarios (croissance soutenue, croissance timide) construits par l'utilisateur (département de la Seine-et-Marne).

Figure 12



Impact marginal sur la consommation d'eau des hypothèses réalisées par l'utilisateur dans les deux scénarios évalués (croissance soutenue, croissance timide).

## ■ Projection de la demande en eau potable de l'agglomération grenobloise

Bien que relativement bien dotée en ressources en eau, la région grenobloise a connu des épisodes de sécheresse qui ont conduit à des restrictions d'usages au cours des dix dernières années. Ceci a poussé les acteurs locaux à réaliser une première étude de bilan ressources-besoins entre 2008 et 2010. Celle-ci a débouché sur un programme d'actions de sécurisation de l'AEP. En 2017, cette étude a été mise à jour en intégrant les orientations du schéma de cohérente et d'orientation territoriale (Scot). Comme dans l'étude en Ile-de-France présentée ci-dessus, il s'agit de vérifier que la disponibilité des ressources en eau est compatible avec les besoins associés aux orientations du Scot à l'horizon 2030. Les paragraphes suivant résument les principaux éléments méthodologiques et résultats de la prévision de la demande en eau potable de cette étude.

Concernant la méthode, la prévision des besoins en eau des usagers domestiques et non-domestiques est réalisée séparément. L'estimation repose sur une prévision de la population à desservir à l'horizon 2030 et sur des hypothèses d'évolution du ratio de consommation unitaire par habitant.

La projection de population à desservir n'est pas basée sur des projections de l'Insee, mais sur les objectifs de construction de logements prescrits dans le document d'orientation et d'objectifs (DOO) du Scot. La prévision repose donc sur l'hypothèse que les objectifs définis dans le Scot seront réalisés. Le nombre de logements neufs est défini dans le DOO pour chaque territoire de la région urbaine de Grenoble en fonction de l'armature territoriale (ville-centre, pôles secondaires, etc.). Les objectifs de construction annuels prévus dans le Scot ont été appliqués de 2013 à 2030, à l'échelle de la commune, afin de prévoir le nombre total de logements supplémentaires en 2030. Cette prévision est croisée avec les données de l'Insee sur le nombre moyen de personnes par logement dans chaque commune (données de 2012), pour estimer la population supplémentaire en 2030. En résumé le calcul est réalisé comme suit :

$$\text{Population}_{2030} = \text{Population}_{2013} + (\text{nombre de logements neufs} \times \text{nombre de personnes par logement})$$

En ce qui concerne le ratio de consommation unitaire domestique, les hypothèses d'évolution future reposent sur l'analyse des tendances observées entre 2009 et 2014 (pour les collectivités où des données exploitables étaient disponibles). Cette analyse montre une tendance à la baisse de 0,69 % par an. Pour la prévision à 2030, deux scénarios d'évolution sont retenus: une baisse de 0,69 % par an jusqu'en 2030, avec un seuil minimal de 40 m³/habitant/an ; et un maintien de la consommation unitaire actuelle.

Pour les consommations non domestiques, la prévision suppose un maintien de la consommation à son niveau de 2013. Pour les nouveaux projets de zones d'activités économiques (ZAC), une enquête a été menée auprès des collectivités pour déterminer le type d'activité et la superficie prévue. Des ratios d'intensité de consommation (en m<sup>3</sup>/jour/ha) ont ensuite été appliqués, différenciés selon le type d'activité : logistique, tertiaire, commerce et artisanat, petite et moyenne industrie, industrie automobile, agro-alimentaire ou autre (Tableau 6).

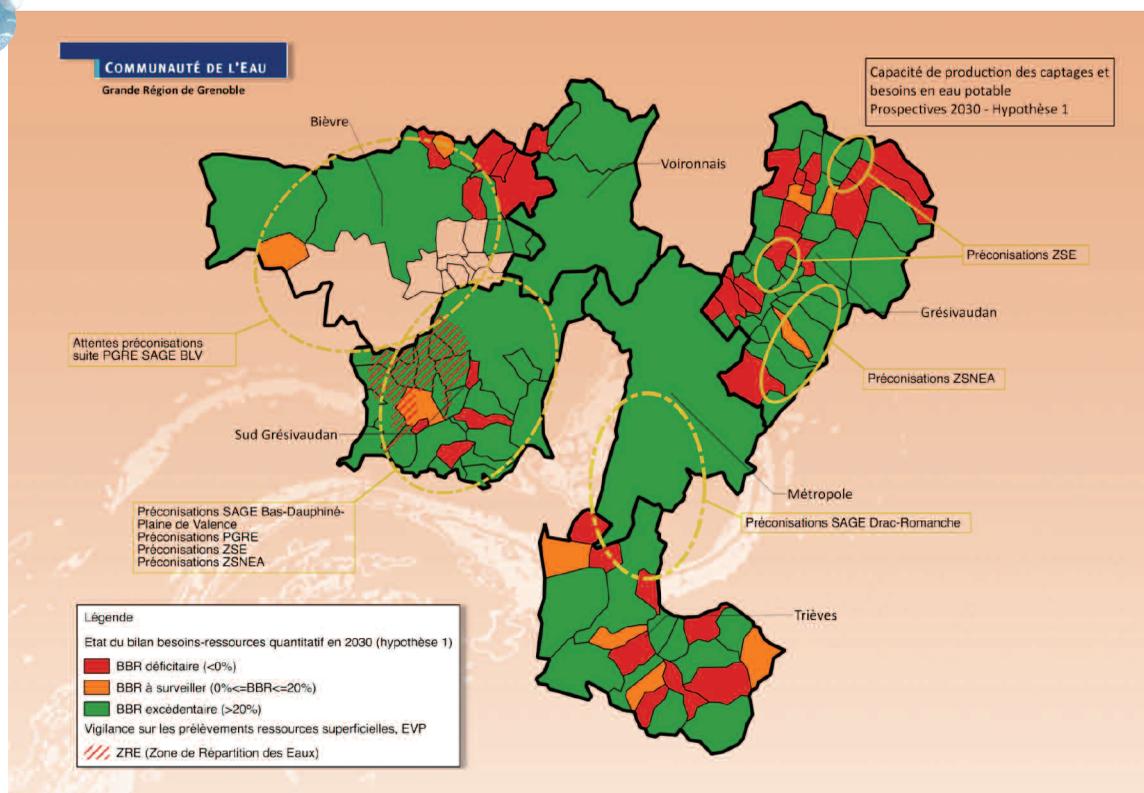
**Tableau 6** Ratios de consommation utilisés pour évaluer les besoins en eau potable des nouvelles ZAC selon les activités

Type d'activité	Consommation
Logistique	1,5
Tertiaire	4
Commerce et artisanat	4
Petites et moyennes industries	8
Industries	10
Industries auto	15
Agroalimentaire	100à150
Activité inconnue	4 (données SDRE 2006)

La dernière hypothèse réalisée est relative au rendement des réseaux dont on estime qu'ils seront mis en conformité avec la législation, de façon à atteindre le rendement minimal de 65 % + 1/5.ILC (indice linéaire de consommation)<sup>6</sup> fixé par décret. À noter que le coût associé à cette hypothèse et l'impact sur le prix de l'eau ne sont pas évalués.

Au final, les besoins estimés pour 2030 sont présentés à l'échelle communale, en total annuel et en période de pointe, en considérant les deux scénarios d'évolution de la consommation unitaire. Ils sont ensuite confrontés aux ressources en eau disponibles pour faire apparaître des communes confrontées à un risque de déficit à l'horizon considéré (Figure 13). Globalement, les besoins futurs sont estimés entre 155 % et 170 % de la situation 2013. La variation est très variable selon les secteurs géographiques (de +31 % pour le Trièves à +79 % pour la métropole par exemple).

**Figure 13**



Résultat du bilan ressources-besoins à l'horizon 2030. Source : communauté de l'eau de Grenoble, 2017.

6 - L'indice linéaire de consommation est égal au rapport entre, d'une part, le volume moyen journalier consommé par les usagers et pour les besoins du service, augmenté du volume vendu en gros et, d'autre part, le linéaire de réseau hors branchement.

## 5.4 Bilan ressources - besoins du Sage des nappes profondes de Gironde

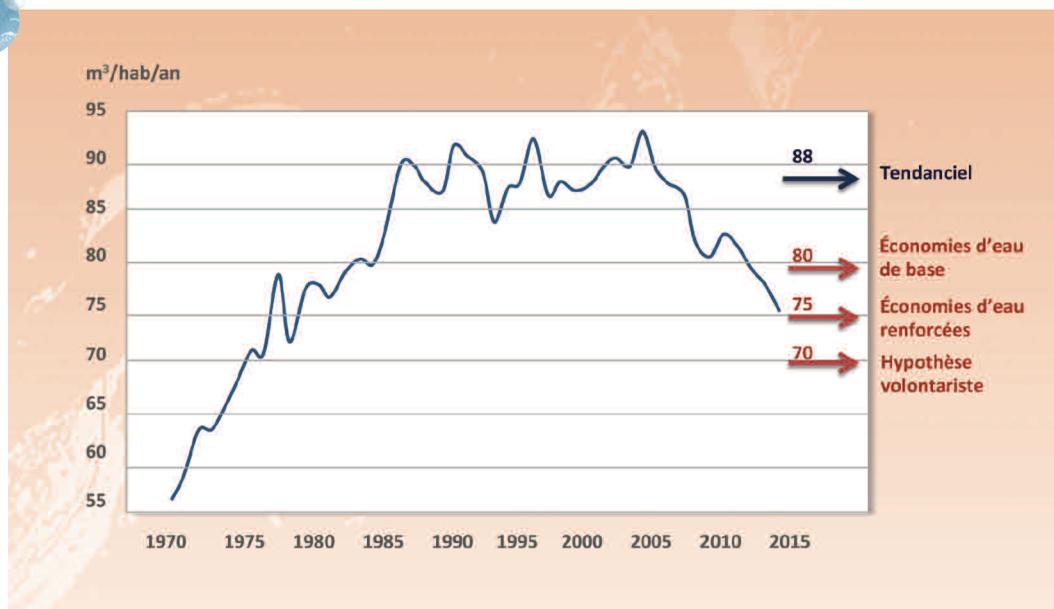
L'exemple de la Gironde présenté ci-dessous montre comment la prévision de la demande future en eau potable est utilisée par un EPTB pour évaluer un bilan ressources-besoins à l'échelle d'une ressource d'importance régionale : les nappes profondes de Gironde. La prévision est ici réalisée à une échelle largement supérieure à celui du service d'eau potable. Elle s'insère dans le cadre du Sage dont la disposition 40 demande de procéder à une évaluation régulière de l'évolution des besoins futurs en eau potable.

Rappelons tout d'abord quelques éléments de contexte. Dans le département de la Gironde, l'alimentation en eau potable dépend à 97 % de nappes d'eau souterraines, pour la plupart captives. Certaines de ces nappes sont surexploitées ou se trouvent en limite de surexploitation tandis que d'autres peuvent encore supporter une augmentation de prélèvement. Dans ce contexte, le Syndicat mixte d'étude et de gestion de la ressource en eau du département de la Gironde (EPTB des Nappes profondes de Gironde) cherche à optimiser la répartition spatiale des prélèvements afin de réduire la pression de prélèvement sur les secteurs à risques. Il s'appuie pour cela sur l'utilisation de modèles hydrogéologiques mathématiques qui permettent de simuler l'évolution de l'état des nappes pour différents scénarios de prélèvements. Comme l'état de ces nappes dépend autant des volumes prélevés que des modalités de prélèvement, ces scénarios doivent indiquer avec la plus grande précision possible combien d'eau sera prélevé et sur quels ouvrages, qu'il s'agisse de forages existant ou de forages à créer. Cet exercice permet d'anticiper l'apparition d'éventuels déséquilibres entre les besoins et les ressources disponibles et d'engager des actions correctives (mesures d'économie d'eau, déplacement de captages, recherche de ressources de substitution). La dernière évaluation, présentée dans les paragraphes qui suivent, date de 2015 (Smegreg).

L'estimation des besoins futurs est réalisée séparément pour les usagers prélevant directement dans les nappes dont les agriculteurs (14,8 % des prélèvements), les industriels (2,5 %), la géothermie et autres usages (3 %) et pour les services d'eau potable, (79 %). Concernant les besoins en eau potable, les besoins futurs sont schématiquement estimés en multipliant la population future par un besoin unitaire correspondant à la somme des prélèvements pour l'AEP divisé par la population desservie. Ce ratio, que les auteurs dénomment « empreinte d'un habitant sur la ressource pour l'alimentation en eau potable » inclut donc la consommation domestique réalisée par cet habitant, la consommation déportée qu'il réalise en dehors de son domicile (travail, école, loisirs), la consommation des activités économiques alimentées par le réseau et les pertes de distribution. L'étude ne cherche pas à décomposer ces différents postes de consommation, ni à caractériser leur évolution dans le temps. En revanche, elle analyse l'évolution historique de ce ratio global et tente d'expliquer les causes des tendances observées avant de proposer des hypothèses d'évolution future. La Figure 14 présente cette évolution ainsi que les hypothèses retenues pour construire des scénarios d'évolution. Dans le scénario tendanciel, la consommation est supposée stable (80m<sup>3</sup>/hab/an), au niveau de la moyenne des années 2005-2015 (les 3 dernières années ayant été marquées par un climat anormalement frais et/ou pluvieux). Cette hypothèse suppose un maintien des rendements actuels et la prolongation de la politique en faveur des économies d'eau jusqu'à 2021. L'hypothèse intermédiaire (75 m<sup>3</sup>/hab/an) suppose un renforcement des efforts en matière de rendement des réseaux et une poursuite des efforts d'économie d'eau chez les particuliers. Enfin, l'hypothèse à 70 m<sup>3</sup>/hab/an représente un scénario plus ambitieux et constitue davantage un objectif à atteindre (les actions à mettre en place pour concrétiser ce scénario ne sont pas décrites).

Les hypothèses relatives à la croissance démographique sont réalisées de manière assez classique. Elles s'appuient sur des projections réalisées par l'Insee avec le modèle Omphale en 2010, et sur une prospective portée par la communauté urbaine de Bordeaux en 2012. Les chiffres de 2015 ayant montré que la trajectoire actuelle est proche de la projection de la communauté urbaine de Bordeaux (CUB), c'est celle-ci qui est retenue. En combinant les trois hypothèses d'économie d'eau (70, 75 et 80 m<sup>3</sup>/hab/an) et les deux hypothèses de croissance démographique, le Smegreg considère six scénarios qui conduisent à une prévision de demande totale comprise entre 125 et 157 millions de m<sup>3</sup> par an (contre 120 millions en 2012).

Figure 14



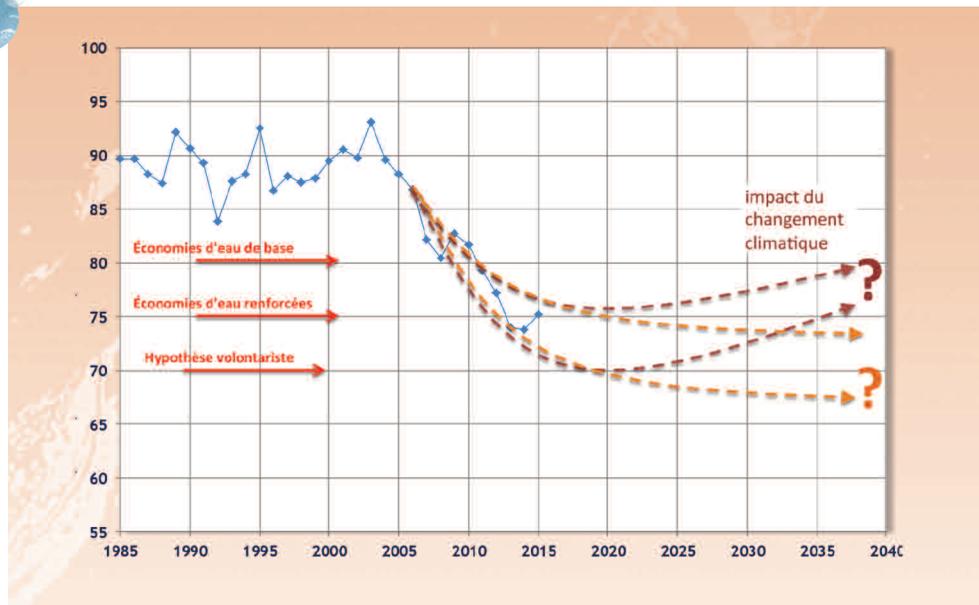
Évolution du prélèvement par habitant pour l'AEP (toutes ressources confondues) dans le Sage Gironde. Source : adapté de Smegreg 2015.

Une fois estimé le volume total susceptible d'être prélevé à l'horizon considéré, une analyse complémentaire est réalisée pour caractériser la répartition spatiale de la demande. Cette spatialisation est réalisée à l'échelle des collectivités organisatrices du service. Pour chacune d'entre elles, la population desservie dans le futur est évaluée en utilisant les résultats du modèle Omphale à la maille géographique la plus fine. L'analyse tient également compte des valeurs actuelles et des objectifs de rendement des réseaux, ce qui permet de calculer les économies attendues dans le futur (réduction des pertes) puis les besoins de prélèvements par collectivités. Ceux-ci sont ensuite ventilés sur les forages en respectant, en termes de proportion, la répartition des prélèvements constatés en 2012.

La prévision permet *in fine* d'alimenter les modèles mathématiques qui permettent à leur tour d'identifier les secteurs hydrogéologiques à l'équilibre, ceux qui sont surexploités et ceux où les prélèvements peuvent être augmentés sans risque pour la ressource. Ce diagnostic conduit ensuite à proposer une stratégie d'optimisation des prélèvements (déplacement de certains captages).

Comme dans tout exercice de prévision de la demande, il existe des incertitudes importantes. La première est relative à la distribution spatiale des nouveaux habitants qui s'installeront dans le département. Cette distribution est difficile à prévoir puisqu'elle dépend en partie de facteurs non maîtrisés par les gestionnaires, dont l'évolution du coût du foncier et celui des transports qui déterminent la tendance à l'étalement urbain ou au contraire à la densification des centres. Il est par ailleurs difficile de prévoir quelle sera l'évolution à long terme de l'empreinte eau des habitants de Gironde. Continuera-t-elle à baisser (Figure 15, page suivante) ou bien tendra-t-elle vers une asymptote et si oui, à quel niveau et à quel horizon temporel ? Le changement climatique ne risque-t-il pas de conduire à une nouvelle augmentation des besoins, notamment avec l'émergence de nouveaux besoins liés au rafraîchissement de la ville ? Sur ce dernier point, l'annonce d'épisodes caniculaires plus longs et plus fréquents en lien avec le changement climatique doit nous interroger si l'on considère l'influence de la température maximale d'une journée sur la demande telle qu'elle a pu être mise en évidence sur l'agglomération bordelaise à savoir que une hausse de +1°C de température maximum entraîne une augmentation de 1,6 % de consommation d'eau potable.

Figure 15



*Incertitudes relatives à l'évolution future de l'empreinte eau des habitants de Gironde. Source : d'après présentation de Bruno de Grissac, séminaire du 14 décembre 2017, AFB, Vincennes.*

## 5.5 Bilan de la pratique en France

L'analyse des cas d'étude présentés ci-dessus permet de réaliser quelques constats relatifs aux pratiques de prévision de la demande en eau future en France.

1. Les approches et outils développés restent relativement simples. Toutes les études consultées estiment les besoins futurs comme le produit de la population future par un ratio de consommation unitaire (par an et par habitant). Aucune des autres méthodes présentées dans le chapitre 2 n'ont été mises en œuvre dans un contexte français.
2. La plupart des études récentes supposent que le ratio de consommation unitaire est décroissant avec le temps. Le taux de décroissance est fixé sur la base d'une analyse des tendances récentes qui sont projetées à l'horizon étudié, tout en imposant un plancher de consommation considéré comme un minimum incompressible. Il est parfois défini en référence à des tendances générales estimées à l'échelle nationale.
3. Le ratio de consommation utilisé dans les calculs englobe la plupart du temps la consommation domestique, celle des usagers économiques et des équipements publics. La terminologie utilisée reflète ce choix : les études parlent de « dotation unitaire » ou « d'empreinte eau par habitant ». Les besoins en eau des activités économiques font rarement l'objet d'une analyse séparée, tentant de relier la consommation à l'évolution prévue de l'activité économique (emploi, nouvelles surfaces de ZAC créées). L'étude de la Communauté de l'eau de Grenoble est une exception notable.
4. La plupart des études utilisent la notion de « besoin » et non celle de « demande ». Elles considèrent donc que ce besoin s'impose au gestionnaire et qu'il ne peut pas le modifier. La possibilité d'utiliser la tarification comme levier de gestion de la demande n'est jamais considérée dans les études (à l'exception de l'étude du Credoc). Ceci serait pourtant possible puisqu'il existe des estimations de l'élasticité de la demande au prix de l'eau en France.
5. Aucune étude ne cherche à quantifier précisément les économies d'eau qui pourraient être réalisées via la mise en place de mesures spécifiques. Les études qui intègrent ce facteur se contentent de le faire de manière très globale, le citant comme l'une des causes de la baisse tendancielle observée et projetée à l'avenir.
6. L'évolution des formes d'urbanismes, notamment en termes de densité de logement, sont rarement prises en compte dans les études consultées, à l'exception de celle de Grenoble qui base l'exercice de prévision des besoins en eau sur les orientations du Schéma de cohérence territoriale (Scot).
7. L'incertitude est généralement prise en compte de manière très simplifiée, par le biais de scénarios construits en faisant varier quelques hypothèses. Ces approches s'apparentent plus à des tests de sensibilité qu'à une analyse de l'incertitude.



## 6 - Los Angeles : une articulation des prévisions régionales et locales

### 6.1 Le contexte de la Californie du Sud

Dans les États de l'ouest des États-Unis, la rareté de la ressource a conduit au développement de méthodes sophistiquées de prévision de la demande en eau depuis les années 1970. Des logiciels, tels que IWR-MAIN<sup>7</sup>, ont ainsi été développés et utilisés par une cinquantaine de métropoles (Bauman *et al.*, 1998). Ces méthodes sont illustrées ci-dessous à travers une étude de cas réalisée dans la région de Los Angeles en Californie du Sud.

En Californie, la réglementation impose à chaque service d'eau potable d'établir un plan de gestion à long terme du service d'eau potable. Ces plans doivent assurer l'équilibre à long terme entre la demande en eau et les ressources disponibles et proposer des mesures de gestion de crise en cas de sécheresse exceptionnelle (*Urban Water Management Act*). Ces plans, qui ont une portée temporelle de trente ans, doivent être mis à jour tous les cinq ans et soumis au Département des ressources en eau de l'État de Californie. Ils doivent contenir une analyse prospective de la demande par catégorie d'usagers, incluant une description des mesures d'économie d'eau prévues par le gestionnaire du service.

Dans la métropole de Los Angeles, cette prévision de la demande en eau est réalisée à plusieurs niveaux géographiques. Au niveau *métropolitain* (régional), une prévision globale est réalisée par l'importateur d'eau *Metropolitan Water District* (MWD), qui alimente vingt-six services intercommunaux de la région de Los Angeles à partir de plusieurs aqueducs provenant du Colorado (*Colorado River Aqueduc* – CRA), de la Californie du Nord (*State Water Project* – SWP), des Sierra Mountains (*Los Angeles Aqueduc* – LAA) et de ressources locales. L'exercice de prévision de la demande s'insère dans le développement d'un plan de gestion intégrée des ressources en eau (*Integrated Water Resources Plan*) qui consiste, essentiellement, à planifier l'approvisionnement en eau afin de garantir la « capacité de répondre à la demande dans n'importe quelle condition hydrologique ». Les prévisions réalisées par MWD sont basées sur un modèle statistique visant à évaluer les besoins globaux des dix-huit millions d'habitants desservis puis des besoins d'importation d'eau, déduction faite des ressources disponibles localement. À l'échelle plus locale, chacun des vingt-six distributeurs d'eau réalise ses propres prévisions en utilisant des méthodes plus fines basées sur le recensement des projets de développement futur. La cohérence des résultats issus de ces deux démarches de prévision est assurée par l'importateur d'eau (MWD). Ces outils de prévisions sont décrits plus en détail ci-après.

7 - Voir le site de l'éditeur du logiciel : <http://www.dynsystem.com/IWR-MAIN/>

## 6.2 Prédiction de la demande par l'importateur régional

Pour prévoir l'évolution à long terme de la demande en eau potable, *Metropolitan Water District* utilise un modèle de prévision sophistiqué. Développé à partir du logiciel IWR-MAIN (Bauman *et al.*, 1998), il permet de traduire les prévisions de croissance démographiques et économiques en demande en eau potable tout en intégrant l'effet de programmes d'actions en faveur des économies d'eau. L'outil repose sur la combinaison de deux modèles : un modèle statistique qui simule l'évolution tendancielle des ratios de consommation ; et une modélisation des usages finaux qui simule l'effet sur la demande de programmes d'action en faveur des économies d'eau.

Le premier modèle décompose la prévision par type d'usages (domestique, commercial, industriel, public), par secteur géographique (plus de cinquante secteurs à MWD) et par saisons. Concernant les besoins domestiques, ils sont évalués séparément par type d'habitat (maison individuelle, petits et grands collectifs, mobil homes, habitat rural). Le modèle permet de simuler l'évolution dans le temps des ratios de consommation unitaire ( $m^3$  par habitant,  $m^3$  par emploi, etc.) en fonction d'hypothèses relatives à l'évolution de la taille et du revenu des ménages, de la tarification du service (niveau et structure du prix), des caractéristiques des nouveaux logements construits (individuel ou collectif, densité) et du climat (précipitations). Quant aux besoins industriels et commerciaux, ils sont évalués en décomposant la demande au niveau de 400 activités économiques, pour lesquelles un ratio de consommation unitaire ( $m^3$ /emploi) est utilisé. Ce modèle statistique complexe est d'abord utilisé pour prévoir l'évolution de la demande totale, en fonction d'hypothèses démographiques et économiques. Les coefficients de ce modèle statistique ont été déterminés sur la base du traitement statistique (méta-analyse) des résultats de 60 études de cas réalisées aux États-Unis.

La modélisation des usages finaux permet ensuite d'estimer la réduction de la demande associée à des programmes d'actions en faveur des économies d'eau. Ce modèle décompose la demande en usages élémentaires, comme l'utilisation des chasses d'eau, machines à laver, lavabos et douches, arrosage des jardins, lavage des sols et voitures, etc. Des hypothèses sont émises quant au niveau d'équipement des ménages, aux pratiques d'utilisation de ces équipements et aux fuites (robinets, chasses d'eau, systèmes d'arrosage des jardins). Ces hypothèses peuvent être modifiées pour simuler l'effet global à l'échelle régionale des politiques volontaristes que conduit MWD en matière d'économie d'eau, en cohérence avec la politique définie à l'échelle de l'État (*California Water Conservation Council*). Il s'agit par exemple de la distribution de kits hydro-économiques (pommes de douches, aérateurs, chasses d'eau faible volume), l'attribution de subvention pour le remplacement des équipements peu efficaces (100 dollars pour les machines à laver par exemple), la réalisation d'audits des consommations chez les particuliers ou les usagers commerciaux visant à réduire les usages extérieurs, etc. Le modèle permet également de simuler l'effet tendanciel de l'évolution des normes de fabrication des équipements (par exemple interdiction de commercialiser les chasses d'eau de plus six litres).

## 6.3 Prédiction de la demande à l'échelle des services d'eau

À l'échelle intercommunale, les services distributeurs d'eau potable (*Water Districts*) ont développé des méthodes de prévision plus fines, tant en termes de résolution spatiale que temporelle. Comme à l'échelle régionale, l'objectif principal est d'évaluer les besoins globaux en ressources afin de programmer si nécessaire des investissements (dessalement d'eaux souterraines saumâtres, par exemple). Mais il s'agit également de préciser la répartition spatiale des besoins futurs afin de prévoir les travaux de renforcement ou de développement des infrastructures de distribution et de stockage. Les prévisions étant développées de manière relativement similaires par la plupart des services, nous présentons ici la démarche mise en œuvre par l'un de ces services : *Eastern Municipal Water District* (EMWD).

Situé dans le comté de Riverside, à environ 120 kilomètres à l'est de Los Angeles, ce service assure la desserte en eau et l'assainissement de 700 000 habitants environ. Du fait de la saturation des zones urbaines plus proches

de Los Angeles, le territoire desservi connaît une croissance démographique soutenue depuis plusieurs décennies. La population a augmenté de plus de 10 % par an entre 1980 et 1990, avant de se stabiliser à 3 % par an entre 1990 et 2010. Elle devrait se maintenir à ce niveau jusqu'en 2025. L'habitat individuel peu dense génère de fortes demandes en eau associées aux usages extérieurs (jardins et piscines). L'extrême rapidité de l'évolution de la demande qui en résulte exige une grande capacité d'anticipation. Il s'agit d'éviter que les investissements réalisés ne deviennent inadaptés avant même d'avoir été amortis, et de prévenir une éventuelle rupture d'approvisionnement dont le coût serait considérable pour l'économie locale.

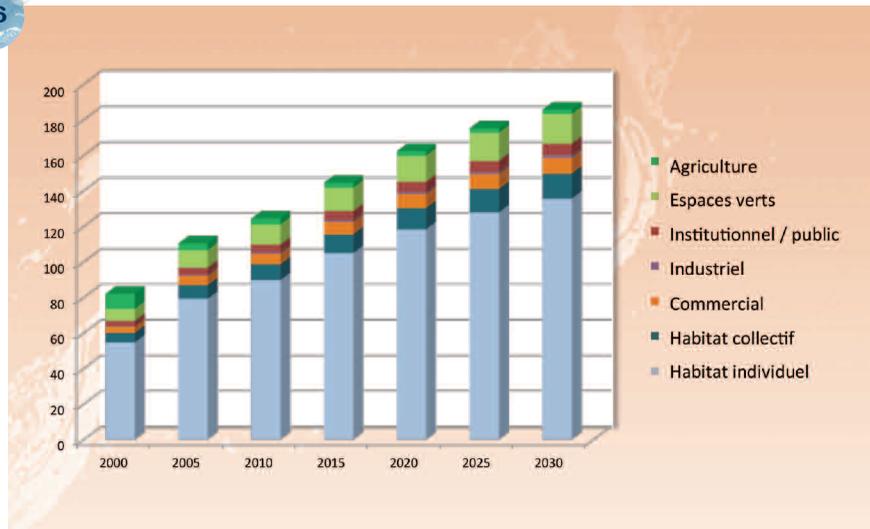
Pour évaluer les besoins futurs, EMWD s'appuie sur des études prospectives existantes qu'elle complète par ses propres analyses. Pour prévoir l'évolution démographique à long terme à l'échelle de l'ensemble de son territoire, EMWD utilise les prévisions de croissance démographique produites par l'Association des gouvernements du Sud de la Californie (SCAG) dans le cadre de la préparation du plan de transports. Une étude complémentaire est ensuite confiée à un consultant spécialisé pour déterminer les caractéristiques et la distribution spatiale des logements susceptibles d'être construits pour accueillir la nouvelle population d'ici 2030. L'évolution des formes urbaines (types de logements construits) est en effet considérée comme un facteur déterminant de la demande en eau future. L'étude consiste en une analyse approfondie de la dynamique du marché de l'immobilier, laquelle prend en compte des facteurs macro-économiques (emploi, revenu, crédit) et des facteurs locaux (distance aux centres d'emploi, attractivité des territoires dont niveau de criminalité, qualité des écoles, prix de l'immobilier) comparés à la situation des territoires concurrents.

Pour compléter ces prévisions, EMWD développe une base de données spatialisée (système d'information géographique) qui permet d'estimer le potentiel de construction de nouveaux logements à partir des documents d'urbanisme. Cette base permet aussi de recenser et de suivre l'avancement de tous les projets de développement résidentiels ou économiques de son territoire, depuis la phase de conception jusqu'à la pose des compteurs (*Database of Proposed Projects*). En 2005, cette base de données décrivait 651 projets correspondant à 150 000 logements individuels ou collectifs, et environ 4 000 hectares de surfaces commerciales, industrielles ou publiques (parcs, établissements accueillant du public). Cette approche permet d'anticiper finement la demande en eau future avec deux à cinq ans d'avance environ. Elle complète les autres approches aux horizons temporels plus éloignés. La démarche fait l'objet d'une mise à jour tous les cinq ans, en lien avec la planification réalisée à l'échelle géographique supérieure par l'importateur régional, alias le *Metropolitan Water District*.

EMWD traduit ensuite les prévisions de développement démographique et urbain en termes de demande en eau, en utilisant des ratios de consommation différenciés par type de lotissements (en fonction de la densité, surface des parcelles, prix et revenu moyen des ménages, etc.), tenant compte de l'augmentation croissante du revenu de sa population et de la baisse progressive du nombre de personnes par foyer. Ces ratios sont estimés sur la base d'une analyse fine des données de facturation. Au final, la demande est estimée pour sept catégories d'usagers : usagers domestiques en habitat individuel et collectif, clients commerciaux, clients industriels, usagers publics et institutionnels, espaces verts et agricoles (Figure 16 page suivante). EMWD estime également les économies d'eau susceptibles d'être réalisées dans le futur, soit de manière passive (évolution de la performance des matériels vendus), soit de manière active via des programmes d'actions spécifiques visant à modifier les pratiques et comportements – en particulier la mise en place de tarifications incitatives par paliers croissants. Enfin EMWD réalise une prévision des ventes d'eau usées recyclées qu'elle développe depuis 2000 en substitution à l'eau potable (Figure 17 page suivante).

Globalement, la méthode de prévision développée par EMWD prend en compte de manière explicite de très nombreux facteurs : croissance démographique et économique, évolution des formes d'habitat, effet des changements de tarification, mise en place de programmes incitant à l'économie d'eau, baisse tendancielle de la consommation résultant de l'évolution de la performance des matériels vendus, développement des ressources de substitution.

Figure 16



Prévision d'évolution de la demande en eau par catégorie d'usagers (millions de m³ par an).  
Source : adapté de Eastern Municipal Water District Urban Water management Plan, 2005.

Figure 17



Estimation des économies d'eau attendues à l'horizon 2030 (millions m³/an). Source : adapté de Eastern Municipal Water District Urban Water management Plan, 2005.

## 6.4 Conclusion

Les points forts de l'approche mise en œuvre dans ce cas d'étude sont les suivants :

- la méthode analyse séparément les usages domestiques, économiques et publics ;
- la prévision repose sur une modélisation multifactorielle de la demande en eau, intégrant les facteurs économiques (évolution de l'emploi, des revenus, du prix de l'eau) et les choix d'aménagement du territoire (densité de l'habitat, démographie) ;
- les économies d'eau pouvant être obtenues via la mise en place de politique volontaristes sont calculées séparément pour être soustraites au scénario tendanciel ;
- la prévision de la demande en eau potable est intégrée aux autres démarches de planification (urbanisme, transport).

Le niveau de sophistication élevé des méthodes de prévisions utilisées s'explique par plusieurs facteurs :

- la réglementation pose un cadre relativement exigeant concernant la méthodologie à utiliser ;
- les maîtres d'ouvrage et les bureaux d'études travaillant pour eux disposent d'une bonne expérience en matière de prévision de la demande en eau ;
- l'économie régionale est très dépendante d'une ressource en eau chère et importée ;
- la région a connu des épisodes de sécheresse ayant entraîné des coûts importants. La nécessité de mieux prévoir la demande pour éviter que ces coûts ne soient récurrents est bien comprise par tous les acteurs ;
- enfin, la rapidité avec laquelle la demande augmente justifie également l'importance des moyens consacrés à la prévision de son évolution.



## 7 - Royaume-Uni : la modélisation des composantes d'usage

### 7.1 Contexte et cadre réglementaire

En Angleterre et au pays de Galles, les services de l'eau sont tenus de réaliser des prévisions de la demande à long terme. Selon le *Water Industry Act* (loi sur le secteur de l'eau) de 2003, les compagnies sont dans l'obligation de développer un plan de gestion des ressources en eau, indiquant comment elles prévoient d'équilibrer demande et ressource en eau à l'horizon de 25 ans. Ce plan de gestion doit être actualisé tous les 5 ans.

Les organismes de régulation, *Ofwat* et l'*Environment Agency* (Agence pour l'environnement) publient et actualisent des recommandations méthodologiques pour la réalisation du plan de gestion (*Environment Agency et al.*, 2012). Il est demandé aux services de l'eau de projeter l'évolution de trois composantes de la demande : la demande résidentielle, la demande industrielle et commerciale, et les fuites.

En ce qui concerne la demande résidentielle, le cadre réglementaire impose d'utiliser l'approche des composantes d'usages. Cette approche permet d'estimer comment l'amélioration de la performance de l'équipement des ménages (chasses d'eau, douches, machines à laver) peuvent influencer la consommation d'eau dans le long terme (chapitre 2). Cette méthode est issue des travaux de Ferrington (1995) et a été mise en pratique par le secteur de l'eau depuis le milieu des années 90 (NRA & UKWIR, 1995; UKWIR, 1997).

La prévision se fait en deux étapes. La première consiste à construire un scénario tendanciel qui suppose la prolongation des politiques actuelles de gestion, et qui n'intègre pas d'hypothèse d'évolution technologique ni comportementale. Ce scénario tendanciel permet d'identifier des problèmes de gestion potentiels comme le sous-dimensionnement de certaines infrastructures ou un déficit de ressource. La deuxième étape n'est mise en œuvre que si le service d'eau anticipe un déficit dans son bilan demandes-ressources. Dans ce cas, une nouvelle projection de la demande est réalisée en intégrant des actions d'économie d'eau, dimensionnées de manière à permettre de rétablir l'équilibre entre ressources et demande. La prévision doit être effectuée à l'échelle des « zones de ressource en eau », qui constituent l'unité élémentaire de planification<sup>8</sup>.

Ces plans de gestion des ressources en eau sont révisés tous les 5 ans et présentés par les 23 compagnies d'eau aux organismes régulateurs. La méthode mise en œuvre par la compagnie *Thames Water* est présentée ci-dessous en guise d'illustration, sur la base de la dernière version de leur plan de gestion (*Thames Water* 2014).

### 7.2 Méthode de prévision de *Thames Water* (Londres)

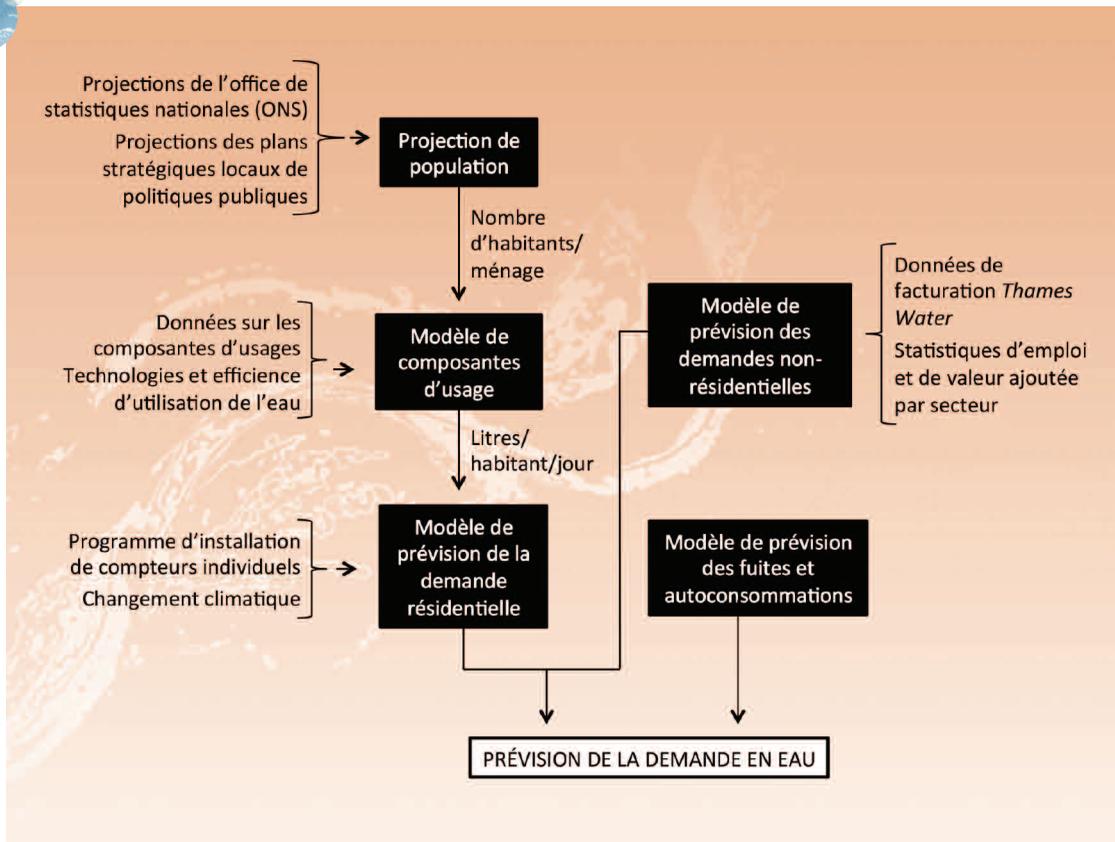
*Thames Water* est le plus gros service d'eau du Royaume-Uni. Il dessert plus de 13,5 millions de consommateurs à Londres et dans la vallée de la Tamise, fournissant environ 2,6 millions de m<sup>3</sup> d'eau potable chaque jour. La consommation des ménages constitue environ 53 % de la consommation totale, les consommations

8 - Une "zone de ressource en eau" est définie comme une zone où l'eau prélevée en tout point de la zone peut être distribuée à tout autre point de la zone. Il y a 68 zones de ressource en Angleterre et au pays de Galles. Ces zones de ressources sont ainsi des unités de plus grande échelle que ce qui est observé dans d'autres pays européens, où les services de l'eau sont encore fréquemment gérés à l'échelle locale (municipale), par exemple en France.

non-résidentielles 20%, les autoconsommations et volumes non facturés 2 %, tandis que les fuites sont estimées à 25 % de la consommation totale.

La méthode de prévision développée et mise en œuvre par *Thames Water* repose sur une structure modulaire (Figure 18). Un premier module évalue la population future et le nombre de ménages correspondant dans la zone de ressource ; un deuxième module, basé sur une approche statistique multivariée, évalue la consommation résidentielle future par habitant (scénario tendanciel ou de base) ; un troisième module évalue l'impact de politiques volontaristes en faveur des économies d'eau (par exemple l'installation de compteurs individuels) sur la consommation par habitant et la consommation totale ; un module à part est dédié à la prévision des consommations non-résidentielles. Les modules sont intégrés, et le modèle tourne à l'échelle des zones de ressource en eau pour les 25 années de l'horizon de prévision.

Figure 18



Vue d'ensemble de la méthode de prévision mise en œuvre par Thames Water.

## ■ Projection de la population

La projection de la population est une source majeure d'incertitude pour la projection de la consommation d'eau. Le scénario d'évolution de la population retenu est basé sur les plans stratégiques locaux. Pour la ville de Londres, l'information est issue du *London Plan*<sup>9</sup>. En dehors de Londres, les informations ont été collectées auprès des 63 autorités locales de la zone d'approvisionnement de *Thames Water*. Les prévisions de logements issues des plans stratégiques locaux sont utilisées pour projeter l'évolution du nombre de ménages. La population de chaque district est ensuite recalculée en utilisant les tendances d'évolution du nombre de personnes par ménage issues des projections du *Department of Communities and Local Government (DCLG)* et de l'Office de statistiques nationales (ONS). Au total, il est prévu que la population augmente de 2 à 2,9 millions d'habitants dans la zone desservie par *Thames Water* d'ici 2040.

9 - GLA (2011) *The London Plan Spatial Development Strategy for Greater London*, July 2011 (<http://www.london.gov.uk/priorities/planning/londonplan>).

## ■ Modélisation et projection des composantes d'usage (usages résidentiels)

La consommation domestique est évaluée à l'aide d'un modèle des composantes d'usage. Le taux d'adoption, la fréquence d'usage et le volume par usage de divers équipements des consommateurs d'eau sont caractérisés par enquête. La consommation d'eau par habitant est influencée par plusieurs facteurs, parmi lesquels : le nombre de personnes par ménage, la consommation en eau des appareils, les installations et équipements du logement, les comportements des occupants, la présence de jardins, et la présence ou non d'un compteur individuel. Le modèle de composantes d'usage est calibré et réactualisé régulièrement, notamment avec des données collectées lors d'enquêtes à large échelle<sup>10</sup>. Le Tableau 7 décrit les composantes actuelles de la consommation résidentielle dans la ville de Londres. Les ménages ne disposant pas d'un compteur individuel consomment en moyenne environ 30 litres de plus par habitant et par jour que les ménages équipés d'un compteur.

Tableau

7

Consommation par composante dans la ville de Londres pour l'année de référence 2011-2012

Composante	Ménages avec compteur individuel		Ménages sans compteur individuel	
	l/h/j	%	l/h/j	%
Chasses d'eau	36,27	26 %	37,95	22 %
Hygiène corporelle (douches et bains)	53,71	38 %	72,90	43 %
Lessive	12,76	9 %	12,28	7 %
Vaisselle	19,20	14 %	20,88	12 %
Usages extérieurs	7,81	6 %	6,25	4 %
Divers (dont cuisine, ménage, fuites)	10,03	7 %	20,80	12 %
<b>Total</b>	<b>139,78</b>		<b>171,06</b>	

Source: Thames Water, 2014.

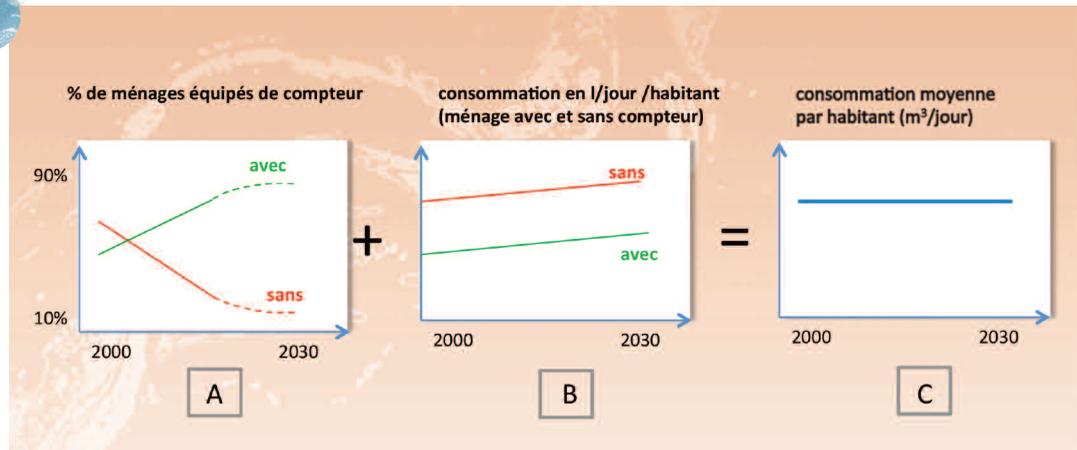
Le modèle de composantes d'usage est utilisé pour simuler l'impact de changements de taux de remplacement, d'adoption, de fréquence d'utilisation et de volumes consommés par utilisation de chaque composante. *In fine*, le modèle permet d'évaluer l'évolution annuelle de la consommation des ménages avec et sans compteur individuel. L'impact de la diminution du nombre de personnes par ménage est également pris en compte.

Tandis qu'une diminution de la consommation est observée pour la composante chasse d'eau, l'hygiène corporelle devient la composante principale des usages résidentiels, malgré la tendance à délaissé les bains au profit des douches (dont la durée a tendance à augmenter). Ceci conduit à une augmentation de la consommation par habitant à la fois pour les ménages équipés d'un compteur individuel et pour les ménages non équipés. Cependant, cette tendance est compensée par l'augmentation du nombre de compteurs, dont l'installation réduit la consommation unitaire des ménages concernés ; au final, la consommation moyenne par habitant (tous types de ménages confondus) reste stable (Figure 19).

Pour les nouveaux logements, *Thames Water* a considéré que la consommation domestique serait de 125 L/h/j pour un ménage moyen et resterait stable au cours du temps, compte tenu des normes qui s'appliquent aux équipements sanitaires et à la robinetterie dans le secteur de la construction.

10 - En 2007, 60 000 questionnaires papier ont été envoyés, avec 9650 retours ; en 2012, une enquête téléphonique a été réalisée auprès de 3 000 participants.

Figure 19



Représentation schématique de l'évolution du taux d'équipement en compteurs (A), de la consommation moyenne par ménage avec et sans compteur (B) et résultante en consommation moyenne par habitant (C).

### ■ Prévision finale de la demande résidentielle

Dans un deuxième temps, une fois les consommations des différentes composantes d'usage estimées pour les ménages avec ou sans compteur, l'impact de stratégies de gestion de la demande et du changement climatique est pris en compte. Ainsi, l'installation de compteurs individuels chez un plus grand nombre de ménages est projetée. En se basant sur le nombre de demandes d'installation annuelles depuis 2007, *Thames Water* a fait l'hypothèse que 24 000 compteurs individuels supplémentaires seront installés chaque année. L'impact du changement climatique quant à lui est basé sur une analyse statistique des consommations et des données climatiques (température, précipitations) depuis 1998, avec un modèle de régression linéaire. À l'horizon 2040, une augmentation de 0,6 % de la demande résidentielle est attendue pour une année sèche moyenne, et une augmentation de 3,3 % de la consommation de pointe hebdomadaire.

Ainsi, d'après les projections, la demande résidentielle totale augmentera d'environ 250 millions de litres par jour entre 2012 et 2040, soit une augmentation de la demande de 19 %, inférieure à celle de la population estimée à 22 %.

### ■ Prévision de la demande non-résidentielle

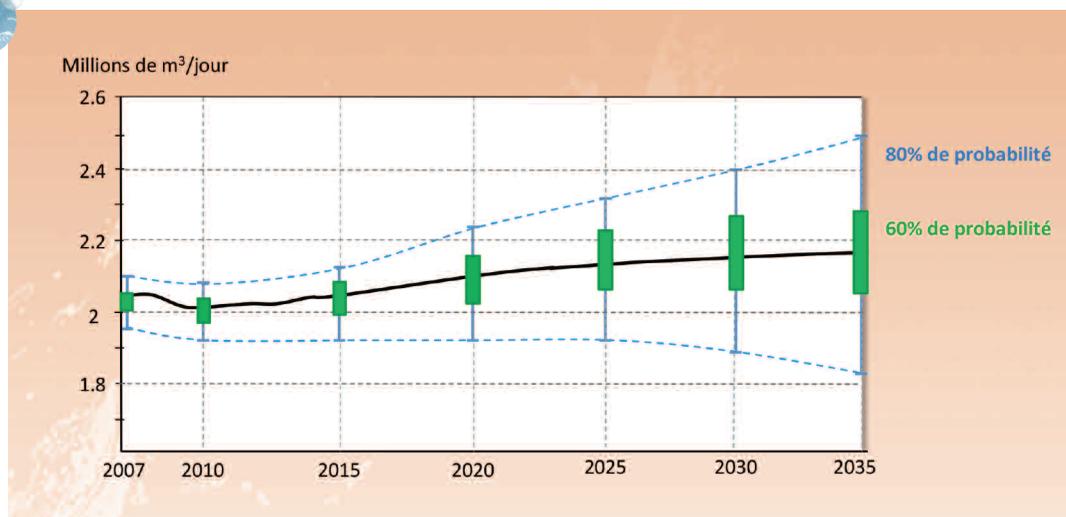
La prévision de la demande non-résidentielle (tertiaire et non tertiaire) est basée sur un modèle économétrique qui établit une relation statistique entre la consommation d'eau et un certain nombre de variables explicatives parmi les suivantes : emploi et valeur ajoutée industriels, efficacité d'utilisation de l'eau, et prix de l'eau. Les résultats de cette analyse statistique sont utilisés pour produire des prévisions par sous-secteurs dans chacune des zones de ressources en eau. Les projections prévoient une augmentation de la demande en eau des activités de services (centres d'appel par exemple) entre 2015 et 2040, et une diminution de la demande des activités non-tertiaires (brasserie par exemple). Ces deux phénomènes se compensent, et la demande non-résidentielle totale reste stable sur l'horizon de la projection.

### ■ Prise en compte de l'incertitude

L'incertitude associée aux prédictions est ensuite évaluée avec une approche probabiliste, reposant sur la réalisation de simulations Monte Carlo (section 3.3). Les sources d'incertitude considérées sont les suivantes : évolution des variables déterminant la demande (composantes d'usage, population, etc.), impact du changement climatique sur la demande, mesures de gestion de la demande qui seront mises en œuvre (économies d'eau

liées à l'installation de compteurs ou de technologies plus efficaces). La Figure 20 illustre le type de résultats obtenus avec cette approche probabiliste. Celle-ci permet de montrer qu'il y a 60 % de chance que la demande soit comprise entre 2,05 et 2,3 millions de m<sup>3</sup> par jour à l'horizon 2035 ; ou encore qu'il n'y a que 10 % de chance que la demande soit supérieure à 2,5 millions de m<sup>3</sup> par jour et 10 % de chance qu'elle soit inférieure à 1,8 million de m<sup>3</sup> par jour.

Figure 20



Profil d'incertitude de la prévision de la demande en eau pour Londres. Adapté de Thames Water, 2010, p.96.

### 7.3 Conclusion

Les points forts de l'approche mise en œuvre par *Thames Water* sont les suivants :

- comme dans l'exemple Californien, la méthode analyse séparément les usages domestiques et les usages économiques ;
- la prévision repose sur la combinaison (d'un modèle statistique servant à estimer un scénario tendanciel et d'un modèle de composantes d'usage permettant de quantifier finement l'impact de mesures d'économie d'eau ;
- la prévision de la demande en eau potable intègre les hypothèses formulées dans les plans de développement économique et d'aménagement urbain ;
- le modèle est utilisé de manière probabiliste, permettant au gestionnaire de quantifier le risque que certains seuils de consommation soient dépassés à l'horizon 2040.



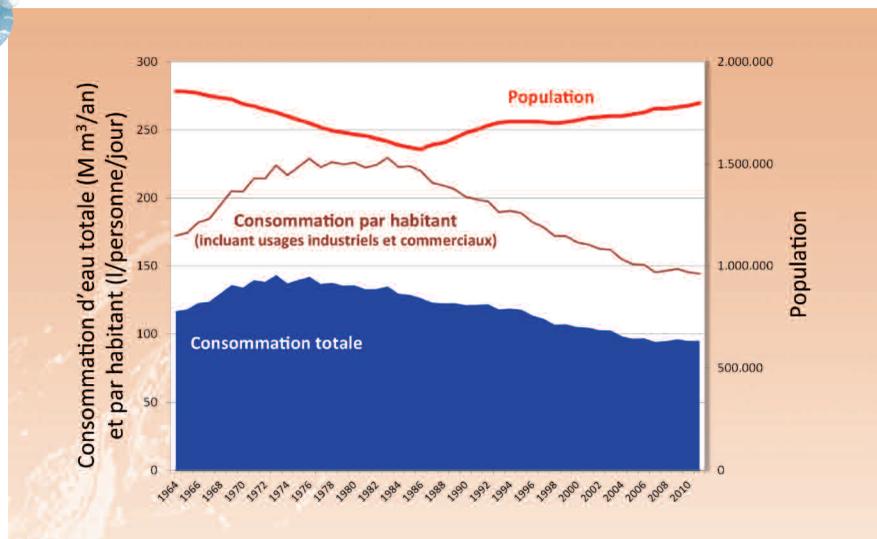
## 8 - Hambourg : intégration de la planification de l'urbanisme et de la prévision de la demande en eau potable

### 8.1 Contexte

À Hambourg, en Allemagne, on assiste depuis le milieu des années 1980 à un découplage entre la croissance de la population et la demande en eau. La Figure 21 montre clairement que la consommation baisse depuis cette période, alors que la population augmente régulièrement. Cette tendance est en partie expliquée par la généralisation des compteurs individuels, le développement de la récupération d'eau de pluie et l'amélioration de la performance des équipements domestiques utilisant de l'eau (machines à laver, robinetterie, etc.). Elle reflète aussi l'évolution de la politique d'urbanisme qui favorise la densification afin de maîtriser l'étalement urbain.

Pour les services d'eau qui doivent dimensionner des infrastructures, il est crucial de quantifier l'impact de ces différents facteurs, afin d'être en capacité de réaliser des projections fiables sur le long terme. C'est ce qui a conduit le gestionnaire du service d'eau, *Hamburg Wasser*<sup>11</sup>, et l'*Institut für sozial-ökologische Forschung* (ISOE, Institut de recherches sociales-écologiques<sup>12</sup>) à développer un modèle intégré de prévision de la demande. Ce modèle prend en compte divers facteurs déterminants, en particulier liés aux caractéristiques de l'habitat. Il a été développé en deux phases : le premier exercice de prévision, mené en 2007, projette la demande à l'horizon 2030 tandis que le second, réalisé en 2014, porte sur l'horizon 2045. Bien que développé par un institut de recherche, l'outil a été transféré au gestionnaire et est actuellement utilisé de manière opérationnelle.

Figure 21



Découplage entre croissance de la population et baisse de la consommation d'eau dans l'agglomération de Hambourg - Adapté de Schulz et al., 2013.

11 - *Hamburg Wasser* gère le service pour Hambourg et 26 municipalités avoisinantes qui sont totalement ou partiellement desservies.  
12 - D'après le concept académique de *social ecology* en anglais, et *soziale Ökologie* en Allemand.

## 8.2 Caractéristiques générales du modèle de prévision

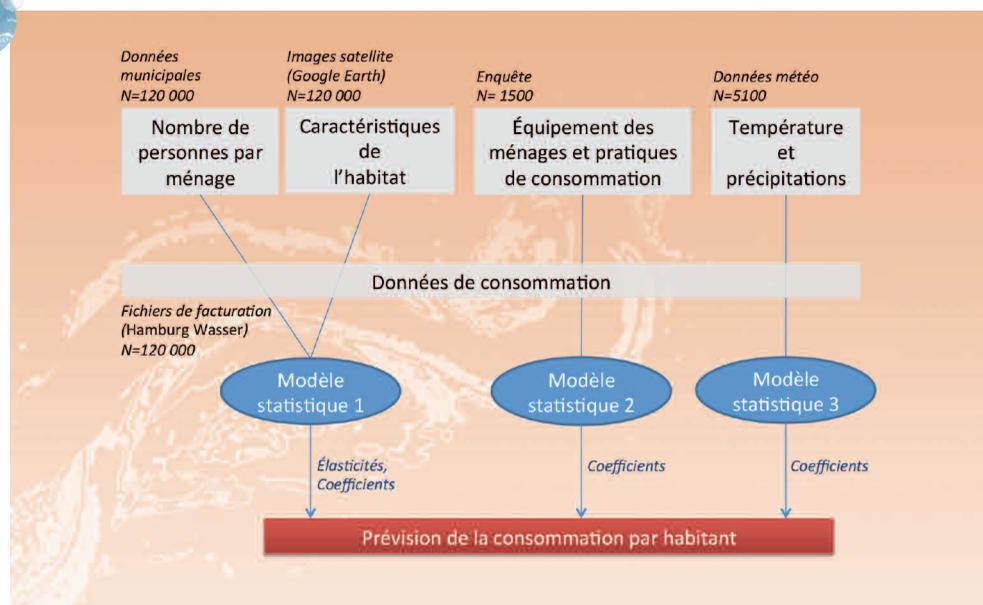
Les principales caractéristiques de la méthode de prévision développée sont les suivantes :

- la prévision est spatialisée, par quartier, ce qui permet d'intégrer des caractéristiques de l'urbanisme présent et les hypothèses de développement futur ;
- la demande future est estimée en multipliant un ratio de consommation unitaire par le nombre d'usagers que le service est susceptible de desservir dans le futur ; deux modèles distincts sont développés pour prévoir la consommation des ménages (66 % des prélèvements en 2011) et celle des usages industriels et commerciaux (23 %) ; les ventes à d'autres services d'eau (3 %) et les volumes de services et fuites (8 %) sont estimés séparément ;
- les ratios de consommation unitaire sont estimés sur la base d'une analyse statistique multivariée qui permet de simuler l'évolution de la consommation unitaire en réponse à différents scénarios de changement de tarification ou des caractéristiques des ménages par exemple.

## 8.3 Module de prévision de la consommation des ménages

La première étape du travail a consisté à estimer la relation statistique existant entre, d'une part, la consommation par habitant et, d'autre part, de nombreuses variables qui en déterminent le niveau. Cette analyse statistique a été réalisée en deux étapes (Figure 22).

Figure 22



Données et méthode de construction du modèle statistique visant à expliquer et prévoir la consommation en eau potable par habitant.

La première a porté sur un échantillon de 120 000 ménages dont la consommation était connue grâce au fichier de facturation de *Hamburg Wasser*. Une base de données spatialisée (SIG) a été construite pour caractériser : le nombre de personnes constituant les ménages (données municipales) ; les caractéristiques de l'habitat (surface de la parcelle, surface habitable, surface du jardin) ; et les conditions météorologiques locales. L'analyse statistique de ces données (modèle 1) est présentée dans la partie supérieure du Tableau 8.

La deuxième étape visait à évaluer l'impact de l'équipement des ménages et de leurs pratiques de consommation sur le ratio de consommation par habitant. Pour cela, une enquête téléphonique a été réalisée auprès de 1 500 ménages. L'analyse statistique de cette enquête a permis de quantifier cet impact (Tableau 8). Les résultats montrent que les ménages équipés de technologies hydro-économiques (toilettes, douche, robinets) consomment

en moyenne 8,1 m<sup>3</sup>/personne/an de moins que les autres. De même, les machines à laver performantes permettent de réduire la consommation d'eau de 1,4 m<sup>3</sup>/personne/an en moyenne. Enfin, les ménages ayant déclaré avoir adopté des comportements hydro-économiques (utilisation durable de l'eau) ont une consommation plus faible de 2,7 m<sup>3</sup>/ personne/an en moyenne (Tableau 8).

L'un des aspects les plus innovants de cette étude réside dans l'utilisation de données individuelles pour établir ce modèle statistique. ISOE et *Hamburg Wasser* ont ainsi constitué une base de données caractérisant la consommation d'un échantillon de 120 000 ménages et le nombre de personnes constituant le ménage. La base de données a en outre été spatialisée, grâce au Système d'informations géographiques de la ville de Hambourg, ce qui a permis, en utilisant des images satellite, de caractériser l'habitat de chacun des 120 000 ménages (taille de la parcelle, superficie du logement, superficie non construite servant de proxy pour la superficie de jardin, où l'irrigation peut être appliquée). Une régression statistique multivariée de la consommation en eau sur ces différentes variables pour l'ensemble des 120 000 ménages a permis de déterminer les variables ayant un impact significatif sur la consommation unitaire, et de mesurer cet impact par leurs coefficients de régression (Tableau 8).

Enfin, des données climatiques de la station météorologique de la région de Hambourg ont été comparées à des données de consommation au pas de temps journalier. L'analyse statistique de ces données a permis de déterminer dans quelle mesure une augmentation de température ou une diminution des précipitations impacte la demande unitaire des ménages (Tableau 8).

Tableau

8

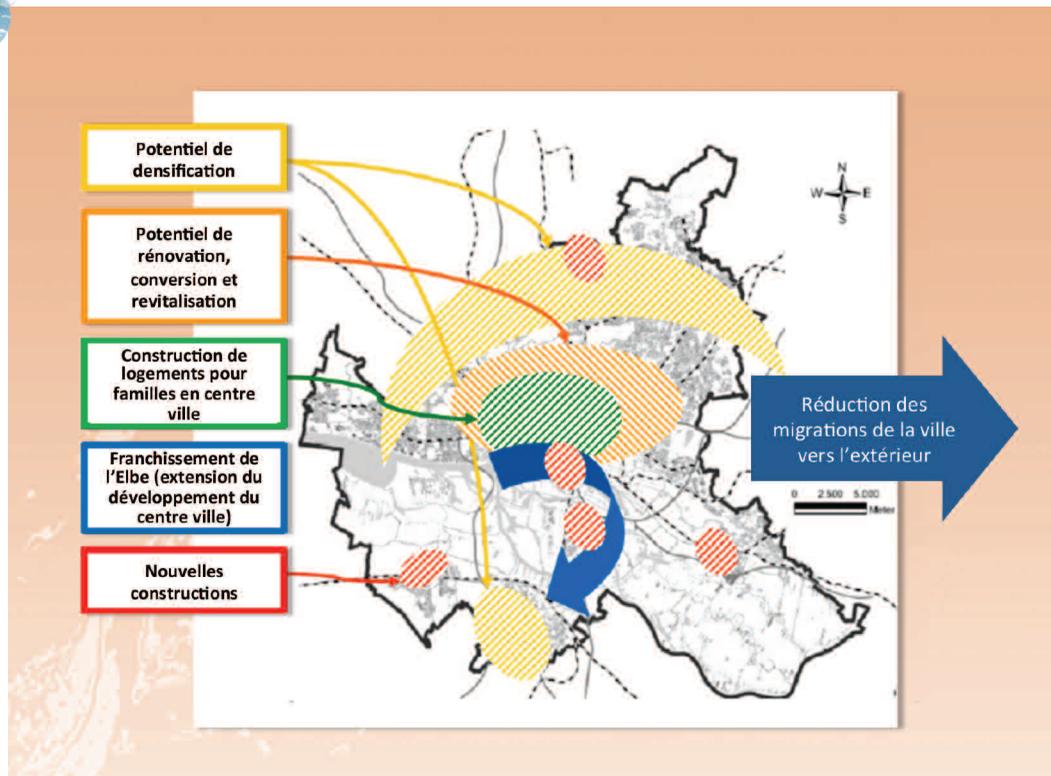
Facteurs déterminants identifiés par les analyses statistiques et quantification de leur effet

Composante	Facteurs déterminants	Coefficients (/personne/an par unité de facteur)
Base de données géoréférencée	Nombre de personnes par ménage	-2,44 m <sup>3</sup> (habitat individuel); -2,33 m <sup>3</sup> (habitat collectif)
	Superficie du logement (m <sup>2</sup> /personne)	0,16 m <sup>3</sup> (individuel); 0,11 m <sup>3</sup> (collectif)
	Superficie non construite	0,45 m <sup>3</sup> (individuel)
Données météorologiques	Évolution de la température maximale journalière entre 2031 et 2060	0,4 %
Enquêtes auprès des ménages	Adoption d'équipements hydro-économiques	-8,1 m <sup>3</sup>
	Machines à laver hydro-économiques	-1,4 m <sup>3</sup> (scénario optimiste : -2,2 m <sup>3</sup> )
	Comportement économe en eau	-2,7 m <sup>3</sup> (scénario optimiste uniquement)
	Évolution de la précipitation moyenne journalière entre 2031 et 2060	-0,01 %

## 8.4 Prédiction de l'évolution des facteurs déterminants

Pour prévoir la demande future, il faut ensuite prévoir l'évolution de ces facteurs déterminants. En ce qui concerne la population et les données climatiques, le modèle utilise les projections officielles. L'évolution de la diffusion des technologies et des comportements hydro-économiques repose sur des hypothèses posées par l'équipe de projet. Quant à l'évolution de l'urbanisme, les prévisions de constructions de logements sur 10 ans de la ville de Hambourg ont été utilisées puis des experts ont été consultés pour élaborer des hypothèses de construction d'habitat individuel et collectif dans les différents quartiers jusqu'à l'horizon 2040 (Figure 23 page suivante).

Figure 23



Hypothèses d'évolution de l'aménagement urbain - Adapté de Liehr et al., 2015, p. 42.

## 8.5 Prévision des consommations industrielles et commerciales

Pour les consommations industrielles et commerciales, la demande unitaire est la demande par employé, qui est ensuite multipliée par le nombre d'employés pour obtenir la demande totale du secteur.

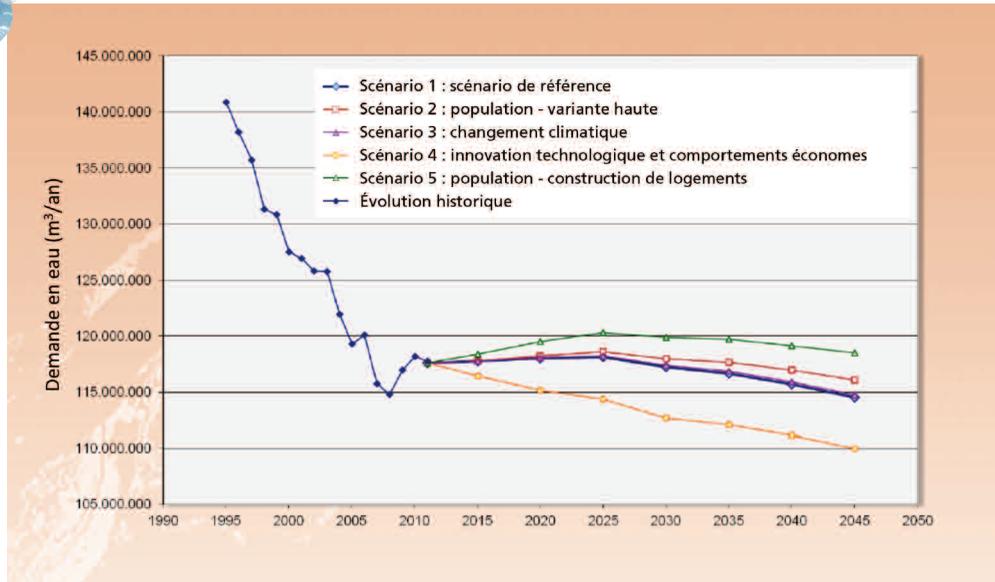
ISOE a estimé des coefficients d'utilisation d'eau par employé pour différents sous-secteurs (agriculture, banque et assurance, construction, tourisme, santé, etc.) à partir des données de compteurs d'eau disponibles, complétées par des interviews auprès d'experts et d'abonnés commerciaux. L'évolution de ces ratios de demande spécifique a ensuite été estimée par consultation d'experts. Les scénarios d'évolution du nombre d'employés sont quant à eux basés sur le rapport d'un institut de recherche, PROGNOSE, qui prévoit l'évolution du développement économique de chaque sous-secteur à l'horizon 2035. Ces prévisions sont ensuite extrapolées linéairement jusqu'à 2045.

## 8.6 Résultats : simulation de scénarios

Dans le scénario de référence, correspondant au scénario le plus probable, la demande des ménages continue de diminuer malgré une croissance démographique positive jusque vers 2030. Les technologies hydro-économiques et la réduction de la taille des jardins dans les nouveaux logements font en effet diminuer la demande unitaire. La demande des usagers industriels et commerciaux, elle, augmente jusque vers 2025 en lien avec la croissance économique et l'augmentation du nombre d'employés, avant de décroître jusqu'à être 7,5 % plus basse en 2045 qu'en 2011. Après 2030, la décroissance démographique et économique fait baisser la demande totale. En 2045, la demande totale est ainsi 2,6 % plus basse qu'en 2011.

En plus d'une prévision de référence, plusieurs scénarios contrastés ont été explorés en termes de croissance démographique et économique, construction de logements, comportements et technologies hydro-économiques, climat (Figure 24).

Figure 24



Prévisions d'évolution de la demande pour différents scénarios - Adapté de Liehr et al., 2015, p. 113.

Étant donné la dynamique démographique actuelle, deux scénarios explorent une croissance de population plus élevée que dans le scénario de référence : un scénario « Population - variante haute » simule une prolongation de la dynamique positive actuelle sur un plus long terme que le scénario de référence, et un scénario « Population - construction de logements » considère que la croissance de population est liée au dynamisme du secteur de la construction et que chaque logement nouvellement construit (tel que prévu par la ville) sera occupé par un nombre de personnes correspondant à la taille moyenne des ménages dans le quartier, pendant les 10-15 prochaines années.

Un scénario « changement climatique » prend en compte l'impact de l'évolution du climat, contrairement aux autres scénarios. Avec des hivers plus humides et des étés plus secs et chauds (données climatiques du service climatique régional d'Allemagne du nord), le modèle prévoit une augmentation de la demande de 1 % en été, et une légère diminution de 0,4 % en hiver (soit au total une augmentation de 0,4 % par an).

Enfin, un scénario optimiste en termes d'« Innovation technologique et comportements économes » fait l'hypothèse que 100 % des ménages auront un comportement économe en eau et des machines à laver plus efficaces d'ici 2030. C'est le scénario associé à la plus forte baisse de la demande en eau, avec une diminution de la demande des ménages de 7,5 % à Hambourg et de 10,8 % dans les communautés voisines d'ici 2045.

## 8.7 Conclusion

Le modèle de prévision développé par ISOE à la demande du gestionnaire de l'eau, *Hamburg Wasser*, prend en compte différents facteurs impactant la demande en eau : les évolutions démographiques, socioéconomiques, technologiques, climatiques, ainsi que l'impact des caractéristiques des logements et de l'urbanisme sur la demande des ménages. Cela permet à *Hamburg Wasser* de considérer l'ensemble de ces facteurs de façon intégrée pour prévoir le développement d'infrastructures et réaliser la planification financière associée. Les résultats sont différenciés par quartier. L'approche mise en œuvre a nécessité l'utilisation de données à une échelle individuelle (fichiers de facturation), disponibles grâce à l'existence de compteurs individuels dans presque tous les logements à Hambourg. Des informations complémentaires ont été collectées, notamment à travers la réalisation d'une enquête spécifique auprès des ménages, ainsi que des connaissances d'experts. Le modèle a été développé sous forme d'un tableur Excel, avec une interface facile d'utilisation permettant de choisir les scénarios à simuler. La gestion et l'actualisation de cet outil ont été confiées à *Hamburg Wasser*.



## 9 - Canada : un outil d'aide à la décision au service des collectivités (*Brockwater*)

### 9.1 Un outil générique en accès libre

L'outil *Brockwater* a été développé par l'université de Brock, au Canada, suite au constat que la plupart des prévisions des services d'eau d'Amérique du Nord reposaient sur la simple multiplication d'estimations de population avec des ratios historiques de consommation par habitant. L'objectif de cet outil est d'améliorer les capacités de prévision des petits services d'eau en mettant à leur disposition un outil permettant de simuler l'évolution de la demande pour différents scénarios relatifs aux facteurs qui la déterminent, et en particulier les politiques de tarification.

L'outil est développé de façon à être simple d'utilisation et à requérir peu de données. Il est implémenté sous forme de tableur Excel. L'utilisateur renseigne un certain nombre d'informations sur la situation actuelle de sa commune puis il peut explorer l'impact de différents scénarios : croissance démographique, évolution des revenus des ménages, changements climatiques, changements de tarification.

### 9.2 Une méthodologie basée sur l'élasticité de la demande

La méthodologie développée dans *Brockwater* est basée sur le concept d'élasticité de la demande, c'est-à-dire la mesure de la réponse relative de la consommation à un changement relatif d'un paramètre. Par exemple, une élasticité-revenu de 0,4 indique que la demande en eau d'un ménage augmente en moyenne de 0,4% quand son revenu augmente de 1 %, soit une augmentation de la demande de 4 % pour une augmentation du revenu de 10 %. De même, une élasticité prix de -0,2 signifie qu'une hausse du prix de l'eau de 10 % conduit à une baisse de 2 %.

L'outil *Brockwater* simule ainsi l'évolution de la demande moyenne par ménage en fonction de 4 facteurs : le prix de l'eau, le revenu moyen des ménages, la température journalière et les précipitations moyennes estivales (mai à août).

L'utilisateur doit renseigner les conditions initiales pour chacun de ces facteurs, ainsi que le nombre de ménages et la consommation totale initiale. Il est ensuite nécessaire de déterminer les paramètres d'élasticité de la demande aux différents facteurs. L'utilisateur peut paramétrer les valeurs d'élasticités estimées à partir de sa propre base de données de consommateurs ou, si l'information n'est pas disponible, utiliser des valeurs par défaut proposées par les créateurs de l'outil (Tableau 9).

Facteur	Élasticité de la demande
Revenu	0,2 à 1
Température journalière estivale	0,5 à 1
Précipitation estivale	-0,05 à -0,2
Prix de l'eau	Bibliothèque de valeurs d'élasticité-prix dans différentes villes d'Amérique du Nord, les auteurs conseillent de choisir celles d'une ville aux caractéristiques similaires de celles de la zone d'étude

### 9.3 Scénarios explorés

#### ■ Évolution démographique, économique et climatique

La prise en compte de l'évolution de ces facteurs dans l'outil *Brockwater* se fait de façon très simple. L'utilisateur indique simplement les taux de croissance annuels de la population, du revenu des ménages, de la température et des précipitations qui sont attendus dans la région étudiée.

#### ■ Simulation de mesures de gestion de la demande

La caractéristique principale de l'outil est de permettre de simuler les effets de politiques de gestion de la demande, en particulier des politiques tarifaires.

Les utilisateurs de l'outil doivent tout d'abord renseigner quelle est la tarification actuelle : forfait, tarification volumétrique, binôme, par paliers croissants ou décroissants. Dans le cas d'une tarification par paliers, il faut indiquer non seulement quels sont les prix au mètre cube et les limites volumétriques de chaque bloc tarifaire, mais également la proportion d'usagers atteignant chaque palier. Il est ensuite possible de simuler une modification de cette tarification initiale, ou une succession de modifications, pour chacune des années de la simulation. La Figure 25 page suivante illustre l'impact que différentes politiques d'augmentation du prix de l'eau peuvent avoir sur la demande totale.

En parallèle, il est possible de prendre en compte des mesures non-tarifaires de réduction de la demande de façon simplifiée, en indiquant simplement la proportion de la population concernée et le taux attendu de réduction de la demande de cette population. L'utilisateur doit toutefois prendre garde à éviter les doubles comptes entre mesures tarifaires et non-tarifaires. Dans l'approche tarifaire, les leviers de la diminution de consommation mobilisés en pratique ne sont pas explicités et peuvent être redondants avec les mesures non-tarifaires (installation d'équipements hydro-économiques, modification des comportements, etc.).

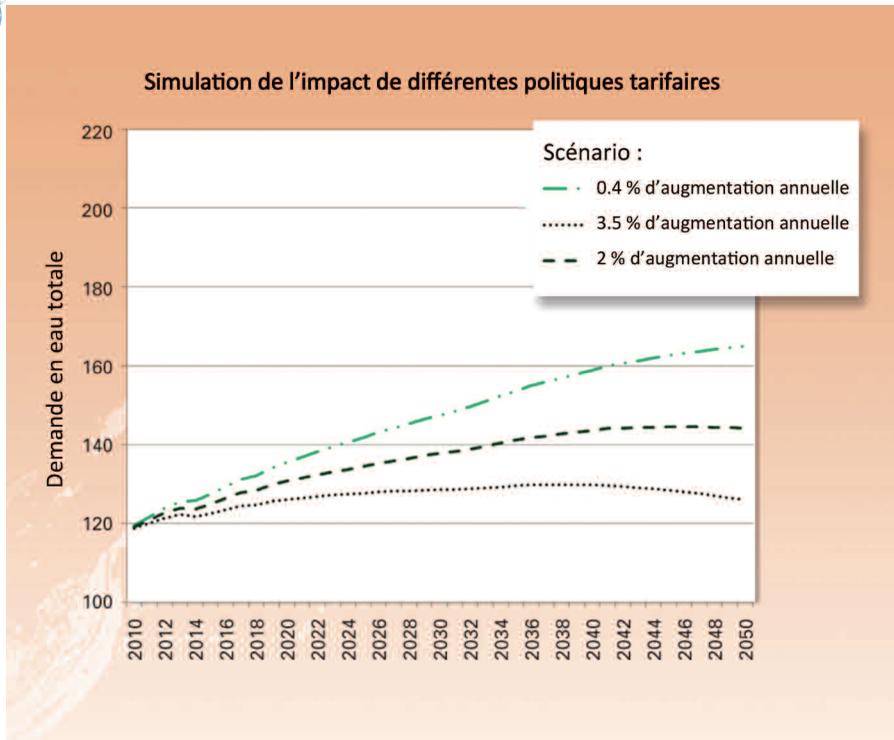
#### ■ Prévisions déterministes ou avec prise en compte de l'incertitude

Les simulations d'évolution de la demande peuvent être effectuées soit en mode déterministe, soit de manière probabiliste. Dans ce dernier cas, l'utilisateur doit renseigner la plage de variation (le « coefficient de variation ») à considérer pour chacun des paramètres suivants : taux de croissance annuels de la population, du revenu des ménages, des températures et des précipitations d'été. Une série de simulations est alors effectuée pour différentes combinaisons de valeurs de paramètres (méthode de Monte Carlo) afin de fournir un intervalle de confiance autour des niveaux de demande projetés.

*Brockwater* ayant été conçu avec comme principal objectif sa simplicité d'utilisation, il ne permet pas de répondre à toutes les questions. Ainsi, il ne permet pas de simuler l'évolution des usages collectifs et commerciaux, ni l'impact de changement des formes d'urbanisme. Globalement, cet outil n'a pas vocation à se substituer à des

méthodes plus sophistiquées de prévision de la demande, mais à fournir la possibilité pour des petits services d'eau d'explorer le champ des possibles en matière d'évolution de la demande (et donc des recettes des services), en prenant en compte plusieurs facteurs déterminants dont le prix de l'eau. La documentation disponible ne permet pas de savoir si cet outil a été ou pas utilisé de manière opérationnelle par des collectivités.

Figure 25



Simulation de l'impact de différentes politiques tarifaires avec une version préliminaire de l'outil Brockwater pour la ville de York, Canada – Source : Dupont, Price and Renzetti (2015).

## **C** Enjeux méthodologiques et bonnes pratiques

Recherche de fuite  
Investissement

Farification

Investissement

Scénario

Démographie

- 58 ■ Prévission de la demande électrique : quels enseignements pour le secteur de l'eau potable ?
- 66 ■ Quelques bonnes pratiques et pistes de progrès pour les collectivités françaises



## 10 - Prédiction de la demande électrique : quels enseignements pour le secteur de l'eau potable ?

Les acteurs du secteur électrique (EDF et RTE) développent depuis de nombreuses années des outils de prédiction de la demande d'électricité. Comme dans le secteur de l'eau, certains de ces outils visent à anticiper l'évolution de la demande à court terme (quelques semaines à quelques mois). L'objectif est alors d'optimiser la gestion du parc de production à capacité constante (gestion des stocks de combustible, des réserves hydrauliques, des travaux de maintenance). D'autres outils de modélisation cherchent à anticiper les évolutions de la demande à plus long terme, en vue d'adapter la capacité du parc de production. Ce chapitre s'intéresse aux méthodes de prédiction à long terme mises en œuvre par les électriciens et cherche à identifier les enseignements qui peuvent en être tirés pour la pratique dans le secteur de l'eau potable.

### 10.1 Quelques différences et similitudes entre la demande en électricité et en eau potable

La consommation électrique française présente plusieurs similitudes avec la consommation d'eau potable qui rendent la comparaison intéressante :

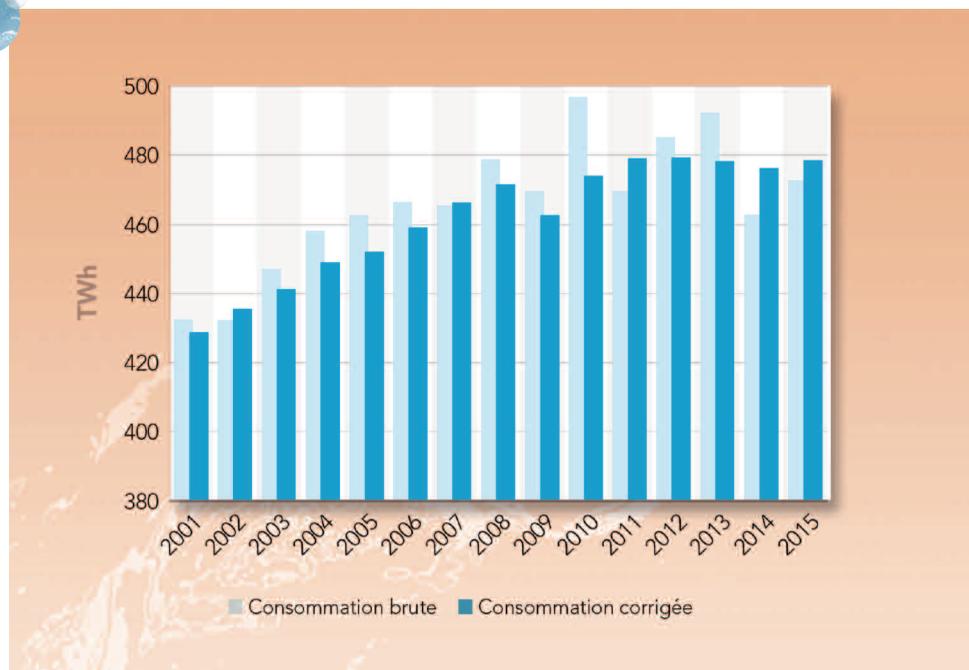
- la demande électrique totale est la somme de **plusieurs demandes sectorielles** dont la demande des ménages (34 %), la demande du secteur tertiaire (29 %) et celle du secteur industriel (24 %). Les consommations du secteur agricole, des transports, du secteur de l'énergie représentent 13 % ;
- la demande électrique a **tendance à se stabiliser** alors que le nombre d'usagers augmente toujours (Figure 26). Comme dans le secteur de l'eau potable, on constate un découplage de la demande en eau avec la croissance démographique et économique ;
- cette tendance à la stabilisation de la consommation électrique est principalement due aux **économies d'énergie** réalisée grâce à l'amélioration de l'efficacité des appareils électroménagers et l'isolation des logements. Elle est aussi due à une évolution de la structure des activités économiques : les industries grosses consommatrices ayant tendance à être remplacées par des entreprises dont les activités sont moins consommatrices d'électricité ;
- la demande électrique est sensible aux **variations climatiques**, puisque la consommation est en partie liée à des besoins de chauffage ou de refroidissement. Elle présente donc une forte variabilité interannuelle et elle devrait être impactée par le changement climatique.

La demande électrique présente par ailleurs des différences fondamentales avec la demande en eau :

- la première différence est que l'électricité se transporte plus facilement sur l'ensemble du territoire ; par conséquent, la prédiction à long terme est réalisée à l'échelle nationale alors que celle de l'eau doit être conduite à l'échelle de collectivités locales ;

■ la seconde différence est qu'il **existe des substituts** à l'électricité : par exemple, le chauffage peut être assuré par le gaz, le bois, le fioul. La prévision de la demande électrique doit donc tenir compte de cette possibilité de substitution, c'est-à-dire de perte ou de gain de parts de marché par rapport aux autres sources d'énergie. Dans le domaine de l'eau, cette possibilité de substitution reste relativement limitée, puisqu'elle n'est possible que pour les ménages qui peuvent installer un récupérateur d'eau de pluie, un forage privé ou se raccorder à un réseau d'eau brute (pour les usages ne nécessitant pas une qualité d'eau potable).

Figure 26



Consommation électrique en France continentale (hors activité d'enrichissement d'uranium).  
Sources : RTE, 2016. [http://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2016\\_complet\\_vf.pdf](http://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2016_complet_vf.pdf).

## 10.2 La méthode de modélisation de la demande électrique

Les prévisions de demande développées par RTE reposent sur une décomposition en cinq composantes de la demande totale :

- la demande de l'industrie ;
- la demande résidentielle des ménages ;
- celle du secteur tertiaire ;
- la demande de l'agriculture ;
- et enfin celle du secteur des transports.

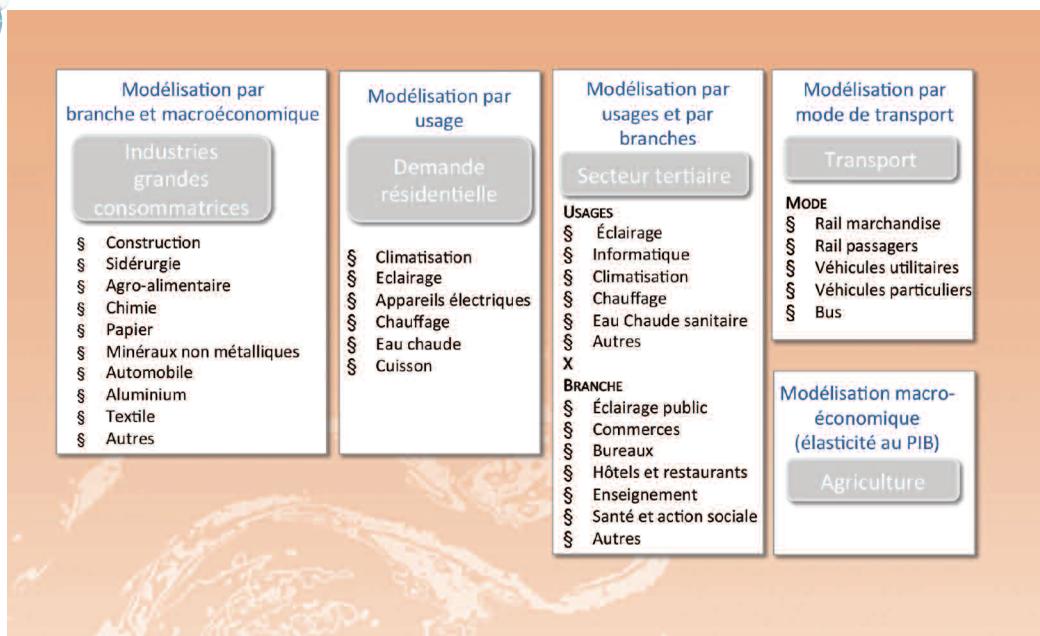
Chacune de ces composantes est modélisée avec une méthode différente (Figure 27 page suivante).

**La demande industrielle** est évaluée par branche d'activité. RTE distingue neuf grandes branches d'industries grandes consommatrices en électricité (Figure 27) pour lesquelles ont été estimés des ratios de consommation spécifiques exprimés en kWh par tonne de production. La demande future est évaluée sur la base de prévisions de l'évolution de la production industrielle par branche, d'hypothèses d'évolution des ratios de consommation spécifique qui ont tendance à baisser du fait de l'amélioration de l'efficacité énergétique de la production ; et d'une estimation des parts de marchés futures de l'électricité par rapport à d'autres sources énergétiques. Pour les autres industries, la consommation est estimée sur la base d'hypothèses d'évolution de la situation macro-économiques. La consommation est ainsi indexée sur la valeur ajoutée de l'industrie, elle-même basée

sur une hypothèse d'élasticité au produit intérieur brut (PIB). La possibilité de substitution avec d'autres sources énergétiques est également prise en compte à travers une hypothèse d'évolution des parts de marché.

Figure

27



Méthode de modélisation de la demande électrique retenue pour chacun des cinq grandes catégories d'utilisateurs.

Concernant le secteur résidentiel, la demande repose sur une estimation des six principaux usages de l'électricité par les ménages :

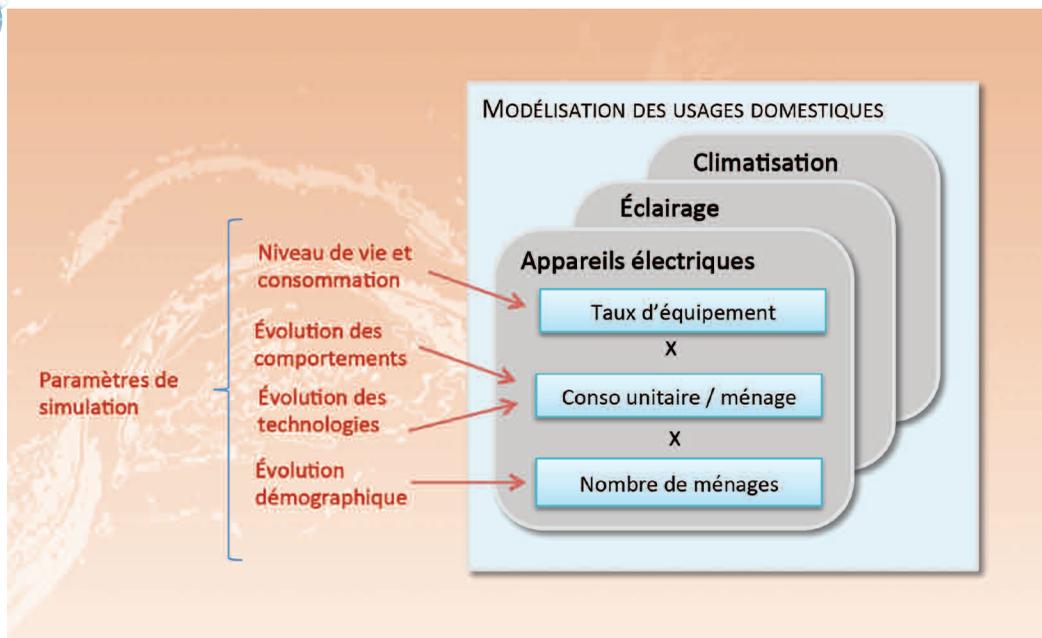
- climatisation ;
- éclairage ;
- utilisation des appareils électriques ;
- chauffage ;
- production d'eau chaude pour usage sanitaire ;
- et cuisson.

Le principe consiste à évaluer, pour chaque usage, le taux d'équipement des ménages et la consommation unitaire par ménage pour cet usage. Le résultat obtenu est ensuite multiplié par le nombre de ménages (Figure 28). La consommation unitaire dépend à la fois des pratiques des ménages et de la performance des technologies utilisées. Par exemple, la demande relative au chauffage dépend de la température à laquelle les ménages chauffent leur logement mais aussi de l'isolation de celui-ci et de la performance du système de chauffage (rendement). Pour les usages thermiques (chauffage, cuisson, eau chaude), la demande en électricité dépend aussi du choix de source énergétique réalisé par les ménages pour satisfaire leurs besoins (gaz, solaire, bois, électricité). L'estimation de la demande électrique suppose donc de quantifier la part de marché détenue par l'électricité pour chaque usage (Figure 29) et par conséquent de connaître le parc d'équipement des ménages.

La mise en œuvre du modèle de prévision de la demande résidentielle nécessite **d'acquérir des données** pour caractériser les taux d'équipements des ménages dans la situation actuelle, afin d'être en capacité de formuler des hypothèses d'évolution future. RTE mobilise pour cela des données statistiques produites par d'autres services (par exemple les données relatives au parc de logement) ou des données relatives au marché français de certains équipements. Des enquêtes spécifiques auprès de plusieurs milliers de ménages sont également réalisées afin de mieux connaître les pratiques de consommation et les tendances d'évolution associées.

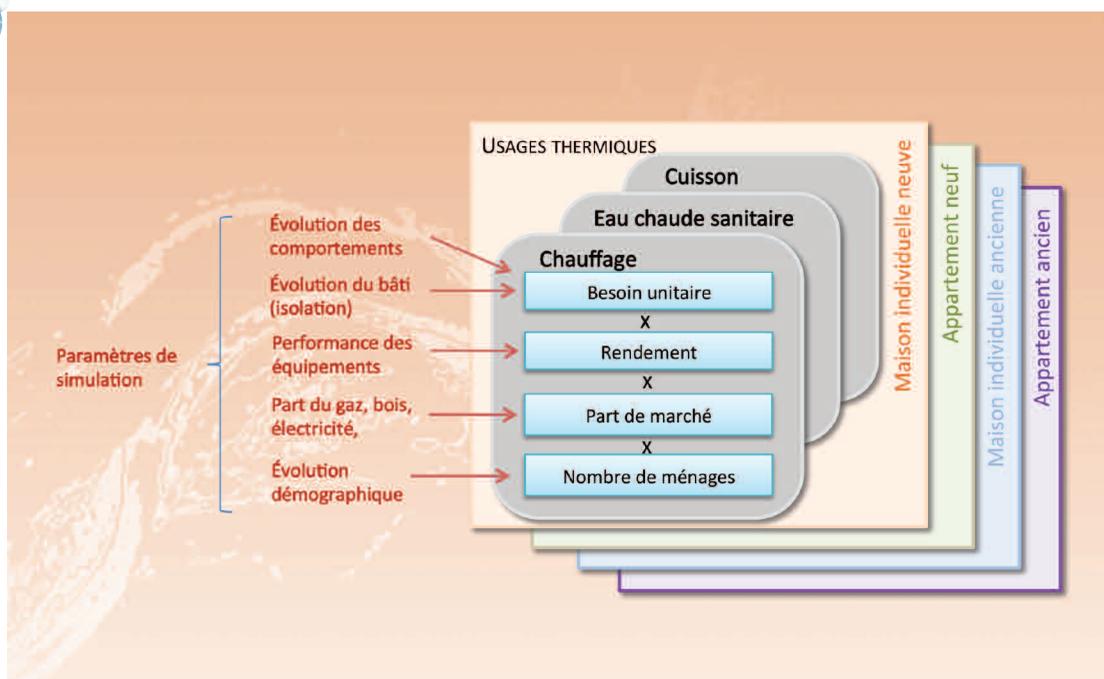
La demande du **secteur tertiaire** est évaluée avec une méthode mixte consistant à calculer la demande pour six principaux usages, séparément pour sept branches d'activités (Figure 27). Les usages sont l'éclairage, l'informatique, la climatisation, le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les usages divers. Les sept branches d'activités distinguées dans le modèle sont l'éclairage public, les commerces, les bureaux, les hôtels et restaurants, l'enseignement, la santé et l'action sociale ainsi qu'une catégorie « divers ». Comme pour la demande résidentielle, le paramétrage du modèle nécessite de collecter des informations pour caractériser l'équipement des entreprises, la part de marché revenant à l'électricité, etc.

Figure 28



Modélisation de la demande résidentielle associée aux usages domestiques.

Figure 29

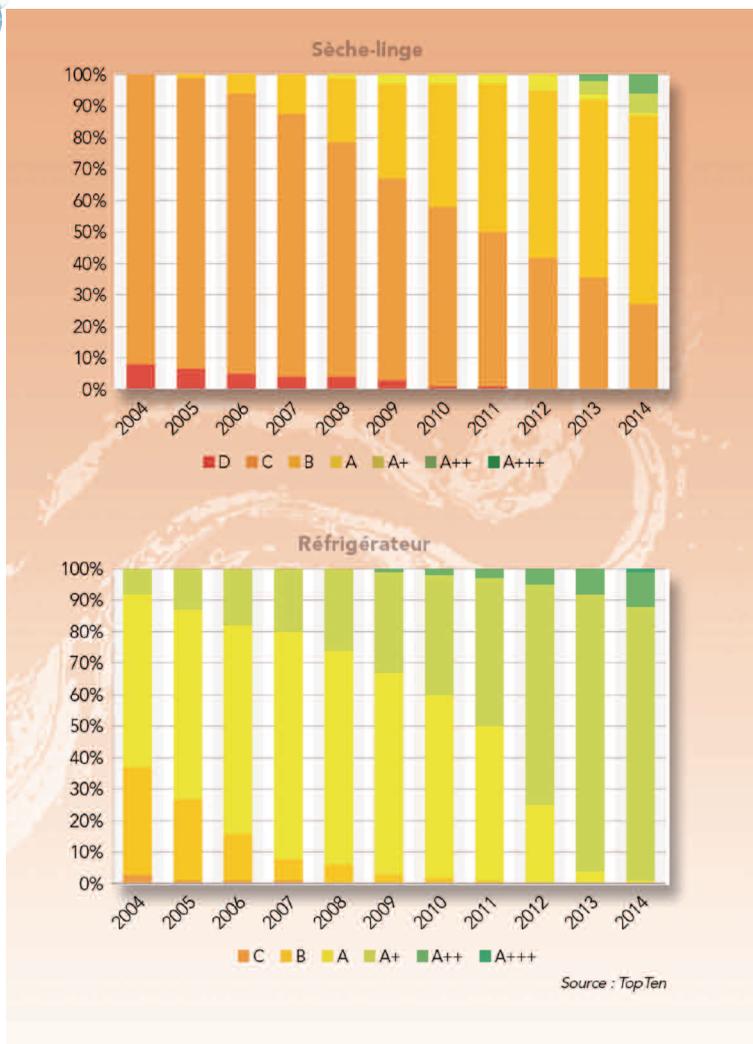


Méthode de modélisation de la demande électrique résidentielle associée aux usages thermiques.

La demande du **secteur des transports** est également évaluée sur la base d'une décomposition par mode de transport (rails marchandise, rails passagers, véhicules utilitaires, véhicules particuliers et bus) en distinguant le type d'énergie mobilisée (hydrocarbures, électricité, hybride).

Enfin la demande du **secteur agricole** est évaluée sur la base d'hypothèses macro-économiques (élasticité de la demande au PIB).

Figure 30



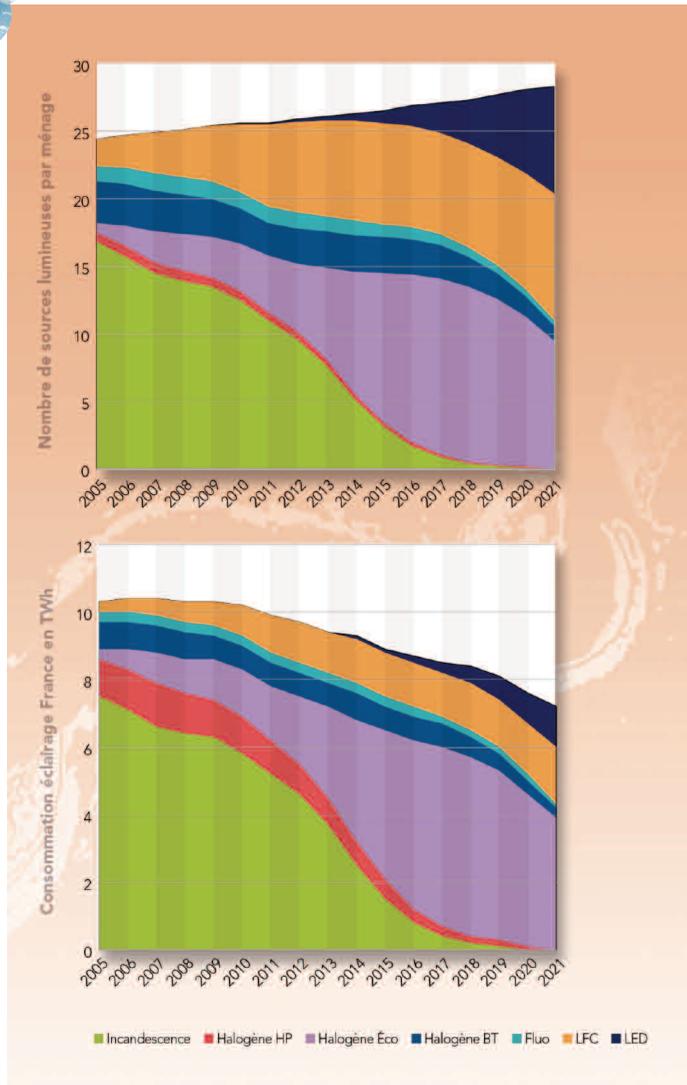
Évolution des ventes de sèche-linge et de réfrigérateurs par classe d'efficacité énergétique. Source : RTE, d'après TopTen.

### 10.3 Simulation de la demande électrique future

Les modèles présentés ci-dessus sont ensuite utilisés pour réaliser des simulations à moyen et long terme. La simulation suppose de réaliser des hypothèses d'évolution pour un nombre élevé de paramètres.

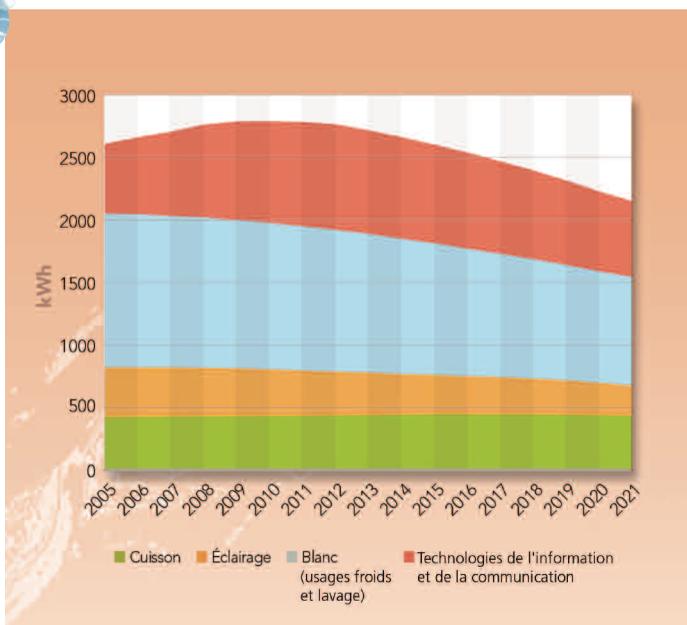
Concernant la demande résidentielle, les scénarios précisent le taux d'équipement, les technologies adoptées et les pratiques d'utilisation ; ils précisent également des hypothèses d'évolution des caractéristiques du bâti notamment en termes d'isolation, en distinguant quatre types de logements (Figure 29 page précédente) ; enfin ils précisent des hypothèses d'évolution des parts de marché entre les différentes sources d'énergie (pour les usages thermiques). Les Figures 30, 31 et 32 illustrent le type d'hypothèses injectées dans les modèles au moment des simulations et les résultats obtenus.

Figure 31



Hypothèses d'évolution de l'éclairage selon les technologies. Source : RTE, 2016.

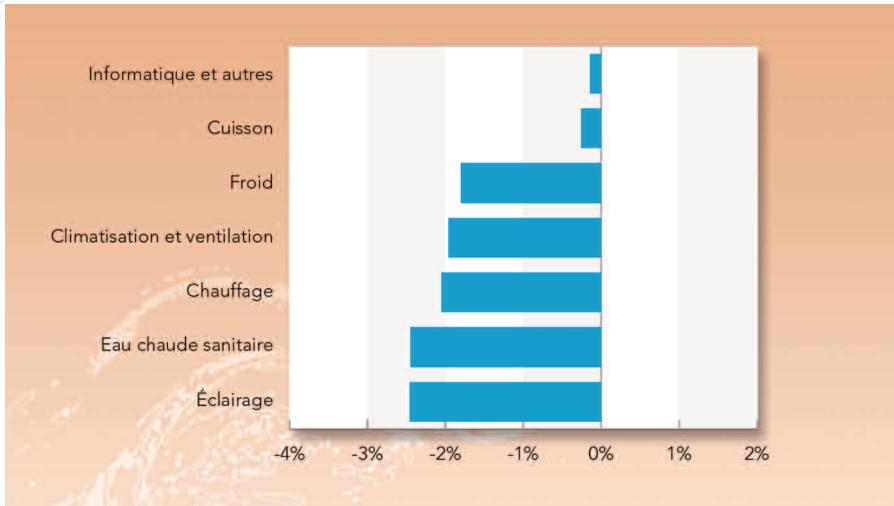
Figure 32



Évolution de la consommation moyenne annuelle d'un ménage pour les usages domestiques. Hors usages du bâti (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, climatisation). Source : RTE 2016.

Une approche similaire est appliquée pour le secteur tertiaire. Les hypothèses sont spécifiées pour chaque usage en tenant compte des tendances observées en matière d'équipement et de l'évolution de la performance énergétique de ceux-ci. La Figure 33 illustre la nature de ces hypothèses.

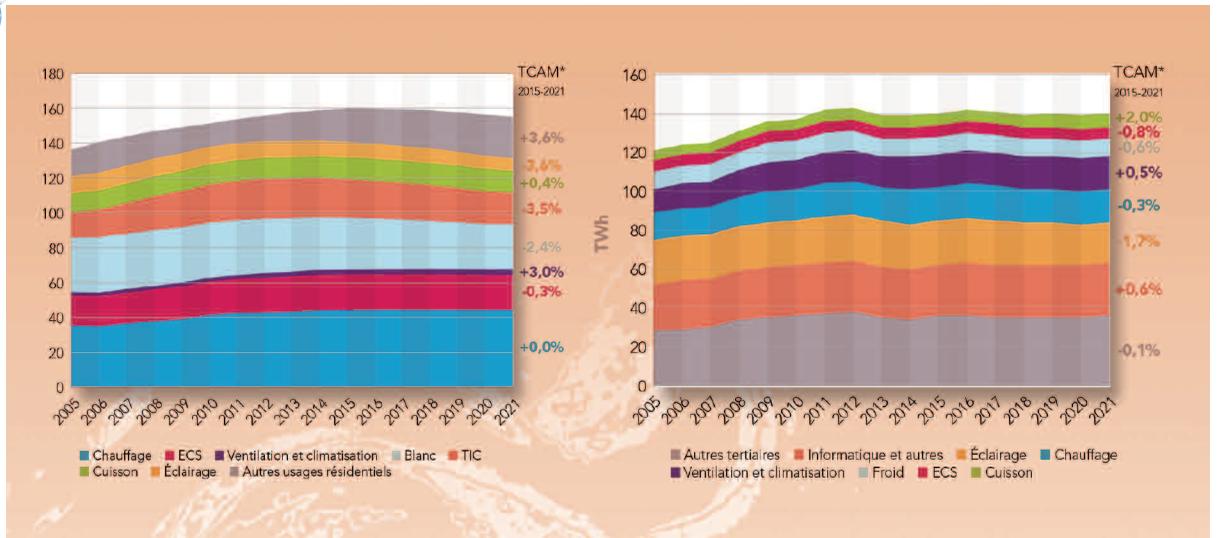
Figure 33



Taux de croissance annuel moyen des consommations d'électricité au m<sup>2</sup> des usages tertiaires entre 2015 et 2021. Source : RTE, 2016.

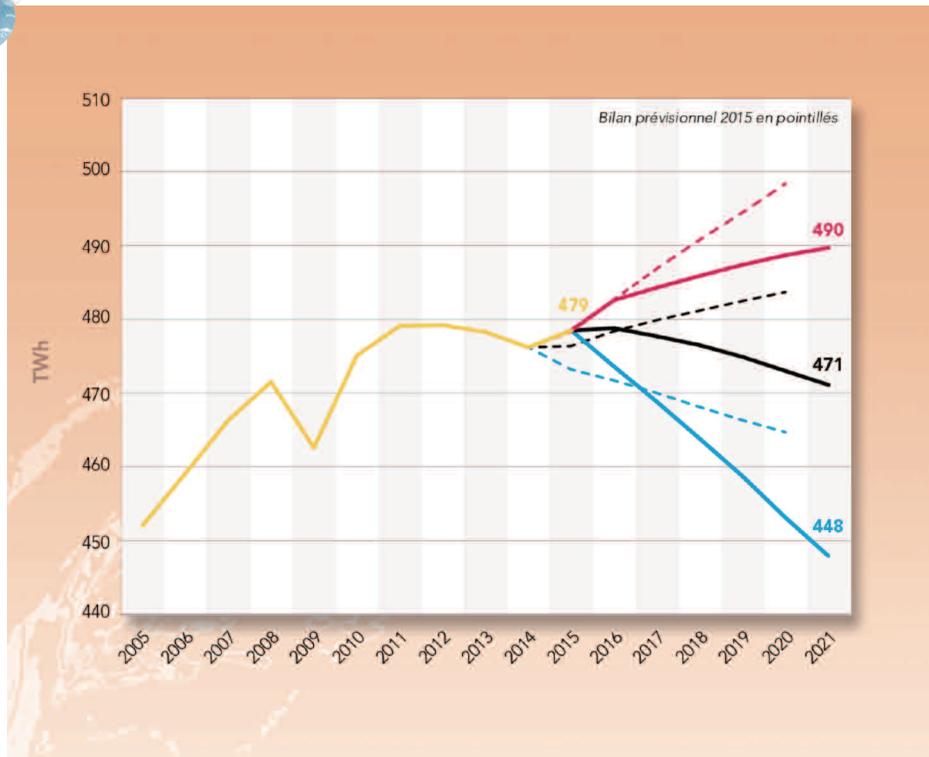
Les résultats permettent de décrire l'évolution de la consommation par usage, mettant en évidence la croissance de certains et la baisse d'autres (Figure 34).

Figure 34



Prévision d'évolution de la consommation électrique du secteur résidentiel (gauche) et du secteur tertiaire (droite) en TWh à l'horizon 2021.

RTE prévoit globalement une baisse de la consommation domestique, une stabilisation de celle du secteur tertiaire et une réduction significative de la consommation industrielle. Une forte incertitude est néanmoins associée à ces prévisions, notamment du fait que la demande dépend fortement de l'activité économique. Ceci conduit RTE à construire deux scénarios encadrant le scénario de référence, combinant pour chacun des paramètres de ces scénarios des hypothèses hautes et basses. Les résultats sont présentés dans la Figure 35. La figure compare également les prévisions réalisées en 2015 avec celles de 2016, montrant que les prévisions peuvent fortement différer d'une année à l'autre, ce qui motive leur mise à jour régulière.



Scénarios d'évolution de la consommation électrique (France continentale). Source : RTE 2016.

## 10.4 Enseignements pour le secteur de l'eau potable

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de l'analyse des pratiques de RTE pour les acteurs du secteur de l'eau potable.

La demande est estimée séparément pour les usagers résidentiels (ou domestiques), le secteur tertiaire et l'industrie. Une démarche similaire est déployée en Angleterre et aux USA dans le secteur de l'eau potable. Cette approche est à recommander pour la prévision de la demande en eau potable en France.

RTE utilise des modèles qui reposent sur une décomposition des usages. Cette approche est la plus pertinente pour anticiper l'évolution de la demande dans un contexte de forte évolution de l'efficacité énergétique des technologies. L'approche semble également pertinente pour appréhender l'évolution des consommations unitaires en France.

Pour mettre en œuvre une modélisation par composante d'usage, RTE a dû développer un observatoire des usages résidentiels et tertiaires (équipements, pratiques, caractéristiques de l'habitat, etc.) mais aussi industriels. Cet observatoire mobilise des données statistiques produites par d'autres organismes mais aussi des données primaires collectées par enquête. Cette pratique est proche de celle développée par les gestionnaires de l'eau potable en Angleterre (voir l'exemple de *Thames Water*). Les gestionnaires français pourraient avoir intérêt à développer un observatoire similaire pour la consommation d'eau potable. Afin de mutualiser les efforts, celui-ci pouvant être géré au niveau national ou au niveau des grands bassins.

RTE n'utilise pas de modèles économétriques. La tarification et son évolution possible ne sont pas intégrées dans les modèles.

L'incertitude relative aux prévisions étant importante, RTE construit des scénarios d'évolution contrastés. Les résultats de 2016 montrent que ces scénarios conduisent à des conclusions différentes (hausse ou baisse selon les hypothèses) ce qui complique la prise de décision. On peut s'interroger sur les raisons qui expliquent l'absence de simulation Monte Carlo, qui auraient permis d'avoir une évaluation probabiliste de l'incertitude.



## 11 - Quelques bonnes pratiques et pistes de progrès pour les collectivités françaises

Les exemples présentés dans la partie précédente ont mis en évidence la diversité des approches techniques, méthodes et outils qui peuvent être utilisés pour réaliser un exercice de prévision de la demande à long terme. Il n'existe pas une unique méthode qui serait supérieure aux autres indépendamment du contexte. Au contraire, les choix méthodologiques doivent être adaptés au contexte réglementaire, à la nature des données disponibles et à la finalité de l'étude. Cette dernière partie propose un ensemble de questions que le gestionnaire peut se poser avant d'engager une étude ou au moment d'en évaluer les résultats.

### 11.1 Ancrer la prévision dans une analyse rétrospective

Améliorer la connaissance de la demande actuelle et de son évolution récente est un préalable à tout exercice de prévision.

#### ■ Connaître la structure de la demande actuelle

Concernant la connaissance de la demande actuelle, il est essentiel d'aller au-delà du simple calcul d'un ratio de consommation par habitant, englobant les consommations domestiques, celles des zones commerciales et industrielles et des services accueillant du public. Pour cela, il est important d'exploiter les bases de données de facturation qui peuvent permettre :

- de préciser la répartition des volumes consommés entre les principaux types d'usages (voir chapitre 1). La connaissance de cette répartition permettra de décider si l'exercice de prévision doit être conduit de manière séparée pour la demande en eau des abonnés domestiques, les activités économiques et les services accueillant du public (administrations, écoles). Cette étape peut en outre permettre d'identifier quelques très gros consommateurs, dont la consommation future devra être analysée de manière séparée (hôpital, prison, très gros complexes industriels ou hôteliers) ;

- de calculer des ratios de consommation pour chaque catégorie d'usagers qui pourront ensuite être utilisés comme base pour la projection dans le futur.

L'analyse de la pratique en France montre que cette étape est rarement réalisée. La plupart des études raisonnent en termes de consommation globale par habitant, parfois appelée dotation globale par habitant ou empreinte eau par habitant. Cette pratique s'explique par la difficulté d'exploiter les bases de données facturation qui sont très souvent de mauvaise qualité. L'affectation des clients par catégorie d'usagers (domestique, commercial, industriel, public, etc.) est relativement incertaine, le plus souvent non ou mal codée limitant la possibilité d'en

faire des extractions. Par ailleurs, les outils informatiques de facturation ne proposent pas de routines permettant de produire facilement une analyse de la structure de la consommation. L'amélioration de ces outils et de leur utilisation représentent donc une première piste de progrès pour les gestionnaires d'eau potable en France.

## ■ Caractériser les tendances récentes d'évolution de la consommation

Identifier s'il existe des tendances lourdes et/ou des ruptures dans ces tendances est également un préalable à l'exercice de prévision. L'analyse des facteurs expliquant les tendances ou les ruptures peut également être utile pour justifier des projections d'évolution future.

La recherche de tendances doit porter sur des indicateurs agrégés comme les volumes produits, distribués ou facturés rapportés à l'habitant, mais aussi sur des indicateurs plus détaillés qui peuvent être construits à partir des outils de facturation. Ainsi, il peut être utile de caractériser l'évolution de la consommation domestique par habitant, la consommation des entreprises par branche d'activité, ou analyser l'évolution des plus gros consommateurs.

Des analyses statistiques multivariées peuvent également être réalisées pour établir des corrélations entre l'évolution des ratios de consommation et les facteurs déterminants. Par exemple, à l'échelle d'une intercommunalité, il est possible de rechercher une corrélation entre, d'une part, la consommation domestique par habitant et, d'autre part, le revenu moyen des ménages, le pourcentage d'habitations individuelles, le pourcentage de résidences principales dans le parc immobilier, le prix de l'eau (si différent d'une commune à l'autre), etc.

Une piste de progrès consisterait à développer des observatoires de la consommation, qui permettent de systématiser cette analyse rétrospective et éventuellement de la suivre plus finement à l'échelle de quartiers représentatifs (pour les consommations domestiques), de zones d'activités commerciales et des plus gros consommateurs. La généralisation des compteurs à télé-relevé offre une opportunité en ce sens qui doit être saisie par les collectivités.

## 11.2 Décomposer la prévision de la demande par secteurs

La pratique actuelle consiste généralement à prévoir la demande en eau sur la base d'une projection de la population que l'on multiplie par un coefficient de besoin en eau par habitant, lequel intègre la consommation domestique, économique, industrielle et celle des autres usagers collectifs (écoles, etc.). Cette approche peut être totalement inappropriée lorsque la dynamique démographique et celle des activités économiques sont déconnectées. On peut rencontrer des territoires caractérisés par une forte croissance démographique conduisant à une augmentation de la consommation domestique, et par une diminution des industries fortement consommatrices d'eau. Dans ce cas, une prévision qui ne rendrait pas compte des deux dynamiques aurait peu de chance de produire des résultats pertinents.

Il est donc recommandé de construire des outils de prévision qui projettent séparément la consommation domestique et celle des activités économiques. Dans le cas de grandes collectivités où la consommation des activités économiques est importante, cette dernière pourra éventuellement être décomposée par grandes branches d'activités.

## 11.3 Intégrer la planification urbaine et la prévision de la demande en eau

Les choix d'aménagement urbain ont un impact sur la demande en eau potable. La densification urbaine conduit par exemple à une réduction de la demande alors que l'étalement, fondé sur le modèle des lotissements, génère une augmentation de la demande pour les usages extérieurs notamment sous les climats chauds et secs en été. Il est donc important de tenir compte de ce lien entre urbanisme et demande en eau dans l'exercice de prévision à long terme.

Une approche possible, illustrée par le cas de Grenoble, de la Californie et de Hambourg ci-dessus, consiste à fonder l'exercice de prévision de la demande sur les hypothèses du Scot. L'intérêt est multiple. La projection de la demande est plus précise, ses résultats peuvent être spatialisés par commune ou par quartiers et, lorsque la projection de demande fait apparaître une situation de pénurie d'eau, la solution peut être recherchée dans une modification de la planification urbaine (retour de la problématique eau vers la problématique urbanisme).

#### 11.4 Harmoniser les prévisions réalisées à différentes échelles

Les exercices de prévision réalisés par les services d'eau potable (communes ou intercommunalités), les départements, les organismes gestionnaires de bassins versants (EPTB, Epage) pourraient être mis en cohérence à travers une harmonisation des hypothèses, des horizons temporels, des données utilisées et des calendriers de réalisation.

Le principe d'une mise à jour régulière des prévisions (tous les 6 à 10 ans), à l'image des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) par exemple, semble également un principe à retenir. Lors de chaque mise à jour, il conviendrait d'analyser la performance du dernier exercice de prévision, en comparant l'évolution observée au cours de la période écoulée avec les prévisions qui avaient été réalisées. Cette comparaison, rarement faite dans la pratique actuelle, permet d'améliorer progressivement la méthode de travail.

#### 11.5 Impliquer les acteurs dans la prévision

La prévision de la demande en eau est considérée comme un exercice très technique relevant des compétences d'un bureau d'étude et de l'autorité organisatrice du service. Si les hypothèses et résultats sont le plus souvent présentés à un comité de pilotage, ils font rarement l'objet d'une mise en discussion avec les usagers dont les pratiques déterminent pourtant l'évolution future de la consommation.

L'implication des usagers dans l'exercice de prévision peut permettre d'affiner différentes hypothèses relatives à l'évolution des ratios de consommation unitaire. Ceci est particulièrement vrai concernant les activités économiques dont la consommation dépend d'investissements dans des technologies moins consommatrices en eau. Consulter des entreprises représentatives de différents secteurs permet d'appréhender la probabilité que ces investissements soient réalisés et le taux d'adoption probable au sein de la branche à l'horizon temporel considéré. Pour reprendre les termes de Tetlock et Gardner (2015), les meilleurs prévisionnistes ne sont pas nécessairement les meilleurs experts mais ceux qui s'attachent à intégrer dans leur réflexion la plus large gamme de points de vue, de perspectives et de données, même quand elles contredisent leurs propres convictions.

Par ailleurs, le fait de partager le contenu de l'étude (méthode[s], données et résultats) avec les usagers et les acteurs concernés garantit une meilleure appropriation de ceux-ci et réduit le risque de contestation des implications de cette prévision en termes de stratégies de gestion. Ceci est particulièrement important par exemple dans le cas d'un projet de gros investissements de type transfert interbassin ou usine de dessalement, qui risque d'impacter le prix de l'eau, et amener des associations de consommateurs à étudier la justification du projet et, éventuellement, s'y opposer.

#### 11.6 Passer du concept de besoin en eau à celui de demande

Un très grand nombre d'études réalisées en France considèrent que le ratio de consommation par habitant est une donnée exogène au service d'eau, c'est-à-dire que le gestionnaire ne peut pas l'influencer. Or, il existe au moins deux moyens de modifier la consommation unitaire : le premier consiste à mettre en place une tarification incitative ; le second à promouvoir les économies d'eau via des politiques volontaristes reposant sur des approches aussi diverses que la sensibilisation, l'installation de compteurs communicants, la distribution de kits hydro-économiques aux ménages, etc. Les études de prévision de la demande en eau doivent donc intégrer ces deux leviers.

Concernant la tarification, l'approche la plus simple consiste à s'appuyer sur des valeurs d'élasticité de la demande au prix issues de la littérature. En France, l'élasticité est de l'ordre de -0,2, ce qui signifie qu'une hausse de 10 % du prix de l'eau se traduit par une baisse de la consommation de 2 %. À titre d'exemple, supposons que la consommation domestique d'une collectivité soit de 110 litres par jour et par habitant en 2015. On suppose que le prix de l'eau va augmenter de 40 % (en € constants) sur la période de prévision considérée. Si l'élasticité pris est de -0,2, la consommation va baisser de 8 %, ramenant la consommation par habitant à 101 litres par jour.

Concernant les économies d'eau, des hypothèses simplifiées peuvent être réalisées pour estimer le taux d'adoption de différentes pratiques ou équipements permettant de réduire la consommation et le gain unitaire en volume associé à chacun. Différents scénarios peuvent éventuellement être formulés, chacun correspondant à un niveau d'action de la collectivité. Cette approche est de loin préférable à la pratique actuelle qui consiste à supposer une baisse tendancielle des consommations unitaires, reflétant le progrès des équipements en matière de consommation d'eau.

### **11.7 Améliorer la prise en compte de l'incertitude**

Réaliser une projection de la demande à long terme implique de formuler des hypothèses sur de nombreux facteurs qui déterminent l'évolution de celle-ci (chapitre 2) : démographie, évolution de l'activité économique, augmentation de la performance des équipements des ménages, etc. À chacune de ces hypothèses est associée une incertitude, dont les études doivent impérativement rendre compte par souci de rigueur et de transparence vis-à-vis des décideurs, gestionnaires et usagers.

Aujourd'hui, la plupart des études traitent cette incertitude en produisant plusieurs scénarios, le plus souvent correspondant à un scénario central encadré d'un scénario pessimiste et optimiste. Cette approche s'apparente davantage à des tests de sensibilité qu'à une analyse de l'incertitude (voir chapitre 3). La mise en œuvre d'approche probabiliste, reposant sur des simulations Monte Carlo, offre un cadre d'analyse plus pertinent, dans le sens où elle permet de quantifier les risques associés à des seuils de demande (risque de pénurie lié à une sous-capacité, risque économique lié à une surcapacité). De même, l'utilisation de scénarios intégrant des hypothèses de développement économique, de planification urbaine, d'évolution de technologies doit être promue. Pour pouvoir alimenter la décision, ces scénarios doivent intégrer des hypothèses relatives à l'action des acteurs du territoire, afin de constituer une représentation d'un futur possible à construire. Ces scénarios doivent idéalement être présentés sous forme narrative avant d'être déclinés sous forme d'hypothèses quantifiées et évaluées en termes de demande en eau.

### **11.8 Le changement climatique**

Globalement, si le changement climatique impactera les ressources en eau disponible, son effet sur la demande en eau potable, en l'état actuel des connaissances, restera sans doute modéré en France dans les prochaines décennies. Le réchauffement, la hausse de l'évapotranspiration et la baisse des précipitations augmenteront probablement les usages extérieurs (jardins, piscines) mais les études de cas présentées dans le chapitre 3 montrent que l'impact restera limité. Ce résultat n'est pas extrapolable à d'autres contextes (USA, Australie) où les pratiques de consommation, dans les jardins par exemple, sont très différentes.



## Conclusion générale

Recherche de fuite  
Investissement

Farification

Investissement

Scénario

Démographie

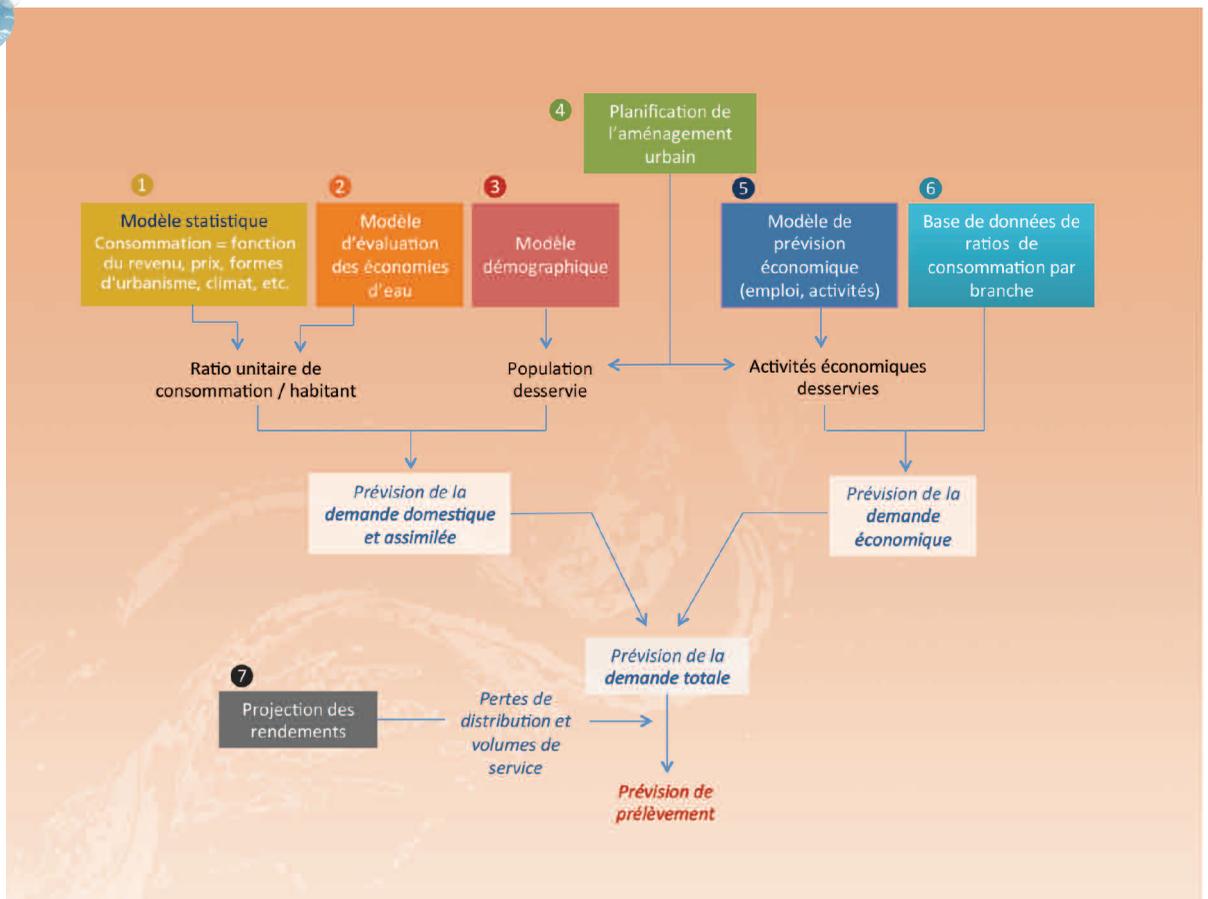


## 12 - Une approche méthodologique émergente

Les premiers développements méthodologiques relatifs à la prévision de la demande en eau potable à long terme ont été réalisés dans les années 1970-80 à l'époque où les grandes métropoles de l'ouest des États-Unis, en pleine croissance, étaient confrontées à des difficultés d'approvisionnement en eau. Les méthodes développées ont bénéficié de différentes contributions disciplinaires en économie, ingénierie, modélisation, et elles ont conduit à la production des prototypes d'outils très diversifiés au service des acteurs opérationnels du secteur.

Quatre décennies plus tard, il **n'existe toujours pas de pratique standardisée**, ni d'outil de prévision dont l'usage se serait imposé comme une référence incontournable. Les quelques outils commercialisés, comme IWRM Main, restent assez peu utilisés, et lorsqu'ils le sont, ils font l'objet d'importantes adaptations (voir exemple Californien chapitre 6). Les exemples présentés dans cet ouvrage montrent également que le choix d'une approche méthodologique reste fortement déterminé par le contexte réglementaire, la nature des données disponibles, l'échelle géographique et le savoir-faire des donneurs d'ordre et des bureaux d'étude. Dans la même région, des choix différents peuvent être réalisés. Ainsi, la Commission des services publics de San Francisco a utilisé un modèle de composantes d'usage tandis que le Metropolitan Water District de la Californie du Sud a de son côté utilisé un modèle statistique multivarié, bien que ces deux services soient relativement comparables. De même, l'incertitude est traitée de manière très différente selon les contextes, même lorsqu'il s'agit de modèles sophistiqués : ainsi, la prévision de la demande en Californie ne traite pas formellement l'incertitude alors que le régulateur OFWAT impose aux services anglais de conduire des simulations Monte Carlo.

Au-delà de ces différences, on constate cependant que les services d'eau potable les plus avancés en matière de prévision ont tous développé une approche modulaire dont la structure générale est représentée dans la Figure 36. La demande en eau domestique et associée, et celle des usages économiques et industriels font généralement l'objet de deux modules séparés.



Représentation de l'approche modulaire de la modélisation de la demande.

La prévision de la demande domestique repose sur quatre composantes : ❶ un modèle statistique permettant de prévoir l'évolution de la consommation par habitant, en fonction de variables comme le prix de l'eau, le revenu des ménages, les caractéristiques de l'habitat ; les résultats de ce modèle sont ajustés via ❷ un modèle simulant le potentiel d'économie d'eau. Le résultat de ces deux modèles donne une consommation unitaire future qui est multipliée par la population desservie à l'horizon considéré. Celle-ci est estimée en croisant ❸ des projections démographiques et ❹ les objectifs de développement de l'habitat définis dans les documents de planification urbaine. La demande des usagers économiques résulte du croisement ❺ d'une prévision du développement économique du territoire (emploi par branche) et ❻ des documents de planification urbaine qui définissent des surfaces affectées aux différentes activités. Enfin, ❼ une évaluation des pertes en réseau et des volumes de service est effectuée pour évaluer le prélèvement futur. Cette architecture générale de modélisation de la demande représente l'état de l'art à l'heure actuelle.



## **13 - Organiser le développement de compétences en matière de prévision**

L'analyse des approches déployées par les acteurs de l'eau en France (chapitre 5) et la confrontation avec les expériences étrangères (chapitres 6 à 9) a permis de mettre en évidence des pistes de progrès (chapitre 10). La question qui se pose immédiatement après avoir réalisé ce constat est de savoir comment accompagner les acteurs de l'eau dans l'adoption de méthodes de prévision plus performantes. Ceci nécessite de développer une stratégie globale qui doit être portée au niveau national ou au niveau des bassins, afin d'identifier les priorités d'actions et mutualiser les efforts de développements méthodologiques. Les principaux éléments de cette stratégie pourraient être les suivants.

### **13.1 Identifier les collectivités pour lesquelles la prévision est une priorité**

La prévision de la demande en eau potable à long terme ne représente pas un enjeu de même ampleur pour toutes les collectivités d'eau potable et d'assainissement. Lorsque la consommation est stable, qu'il existe peu d'incertitudes sur son évolution future et qu'il n'y a pas besoin de réaliser des investissements importants, il n'est pas pertinent d'investir des ressources dans une étude de prévision de la demande. Par contre, la prévision représente un enjeu majeur pour les collectivités dont le volume facturé évolue fortement à la baisse ou à la hausse, ce qui pose des questions relatives au dimensionnement d'ouvrages ou aux choix tarifaires. Il pourrait être utile de disposer d'une grille d'analyse permettant de repérer les collectivités pour lesquelles l'enjeu de prévision est fort, afin de les accompagner en priorité dans cette réflexion.

### **13.2 Accompagner la mise en place d'observatoires de la consommation**

La plupart des collectivités connaissent mal leurs abonnés. Souvent, elles ne sont pas en mesure d'analyser finement la répartition des volumes facturés par catégorie d'usagers, ni de caractériser les tendances d'évolution des ratios de consommation. La mise en place d'observatoires de la consommation, s'appuyant sur une valorisation des données des fichiers de facturation semble donc être une priorité. Il est probable que cette pratique ne se généralise que si la réglementation l'impose. Alternativement, des incitations économiques peuvent être utilisées (condition pour l'obtention d'aide par les agences de l'eau). Ceci conduirait les éditeurs de logiciels de facturation et les entreprises délégataires à modifier leurs outils informatiques pour intégrer une fonction observatoire.

### 13.3 Mutualiser le développement d'outils de prévision de la demande

De même, la mise en œuvre des modèles de prévision décrits ci-dessus (chapitre 12) n'est pas à la portée de tous les services d'eau potable. Le développement et la maintenance de ce type d'outils requiert des capacités techniques et financières significatives<sup>13</sup> dont ne disposent pas les petites collectivités. Il est donc essentiel de réduire le coût de développement et de mise en œuvre de ces outils, en mettant à disposition des gestionnaires de l'eau potable des guides méthodologiques, des outils informatiques facilement accessibles et des bases de données communes.

En particulier, l'utilisation par les collectivités et leurs bureaux d'étude des modèles de composante d'usages (inutilisés en France aujourd'hui) ne sera possible que si la puissance publique encourage leur adoption en mettant à leur disposition des outils et données. Notons que l'appropriation de ces outils en Angleterre et au pays de Galles a été accompagnée par le régulateur et par la fédération des compagnies d'eau (*UK Water Research Industry*). L'*American Water Works Association* ou la *Water Research Foundation* ont joué un rôle similaire aux USA.

13- À titre d'exemple, l'étude de prévision de la demande engagée par la Commission des services publics de San Francisco alimentant une population de 2,4 millions d'habitants a mobilisé l'équivalent de 100 personnes travaillant sur le projet pendant 2 ans (Levin *et al.*, 2006). Même si cet exemple est extrême, il met en lumière la faiblesse des moyens actuellement consacrés à cette problématique par les acteurs français.





# Recherche de fuite

## Investissement

## Démographie

## Parification

# Investissement

# Scénario

## Démographie

- 78 ■ Bibliographie
- 81 ■ Liste des figures
- 83 ■ Liste des tableaux
- 84 ■ Auteurs, contributeurs et remerciements



## Bibliographie

- Arbués, F., Garcia-Valinas, M.A., Martinez-Espiñeira, R., 2003. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics* 32, 81-102.
- Bauman, D.D., Boland, J.J., Haneman, W.M., 1998. Urban water demand management and planning. McGraw-Hill, New-York.
- Barraqué, B., L. Isnard, M. Montginoul, J. D. RINAUDO, and J. Souriau., 2011. Baisse des consommations d'eau potable et développement durable. *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* 63: 102-108.
- Billings, B.R., Clive, V.J., 2008. Forecasting Urban Water Demand. American Water Works Association, Denver CO.
- Boland, J., 1997. Assessing Urban Water Use and the Role of Water Conservation Measures under Climate Uncertainty. *Climatic Change* 37, 157-176.
- Charlton, M.B., Arnell, N.W., 2011. Adapting to climate change impacts on water resources in England—An assessment of draft Water Resources Management Plans. *Global Environmental Change* 21, 238-248.
- Clarke, G.P., Kashti, A., Mc Donald, A., Williamson, P., 1997. Estimating small area demand for water: a new methodology. *Journal of Chartered Inst Water Env Manage.* 11, 186-192.
- Communauté de l'Eau de la Région Urbaine de Grenoble, 2017. Gestion globale de la ressource en eau. Bilan besoins-ressources à l'échelle du Scot de la région urbaine de Grenoble. EP Scot : Grenoble. Consulté le 06/12/2017 à <http://c-eau-region-grenoble.org/chantiers-en-cours/securisation-de-laep-et-gestion-globale-de-la-ressource/>
- CREDOC (2017). Prévoir la consommation d'eau en ile de France. Credoc : Paris
- Dalhuisen, J.M., Florax, R.J.G.M., De Groot, H.L.F., Nikamp, P., 2003. Price and income elasticities of residential water demand : a meta analysis. *Land Economics* 79 (2), 292 - 308.
- Davis, W.Y., 2003. Water demand forecast methodology for California water planning areas: work plan and model review. California Bay-Delta Authority.
- Davies, K., Doolan, C., van den Honert, R., et R. Shi, 2014. Water-saving impacts of Smart Meter technology: An empirical: 5 year, whole-of-community study in Sydney, Australia. *Water Resources Research* 50, 7348–7358.
- Desprats, J. F., J. D. Rinaudo, et al., 2011. Analyse de la relation entre le type d'urbanisation et la consommation en eau des ménages: le cas de l'agglomération de Perpignan. Brgm/RP-60126-FR. Orléans, Brgm.
- Desprats, J. F., J. D. Rinaudo, et al., 2012. Analyse de la relation entre le type d'urbanisation et la consommation en eau des ménages: l'agglomération de Montpellier. Brgm/RP-61856-FR. Orléans, Brgm.
- Desprats J.F., Rinaudo J.D., Montginoul M., 2013. Evaluation des besoins futurs en eau potable des ménages (2030) : agglomération de Montpellier. BRGM/RP-62463-FR.

- Domene, E., Saurí, D., 2006. Urbanisation and Water Consumption: Influencing Factors in the Metropolitan Region of Barcelona. *Urban Studies* 43, 1605-1623.
- Donkor, E., Mazzuchi, T.A., Soyer, R., Roberson, J.A., 2012. Urban water demand forecasting: a review of methods and models. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 140(2), 146-159
- Downing, T.E., Butterfield, R.E., Edmonds, B., Knox, J.W., Moss, S., Piper, B.S., Weatherhead, E.K., 2003. Climate change and the demand for water. Stockholm Environment Institute Oxford Office, Oxford.
- Dupont, D. Price, J.I. and Renzetti, S. 2015. How to bring water demand forecasting to small utilities. <http://watercanada.net/2015/small-demands/>.
- Environment Agency, 2009. Water for people and the environment: *Water resources strategy for England and Wales*. Bristol.
- Environment Agency, Ofwat, Defra, Government, W., 2012. Water resources planning guideline: *the technical methods and instructions*. Bristol.
- Espey, M., Espey, J., Shaw, W.D., 1997. Price elasticity of residential demand for water: *A meta-analysis*. *Water Resources Research* 33, pp 1369-1374.
- Goodchild, C.W., 2003. Modelling the impact of climate change on domestic water demand. *Water and Environment Journal* 17, pp 8-12.
- Hanak, E., Davis, M., 2006. Lawns and Water Demand in California. California Economic Policy. Public Policy Institute of California, San Francisco.
- Hazen and Sawyer, 2004. The Tampa Bay Water Long-Term Demand Forecasting Model. Tampa Bay Water, Tampa.
- Jacobs, H.E., Haarhoff, J., 2004. Application of a residential end-use model for estimating cold and hot water demand, wastewater flow and salinity. *Water SA*: 30, pp 305-3016.
- Lempert, R.J., Popper, S.W., Bankes, S.C., 2003. Shaping the next one hundred years: new methods for quantitative long term policy analysis. RAND Corporation, Santa Monica (CA).
- Liehr, S., O. Schulz, T. Kluge, G. Sunderer, J. Wackerbauer, 2015. "Wasserbedarfsprognose für Hamburg und Umland bis 2045." ISOE-Studientexte 24.
- Levin, E., Maddaus, W.O., Sandkulla, N.M., Pohl, H., 2006. Forecasting wholesale demand and conservation savings. *Journal of the American Water Works Association* 98, 102-111.
- Montginoul M, Rinaudo, J.-D., Desprats JF, 2017. La consommation en eau urbaine dans les villes françaises: tendances actuelles sur deux métropoles méditerranéennes. *Revue TSM* (3). pp : 12-24.
- Montginoul, M., Rinaudo, J.-D., 2011. Controlling households' drilling fever in France: An economic modeling approach. *Ecological Economics* 71, 140-150.
- Montginoul, M., L. Even, et al., 2013. "Le cas de Nantes Métropole : un cas à part ?" *Sciences Eaux et Territoires* 2013(10).
- Montginoul, M., 2013. "La consommation d'eau en France : historique, tendances contemporaines, déterminants " *Sciences Eaux & Territoires* 2013(10).
- MWD, 2010. The regional urban water management plan. Metropolitan Water District of Southern California, Los Angeles, p. 407.
- NRA, UKWIR, 1995. Demand forecasting methodology - main report. <https://www.ukwir.org>
- Patterson, J., Wentz, A.E., 2008. Forecasting Single-Family Residential Water Consumption for Phoenix and Paradise Valley, Arizona. Arizona State University, geoDa Center, Phoenix.
- Polebitski, A., Palmer, R., Waddell, P., 2011. Evaluating Water Demands under Climate Change and Transitions in the Urban Environment. *Journal of Water Resources Planning and Management* 137, 249-257.
- Poquet, G. (2003). "La baisse de la consommation d'eau dans les grandes villes : moins d'usines et des économies de gestion." *Consommation et mode de vie* (170). Paris, Credoc.
- Poquet, G. and B. Maresca (2006). La consommation d'eau baisse dans les grandes villes européennes. a(192). Paris, Credoc.

- Rinaudo JD (2015) Long-Term Water Demand Forecasting. Understanding and Managing Urban Water in Transition. Springer. Pp 239-268
- RTE (2016). Bilan prévisionnel de l'équilibre offre demande d'électricité en France. Direction de l'économie, de la prospective et de la transparence. La Défense : RTE. 123 pages.
- Safege (2012) État des lieux de l'alimentation en eau potable en Île-de-France. Agence de l'eau Seine Normandie.
- SMEGREG (2015) Actualisation des besoins en ressource de substitution. Bordeaux : Smegreg.
- Schulz, O., Liehr, S., T. Kluge, G. Sunderer, K. Götz (2013). "Forecasting water demand for the city of Hamburg." Congrès de l'ASTEE, Nantes, 6 juin 2013.
- Tetlock et Gardner (2015) Superforecasting : the art and science of prediction. New-York: Crown.
- Thames Water, 2010. Planning for the Future: revised draft water resources management plan. Londres: Thames Water.
- Thames Water (2014) Final Water Resources Management Plan 2015 – 2040 Main Report. Section 3: Current and Future Demand for Water. 51 pp. Londres: Thames water.  
<https://www.thameswater.co.uk/sitecore/content/Corporate/Corporate/About-us/Our-strategies-and-plans/Water-resources/Our-current-plan-WRMP14>
- Thomas, J.F., 2008. Water futures for Western Australia 2008-2030. Volume1: State Report. Resource Economics Unit, Department of Water, Perth, p. 67.
- UKWIR, 1997. Forecasting water demand components - best practice manual.
- Wentz, E., Gober, P., 2007. Determinants of Small-Area Water Consumption for the City of Phoenix, Arizona. *Water Resources Management* 21, 1849-1863.
- Westcott, R., 2004. A scenario approach to demand forecasting. *Water Science & technology* 4, 45-55.



## Liste des figures

- 9 **Figure 1** : Du prélèvement à la consommation. Données 2013, SISPEA. Source : Onema 2016.
- 10 **Figure 2**. Consommation domestique moyenne annuelle. Données 2013, SISPEA. Source : Onema 2016.
- 11 **Figure 3** : Découplage entre démographie et demande en eau potable : exemples de Montpellier et de l'Ille-et-Vilaine. Sources : Montginoul et al. (2017) et Syndicat mixte de gestion pour l'approvisionnement en eau potable d'Ille-et-Vilaine.
- 11 **Figure 4** : Évolution de la consommation domestique moyenne en eau potable en France.
- 14 **Figure 5** : Poids des différentes catégories d'abonnés dans le volume facturé par catégorie d'abonnés (m<sup>3</sup>/abonné/an) à Perpignan (49 141 abonnés) et Montpellier (78 644). Source : Montginoul et al., 2017.
- 23 **Figure 6** : Évolution de la population, de la consommation par habitant et de la consommation résidentielle totale pour quatre scénarios. Source: Adapté de Environment Agency (2009): pp. 21–24.
- 24 **Figure 7** : Exemple de prévision probabiliste de la demande en eau.
- 30 **Figure 8** : Schéma des hypothèses retenues pour les scénarios de besoins en eau d'Ile-de-France à horizon 2030. Source : Safege 2012.
- 32 **Figure 9** : Expression mathématique simplifiée du modèle statistique établi pour les communes de plus de 10 000 habitants. Source : Credoc, 2016.
- 33 **Figure 10** : Capture d'écran de l'interface permettant de définir les paramètres de simulation sur l'outil Sicomore.
- 33 **Figure 11** : Exemple de sortie cartographique de Sicomore pour 2 scénarios (croissance soutenue, croissance timide) construits par l'utilisateur (département de la Seine-et-Marne).
- 34 **Figure 12** : Impact marginal sur la consommation d'eau des hypothèses réalisées par l'utilisateur dans les deux scénarios évalués (croissance soutenue, croissance timide).
- 35 **Figure 13** : Résultat du bilan ressources-besoins à l'horizon 2030. Source : communauté de l'eau de Grenoble, 2017.
- 37 **Figure 14** : Évolution du prélèvement par habitant pour l'AEP (toutes ressources confondues) dans le Sage Gironde. Source : adapté de Smegreg 2015.
- 38 **Figure 15** : Incertitudes relatives à l'évolution future de l'empreinte eau des habitants de Gironde. Source : d'après présentation de Bruno de Grissac, séminaire du 14 décembre 2017, AFB, Vincennes.
- 42 **Figure 16** : Prévion d'évolution de la demande en eau par catégorie d'usagers (millions de m<sup>3</sup> par an). Source : adapté de *Eastern Municipal Water District Urban Water management Plan*, 2005.

- 42 **Figure 17** : Estimation des économies d'eau attendues à l'horizon 2030 (millions m<sup>3</sup>/an). Source : adapté de *Eastern Municipal Water District Urban Water management Plan, 2005*.
- 45 **Figure 18** : Vue d'ensemble de la méthode de prévision mise en œuvre par *Thames Water*.
- 47 **Figure 19** : Représentation schématique de l'évolution du taux d'équipement en compteurs (A), de la consommation moyenne par ménage avec et sans compteur (B) et résultante en consommation moyenne par habitant (C).
- 48 **Figure 20** : Profil d'incertitude de la prévision de la demande en eau pour Londres. Adapté de *Thames Water, 2010, p.96*.
- 49 **Figure 21** : Découplage entre croissance de la population et baisse de la consommation d'eau dans l'agglomération de Hambourg - Adapté de Schulz *et al*, 2013.
- 50 **Figure 22** : Données et méthode de construction du modèle statistique visant à expliquer et prévoir la consommation en eau potable par habitant.
- 52 **Figure 23** : Hypothèses d'évolution de l'aménagement urbain - Adapté de Liehr *et al.*, 2015, p. 42.
- 53 **Figure 24** : Prévisions d'évolution de la demande pour différents scénarios - Adapté de Liehr *et al.*, 2015, p. 113.
- 56 **Figure 25** : Simulation de l'impact de différentes politiques tarifaires avec une version préliminaire de l'outil Brockwater pour la ville de York, Canada – Source : Dupont, Price and Renzetti (2015)
- 59 **Figure 26** : Consommation électrique en France continentale (hors activité d'enrichissement d'uranium). Sources : RTE, 2016. [http://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2016\\_complet\\_vf.pdf](http://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2016_complet_vf.pdf)
- 60 **Figure 27** : Méthode de modélisation de la demande électrique retenue pour chacun des cinq grandes catégories d'usagers.
- 61 **Figure 28** : Modélisation de la demande résidentielle associée aux usages domestiques.
- 61 **Figure 29** : Méthode de modélisation de la demande électrique résidentielle associée aux usages thermiques.
- 62 **Figure 30** : Évolution des ventes de sèche-linge et de réfrigérateurs par classe d'efficacité énergétique. Source : RTE, d'après TopTen.
- 63 **Figure 31** : Hypothèses d'évolution de l'éclairage selon les technologies. Source : RTE, 2016.
- 63 **Figure 32** : Évolution de la consommation moyenne annuelle d'un ménage pour les usages domestiques. Hors usages du bâti (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, climatisation). Source : RTE 2016.
- 64 **Figure 33** : Taux de croissance annuel moyen des consommations d'électricité au m<sup>2</sup> des usages tertiaires entre 2015 et 2021. Source : RTE, 2016.
- 64 **Figure 34** : Prévision d'évolution de la consommation électrique du secteur résidentiel (gauche) et du secteur tertiaire (droite) en TWH à l'horizon 2021.
- 65 **Figure 35** : Scénarios d'évolution de la consommation électrique (France continentale). Source : RTE 2016.
- 73 **Figure 36** : Représentation de l'approche modulaire de la modélisation de la demande.



## Liste des tableaux

- 12 **Tableau 1** : Facteurs déterminant la consommation en eau
- 13 **Tableau 2** : Les différents horizons temporels de la prévision de la demande en eau potable
- 17 **Tableau 3** : Vue d'ensemble des principales méthodes de prévision de la demande en eau potable
- 20 **Tableau 4** : Facteurs d'incertitude relatifs à l'évolution de la demande en eau potable à long terme
- 31 **Tableau 5** : Facteurs explicatifs pris en compte dans les modèles statistiques et leur impact positif (+) ou négatif (-) sur la consommation en eau par habitant
- 35 **Tableau 6** : Ratios de consommation utilisés pour évaluer les besoins en eau potable des nouvelles ZAC selon les activités
- 46 **Tableau 7** : Consommation par composante dans la ville de Londres pour l'année de référence 2011-2012
- 51 **Tableau 8** : Facteurs déterminants identifiés par les analyses statistiques et quantification de leur effet
- 55 **Tableau 9** : Valeurs d'élasticité de la demande suggérées par défaut



## Auteurs, contributeurs et remerciements

### Auteurs

Jean-Daniel Rinaudo - [jd.rinaudo@brgm.fr](mailto:jd.rinaudo@brgm.fr)

Noémie Neverre - [n.neverre@brgm.fr](mailto:n.neverre@brgm.fr)

BRGM, direction Eau, Environnement et Écotechnologies, unité Nouvelles Ressources en Eau et Économie

### Contributeurs

Jeanne Dequesne (direction de la recherche, de l'expertise et des données à l'Agence française pour la biodiversité), Julien Gauthey (direction de la recherche, de l'expertise et des données, à l'Agence française pour la biodiversité)

### Remerciements

Cette synthèse a été rédigée dans le cadre de la convention établie entre le BRGM et l'Agence française pour la biodiversité. Les auteurs tiennent à remercier Jeanne Dequesne, Julien Gauthey, Véronique Barre et Béatrice Gentil-Salasc de l'Agence française pour la biodiversité pour avoir assuré une relecture détaillée de cette publication. Ce document a également bénéficié de l'apport de plusieurs experts français et étrangers qui ont présenté leurs travaux lors d'un séminaire sur le thème de la prévision de la demande en eau potable, organisé le 14 décembre 2017 à Vincennes. Nous tenons à remercier Cécile Benech (Communauté de l'eau de Grenoble), Bruno de Grissac (Smegreg), Olivier Chesneau (Sedif), Marc Lambert (Syndicat des eaux du Vivier), Quentin Maître (EDF), Steve Montcaster (Anglian Water, UK), Marielle Montginoul (Irstea), Cédric Prevedello (Aquawal, Belgique), Régis Taisne (FNCCR), Oliver Schulz (ISOE, Allemagne).

### Édition

Véronique Barre et Béatrice Gentil-Salasc (direction de la recherche, de l'expertise et des données, à l'Agence française pour la biodiversité)

### Création et mise en page

Béatrice Saurel ([saurelb@free.fr](mailto:saurelb@free.fr))

### Citation

Rinaudo J.D., Neverre N., 2019. La prévision à moyen et long terme de la demande en eau potable : bilan des méthodes et pratiques actuelles. Agence française pour la biodiversité. Collection *Comprendre pour agir*. 84 pages.

Recherche de fuite  
Investissement

Demographie

Investissement

Scénario

Démographie

■ ISBN web : 978-2-37785-031-0

■ ISBN print : 978-2-37785-032-7

Achévé d'imprimer en France par CFI Technologies en janvier 2019

Cet ouvrage a été réalisé avec des encres végétales sur du papier PEFC 100% issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées, chez un imprimeur respectant toutes les normes environnementales.



**D**ans le cadre de la préparation des schémas directeurs d'alimentation en eau potable ou lors de l'élaboration de certains schémas d'aménagement et de gestion des eaux, les collectivités sont amenées à construire des scénarios d'évolution de la demande en eau potable. La simplicité des méthodes utilisées a souvent conduit à surestimer la demande future. Des collectivités ont ainsi pu surdimensionner leurs équipements entraînant des difficultés pour recouvrir les coûts de leurs installations.

Le risque d'erreur de prévision est aujourd'hui accentué : certaines tendances historiques, à l'instar de celle qui liait l'augmentation de la demande en eau à l'augmentation de la population, ne s'observent plus tandis que de nouvelles sources d'incertitudes font leur apparition (changement climatique, évolution des structures économiques...). La consommation d'eau par habitant continuera-t-elle de baisser ? L'étalement urbain cèdera-t-il durablement la place à la densification ? Quels seront les effets du changement climatique sur la consommation ? La prise en compte de ces ruptures et incertitudes nécessite de mobiliser de nouvelles approches et des outils plus sophistiqués.

C'est dans ce contexte que le BRGM et l'Agence française pour la biodiversité ont décidé de réaliser un bilan des méthodes de prévision de la demande en eau potable, en analysant les pratiques opérationnelles en France et à l'international ainsi que les innovations proposées par le monde de la recherche. Les résultats de cette recherche, qui ont été présentés et débattus lors d'un séminaire à l'AFB en décembre 2017, sont restitués dans cet ouvrage.

Cette publication vise à sensibiliser les lecteurs et lectrices aux enjeux de la prévision à long terme et à les familiariser avec les différentes méthodes disponibles pour mener à bien cet exercice. Il s'appuie sur des exemples de pratiques portées par des acteurs opérationnels en France et dans le monde. Nous espérons qu'il permettra d'aider les décideurs à monter en compétence afin d'être en mesure de mieux préciser leurs attentes lors de la rédaction de leurs cahiers des charges, de mieux évaluer les propositions qui leur seront soumises et d'accompagner plus efficacement la réalisation des études qu'ils commanditent.

**Jean-Daniel Rinaudo** est chercheur au BRGM où il coordonne un programme scientifique sur les approches économiques appliquées à la gestion de l'eau, de l'environnement et des risques naturels.

**Noémie Neverre** est chercheuse en économie de l'environnement au BRGM. Elle travaille depuis plusieurs années sur les enjeux de gestion et de préservation des ressources en eau, notamment sur les questions de prévision de l'évolution des demandes en eau sous changements globaux.