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 Safege 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^3/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 Safege 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 Safege 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 tendancielles 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

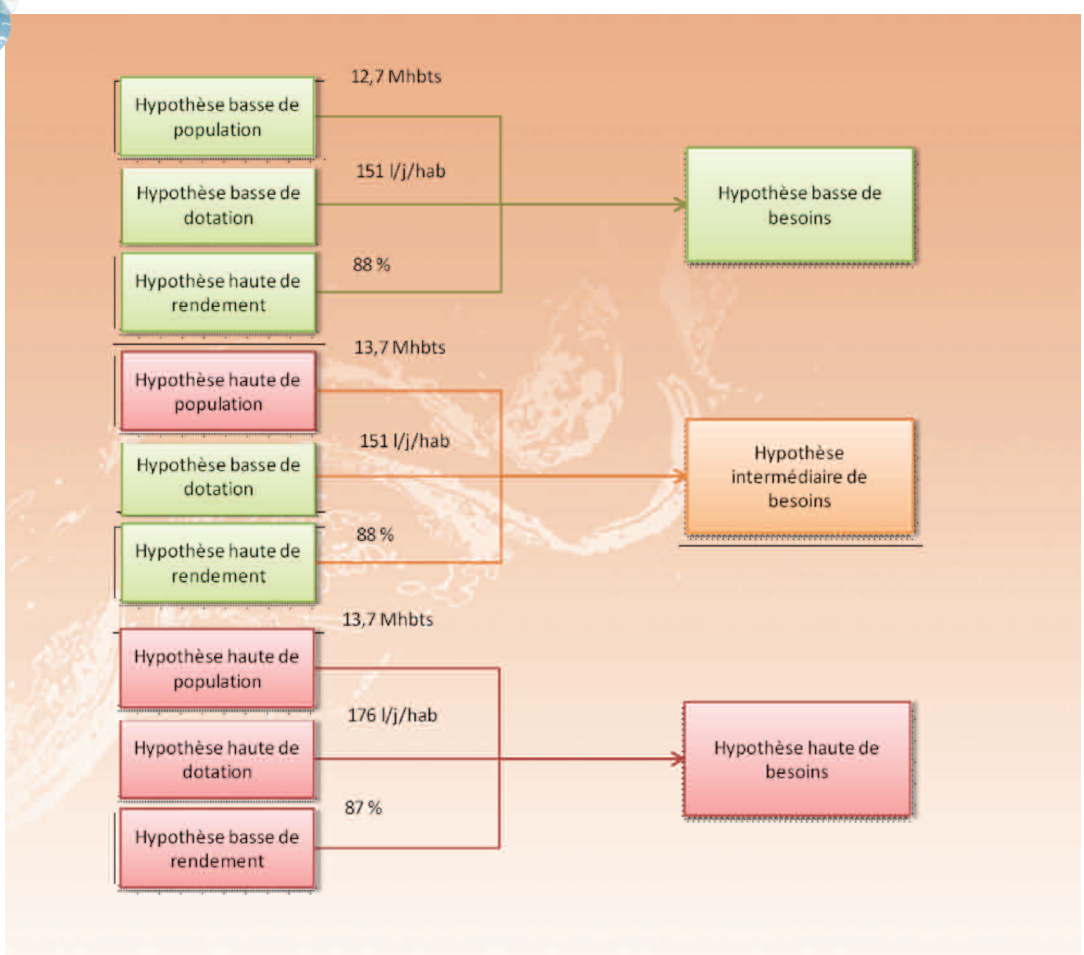


Schéma des hypothèses retenues pour les scénarios de besoins en eau d'Ile-de-France à horizon 2030. Source : Safege 2012.

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 Safege 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 maitrise 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[5].

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)	
-	du prix de l'eau	Population
-	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^3 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^3/an et par habitant ;
- chaque mètre carré supplémentaire d'équipements publics (ramenée à l'habitant) augmente la consommation de 0,14 m^3/an/habitant ;
- une augmentation de 1 000 € du revenu médian de la population entraîne une augmentation de 0,3 m^3/an/habitant ;
- une augmentation du prix de l'eau de 1 € entraine une baisse de la consommation de 1,44 m^3/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 Véolia. 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 Véolia), 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.

Figure 9

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

Avec

CONSO = consommation d'eau rapportée au nombre d'habitant en m^3 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

EQYUIPEMENTS = 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 = logarythme 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). 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'usager (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^3 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^3/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^3.

Figure 10

Population	2012	tendanciel 2030	S1 - développement soutenu	
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%)

Logements	2012	tendanciel 2030	S1 - développement soutenu	
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 m²/hab.		18,28	(+0%)
Superficie de jardins privés par habitant	65,15 m²/hab.		65,15	(+0%)

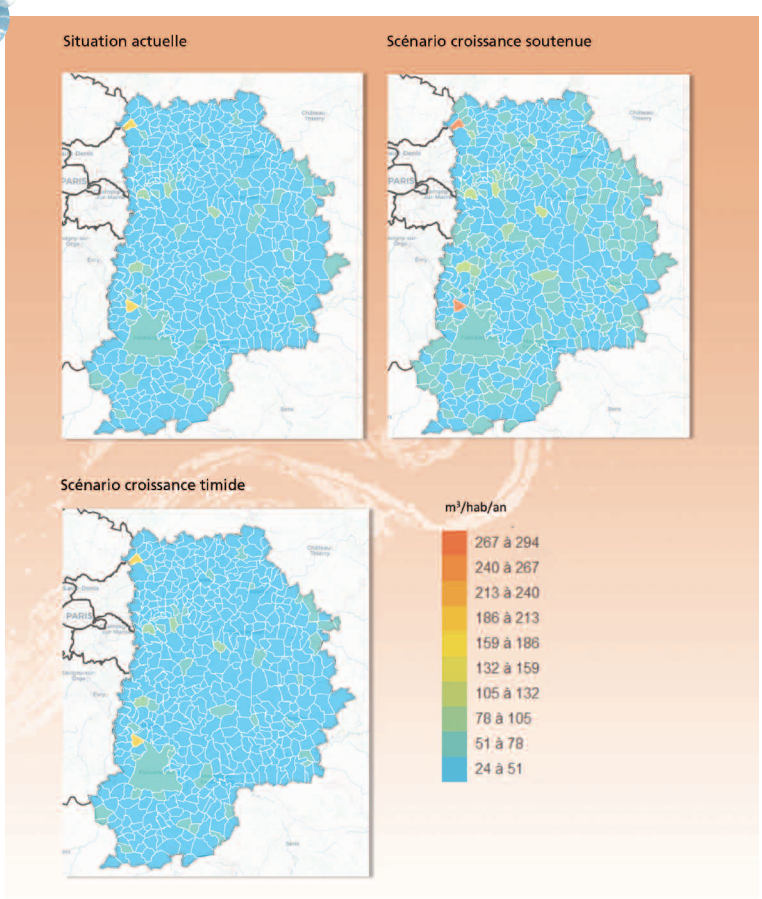
Activités économiques	2012	tendanciel 2030	S1 - développement soutenu	
Nombre d'emplois par habitant	0,337 emp./hab.		0,337	(+0%)
Part des emplois du secteur hôtel café restaurant	4,1 %		4,1	(+0%)
Superficie des espaces d'activités économiques par habitant	54,5 m²/hab.		54,5	(+0%)

Equipements	2012	tendanciel 2030	S1 - développement soutenu	
Superficie d'équipements par habitant	21,57 m²/hab.		21,57	(+0%)

Eau	2012	tendanciel 2030	S1 - développement soutenu	
Prix	100 (base 100)		100	(+0%)
Baisse tendancielle des consommations d'eau (effet temps)	100 (base 100)	88,8 (base 100) (-11%)	100	(+0%)

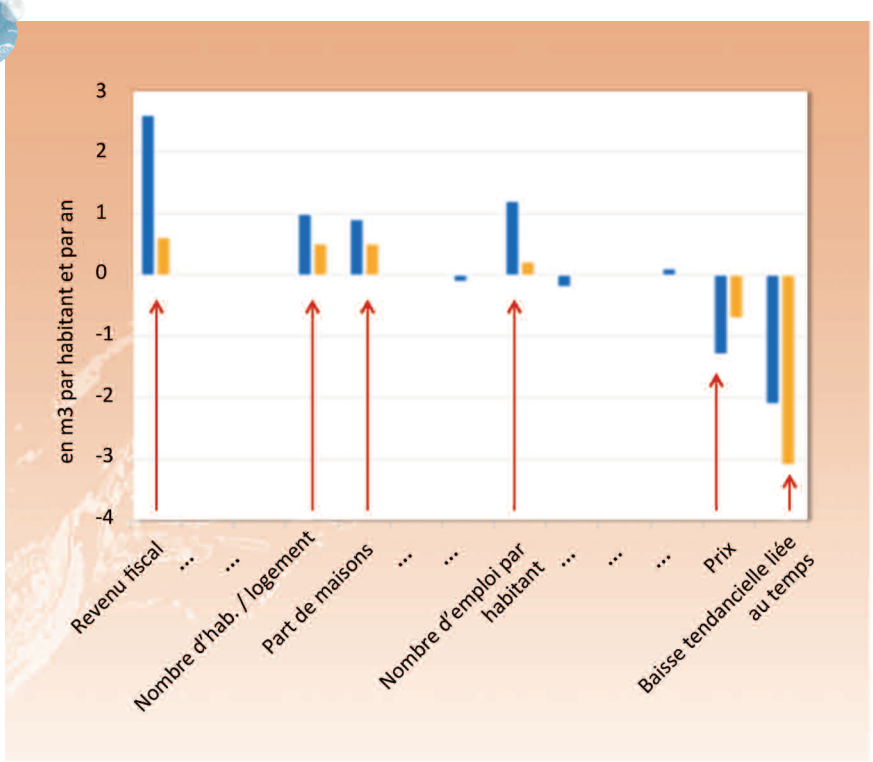
Capture d'écran de l'interface permettant de définir les paramètres de simulation sur l'outil Sicomore.

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 :

$Population_{2030}$= $Population_{2013}$ + (nombre de logements neufs X 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 m^3/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^3/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).

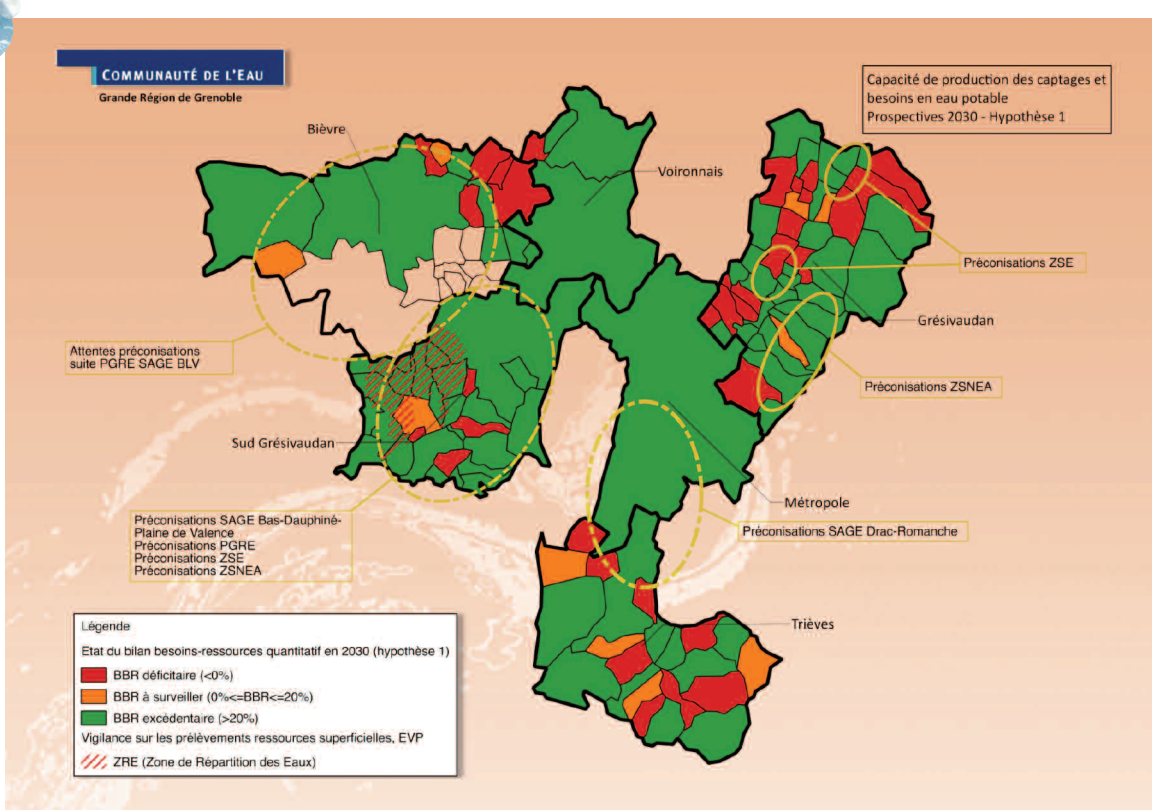
Tableau 6 *Ratios de consommation utilisés pour évaluer les besoins en eau potable des nouvelles ZAC selon les activités*

Typa 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)[6] 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

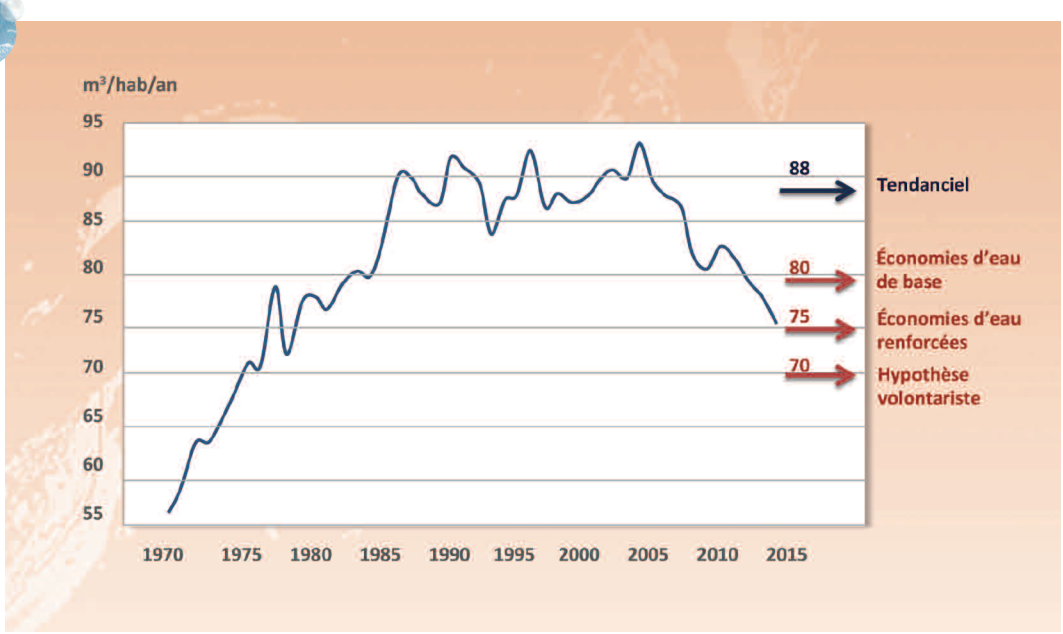
L'exemple de la Gironde présenté ci-dessous montre comment la prévision de la demande future en eau potable est utilisée par un EPTB pour évaluer un bilan ressources-besoins à l'échelle d'une ressource d'importance régionale : les nappes profondes de Gironde. La prévision est ici réalisée à une échelle 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 corrective (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^3/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^3/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^3/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^3/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^3 par an (contre 120 millions en 2012).

Figure 14



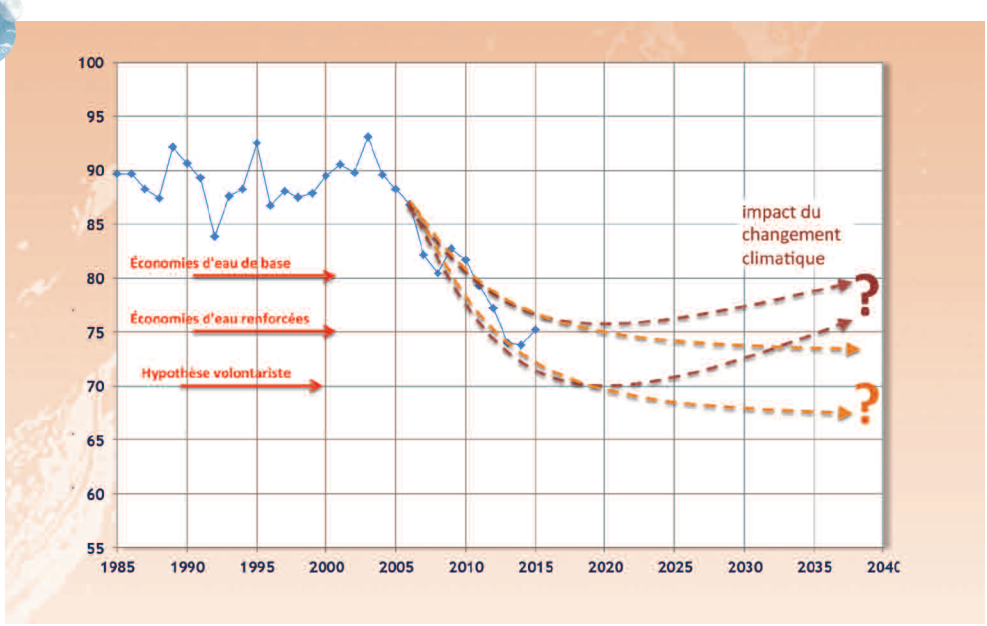
Évolution du prélèvement par habitant pour l'AEP (toutes ressources confondues) dans le Sage Gironde. Source : adapté de Smegreg 2015.

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-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 rafraichissement 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[7], 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 Prévision 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-économes (pommes de douches, aérateurs, chasses d'eau faible volume), l'attribution de subvention pour le remplacement des équipements peu efficients (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 Prévision 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.

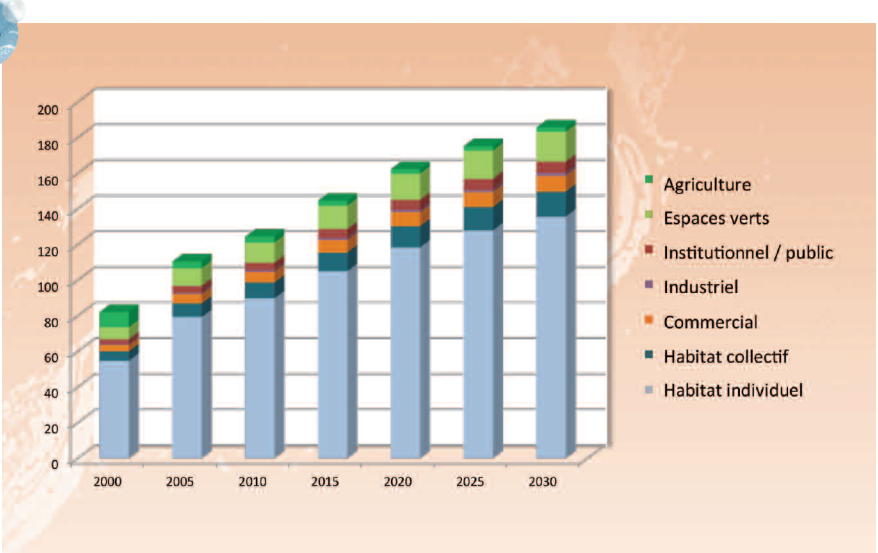
Pour évaluer les besoins futurs, EMWD s'appuie sur des études prospectives existantes qu'elle complète par ses propres analyses. Pour prévoir l'évolution démographique à long terme à l'échelle de l'ensemble de son territoire, EMWD utilise les prévisions de croissance démographique produites par l'Association 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 correspondants 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).

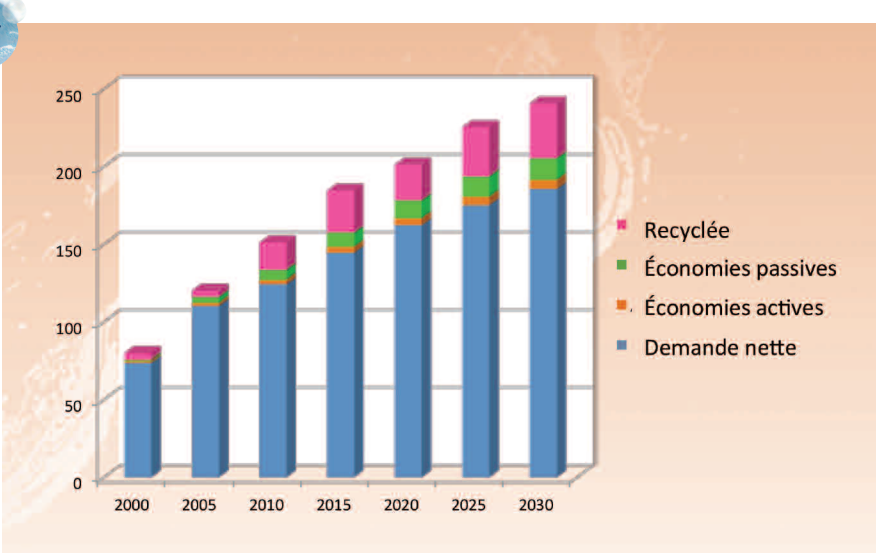
Globalement, la méthode de prévision développée par EMWD prend en compte de manière explicite de très nombreux facteurs : croissance démographique et économique, évolution des formes d'habitat, effet des changements de tarification, mise en place de programmes incitant à l'économie d'eau, baisse tendancielle 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 entrainé des coûts importants. La nécessite 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 mis 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[8].

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)

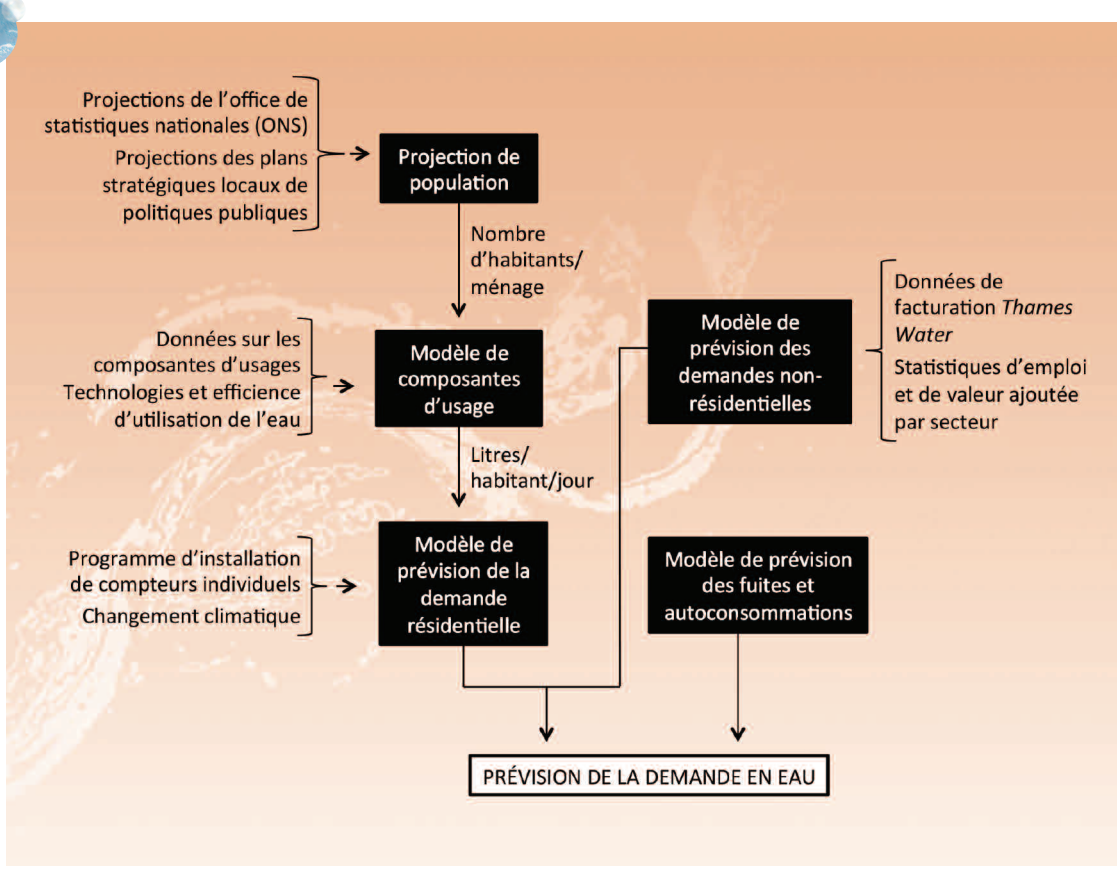
Thames Water est le plus gros service d'eau du Royaume-Uni. Il dessert plus de 13,5 millions de consommateurs à Londres et dans la vallée de la Tamise, fournissant environ 2,6 millions de m^3 d'eau potable chaque jour. La consommation des ménages constitue environ 53 % de la consommation totale, les 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*[9]. 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[10]. Le Tableau 7 décrit les composantes actuelles de la consommation résidentielle dans la vile 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 %
Total	139,78		171,06	

Source: Thames Water*, 2014.*

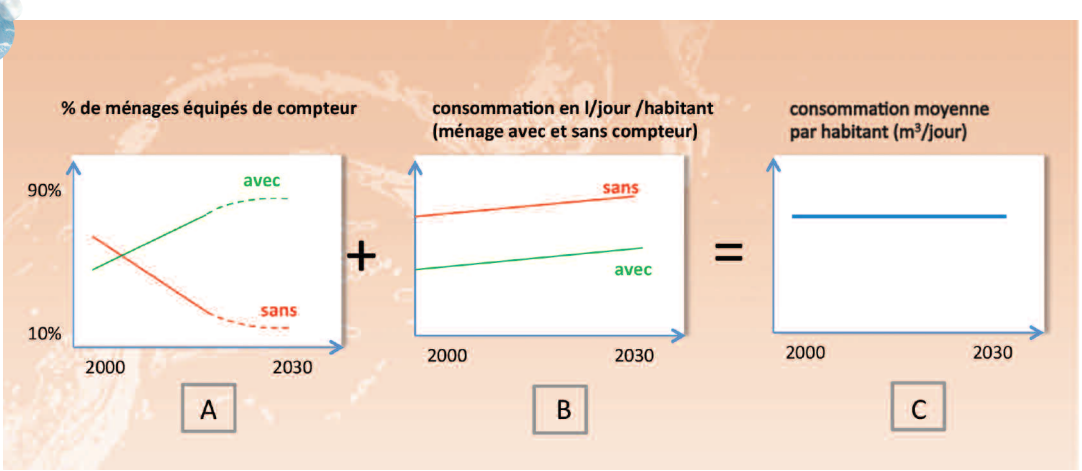
Le modèle de composantes d'usage est utilisé pour simuler l'impact de changements de taux de remplacement, d'adoption, de fréquence d'utilisation et de volumes consommés par utilisation de chaque composante. *In fine*, le modèle permet d'évaluer l'évolution annuelle de la consommation des ménages avec 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 délaisser 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

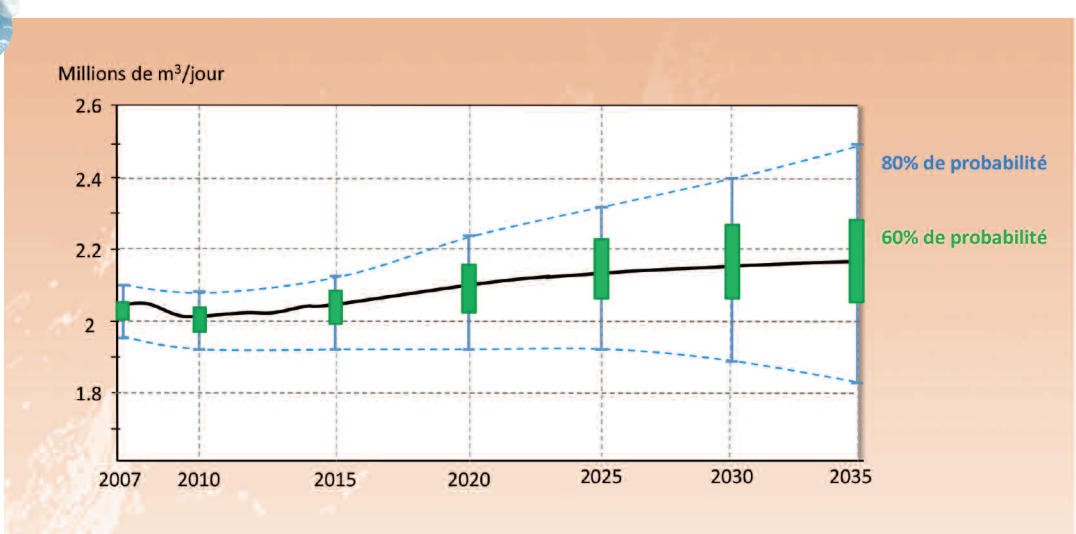
La prévision de la demande non-résidentielle (tertiaire et non tertiaire) est basée sur un modèle économétrique qui établit une relation statistique entre la consommation d'eau et un certain nombre de variables explicatives parmi les suivantes : emploi et valeur ajoutée industriels, efficience d'utilisation 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 m³ 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 m³ par jour et 10 % de chance qu'elle soit inférieure à 1,8 million de m³ 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.

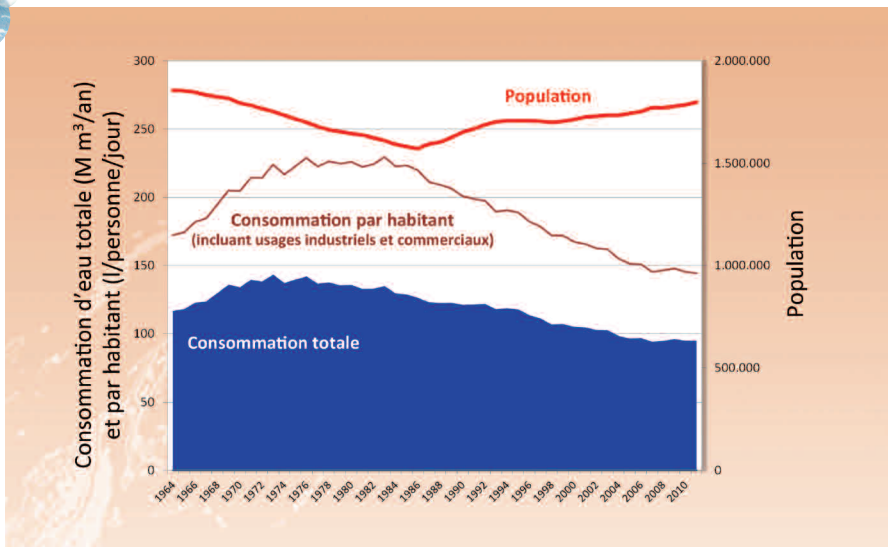
8 - Hambourg : intégration de la planification de l'urbanisme et de la prévision de la demande en eau potable

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*[11], et *l'Institut für sozial-ökologische Forschung* (ISOE , Institut de recherches sociales-écologiques[12]) 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

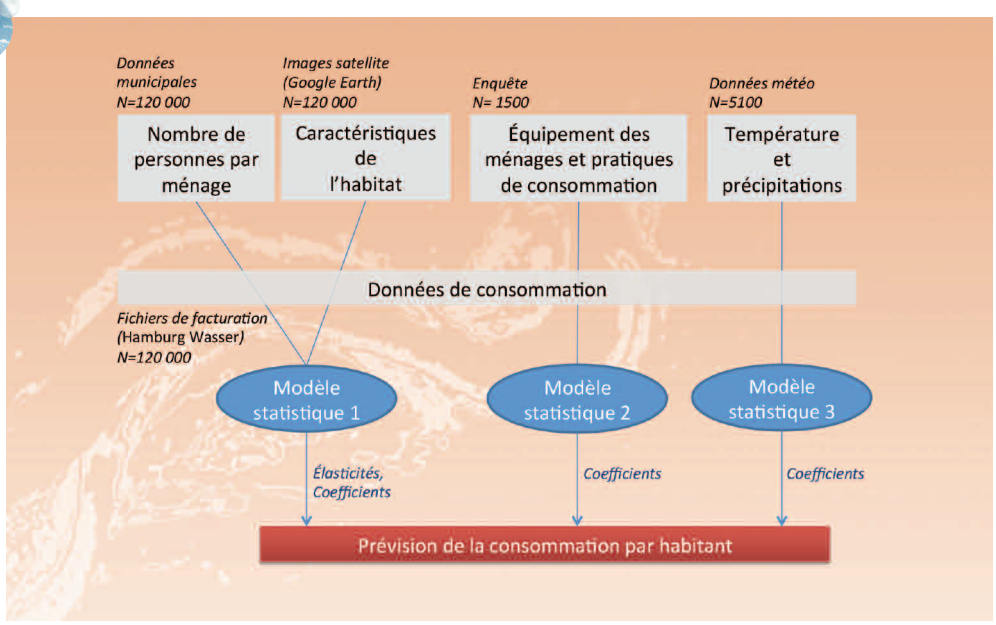
Les principales caractéristiques de la méthode de prévision développée sont les suivantes :

- 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-économes (toilettes, douche, robinets) consomment

en moyenne 8,1 m³/personne/an de moins que les autres. De même, les machines à laver performantes permettent de réduire la consommation d'eau de 1,4 m³/personne/an en moyenne. Enfin, les ménages ayant déclaré avoir adopté des comportements hydro-économes (utilisation durable de l'eau) ont une consommation plus faible de 2,7 m³/ 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).

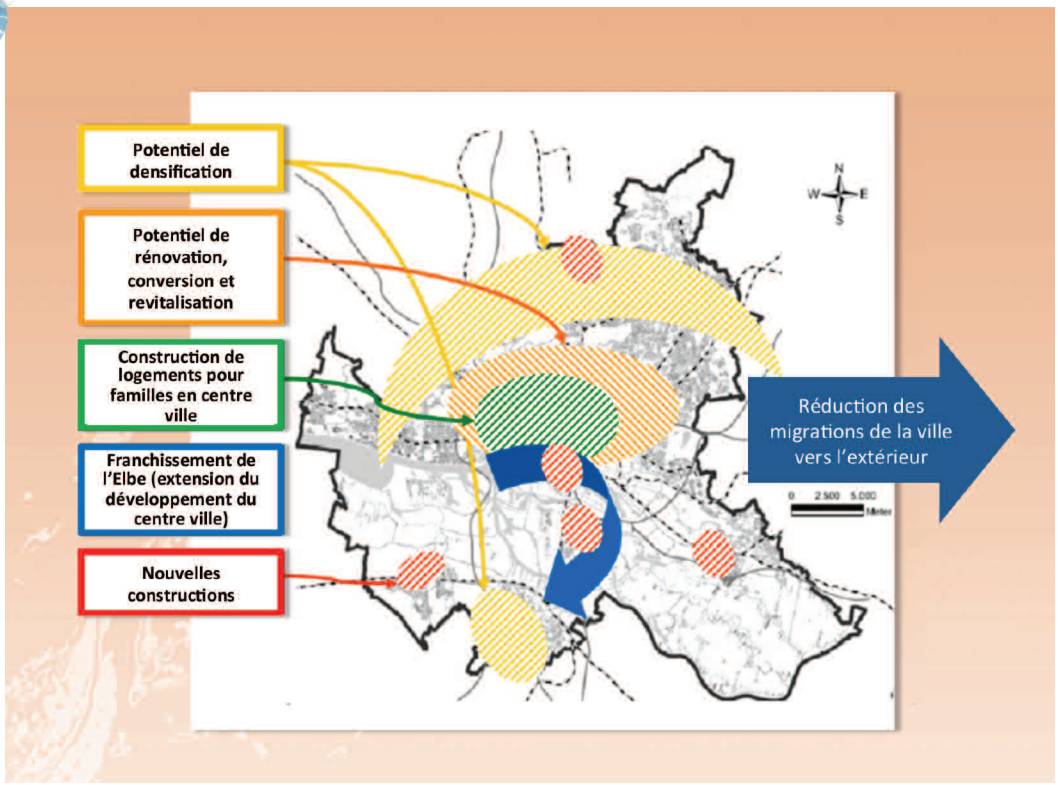
Tableau 8 *Facteurs déterminants identifiés par les analyses statistiques et quantification de leur effet*

Composante	Facteurs déterminants	Coefficients (/personne/an par unité de facteur)
Base de données géoréférencée	Nombre de personnes par ménage	-2,44 m³ (habitat individuel); -2,33 m³ (habitat collectif)
	Superficie du logement (m2/personne)	0,16 m³ (individuel); 0,11 m³ (collectif)
	Superficie non construite	0,45 m³ (individuel)
Données météorologiques	Évolution de la température maximale journalière entre 2031 et 2060	0,4 %
Enquêtes auprès des ménages	Adoption d'équipements hydro-économes	-8,1 m³
	Machines à laver hydro-économes	-1,4 m³ (scénario optimiste : -2,2 m³)
	Comportement économe en eau	-2,7 m³ (scénario optimiste uniquement)
	Évolution de la précipitation moyenne journalière entre 2031 et 2060	-0,01 %

8.4 Prévision 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-économes 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.

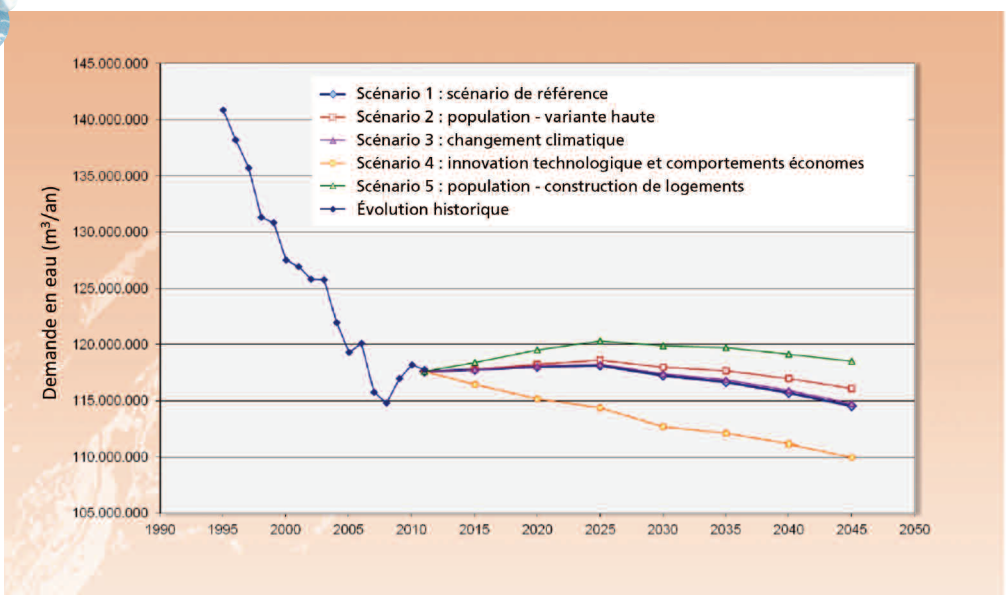
ISOE a estimé des coefficients d'utilisation d'eau par employé pour différents sous-secteurs (agriculture, banque et assurance, construction, tourisme, santé, etc.) à partir des données de compteurs d'eau disponibles, complétées par des interviews auprès d'experts et d'abonnés commerciaux. L'évolution 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, PROGNOS, 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-économes 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 décroitre 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-économes, 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 efficientes 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).

Tableau 9 *Valeurs d'élasticité de la demande suggérées par défaut*

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-économes, modification des comportements, etc.).

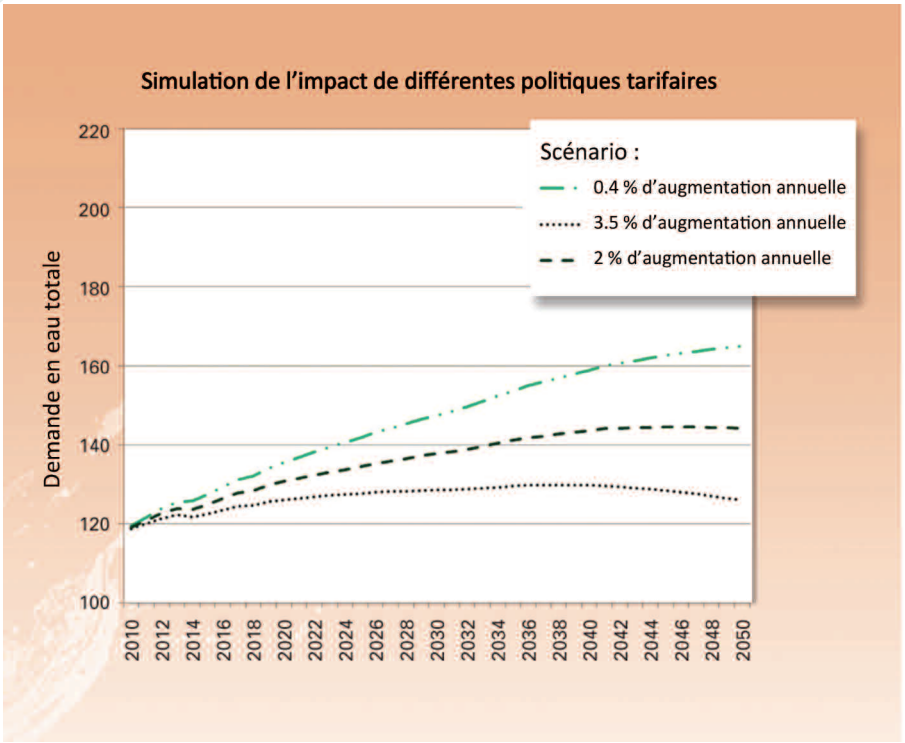
■ Prévisions déterministes ou avec prise en compte de l'incertitude

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).*