

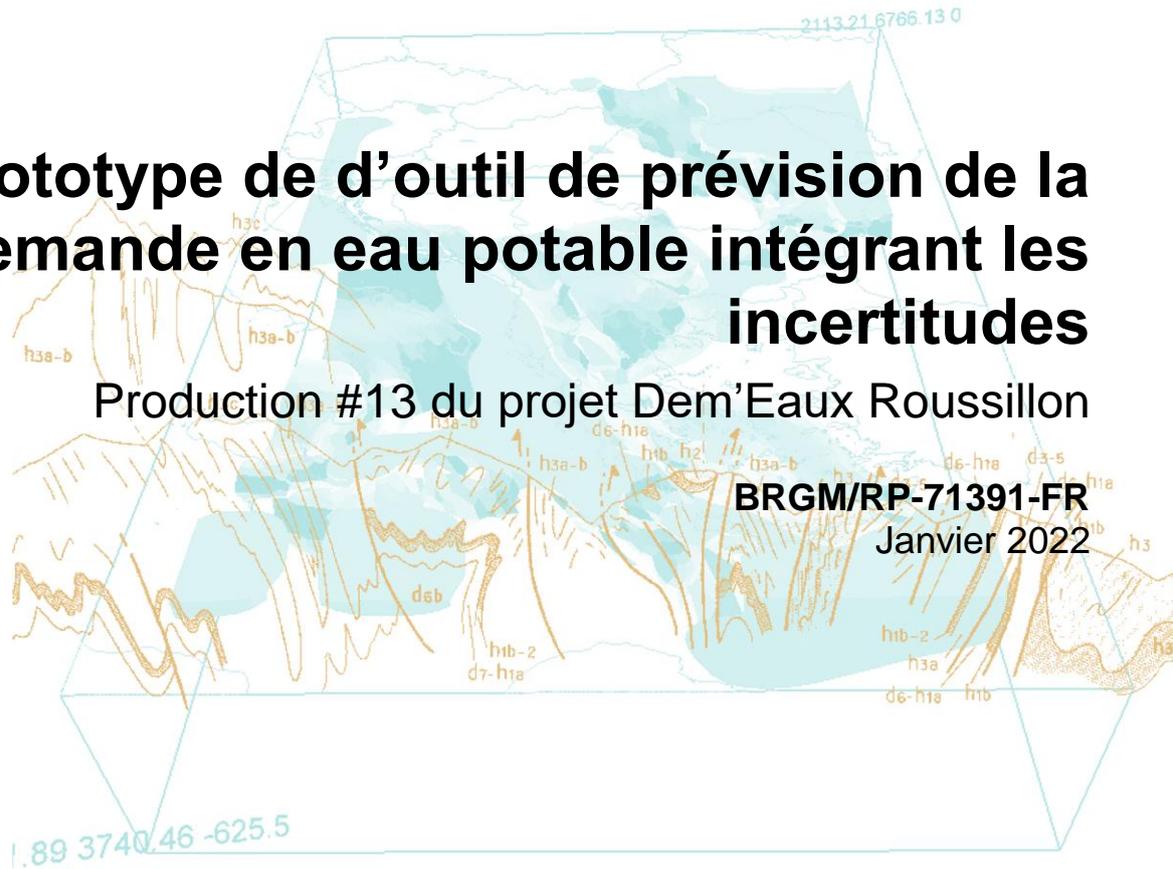


Prototype de d'outil de prévision de la demande en eau potable intégrant les incertitudes

Production #13 du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-71391-FR

Janvier 2022



Prototype d'outil de prévision de la demande en eau potable intégrant les incertitudes

Production #13 du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-71391-FR
Janvier 2022

Réalisée avec le concours financier de l'Etat et de la Région Occitanie (dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020), du FEDER, de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, de Perpignan Méditerranée Métropole et de Conseil Départemental des Pyrénées Orientales



A. Soullignac

avec la collaboration de **J. Collignan** et **N. Neverre**

Vérificateur :

Nom : Jean-Daniel Rinaudo

Fonction : Economiste

Date : 01/12/2021

Signature :

Approbateur :

Nom : Yvan Caballero

Fonction : Hydrogéologue

Date : 26/01/2022

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Préviation, demande, eau potable, incertitude, Roussillon.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Souignac A., J Collignan et Neverre N. (2022) – Prototype d’outil de prévision de la demande en eau potable intégrant les incertitudes. Production #13 du projet Dem’Eaux Roussillon, BRGM/RP-71391-FR, 29 p., 9 fig., 6 tab.

Synthèse

L'évolution de la demande en eau potable est déterminée par de nombreux paramètres dont l'évolution à long terme est difficilement prévisible. Les principales sources d'incertitudes sont la croissance démographique, le type de nouveaux logements construits pour y répondre, l'évolution des habitudes de consommation en réponse à l'augmentation du prix de l'eau ou du réchauffement climatique.

Ce rapport présente une méthode d'évaluation probabiliste de la demande en eau potable qui permet de quantifier l'incertitude. La méthode est appliquée à la Plaine du Roussillon à travers le développement d'un outil de simulation avec le logiciel Excel qui permet d'estimer la demande domestique à l'horizon 2050. Une application numérique est présentée à titre d'illustration. Un tutoriel vidéo est proposé aux utilisateurs potentiels pour prendre en main l'outil.

Table des matières

1. Introduction	7
2. Présentation de l'approche probabiliste.....	8
A) INCERTITUDE ET DECISION	8
B) LES FACTEURS SOURCE D'INCERTITUDE.....	9
C) LA QUANTIFICATION DE L'INCERTITUDE	10
3. Présentation du prototype Roussillon	12
A) VUE D'ENSEMBLE DE LA METHODE DE CALCUL DE LA DEMANDE EN EAU POTABLE	12
B) EQUATIONS DU MODELE.....	14
3.1.1. Vue d'ensemble	14
3.1.2. Estimation du ratio de consommation domestique par habitant	14
3.1.3. Calibration des fonctions d'estimation de la demande domestique par habitant pour chaque commune	15
C) DONNEES D'ENTREE DU MODELE	17
D) HYPOTHESES D'EVOLUTION PROBABILISEES.....	19
E) ORGANISATION DU PROTOTYPE EXCEL ET LIEN ENTRE LES FEUILLES DU MODELE.....	20
3.1.4. Présentation générale.....	20
3.1.5. Feuille « Calculs probabilités ».....	21
3.1.6. Feuille « Sorties de modèle ».....	21
3.1.7. Feuille « Calculs_interface »	21
3.1.8. Interface_Sorties.....	22
F) RESULTATS.....	23
4. Test du prototype	25
5. Conclusion.....	27
6. Bibliographie	29

Liste des figures

Figure 1 : Profil d'incertitude de la prévision de la demande en eau pour Londres (adapté de Rinaudo et Neverre, 2019).....	8
Figure 2 : Principes de la transformation des hypothèses moyennes et de leur plage d'incertitude en distributions de probabilité (Exemple avec des valeurs fictives)	10
Figure 3 : Exemple de représentation des résultats sous une forme probabilisée après le calcul de mille itérations du modèle.	11
Figure 4: Organisation du calcul de la demande domestique en eau potable.	13
Figure 5 : Interface de sélection de la zone géographique pour la consultation des résultats. ..	22
Figure 6 : Exemple de résultat généré automatiquement présentés sous la forme de texte à trou.	22
Figure 7 : Exemple de résultat généré automatiquement et présésenté sous forme graphique.	23
Figure 8 : estimation probabiliste de la demande en eau potable à l'horizon 2050 pour la plaine du Roussillon.....	24
Figure 9 : Tutoriel vidéo facilitant la prise en main de l'outil Excel développé.	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Facteurs d'évolution de la demande en eau potable dans le Roussillon et incertitude associée.	9
Tableau 2 : Exemple de valeurs tirées aléatoirement pour la réalisation de simulations permettant un quantification de l'incertitude.....	10
Tableau 3 : Paramètres du modèle	15
Tableau 4 : Données utilisées et sources des données utilisées pour la caractérisation de l'état initial de la demande à l'échelle de chaque commune.	18
Tableau 6 : Hypothèses de projection, sources des hypothèses, et marges d'incertitudes utilisées pour la projection de la demande en eau	19
Tableau 7 : évolution de la demande entre 2013 et 2050 selon les scénarios du schéma de sécurisation et avec l'approche probabiliste. Les valeurs min, max et moyenne décrivent la variabilité des résultats au sein des communes.....	24

1. Introduction

La prévision de la demande en eau est théoriquement une composante importante de tout schéma directeur d'alimentation en eau potable et des études bilan ressources-besoin réalisées dans le cadre des SAGE. Cette prévision des besoins futurs et leur comparaison aux ressources disponibles permet de mettre en lumière et de quantifier les situations de déséquilibre. Elle sert de base à la construction d'un programme d'actions visant à rétablir l'équilibre, par la mobilisation de nouvelles ressources et/ou par des mesures de gestion de la demande (économie d'eau).

La prévision de la demande est un exercice difficile car il nécessite d'anticiper l'évolution future de nombreux paramètres caractérisés par une grande incertitude : croissance démographique, type d'habitats, évolution de la performance des équipements électroménagers, changement des habitudes de consommation (piscines, jacuzzis), réponse des ménages à la tarification, évolution des activités économiques consommatrices d'eau, impact du changement climatique sur les usages extérieurs, etc. Le cumul de ces incertitudes inhérentes au calcul de la demande en eau future complique la construction et l'analyse de scénarios techniques et financiers et, in fine, la prise de décision notamment relative au dimensionnement d'infrastructures.

Dans leurs pratiques actuelles, les gestionnaires appréhendent le plus souvent cette incertitude selon une approche « sécuritaire » consistant à utiliser les résultats des scénarios maximalistes – souvent construits en combinant toutes les hypothèses allant dans le sens d'une hausse de la demande. Cela conduit généralement au surdimensionnement des équipements, occasionnant des coûts de production (et un prix de l'eau) élevés, mais permettant d'éviter tout risque de pénurie (véritable hantise des techniciens).

Ce constat est à l'origine du travail présenté dans ce rapport, qui présente une méthode permettant de quantifier et de communiquer l'incertitude relative à l'évolution future de la demande en eau potable. La méthode propose d'associer une probabilité à chaque valeur possible de la demande en eau future, permettant au gestionnaire d'évaluer les risques auxquels il s'expose (en termes de probabilité de défaillance) lorsqu'il prend une décision relative au dimensionnement.

Ce rapport présente l'approche méthodologique et le prototype appliqué à la plaine du Roussillon, ainsi que la démarche collaborative mise en œuvre pour tester la pertinence de l'outil.

2. Présentation de l'approche probabiliste

A) INCERTITUDE ET DECISION

L'approche probabiliste de la prévision de la demande en eau propose **d'expliciter l'incertitude** afin que les décideurs choisissent une stratégie en étant conscients des risques qu'ils prennent. Deux types de risques peuvent être distingués :

- Si le décideur retient des hypothèses minimalistes, il risque de sous-estimer la demande future ; les actions qu'il décidera de mettre en place (dont la construction d'infrastructure) seront sous-dimensionnées et il en résultera une situation de défaillance où le système ne pourra pas répondre à la demande ;
- S'il retient au contraire des hypothèses maximalistes, il risque de surestimer la demande, de sur-dimensionner les investissements et d'aboutir à une situation de déficit financier, les ventes d'eau ne permettant pas de couvrir les coûts de production.

L'approche probabiliste remet **l'incertitude au cœur de la décision**, en associant une probabilité d'erreur aux choix que le décideur peut réaliser. La figure ci-dessous illustre le type d'information mise à la disposition du décideur (cas de Thames Water à Londres) : elle indique que la demande future a 6 chances sur 10 de se situer entre 2.05 et 2.3 millions de m³ par jour à l'horizon 2035 (barre verte, 60%). Si le décideur dimensionne le système pour cette plage de valeurs, il prend néanmoins le risque de le sous-dimensionner (2 chances sur 10) ou de le sur-dimensionner (2 chances sur 10). Si le décideur est particulièrement averse au risque de pénurie d'eau, il pourra choisir une capacité de 2.5 millions de m³ par jour, qui lui garantit de pouvoir répondre à la demande avec 8 chances sur 10, mais pour un coût investissement élevé. Les informations fournies permettent de prendre une décision qui s'apparente à un choix d'assurance, dans lequel on arbitre entre une probabilité d'accident et le coût de la prime d'assurance.

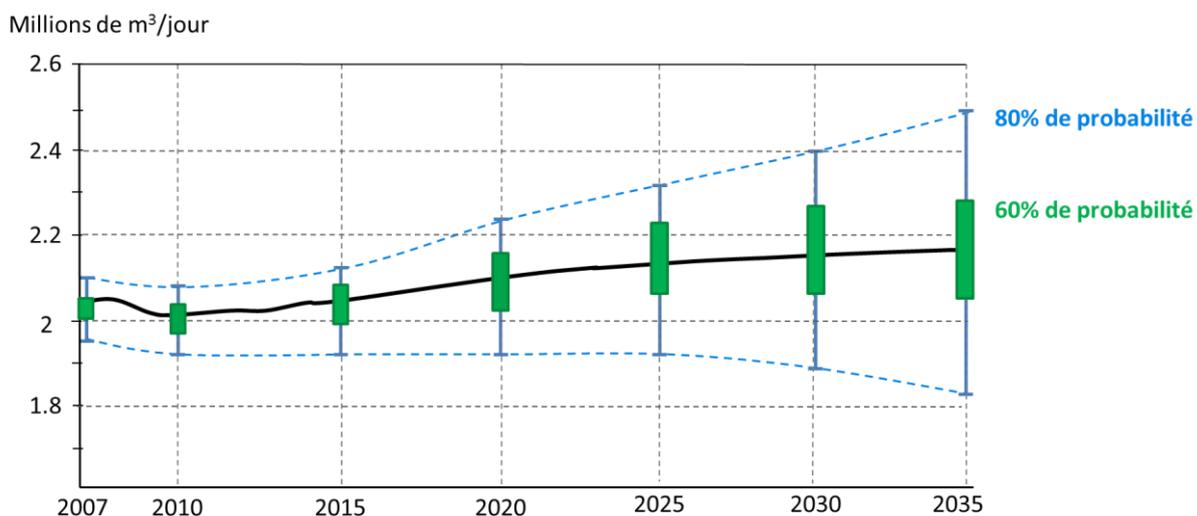


Figure 1 : Profil d'incertitude de la prévision de la demande en eau pour Londres (adapté de Rinaudo et Neverre, 2019).

B) LES FACTEURS SOURCE D'INCERTITUDE

Dans le cas du Roussillon, les principales sources d'incertitudes auxquelles sont confrontées les analystes qui calculent l'évolution future de la demande en eau sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Facteurs d'évolution de la demande en eau potable dans le Roussillon et incertitude associée.

Facteur	Effet sur la demande	Source d'incertitude
Croissance démographique	Hausse de la consommation totale	Solde migratoire (lui-même impacté par attractivité économique du territoire, télétravail)
Baisse de la taille des ménages	Hausse de la consommation par habitant	Type de population arrivant dans le département (retraités, familles ?)
Baisse de la part des maisons dans les nouveaux logements construits	Ralentissement de la hausse des usages liés aux jardins et piscines	Développement d'une offre de logements collectifs de qualité répondant aux attentes des ménages ? PLU ?
Évolution de la fréquentation touristique (totale et distribution dans l'année)	Modification de la répartition dans le temps (allongement des ailes de saisons)	Modification du tourisme post-covid, télétravail
Stagnation des revenus des ménages	La consommation d'eau potable est statistiquement (positivement) corrélée aux revenus	Situation économique générale
Hausse du prix de l'eau	La consommation est statistiquement (négativement) corrélée au prix	Évolution du coût de renouvellement des réseaux se répercutant sur le prix de l'eau ? coût de nouvelles ressources à mobiliser ?
Dérèglement climatique	Hausse de la consommation entraînée par une hausse des température (douches, piscines) et de l'évapo-transpiration (jardins)	Prévision climatiques ? impact sur les comportements individuels ?
Évolution des rendements des réseaux	Détermine le volume des pertes, donc les besoins de production à rajouter à la demande réelle des usagers	Financements prévus pour le renouvellement des réseaux, exigences réglementaires, capacité technique à atteindre les objectifs (notamment en zone rurale)

C) LA QUANTIFICATION DE L'INCERTITUDE

La quantification de l'incertitude est réalisée en deux étapes.

La première consiste à appréhender l'incertitude relative à chacun de ces facteurs qui détermine l'évolution de la demande, souvent sur la base d'une consultation d'expert. On recueille alors des **probabilités subjectives**, l'expert proposant une **valeur probable attendue** (que l'on considèrera comme la moyenne de la distribution statistique) et des **deux valeurs extrêmes plausibles** (qui définiront un intervalle de confiance à 90%). Les experts peuvent préciser une hypothèse de loi de distribution (normale, log normale, uniforme). Dans la Figure 2 par exemple, le paramètre de croissance de la population est décrit par une distribution normale centrée sur 15% et encadrée par 10 et 20% (intervalle de confiance 90%). Cet exercice peut-être répété avec différents experts afin de construire un tableau de valeur tel que celui schématiquement présenté dans la Figure 2.

Hypothèses incertaines de projection 2015 → 2030	Min	Moy	Max	
Croissance de la population	15%	20%	25%	→ 
Nombre de personnes par ménage	1,97	2	2,03	→ 
Part de maisons	30%	35%	40%	→ 
Evolution des revenus	12,0%	14,0%	16,0%	→ 
Evolution du Prix de l'eau	18%	28%	38%	→ 
Climat (Nbr. jours temps moy > 28°C)	4	5	6	→ 
Croissance fréquentation touristique	6%	7%	8%	→ 

Figure 2 : Principes de la transformation des hypothèses moyennes et de leur plage d'incertitude en distributions de probabilité (Exemple avec des valeurs fictives)

Une fois ces hypothèses stabilisées, la **seconde étape** consiste à effectuer un grand nombre de **tirages aléatoires** de la valeur prise par chaque paramètre, en respectant la distribution précisée par les experts. On constitue ainsi plusieurs centaines, voire milliers de scénarios, définis par un vecteur de 7 valeurs (dans l'exemple du Tableau 2). Chaque « jeu d'hypothèses » est ensuite utilisé pour calculer les besoins en eau. Cette approche est connue sous le nom de « **simulation Monte Carlo** ».

Tirage	Croissance pop.	Nb pers / ménage	% maisons	Revenus	Prix	Climat	Tourisme
1	17%	1.985	38%	14.5%	22%	4.2	7%
2	15.2%	2.02	34%	15.2%	27%	5.8	6.1%
...							

Tableau 2 : Exemple de valeurs tirées aléatoirement pour la réalisation de simulations permettant un quantification de l'incertitude.

Le résultat de chacune de ces milliers de simulations est considéré comme équiprobable. Une courbe représentant la distribution statistique des prévisions de demande peut alors être construite.

La Figure 3 illustre le type de résultats obtenus et leur utilisation possible en aide à la décision. La figure montre ainsi que, compte tenu de l'incertitude relative aux 7 facteurs et avec les hypothèses fixées par les experts sur la variation de ces facteurs :

- il y a 95% des chances que la demande en eau soit inférieure à 28.9 millions de m³ ;
- il y a 85% des chances que la demande soit inférieure à 27.6 millions de m³
- il y a 1% des chances qu'elle dépasse 31 millions de m³
- qu'elle devrait être en moyenne de 25.6 millions de m³

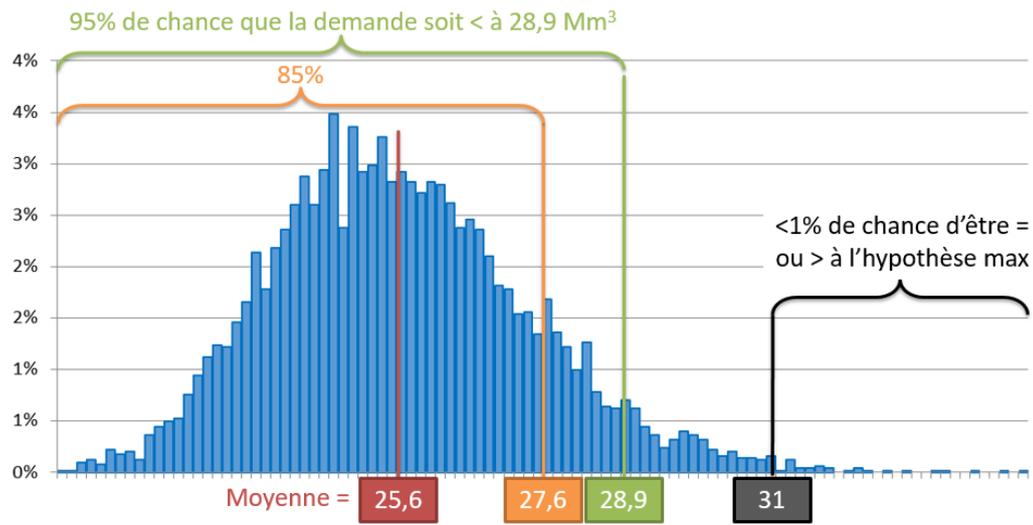


Figure 3 : Exemple de représentation des résultats sous une forme probabilisée après le calcul de mille itérations du modèle.

3. Présentation du prototype Roussillon

Cette section présente sommairement le prototype qui a été développé sous Excel pour simuler de manière probabiliste l'évolution future de la demande en eau potable des collectivités de la plaine du Roussillon.

A) VUE D'ENSEMBLE DE LA METHODE DE CALCUL DE LA DEMANDE EN EAU POTABLE

Le calcul de la demande est effectué en **décomposant les consommations** associées à divers types d'usagers. La décomposition retenue est décrite dans la Figure 4. Cette figure indique les données utilisées (boîtes ovales blanches), les paramètres incertains qui font l'objet d'un tirage aléatoire (orange) et les coefficients dont la valeur est fixée (étoiles rouges) sur la base de références scientifiques.

Le calcul de la demande est effectué en deux grandes étapes. La procédure de calcul se décompose comme suit (les numéros correspondent à ceux de la Figure 4) :

- La première étape estime la population future et sa répartition par type de logements (maisons ou appartements). À partir des données de population actuelle, de l'hypothèse relative au taux de croissance et de l'hypothèse de nombre de personnes par ménage, le modèle calcule le nombre de logements nécessaires à l'horizon de la prévision ① puis, tenant compte du stock de logement actuel, le nombre de logements à construire ②, de type maison ou appartement ③.
- La seconde estime le ratio futur de consommation unitaire (en m³ par habitant) pour les deux types de logements. Ce ratio est calculé sur la base des données historiques par commune ⑤ ; il est ajusté en fonction de l'hypothèse d'évolution du prix ⑥, de l'évolution anticipée des revenus des ménages ⑦ et de l'évolution du climat (nombre de jours chauds) ⑧. Le calcul final consiste à multiplier, pour chaque commune, le nombre de personnes résidant en maison ou appartement par le ratio de consommation unitaire futur.

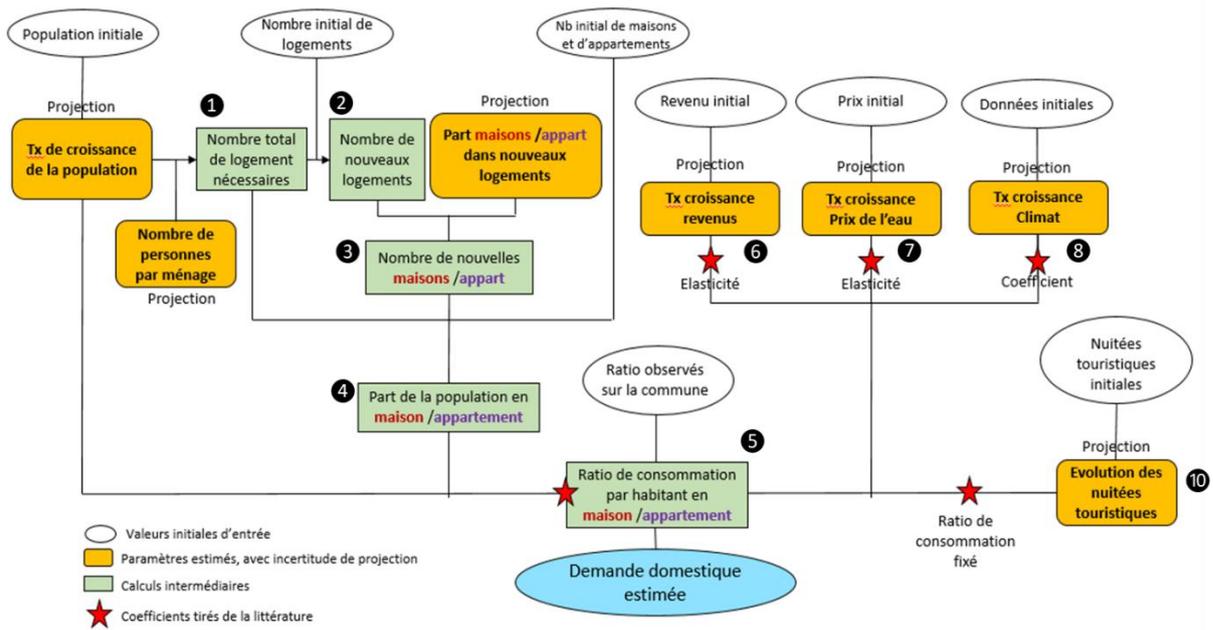


Figure 4: Organisation du calcul de la demande domestique en eau potable.

À noter que le prototype développé ne simule que l'évolution des besoins en eau des usagers domestiques et touristiques. Les besoins liés aux activités municipales, économiques, commerciales et administratives ainsi que les volumes de services, sont considérés comme des valeurs constantes égales aux consommations historiques (Artelia, 2017). Cette simplification, qui ne rend pas compte de la réalité, a été réalisée pour disposer rapidement d'un prototype opérationnel (la question pourra être prise en compte dans une version ultérieure).

B) EQUATIONS DU MODELE

3.1.1. Vue d'ensemble

Les équations qui suivent explicitent la manière dont le calcul est effectué. La formule de calcul de la demande totale en eau est la suivante.

Eq. 1 :

$$Demande_{totale} = Demande_{domestique} + Demande_{touristique} + Demande_{municipale} + Volume\ de\ services\ et\ sans\ comptages + Demande_{gros\ consommateurs}$$

La partie la plus complexe du modèle de prévision concerne la prévision de la demande domestique.

La demande domestique est calculée en multipliant les ratio de consommation domestique par habitant et par type de logement ($demande_{hab\ maison}$ et $demande_{hab\ appart}$) par le nombre total d'habitants dans ces types de logements respectifs (Eq. 2).

Eq. 2 :

$$Demande_{domestique} = Population * (demande_{hab\ maison} * part_{maison} + demande_{hab\ appart} * part_{appart})$$

Avec

$part_{maison}$: part des maisons dans le parc de logements

$part_{appart} = (1 - part_{maison})$: part des appartements dans le parc de logements

3.1.2. Estimation du ratio de consommation domestique par habitant

On se base sur une méthodologie de prévision de la demande de type modèle statistique multivarié (Rinaudo et Neverre, 2019). Le ratio de consommation par habitant ($demande_{hab}$) est défini comme une fonction de différents facteurs déterminants de la demande (prix, revenu, climat). Une fonction spécifique est définie pour chaque type de logement (Eq. 3).

En l'absence d'une étude économétrique spécifique réalisée sur le territoire du Roussillon, on réutilise les résultats d'une étude économétrique réalisée sur un autre territoire, la zone ouest-Hérault, que l'on suppose similaire au territoire du Roussillon. Ainsi, les valeurs d'élasticités et coefficients ($elasticite_{prix\ eau}$, $elasticite_{revenu}$, $coeff_{climat}$) utilisées ici (Tableau 3) sont celles ayant été estimées sur la zone ouest-Hérault (Neverre et al., 2010 ; Rinaudo et al., 2012).

La forme fonctionnelle est de type Log-Log pour l'effet prix et l'effet revenu et de type Log-Linéaire pour les autres facteurs déterminants, ce qui correspond à la forme fonctionnelle pour laquelle les coefficients avaient été évalués statistiquement (Neverre et al., 2010 ; Rinaudo et al., 2012), et qui est classiquement utilisée dans la littérature.

Eq. 3 :

$$\begin{aligned} \ln(\text{demande}_{hab_{maison}}) &= \text{elasticite}_{prix_{eau_{maison}}} * \ln(\text{prix}_{eau}) + \text{elasticite}_{revenu_{maison}} * \ln(\text{revenu}) \\ &+ \text{coeff}_{climat_{maison}} * climat + \text{constante}_{maison} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(\text{demande}_{hab_{appart}}) &= \text{elasticite}_{prix_{eau_{appart}}} * \ln(\text{prix}_{eau}) + \text{elasticite}_{revenu_{appart}} * \ln(\text{revenu}) \\ &+ \text{coeff}_{climat_{appart}} * climat + \text{constante}_{appart} \end{aligned}$$

Avec :

 prix_{eau} = prix moyen du m³ d'eau pour 120 m³ revenu = revenu moyen / ménage climat = nombre de jours où la température a dépassé 28°C entre juin et septembre \ln = logarithme népérien

L'élasticité traduit la variation relative de la demande par rapport à la variation du prix de l'eau (élasticité prix) ou à la variation de revenus des ménages (élasticité revenu). Alors que l'élasticité prix est négative (si le prix augmente la demande baisse), l'élasticité revenu est positive (la demande augmente avec l'augmentation du revenu).

Tableau 3 : Paramètres du modèle

Paramètre	Maisons	Appartements	Commentaire et source
Élasticité prix	-0.3	-0.15	En moyenne -0.20, mais différencié entre maisons et appartements
Élasticité revenu	0.4	0.4	Neverre et al., 2010 ; Rinaudo et al., 2012
Coefficient Climat	0.12	0.12	

3.1.3. Calibration des fonctions d'estimation de la demande domestique par habitant pour chaque commune

Les constantes des formules d'estimation de la demande unitaire par type de logement sont calibrées pour chaque commune de la zone du Roussillon (Eq. 6 et Eq. 7) en se basant sur la situation actuelle, à partir des données de demande domestique moyennes actuelles estimées à l'échelle de chaque commune, et en faisant l'hypothèse d'un ratio de 1,77 entre la consommation moyenne des maisons et celle des appartements.

En analysant les fichiers de facturation du territoire, il serait possible de disposer pour chaque commune d'un ratio de consommation actuel différencié selon les maisons ou les appartements. En l'absence d'une telle donnée, un ratio différencié entre maisons et appartements est recalculé en utilisant (voir Tableau 4 également) :

- Le ratio de consommation moyenne actuel par logement (maisons et appartement confondus) calculé sur base de la demande du schéma directeur de sécurisation de l'approvisionnement en eau sur la plaine du Roussillon ;
- L'écart moyen de consommation entre les maisons et les appartements issu de l'étude « Analyse de la relation entre le type d'urbanisation et la consommation en eau des ménages, Le cas de l'agglomération de Perpignan » (Desprats, Rinaudo, and Montginoul 2012) ;
- La répartition actuelle du nombre de maisons et d'appartements sur chaque commune (données INSEE population / logement, cf. Tableau 4).

L'analyse de la relation entre le type d'urbanisation et la consommation en eau des ménages sur l'agglomération de Perpignan (Desprats et al. 2012) montre qu'en moyenne, la consommation est de 101 m³ par ménage et par an pour les maisons et 57 m³ par ménage par an pour les appartements, soit un rapport d'environ 1,77 entre les consommations des maisons et celles des appartements.

Un ratio de consommation actuel des maisons et des appartements a donc été estimé pour chaque commune en appliquant un rapport de 1,77 entre les deux ratios et en utilisant les données de consommations moyenne par logements et de proportion entre maison et appartement. Les ratios de consommation par ménage et par type de logement ainsi obtenus sont ensuite ramenés par habitants (en considérant le nombre moyen de personnes par ménage en 2015) de la manière suivante :

Eq. 4

$$demande_{maison_{calc}} = demande_{logement} / (part_{maison} + part_{appart} / 1,77)$$

Avec

$demande_{maison_{calc}}$ = ratio de consommation des maisons recalculé pour respecter le ratio de 1,77 entre les consommations des maisons et des appartements.

$demande_{logement}$ = Demande moyenne par logement tel qu'observé avec les données historiques exprimé en m³.

Eq. 5

$$demande_{appart_{calc}} = demande_{maison_{calc}} / 1,77$$

Avec

$demande_{appart_{calc}}$ = ratio de consommation des appartements recalculé pour respecter le ratio de 1,77 entre les consommations des maisons et des appartements

Une fois ces variables de ratio de consommation individuelle par maison (variable : $demande_{maison_{init}}$) et de consommation individuelle par appartement (variable : $demande_{appart_{init}}$) recalculés, la constante de la formule de calcul peut être estimée.

Eq. 6

$$\begin{aligned} constante_{maison} &= - elasticite_{prix_{eau}_{maison}} * \ln(\overline{prix_{eau}}) - elasticite_{revenu_{maison}} * \ln(\overline{revenu}) \\ &\quad - coeff_{climat_{maison}} * climat + \ln(demande_{maison_{calc}}) \end{aligned}$$

Eq 7.

$$\begin{aligned} constante_{appart} &= - elasticite_{prix_{eau}_{appart}} * \ln(\overline{prix_{eau}}) - elasticite_{revenu_{appart}} * \ln(\overline{revenu}) \\ &\quad - coeff_{climat_{appart}} * climat + \ln(demande_{appart_{calc}}) \end{aligned}$$

C) DONNEES D'ENTREE DU MODELE

Les données caractérisant la situation initiale ont été collectées à l'échelle communale pour tous les paramètres listés dans le Tableau 4. Pour chacun d'entre eux, l'origine de la donnée est précisée.

Le schéma de sécurisation des besoins en eau potable de la plaine du Roussillon aux horizons 2017 – 2030 – 2050 (Artelia 2017) est le rapport de référence pour l'ensemble des gestionnaires des services d'eau. Il a été demandé à l'équipe d'étude d'utiliser les données contenues dans ce rapport pour caler la situation initiale (2015) et identifier les principales hypothèses de projections. Par commodité, dans le présent document, le rapport est mentionné comme étant le « schéma de sécurisation ».

Dans le prototype, à chaque commune est associée un numéro INSEE, une collectivité, un service d'eau, un SCoT, une ressource et un secteur homogène de gestion etc., ce qui permet de réaliser des regroupements pour la consultation des résultats.

Il est supposé que les coefficients utilisés dans la formule de calcul de la demande sont fixes sur la période de projection. Il est néanmoins possible de choisir des hypothèses de projection différentes pour chacune des communes.

Le modèle calcule ensuite les différentes variables de la formule pour l'horizon projeté pour enfin estimer la demande domestique en eau potable à l'horizon projeté. Ces variables calculées ainsi que la demande résultante sont présentées sous la forme d'un ensemble de tirages aléatoires dans une distribution estimée.

Données d'entrée	Source
Population de la commune en 2015	AURCA, étude basée sur les connexions au réseau de téléphonie mobile. Quand la données est indisponible, utilisation de la donnée INSEE
Revenu moyen des ménages	Données du ministère des finances et de l'INSEE
Nombre de maisons occupées en résidence principale	Donnée INSEE
Nombre d'appartement en résidence principale	Données INSEE
Prix de l'eau	Prix pour 1m ³ d'eau au-delà des 120m ³ . Calculé à partir des données des RPQS dans la zone. Quand le calcul n'était pas possible, il a été considéré la moyenne du prix marginal sur l'ensemble des autres communes
Nombre de nuitée diffuses	Données issues du schéma de sécurisation. Données produite sur la base du nombre de résidences secondaires (INSEE) et d'un ratio de 5 lit par résidence secondaires. Puis application d'un taux d'occupation mensuel et agrégation sur l'année. Pour plus de détail sur la méthode, voir le schéma de sécurisation.
Nombre nuitées marchandes	Données issues du schéma de sécurisation Données produite sur la base de chiffres de l'observatoire du tourisme des PO. Puis application d'un taux d'occupation mensuel et agrégation sur l'année. Pour plus de détail sur la méthode, voir le schéma de sécurisation.
Volumes annuels consommés autorisés	Données issues du schéma de sécurisation, sur la base des RPQS de 2013
Demande domestique annuelle calculée dans le schéma de sécurisation 2013	Données issues du RPQS 2015 Quand la valeur à l'échelle communale n'était pas disponible mais qu'elle existait à l'échelle d'un regroupement de communes, le volume a été réparti sur ces communes proportionnellement à leur population
Volumes de service et sans comptage 2013	Données issues du schéma de sécurisation.
Demande des gros consommateurs 2013	Données issues du schéma de sécurisation.
Le climat : nombre de jours où la température sera supérieure à 28°C entre juin et septembre	Donnée à dire d'expert devant être précisée par une analyse des projections climatiques à l'échelle des mailles SAFRAN
rendements nets en 2013	Données du schéma de sécurisation. Si données non disponible, utilisation de la moyenne des rendements = 0,65
Volume acheté ou vendu en 2013	Données issues du schéma de sécurisation.

Tableau 4 : Données utilisées et sources des données utilisées pour la caractérisation de l'état initial de la demande à l'échelle de chaque commune. Le coefficient de consommation des nuitées touristiques est de 175 l/nuit.

D) HYPOTHESES D'EVOLUTION PROBABILISEES

L'utilisateur doit définir des hypothèses de projection pour les paramètres qui vont évoluer dans le temps. Il doit à la fois choisir une valeur centrale et une marge d'incertitude autour de cette valeur. Dans un premier temps, avant que les acteurs soient impliqués dans la construction de ces hypothèses, les paramètres ont été fixés sur la bases de données bibliographiques ou à dire d'expert. Le Tableau 5 présente les paramètres de projection, ainsi que les sources et hypothèses réalisées pour les fixer.

Tableau 5 : Hypothèses de projection, sources des hypothèses, et marges d'incertitudes utilisées pour la projection de la demande en eau

Paramètre	Sources et hypothèses pour la projection à 2030
Taux d'évolution de la population entre 2015 et l'horizon envisagé	Basé sur le schéma de sécurisation. Hypothèse centrée sur le taux moyen entre le scénario SCOT et le scénario fil de l'eau. Pour les communes en dehors du schéma de sécurisation, le taux de croissance moyen observé sur les autres commune est utilisé. La marge d'erreur correspond à l'écart des scénarios avec la moyenne. Parfois, les deux scénarios donnent des résultats assez proches mais cela ne signifie pas qu'il n'y a pas d'incertitude. Il est donc considéré que pour la projection à 2030 la marge d'incertitude doit au moins être égal à 5% et en 2050 au moins égal à 10%.
Nombre de personnes par ménages à l'horizon projeté	Rapport du conseil général au développement durable sur la base de données INSEE. Le scénario retenu est celui de la projection basse avec une stabilisation du nombre de personnes par ménage à 2. L'hypothèse d'incertitude de plus ou moins 0,3 est issu de la même source.
Taux d'évolution du revenu moyen entre 2015 et l'horizon projeté	Source INSEE sur la projection de « croissance du pouvoir d'achat du revenu disponible brut » estimé à 0,55% par an soit 14% de 2015 à 2030. L'incertitude considérée est de plus ou moins 4%.
Part des maisons dans les nouveaux logements construits	Approche simplifiée après discussion avec l'AURCA qui se base sur les documents d'urbanisme et le SCOT. Des écarts importants sont à prévoir entre les communes mais un taux moyen de 35% des nouvelles construction en collectif est assumée pour les horizons 2030 et 2050. La marge d'erreur considérée autour de cette moyenne est de 10% (5% de plus ou 5% de moins).
Taux de croissance de la fréquentation touristique	Hypothèse issue du schéma de sécurisation. Il est estimé une hausse des fréquentations touristiques de 7% entre 2015 et 2030 puis une stabilisation jusqu'à 2050. La marge d'erreur considérée est de plus ou moins 1%.
Prix de l'eau à l'horizon projeté	Hypothèse d'une hausse du prix de l'eau de 1,5% par an ce qui donne une hausse de 28% entre 2015 et 2030. La marge d'incertitude considérée est de 20% (plus ou moins 10%)
Climat : nombre de jours où la température moyenne sera supérieure à 28°C entre juin et septembre à l'horizon envisagé	Une analyse détaillée des données de prévision climatique est nécessaire. À l'horizon 2030 il est considéré que ce sera 4 jours avec plus ou moins 1 jour, et en 2050 5 jours avec encore un intervalle d'erreur de 1 jour.
Rendements de réseau à l'horizon projeté	Données issues du schéma de sécurisation. Hypothèse de maintien des rendements actuels et intégration d'une plage d'erreur de plus ou moins 5%.

Il est supposé que les coefficients utilisés dans la formule de calcul de la demande sont fixes sur toute la période de projection. Il est néanmoins possible de choisir des hypothèses de projection différentes pour chacune des communes.

E) ORGANISATION DU PROTOTYPE EXCEL ET LIEN ENTRE LES FEUILLES DU MODELE

3.1.4. Présentation générale

L'outil Excel comprend plusieurs feuilles :

- des feuilles pour renseigner les données d'entrée (feuilles d'entrée) ;
- des feuilles où s'affichent les sorties calculées (feuilles de sortie) ;
- des feuilles de calculs intermédiaires.

Les feuilles d'**entrée** que l'utilisateur peut modifier sont intitulées comme suit:

- **Variables initiales** : cette feuille contient les données décrivant les caractéristiques des communes de la zone d'étude, et en particulier le nombre d'habitants, le parc de logement, le prix de l'eau, les variables climatiques.
- **Hypothèses d'évolution** : cette feuille reprend chacune des communes de la feuille précédente pour leur associer des prévisions d'évolution pour différentes variables, à renseigner par l'utilisateur. Cette feuille permet de construire des scénarios en prenant en compte l'incertitude des projections pour les paramètres considérés.

Les feuilles de **sortie** se nomment :

- **Sorties du modèle** : Cette feuille reprend chacune des communes de la feuille **Variables initiales** pour leur associer les différentes variables calculées par le modèle à l'horizon choisi, en tenant compte des incertitudes entrées dans **Hypothèses d'évolution**.
- **Interface_Sorties** : Cette feuille permet de choisir ce que l'on souhaite que le modèle nous affiche, notamment en regroupant des communes les unes avec les autres, pour obtenir un résultat pour un ensemble de commune (communauté de commune, service d'eau, SCoT...).
- **Scénario_hypothèses et sorties** : Cette feuille permet de regrouper les informations pour un scénario donné (hypothèses utilisées et résultats obtenus) pour la commune ou le groupe de communes choisi pour qu'elles puissent être copiées et enregistrées dans un autre fichier où différents scénarios pourront être comparés.

Les feuilles de **calcul** se nomment :

- **Calculs_probabilités** : Cette feuille fait le lien entre la feuille **Hypothèse d'évolution** et la feuille **Sorties du modèle**. Ainsi, cette feuille calcule, pour chaque commune, les variables aléatoires pour les paramètres évolutifs inscrits dans **Hypothèses d'évolution** en tenant compte de la plage d'incertitude entrée par l'utilisateur. Elle présente trois types de variables aléatoires pour trois types de distribution : uniforme, normale et log normale. Ces variables sont ensuite reprises dans **Sortie du modèle** pour calculer les sorties, selon la distribution choisie dans **Hypothèses d'évolution**. Cette feuille contient également les coefficients et élasticités tirées de la bibliographie et utilisées dans le modèle.
- **Calculs_interface_demande** : Cette feuille permet de faire le lien entre **Sorties du modèle** et **Interface_Sorties**. Ainsi, elle permet de regrouper les communes selon leur collectivité, etc., pour avoir la demande en eau potable associée au groupe et non plus uniquement commune par commune comme dans la feuille **Sorties du modèle**.

- **Calculs_interface_population** : Cette feuille fait la même chose que la précédente mais pour avoir la population finale estimée pour chacun des groupes.

Ces différentes feuilles sont présentées de manière plus détaillée ci-dessous.

3.1.5. Feuille « Calculs probabilités »

Cette feuille contient les paramètres fixes du modèle (coefficients, élasticités, ratio de demandes types). Elle permet ensuite de calculer des variables aléatoires pour chacun des paramètres d'évolution rentrés dans la feuille **Hypothèses d'évolution**.

Ces variables aléatoires sont calculées à l'aide de l'extension SIPmath d'Excel. Cette extension permet de construire des distributions de probabilité et de les utiliser dans un modèle de calcul. Dans le prototype, le modèle est calculé 1000 fois en utilisant pour chaque itération un tirage aléatoire dans chacune des distributions préalablement définies. Ainsi, pour chacun des paramètres d'hypothèse d'évolution et pour chacune des communes, cette feuille présente :

- La valeur minimale ;
- La valeur maximale ;
- La valeur moyenne ;
- L'écart type ;
- Un des 1000 résultats aléatoires de la distribution selon une loi uniforme entre le minimum et un maximum ;
- Un des 1000 résultats aléatoires de la distribution selon une loi normale avec un écart-type calculé pour que 95% des valeurs tirées soient situées entre le minimum et le maximum ;
- Un des 1000 résultats aléatoires de la distribution selon une loi lognormale avec un écart-type calculé pour que 95% des valeurs tirées soient situées entre le minimum et le maximum.

3.1.6. Feuille « Sorties de modèle »

Cette feuille utilise les trois feuilles précédentes pour calculer les sorties nécessaires à l'estimation finale de la demande domestique en eau potable.

Chaque cellule de cet onglet étant dépendante d'au moins une des variables aléatoires précédemment définies, elle affiche une des 1000 itérations du modèle. Cela signifie que la valeur affichée à un moment donné est le résultat d'une des combinaisons possibles des paramètres tels que définis dans les hypothèses d'évolution. Ce n'est pas la valeur moyenne des résultats possibles qui est affichée. Autrement dit, cette feuille n'a pas d'intérêt pour l'interprétation des résultats.

3.1.7. Feuille « Calculs_interface »

Ces feuilles n'ont pas d'intérêt pour l'utilisateur. Il s'agit de feuilles de calculs de classification intermédiaires permettant de regrouper les résultats selon différents filtres spatiaux.

3.1.8. Interface_Sorties

Cette feuille permet à l'utilisateur de générer les sorties du modèle à l'échelle spatiale qui l'intéresse et de visualiser les résultats probabilisés sous une forme graphique. Il peut appliquer des filtres pour faciliter la lecture probabilisée des résultats. Il pourra par exemple chercher quelle est la valeur pour laquelle il y a 95% de chance que la population de Perpignan à l'horizon d'étude soit inférieure à cette valeur, avec les hypothèses d'évolutions choisies précédemment.

Par type de groupe :

Commune Leucate ▼

Collectivité SISPEA

PERPIGNAN MEDITERRANEE METROPOLE COMMUNAUTE URBAINE ▼

EPCI

#REF! ▼

Secteur homogène de gestion

Vallée du Tech ▼

SCOT Plaine du Roussillon

SCOT Littoral Sud

zone du projet DEM'EAU

Groupement manuel

Ensemble de la zone

Ressource

Ressource 3 ▼

Figure 5 : Interface de sélection de la zone géographique pour la consultation des résultats.

La demande en eau moyenne devrait être de	<input type="text" value="2 056"/>	m³ / an
Compte tenu des incertitudes, il y a <input type="text" value="80%"/>	de chance que la demande ne dépasse pas	<input type="text" value="2 160"/> m ³ / an
soit <input type="text" value="104"/> m ³ / an	de plus que la moyenne espérée, ou	<input type="text" value="5,1%"/> de plus que la moyenne.
Dans 80% des cas, la demande se situera entre	<input type="text" value="1 897"/>	m ³ / an et <input type="text" value="2 217"/> m ³ /an
Dans 90% des cas, la demande se situera entre	<input type="text" value="1 866"/>	et <input type="text" value="2 273"/>

Figure 6 : Exemple de résultat généré automatiquement présentés sous la forme de texte à trous.

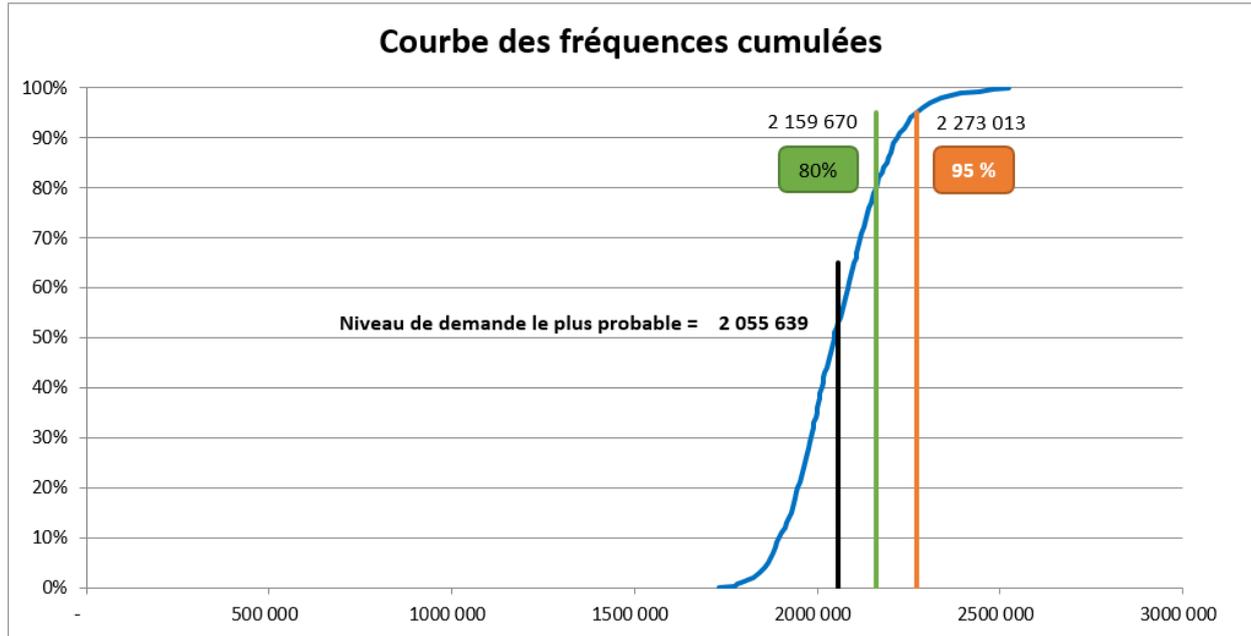


Figure 7 : Exemple de résultat généré automatiquement et présenté sous forme graphique.

F) RESULTATS

Pour faciliter la discussion avec les acteurs du territoire, quelques scénarios ont été simulés pour la plaine du Roussillon, avec les données collectées et les hypothèses présentées ci-dessus. Ces résultats sont présentés à titre illustratifs, ils ont essentiellement vocation à servir à montrer le type de résultats que l'on peut obtenir et pour servir éventuellement de support de discussion avec les acteurs opérationnels.

La Figure 8 présente des prévisions probabilistes de la demande. On constate ainsi qu'il n'y a qu'une chance sur cent que la demande en eau potable soit supérieure à 51.9 millions de m³ à l'horizon 2050. D'autres couples de valeurs (demande, probabilité) sont présentés sur cette figure. Les valeurs calculées doivent être comparées aux prévisions associées aux deux scénarios de demande future calculés dans le schéma de sécurisation, nommés « scénario SCOT » et « scénario tendanciel », qui sont estimées à 41 et 42.3 millions de m³.

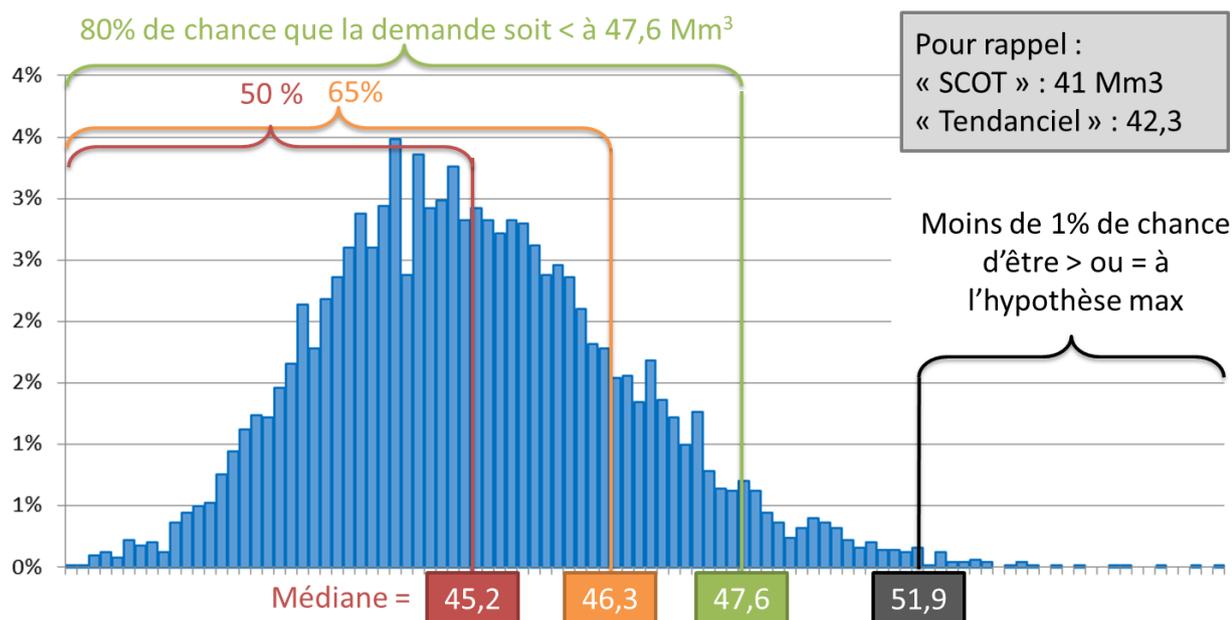


Figure 8 : estimation probabiliste de la demande en eau potable à l'horizon 2050 pour la plaine du Roussillon.

La comparaison des deux scénarios considérés dans l'étude « schéma de sécurisation » avec les résultats de l'approche probabiliste peut également être effectuée en analysant le taux de croissance de la demande entre 2013 et 2050. Les résultats du Tableau 6 montrent que l'approche probabiliste (avec les hypothèses associés aux paramètres) tend à prévoir une augmentation de la demande plus forte que le schéma de sécurisation. Les hypothèses de travail considérées pour ces simulations n'ayant pas été consolidées auprès des acteurs locaux (cf. §4), nous ne pouvons pas tirer d'enseignements opérationnels de ce résultat.

Scénario	Évolution de la consommation entre 2050 et 2013 (ratio 2050 / 2013)		
	moyen	min	Max
« SCOT »	1,37	0,82	3,23
« Tendanciel »	1,41	0,88	2,93
P = 50 %	1,53	1,19	3,80
P = 65 %	1,57	1,20	3,84
P = 80 %	1,61	1,21	3,88
P = 99 %	1,76	1,25	4,04

Tableau 6 : évolution de la demande entre 2013 et 2050 selon les scénarios du schéma de sécurisation et avec l'approche probabiliste. Les valeurs min, max et moyenne décrivent la variabilité des résultats au sein des communes.

4. Test du prototype

Pour que les acteurs associés au projet DEM'EAUX Roussillon puissent se faire une idée de la pertinence d'un tel outil pour répondre à leurs besoins de prévision, le prototype a été mis à leur disposition pour en tester l'utilisation. L'objectif était de recueillir l'avis de potentiels utilisateurs futurs pour améliorer sa conception.

Dans un premier temps, une réunion a été organisée avec les gestionnaires des services d'eau de la plaine du Roussillon afin de leur présenter les grands principes du modèle de prévision probabilisé, ainsi qu'une première esquisse du prototype en cours de développement. Lors de cette réunion, un accueil positif a été exprimé vis-à-vis de la démarche et quelques spécifications attendues ont été précisées par les participants.

Ensuite, le prototype créé sous Excel a été développé jusqu'à un stade permettant sa diffusion aux gestionnaires afin qu'ils puissent le tester. Lors de son envoi, l'outil a été accompagné d'une vidéo tutoriel¹ visant à présenter en détail la logique de calcul du modèle et à guider l'utilisateur dans la prise en main du prototype.

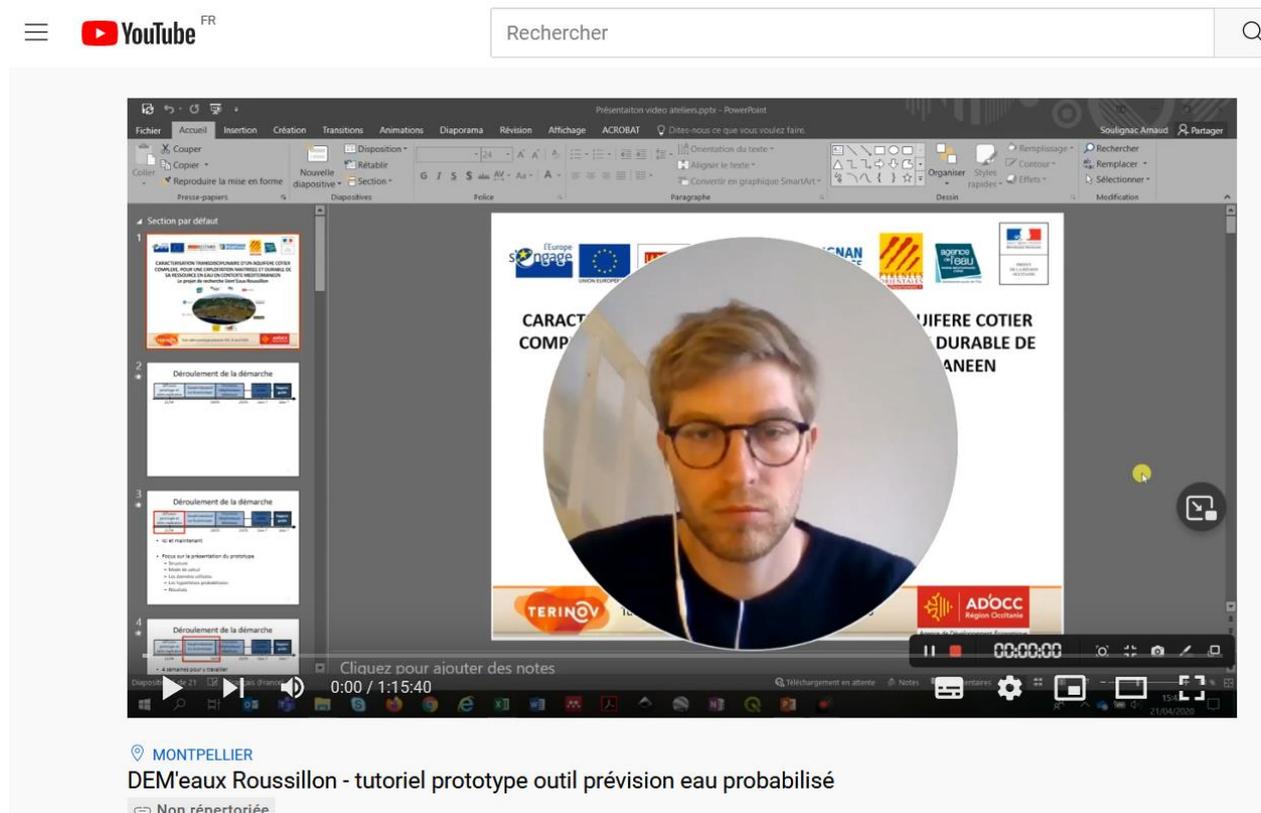


Figure 9 : Tutoriel vidéo facilitant la prise en main de l'outil Excel développé.

¹ La vidéo (diffusée sur YouTube) n'est pas accessible publiquement mais uniquement via le lien suivant : https://youtu.be/_wHidhdDYqw.

Il a été demandé à différents gestionnaires de se confronter à l'utilisation de cet outil en travaillant sur les paramètres de prévisions spécifiques à leur territoire et en explorant les résultats fournis. Après cet exercice, les gestionnaires étaient invités à partager leur expérience lors un entretien téléphonique bilatéral avec le membre du BRGM responsable du développement de l'outil. L'objectif d'un tel échange était de recueillir l'avis des testeurs sur les points forts et points faibles de l'outil, ainsi que ses axes d'amélioration pour le rendre le plus opérationnel possible.

Enfin, il était prévu d'organiser un atelier réunissant un maximum de gestionnaire les services d'eau de la plaine du Roussillon afin de restituer de manière synthétique les résultats des entretiens bilatéraux et d'échanger sur les modalités de développement de l'outil et de sa mise en œuvre concrète. Cet atelier (qui n'a pu avoir lieu faute de disponibilité ou de réponse des personnes sollicitées) aurait été l'occasion de mettre en commun l'avis des participants sur cet outil et plus généralement à débattre de la manière dont les incertitudes sont prises en compte dans les exercices de prévision de la demande en eau potable. En effet, il semble utile que les gestionnaires échangent sur :

- la manière dont ils procèdent actuellement pour prévoir la demande en eau ;
- les principales incertitudes rencontrées lors de cet exercice et comment ils les gèrent ;
- la pertinence (ou non) de la manière dont le prototype proposé traite l'incertitude ;
- les freins et les leviers relatifs à l'utilisation de ce prototype.

Dans les faits, la démarche ne s'est pas poursuivie au-delà de la diffusion du prototype accompagné de la vidéo tutoriel. Bien que la crise causée par la pandémie de coronavirus ait perturbée les activités professionnelles de chacun, on peut estimer que la quasi absence de réponse aux sollicitations pour poursuivre la démarche illustre un faible intérêt des gestionnaires du territoire de la plaine du Roussillon pour la démarche proposée, pour des raisons que nous n'avons pu déterminer.

5. Conclusion

Le prototype de caractérisation probabiliste de la demande en eau potable développé est fonctionnel. Comme pour tout modèle de prévision, la qualité des résultats qu'il propose est fonction de l'effort fourni pour alimenter le modèle avec des données d'entrée récentes et fiables, et des hypothèses d'évolutions documentées et concertées.

Rappelons que l'objectif de la conception de ce prototype n'était pas de fournir des résultats de prévision aussi précis que possible, mais de fournir aux gestionnaires un exemple d'outil de prévision intégrant les incertitudes. La prise en main de l'outil et les ateliers d'échange sur le sujet devaient permettre d'évaluer la pertinence de l'outil par rapport aux besoins, sa cohérence au regard des moyens disponibles, les axes d'amélioration, et les modalités de son appropriation et mise en œuvre par les gestionnaires.

Il n'a pas été possible de réaliser les travaux collaboratifs envisagés, mais l'outil ayant été diffusé avec une vidéo tutoriel présentant en détail ses fondements théoriques et son fonctionnement pratique, les institutions locales ont toujours la possibilité de le prendre en main, pour tester cet outil comme un moyen d'aider à la construction de leurs stratégies de prévision.

6. Bibliographie

- Artelia. 2017. "Schéma de Sécurisation Des Besoins En Eau Potable de La Plaine Du Roussillon Aux Horizons 2017 – 2030 - 2050."
- Desprats, Jean-François, Jean-Daniel Rinaudo, et Marielle Montginoul. 2012. "Analyse de La Relation Entre Le Type d'urbanisation et La Consommation En Eau Des Ménages - Agglomération de Montpellier." (RP-61856-FR), 44 p.
- Neverre, Noémie, Jean-Daniel Rinaudo, et Marielle Montginoul. 2010. Etude de la demande en eau potable . Résultat d'une analyse économétrique dans le département de l'Hérault. (RP-59056-FR), 85p.
- Rinaudo JD et N Neverre. 2019. La prévision à moyen et long terme de la demande en eau potable : bilan des méthodes et pratiques actuelles – Comprendre pour agir n°30. OFB. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/prevision-moyen-long-terme-demande-en-eau-potable-bilan-methodes-pratiques>.
- Rinaudo, J.-D., Neverre, N., Montginoul, M. 2012. Simulating the impacts of water pricing policies on urban water demand: a southern France case study. *Water Resources Management*, 26(7).



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Occitanie
1039 rue de Pinville
34000 – Montpellier – France
Tél. : 04 67 15 79 80