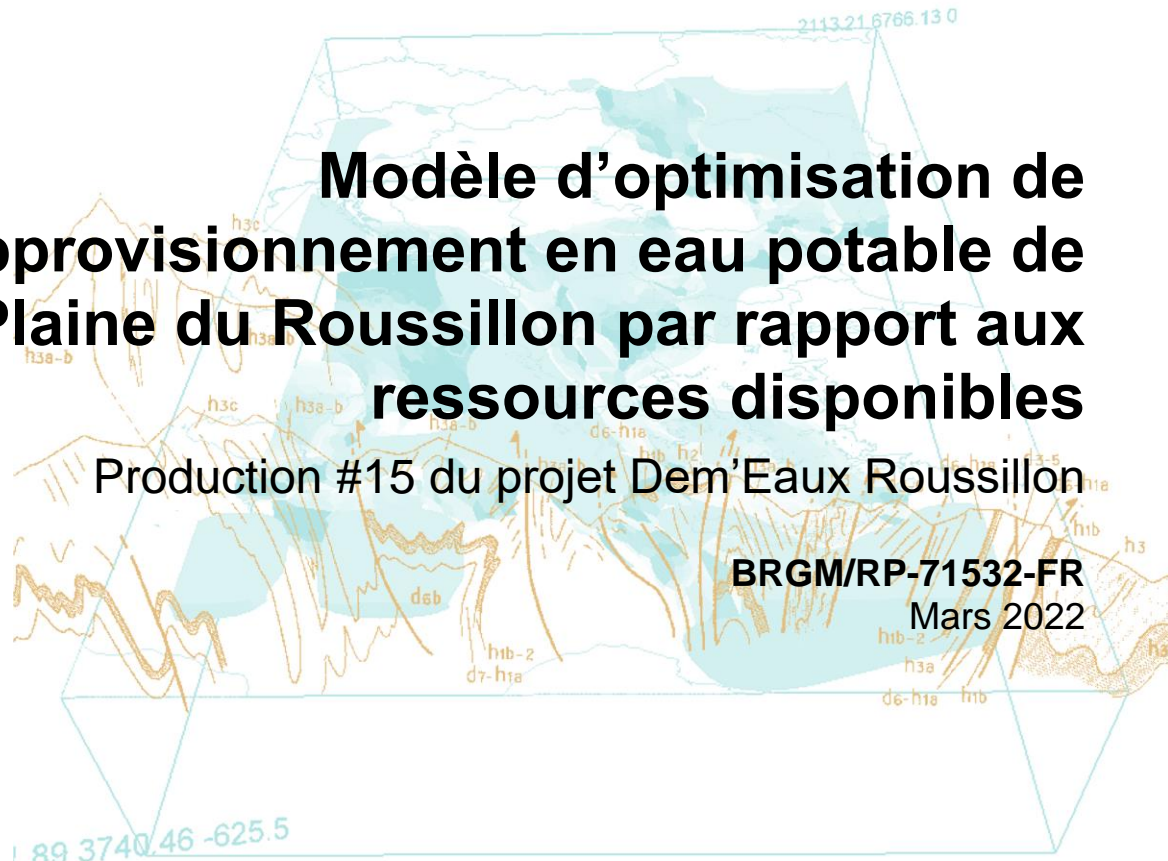




# Modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable de la Plaine du Roussillon par rapport aux ressources disponibles

Production #15 du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-71532-FR  
Mars 2022



# Modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable de la Plaine du Roussillon par rapport aux ressources disponibles

Production #15 du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-71532-FR  
Mars 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

Noémie Neverre

Avec la contribution de : Adèle Mathey



## Vérificateur :

Nom : Cyril Bourgeois

Fonction : Économiste

Date : 18/03/2022

Signature :

## Approbateur :

Nom : Yvan Caballero

Fonction : Hydrogéologue

Date : 21/03/2022

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](mailto:qualite@brgm.fr)

**Mots-clés** : Alimentation Eau Potable ; Optimisation ; Gestion ressource eau ; Pyrénées Orientales ; Plaine du Roussillon

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

**Neverre N., Mathey A.** (2022), Modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable de la Plaine du Roussillon par rapport aux ressources disponibles. Production #15 du projet Dem'Eaux Roussillon, BRGM/RP-71532-FR, 39 p., 15 fig., 6 tabl., 2 ann.

## Synthèse

Le présent travail a été mené dans le cadre du projet DEM'EAUX Roussillon visant à améliorer les connaissances sur le fonctionnement du système complexe de l'aquifère côtier du Roussillon.

La ressource en eau souterraine des aquifères Plio-Quaternaires est cruciale pour l'alimentation en eau potable de la plaine du Roussillon (agglomération de Perpignan, stations balnéaires littorales, etc.). Cependant, la nappe Pliocène subit une baisse chronique de ses niveaux piézométriques à l'échelle de la plaine. Face à ce déséquilibre quantitatif, le Plan de Gestion de la Ressource en Eau et le SAGE des nappes Plio-quaternaire de la plaine du Roussillon ont défini des Volumes Prélevables (« Ne pas prélever 1 m<sup>3</sup> de plus dans le Pliocène que les volumes de 2010 »), visant un retour à l'équilibre quantitatif. D'autre part, la croissance démographique et le dynamisme de l'activité touristique vont probablement conduire à une augmentation la demande en eau potable du territoire dans le futur (Artelia, 2017).

Dans ces conditions, sera-t-il possible de satisfaire les besoins en eau potable de la plaine du Roussillon à horizon 2050, étant donné l'évolution des besoins et la disponibilité des ressources ?

Pour répondre à cette question, un modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable (AEP) est construit pour l'ensemble du territoire dépendant des nappes Plio-Quaternaires.

Dans un premier temps, le système d'approvisionnement en eau potable du territoire est caractérisé et schématisé. L'objectif est de bien caractériser : i) Quelles ressources peuvent être mobilisées pour satisfaire quelles demandes ; ii) Toutes les contraintes qui s'exercent sur les capacités d'approvisionnement, que ce soit au niveau des capacités prélèvement, de traitement, ou de transfert de l'eau, et qu'i s'agisse de contraintes techniques, réglementaires, ou de gestion. Les schémas et bases de données ainsi constituées ont servi de base à l'implémentation informatique du modèle.

Dans un deuxième temps, le modèle d'optimisation de l'AEP a été implémenté dans le logiciel GAMS. Le modèle va chercher à déterminer les prélèvements mensuels à effectuer au niveau tous les ouvrages de prélèvement du territoire, ainsi que la répartition de ces volumes prélevés entre les différentes destinations desservies, via les infrastructures existantes, de façon à : i) satisfaire au mieux les demandes en eau potable, ii) tout en respectant les contraintes de production (notamment les Volumes Prélevables), et iii) en minimisant le coût total de l'approvisionnement.

Dans un troisième temps, des scénarios à explorer avec le modèle ont été définis lors d'un atelier de travail participatif, organisé en octobre 2021 à Perpignan :

- 2 scénarios d'évolution de la demande en eau potable à horizon 2050,
- 2 scénarios d'évolution des rendements des réseaux,
- 2 scénarios d'évolution des capacités de prélèvement dans le Quaternaire,
- 3 scénarios de répartition des Volumes Prélevables (VP) dans le Pliocène.

Ces scénarios (et combinaisons de scénarios) ont ensuite été simulés avec le modèle d'optimisation de l'AEP. Le modèle va chercher à optimiser l'organisation de l'approvisionnement de façon à satisfaire au mieux les demandes en eau potable dans le scénario considéré, à moindre coût, tout en respectant les contraintes de production. En sortie de modèle, on obtient comme résultats: les volumes optimums prélevés au niveau des différents points de prélèvement, les demandes AEP qui peuvent être satisfaites dans ce scénario, et les éventuelles situations de

défaillance de l'approvisionnement (i.e. la part de la demande en eau potable qui ne peut pas être satisfaite dans ce scénario, même en optimisant l'approvisionnement).

Les résultats des simulations montrent que le territoire présente des risques de défaillance de l'approvisionnement en eau potable à horizon 2050 (dans les conditions d'infrastructures actuelles) et cela même lorsque l'organisation de l'approvisionnement est optimisée au maximum.

Quand on se place dans la combinaison de scénarios la plus défavorable, des situations de défaillance de l'approvisionnement sont observées sur la majeure partie du territoire. Globalement, cette situation est liée au fait que les volumes prélevables annuels par captage dans le Pliocène sont atteints, il n'est pas possible de prélever plus pour satisfaire la demande restante.

Quand on se place dans la combinaison de scénarios la plus favorable, il apparaît possible de satisfaire les demandes en eau sur la majeure partie du territoire, même en été. Cependant, une partie du territoire ne parvient toujours pas à satisfaire entièrement sa demande estivale, même dans ce scénario le plus favorable : pour Théza, Saint Hippolyte et Banyuls Val Auger, cela s'explique par le fait que les capacités maximales de prélèvements (DUP et/ou capacité installée) sur leurs installations sont déjà atteintes ; pour le secteur Bordure Côtière Nord, il apparaît que le VP Pliocène est déjà atteint sur ce secteur, il n'est pas possible de prélever plus pour satisfaire le reste de la demande.

On constate que les scénarios volontaristes en termes de maîtrise de la demande et de gestion patrimoniale des réseaux permettent d'atténuer les situations de défaillance de l'approvisionnement. En combinant les deux, une partie du territoire parvient à satisfaire entièrement sa demande estivale. Cependant, cela n'est tout de même pas suffisant pour permettre de réussir à satisfaire entièrement les besoins en eau sur la totalité du territoire. Dans tous les cas de figure, la zone de la Bordure Côtière Nord (ainsi que quelques autres communes) ne parvient pas à satisfaire entièrement sa demande en eau potable.

Globalement, des mesures de sécurisation de l'AEP apparaissent nécessaires, notamment dans le secteur Bordure Côtière Nord, même si des scénarios volontaristes de maîtrise des rendements et de maîtrise de la demande permettraient de réduire ces besoins de sécurisation.

Suite à cette étape de diagnostic des vulnérabilités, une perspective de prolongation de l'analyse serait d'utiliser l'outil construit pour simuler et évaluer différentes stratégies d'adaptation et de sécurisation : mobilisation de nouvelles ressources, interconnexions, etc. Le modèle pourrait également être utilisé pour optimiser le dimensionnement de certaines mesures, ou pour identifier les combinaisons de mesures optimales.

Un point de vigilance est à noter : dans ce modèle les potentiels de prélèvement soutenable dans les ressources sont représentés par des volumes fixes maximums à ne pas dépasser (VP), sans représentation explicite des dynamiques hydrogéologiques. Ainsi, il n'y a pas de prise en compte dynamique des impacts potentiels des prélèvements sur l'état des ressources, notamment en termes d'intrusion saline, lors de l'optimisation des prélèvements par le modèle. Une perspective d'amélioration scientifique de l'outil serait de coupler ce modèle d'optimisation de l'AEP à un modèle hydrogéologique, afin de pouvoir prendre en compte les interactions entre pompages et ressources de façon dynamique (baisse des nappes, intrusion saline, impacts sur les cours d'eau etc.) lors de l'optimisation des prélèvements.

## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Modélisation du système d’approvisionnement en eau potable du territoire</b> ...	<b>11</b>
2.1. PRINCIPE .....	11
2.2. COLLECTE DES DONNEES.....	12
2.3. SCHEMAS « RESSOURCES-INFRASTRUCTURES-BESOINS » .....	12
2.4. BASES DE DONNEES ASSOCIEES .....	13
2.4.1. Infrastructures.....	13
2.4.2. Demandes .....	15
<b>3. Modèle d’optimisation de l’approvisionnement</b> .....	<b>17</b>
3.1. VARIABLES DE DECISION .....	17
3.2. CONTRAINTES .....	17
3.3. FONCTION OBJECTIF ET FONCTIONS DE COUTS .....	18
3.4. IMPLEMENTATION.....	21
<b>4. Scénarios à horizon 2050</b> .....	<b>22</b>
4.1. ÉVOLUTION DE LA DEMANDE AEP .....	22
4.2. ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DES RESEAUX AEP .....	22
4.3. ÉVOLUTION DES CAPACITES DE PRELEVEMENT AEP DANS LES NAPPES QUATERNAIRE ET PLIOCENE .....	23
4.4. BILAN DES SCENARIOS.....	24
<b>5. Résultats</b> .....	<b>25</b>
5.1. SCENARIO DE REFERENCE (SCENARIO LE PLUS DEFAVORABLE) .....	25
5.2. SCENARIO LE PLUS FAVORABLE.....	27
5.3. IMPACT DU SCENARIO D’EVOLUTION DES CAPACITES DE PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES .....	30
5.4. IMPACT DU SCENARIO D’EVOLUTION DES BESOINS EN EAU .....	34
5.5. VUE D’ENSEMBLE DES SCENARIOS .....	34
<b>6. Conclusions et perspectives</b> .....	<b>37</b>
<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>39</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Schéma conceptuel du modèle de l'approvisionnement en eau potable (URD = Unité homogène Ressources-Demande) .....	11
Figure 2 : Etapes de la collecte et validation des données .....	12
Figure 3 : Exemple de schéma Ressources-Infrastructures-Besoins pour la communauté de Communes Côte Vermeille Illibéris.....	13
Figure 4 : Carte des ouvrages de prélèvements recensés dans la base de données (taille des ronds fonction des volumes prélevés l'année de référence 2015). .....	14
Figure 5 : Exemples de collectivités pour lesquelles on dispose de données de répartition mensuelle pour l'année de référence 2015. En bleu les collectivités considérées comme « côtières », en orange « non côtières ». .....	15
Figure 6 : Utilisation du modèle pour optimiser l'organisation de l'approvisionnement face à différents scénarios de changements (représentés par des éclairs jaunes) .....	17
Figure 7 : Fonction de demande utilisée pour l'évaluation du coût de la défaillance .....	21
Figure 8 : Taux de défaillance de l'approvisionnement en été (juillet-août) dans le cas du scénario le plus défavorable (Demande : SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm <sup>3</sup> prélevables).....	26
Figure 9 : Taux de sollicitation des ouvrages de prélèvements dans le Pliocène par rapport à leurs volumes prélevables annuels, dans le scénario le plus défavorable (Demande : SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm <sup>3</sup> prélevables) .....	27
Figure 10 : Taux de défaillance de l'approvisionnement en été (juillet-août) dans le cas du scénario le plus favorable (Demande réduite ; Rendements : objectif SAGE ; VP Pliocène par secteur, avec marges ; Quaternaire : 16 Mm <sup>3</sup> prélevables) .....	29
Figure 11 : Influence des scénarios d'évolution des capacités de prélèvements dans les nappes Quaternaire et Pliocène sur le taux de défaillance de l'approvisionnement en eau potable en été (juillet-août). .....	31
Figure 12 : Impact des scénarios d'évolution des besoins en eau sur le taux de défaillance de l'approvisionnement en eau potable en été (juillet-août).....	32
Figure 13 : Vue d'ensemble des résultats de tous les scénarios en termes de taux de défaillance de l'approvisionnement en eau potable. Le scénario le plus défavorable est situé tout en haut à gauche, le scénario le plus favorable tout en bas à droite. ....	33
Figure 14 : Utilisation du modèle pour évaluer et optimiser des mesures d'adaptation.....	37
Figure 15 : Une perspective d'amélioration de l'outil est la prise en compte des dynamiques hydro(géo)logiques (représentées par les flèches jaunes), via le couplage du modèle d'optimisation de l'AEP avec un modèle hydrogéologique .....	38

## Liste des tableaux

Table 1 : Paramètres utilisés pour les calculs de coûts d'énergie .....	19
Table 2 : Scénarios d'évolution de la demande AEP à horizon 2050 dans les communes du périmètre, par rapport à la consommation de 2013.....	22
Table 3 : Scénarios d'évolution des rendements des réseaux à horizon 2050 dans les communes du périmètre.....	22
Table 4 : Volumes prélevables dans le Pliocène par secteur géographique .....	23
Table 5 : Récapitulatif des scénarios et pictogrammes associés.....	24
Table 6 : Volumes prélevés dans le Quaternaire et dans le Pliocène par rapport aux volumes prélevables, dans le scénario le plus favorable (Demande réduite ; Rendements : objectif SAGE ; VP Pliocène par secteur, avec marges ; Quaternaire : 16 Mm <sup>3</sup> prélevables) et le plus défavorable (Demande SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm <sup>3</sup> prélevables).....	28

## Liste des annexes

Annexe 1 Schémas Ressources-Infrastructures-Demandes pour les collectivités du territoire	41
Annexe 2 Documents disponibles utilisés pour la première étape d'élaboration des schémas et bases de données.....	51



# 1. Introduction

Située sur la bordure littorale du département des Pyrénées-Orientales, la plaine du Roussillon se trouve dans une des régions les plus arides de France avec une pluviométrie annuelle de 570 mm (moyenne sur la période 1980-2010). Ce territoire présente un important niveau de développement urbain et d'activité touristique (agglomération de Perpignan, stations balnéaires du littoral) et la ressource en eau souterraine des aquifères du Pliocène et du Quaternaire est cruciale pour l'alimentation en eau potable de la plaine.

Or, l'exploitation de cette ressource pour différents usages (eau potable, agriculture, ...) a conduit à une baisse régulière du niveau de remplissage de l'aquifère sur l'ensemble de la plaine. À cela vient s'ajouter le risque d'intrusion d'eau de mer pour les horizons exploités en bordure littorale. L'importance des prélèvements en période estivale, couplée à la baisse chronique des niveaux piézométriques à l'échelle de la plaine, crée un risque d'intrusion saline qui pourrait affecter l'ensemble de la ressource en eau.

Suite à leur classement en déséquilibre quantitatif, les nappes Plio-Quaternaires de la plaine du Roussillon ont fait l'objet d'une étude Volume Prélevable (Hydriad Eau & Environnement, 2014), qui a conduit à la définition de volumes prélevables pour la nappe Pliocène. Ces volumes prélevables ont été repris dans les principes du Plan de Gestion de la Ressource en Eau (2019) et du SAGE des nappes Plio-quaternaire de la plaine du Roussillon : les Volumes Prélevables sont figés aux valeurs de l'Étude Volume Prélevable ; « Ne pas prélever 1 m<sup>3</sup> de plus dans le Pliocène que les volumes de 2010 ».

Par ailleurs, la croissance démographique et le dynamisme de l'activité touristique vont probablement conduire à une augmentation la demande en eau potable du territoire dans le futur (Artelia, 2017).

Dans ces conditions, sera-t-il possible de satisfaire les besoins en eau potable de la plaine du Roussillon à horizon 2050, étant donné l'évolution des besoins et la disponibilité des ressources ?

Pour répondre à cette question, on se propose de construire un modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable (AEP) pour l'ensemble du territoire dépendant des nappes Plio-Quaternaires. Cet outil s'inscrit dans la lignée du modèle d'optimisation de l'AEP développé sur l'axe Mosellan par Neverre et al (2019). Il s'agit d'un outil permettant d'explorer les impacts de différents scénarios (demande en eau, disponibilité des ressources, etc.) à moyen-long terme.

Ce modèle cherchera comment organiser au mieux l'approvisionnement de façon à satisfaire les besoins futurs, sous contrainte des volumes prélevables et des autorisations administratives de prélèvement dans les nappes. Le modèle prendra en compte les interdépendances existant entre les collectivités du territoire, d'une part au travers des interconnexions de leurs infrastructures AEP, et d'autre part au travers de l'utilisation de ressources communes. Ainsi, l'organisation de l'approvisionnement en eau potable sera réfléchi et optimisée avec une approche globale, pour l'ensemble du territoire dépendant des nappes Plio-Quaternaires.

Ce rapport présente dans un premier temps le processus de modélisation du système d'approvisionnement en eau potable du territoire, puis dans un deuxième temps le modèle d'optimisation. Dans un troisième temps sont décrits les scénarios d'évolution à horizon 2050, co-construits par les acteurs du territoire. Enfin, ces scénarios sont simulés avec le modèle d'optimisation de l'AEP du territoire et les résultats de ces simulations sont présentés.

## 2. Modélisation du système d'approvisionnement en eau potable du territoire

### 2.1. PRINCIPE

Le système à représenter comporte trois grandes composantes (Figure 1) :

- Les demandes en eau ;
- Les ressources mobilisables ;
- Les infrastructures d'approvisionnement, permettant de faire le lien entre les deux.

L'objectif est de bien caractériser :

- Quelles ressources peuvent être mobilisées pour satisfaire quelles demandes ;
- Toutes les contraintes qui s'exercent sur les capacités d'approvisionnement, que ce soit au niveau des capacités prélèvement, de traitement, ou de transfert de l'eau.

Pour cela, nous avons procédé au recensement et à la caractérisation des installations, afin de constituer des schémas d'approvisionnement d'Unités homogènes Ressources-Demandes (notées URD dans la suite de ce document) et leurs bases de données associées.

Les URD correspondent le plus souvent à des communes, parfois à des groupes de communes (ex : Aspres La Clave), ou encore à des sous-secteurs de communes (ex : Canet Plage et Canet Village). Elles sont assez proches du concept d'UDI (Unités de Distribution) utilisé par les gestionnaires AEP.

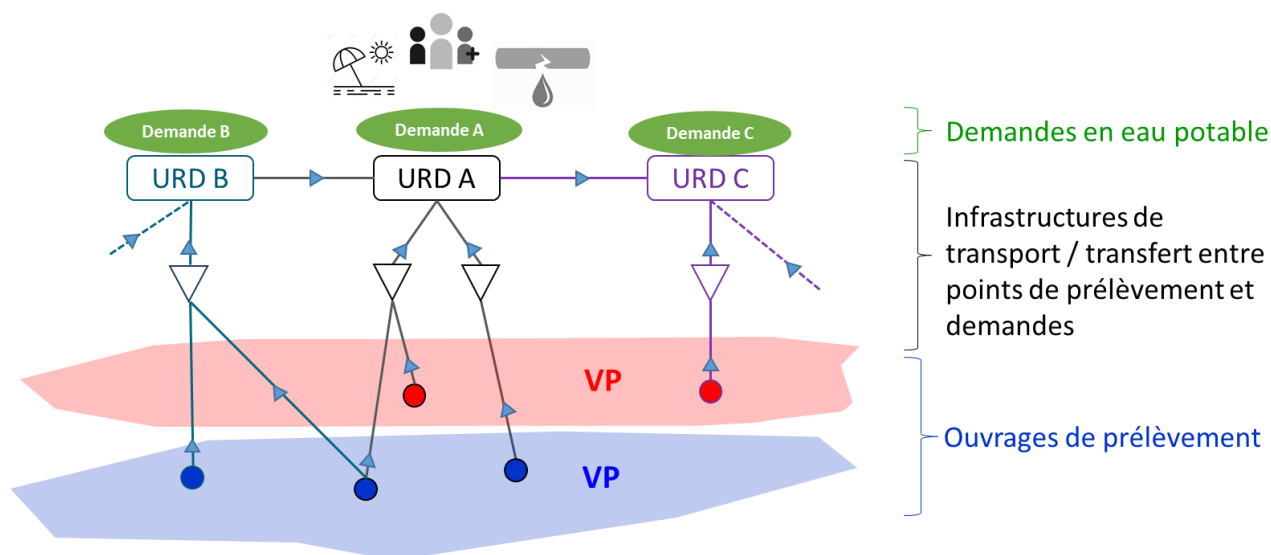


Figure 1 : Schéma conceptuel du modèle de l'approvisionnement en eau potable (URD = Unité homogène Ressources-Demande)

## 2.2. COLLECTE DES DONNEES

L'objectif est de recenser et caractériser les installations de production et d'approvisionnement en eau potable et les demandes. Les données ont été collectées pour l'année de référence 2015. La démarche a été réalisée en trois étapes (Figure 2). Tout d'abord, les informations disponibles dans les rapports annuels des délégataires (RAD), rapports sur les prix et la qualité du service (RPQS), les schémas directeurs pour l'alimentation en eau potable (SDAEP) et le schéma de sécurisation des besoins en eau potable de la Plaine du Roussillon aux horizons 2017-2030-2050 (Artelia, 2017) ont été mobilisés pour réaliser une première version des schémas ressources-infrastructures-besoins et des bases de données associées (la liste complète des documents mobilisés est disponible en Annexe 2). Ensuite, des entretiens téléphoniques ont été réalisés entre mai et août 2019 avec les services gestionnaires de l'AEP des différentes collectivités, pour compléter ces schémas et bases de données, notamment afin de caractériser les différentes contraintes s'exerçant sur le système. Enfin, une phase de validation finale des schémas et bases de données a été réalisée entre mars et mai 2020, durant laquelle les services gestionnaires de l'AEP des collectivités ont eu l'opportunité de compléter ou corriger les éléments les concernant.

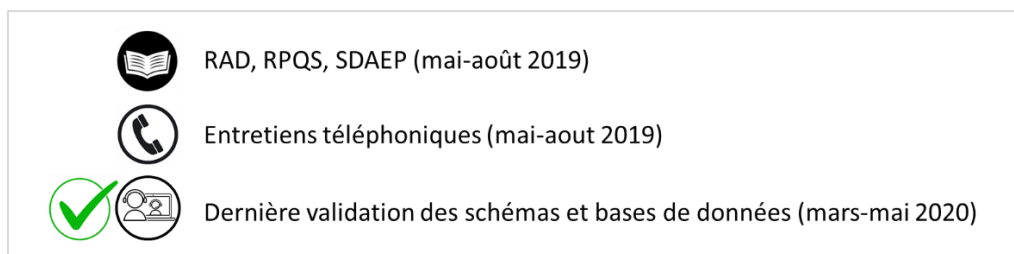


Figure 2 : Etapes de la collecte et validation des données

## 2.3. SCHEMAS « RESSOURCES-INFRASTRUCTURES-BESOINS »

Les schémas « ressources-infrastructures-besoins » finaux ainsi constitués sont disponibles en Annexe 1. L'important est de bien comprendre et représenter quelles ressources peuvent être mobilisées pour approvisionner quelles demandes. Ces schémas servent de base à l'architecture du modèle de l'AEP implémenté dans un logiciel informatique.

L'exemple pour la Communauté de Communes Côte Vermeille Illiberis est présenté en Figure 3 ci-dessous. Les URD sont figurées par des rectangles blancs, les ronds représentent leurs ouvrages de prélèvement, les triangles leurs réservoirs/châteaux d'eau par lesquels transite l'eau, et les flux possibles au sein du système sont représentés par les flèches.





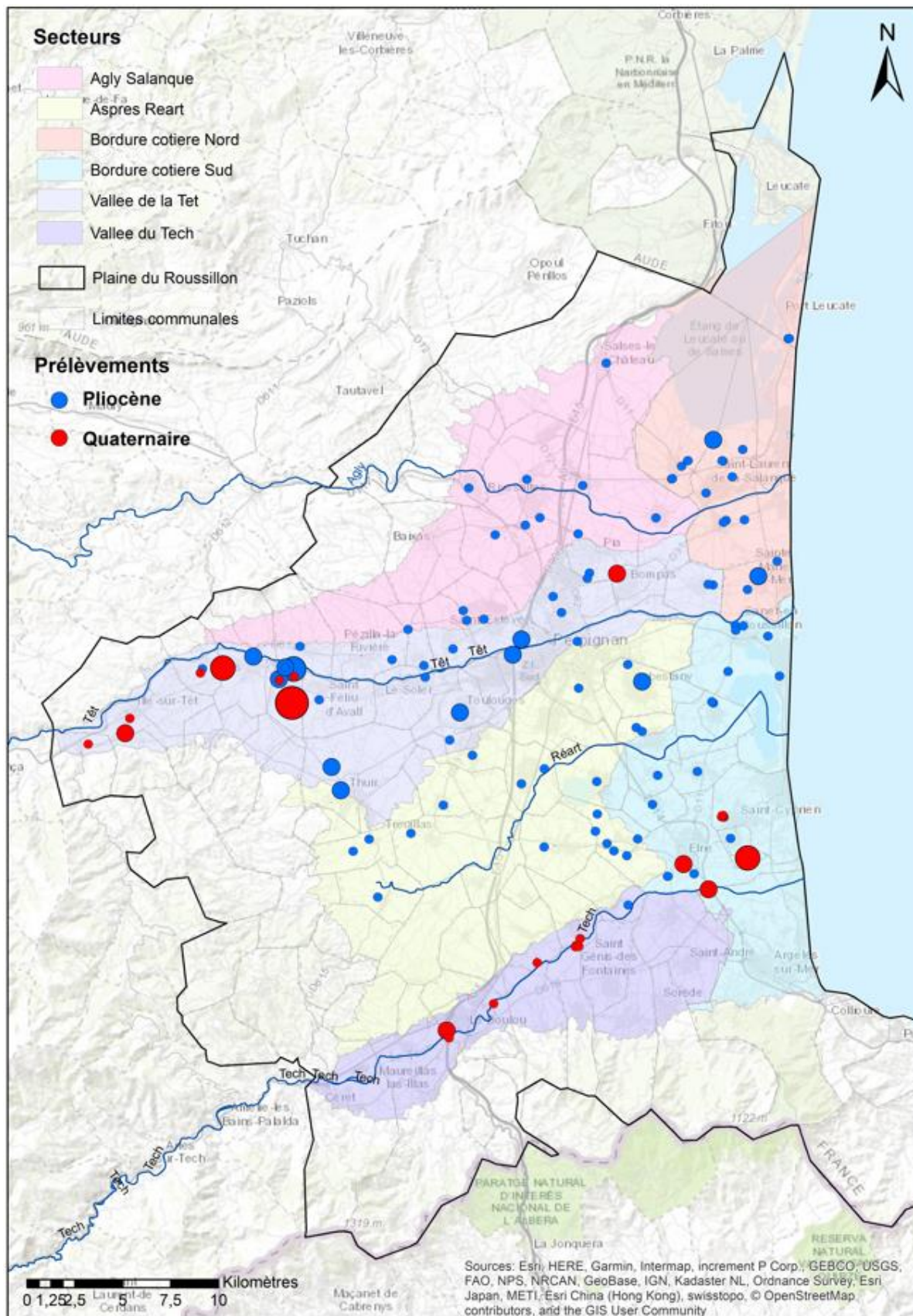


Figure 4 : Carte des ouvrages de prélèvements recensés dans la base de données (taille des ronds fonction des volumes prélevés l'année de référence 2015).

## 2.4.2. Demandes

Les données de consommation annuelles ont été collectées pour toutes les collectivités pour l'année de référence 2015. Pour certaines collectivités, des données de production mensuelles étaient disponibles (volumes mis en distribution). À partir de ces données, des coefficients de répartition mensuelle de la demande ont été calculés.

Ces coefficients de répartition mensuelle ont été appliqués aux autres collectivités pour lesquelles la donnée mensuelle n'était pas disponible, par typologie de commune côtière/non côtière

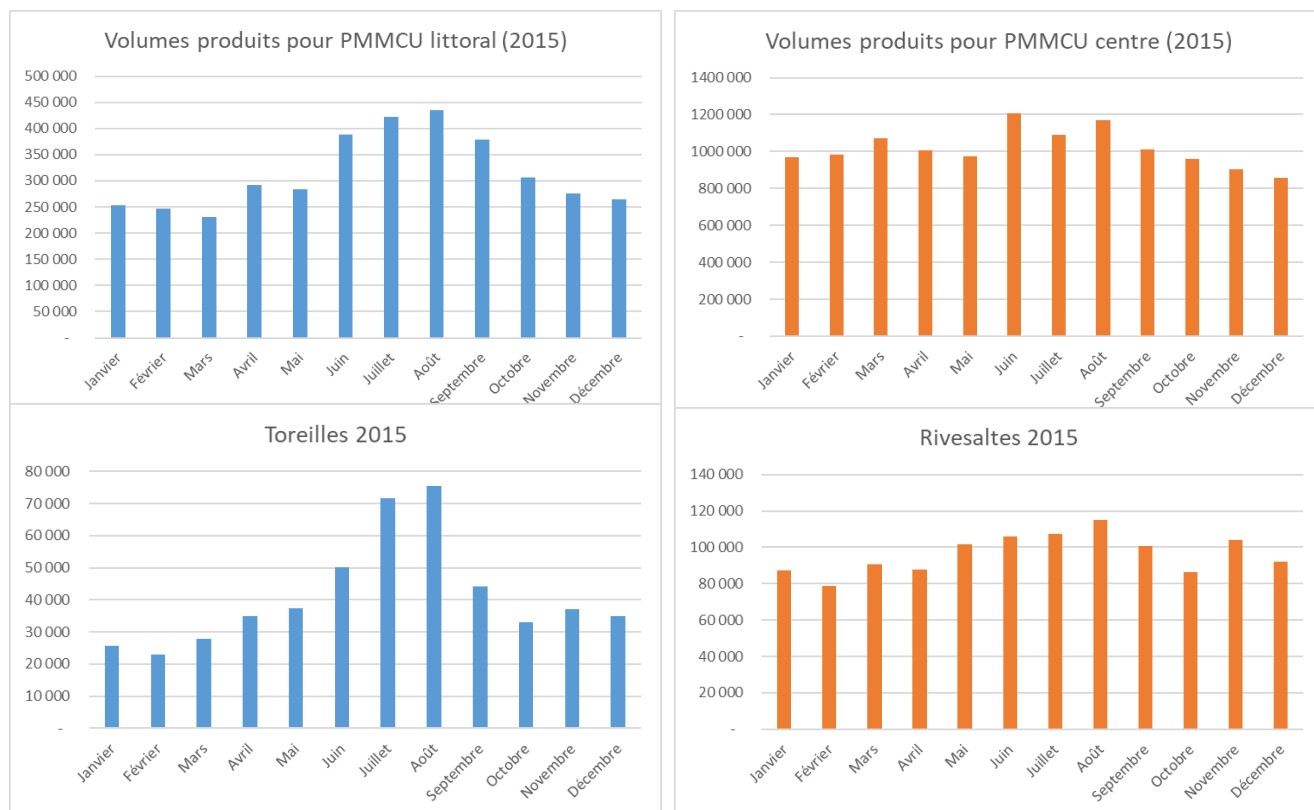


Figure 5 : Exemples de collectivités pour lesquelles on dispose de données de répartition mensuelle pour l'année de référence 2015. En bleu les collectivités considérées comme « côtières », en orange « non côtières ».

À noter que pour la commune de Canet, séparée dans le modèle en deux URD (Canet Plage et Canet Village, Cf. Annexe 1), la donnée de consommation était disponible seulement à l'échelle de la commune dans son ensemble. La demande en eau a donc été répartie entre ces deux URD au prorata des capacités de production des ouvrages de prélèvement.

### 3. Modèle d'optimisation de l'approvisionnement

Une fois le système d'approvisionnement en eau potable représenté schématiquement, caractérisé et modélisé dans un logiciel informatique, il va être possible d'utiliser ce modèle pour chercher à optimiser l'organisation de l'approvisionnement, dans un contexte donné – par exemple face à différents scénarios d'évolution des besoins ou des volumes prélevables (Figure 6).

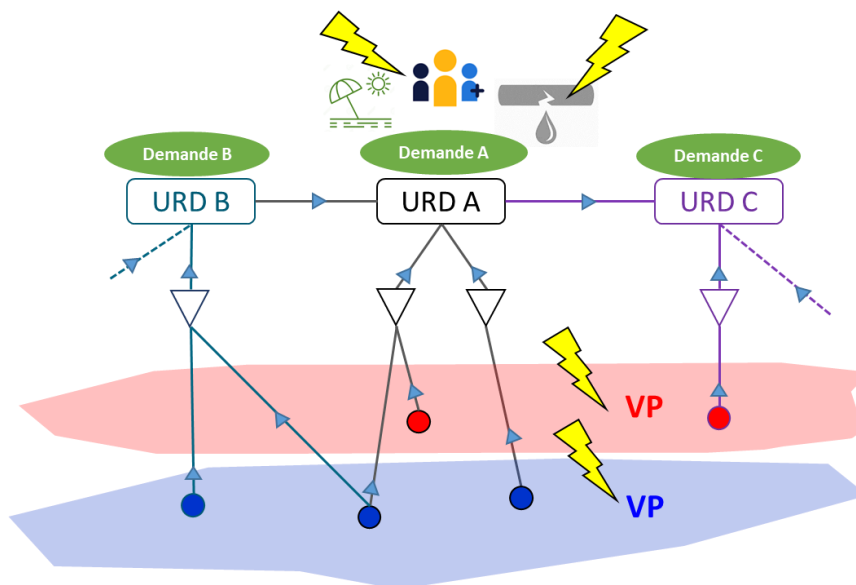


Figure 6 : Utilisation du modèle pour optimiser l'organisation de l'approvisionnement face à différents scénarios de changements (représentés par des éclairs jaunes)

Le modèle va chercher à optimiser l'approvisionnement de façon à satisfaire au mieux les demandes en eau potable dans le scénario considéré, à moindre coût, tout en respectant les contraintes de production, notamment les volumes prélevables. Le programme d'optimisation est décrit en détails dans les paragraphes suivants.

#### 3.1. VARIABLES DE DECISION

Les variables de décision sont de deux natures :

- Les prélèvements mensuels à effectuer au niveau tous les ouvrages de prélèvement ;
- La répartition de ces volumes prélevés entre les différentes destinations desservies, via les infrastructures existantes.

Ainsi, on cherche à déterminer les flux optimaux à faire transiter sur tous les tronçons du schéma d'approvisionnement (représentés par des flèches bleues sur la Figure 6), au pas de temps mensuel.

#### 3.2. CONTRAINTES

L'approvisionnement doit se faire sous contrainte des capacités des infrastructures. Les volumes prélevés par un captage  $i$  au mois  $t$  doivent rester inférieurs à ses capacités maximales de

prélèvement  $K_{i,t}$  (DUP, capacité installée, ou autre contrainte de gestion telle que la saisonnalité d'une ressource, pollution, etc.).

$$Q_{prélevé_{i,t}} \leq K_{i,t} \quad (eq. 1)$$

De la même façon, les volumes traités par une station de traitement  $j$  au mois  $t$  doivent rester inférieurs à la capacité de la station  $K_{j,t}$  :

$$Q_{traité_{j,t}} \leq K_{j,t} \quad (eq. 2)$$

Par ailleurs, les prélèvements doivent aussi respecter les contraintes de volumes prélevables (Cf. section 4.3).

### 3.3. FONCTION OBJECTIF ET FONCTIONS DE COÛTS

Le modèle va optimiser les flux à prélever et transporter, de façon à minimiser le coût total de l'approvisionnement. Ainsi, lorsque plusieurs alternatives sont envisageables pour s'approvisionner, le modèle va chercher celle qui permet de minimiser :

- Les coûts liés au prélèvement : prioriser une ressource peu profonde plutôt qu'une ressource très profonde ;
- Les coûts liés au transport : prioriser une ressource proche plutôt qu'une ressource lointaine ;
- Les coûts liés au traitement : prioriser une ressource de bonne qualité plutôt qu'une ressource de mauvaise qualité.

De plus, on va chercher à maximiser la satisfaction des demandes en eau, c'est à dire minimiser les situations de défaillance où la demande ne peut pas être entièrement satisfaite.

Ainsi, le modèle va chercher à minimiser le coût total ( $C_{tot}$ ), et la fonction objectif est la suivante :

$$Min : C_{tot} = C_{tot\text{prélèvement}} + C_{tot\text{transport}} + C_{tot\text{traitement}} + C_{tot\text{défaillance}} \quad (eq. 3)$$

Des fonctions génériques sont définies pour calculer les coûts de prélèvement, de transport et de traitement et appliquées à tout le système d'approvisionnement. Il est important de noter que ces fonctions de coût n'ont pas vocation à représenter finement les coûts de production, mais plutôt à constituer des fonctions de pénalité permettant de prioriser les modes d'approvisionnement les moins coûteux.

Le **coût de prélèvement** est calculé comme le coût de l'énergie nécessaire pour pomper l'eau. Avec le coût de prélèvement ( $C_{prél_{i,t}}$ ) du volume prélevé ( $Q_{prél_{i,t}}$ ) au forage  $i$  au temps  $t$  fonction de la puissance nécessaire pour pomper l'eau ( $W_{prél}$ ), de la durée de pompage, et du prix de l'électricité :

$$C_{prél_{i,t}} = W_{prél_{i,t}} \cdot durée_{fonctionnement} \cdot Prix_{électricité} \quad (eq. 4)$$

Où la puissance nécessaire pour le prélèvement est calculée ainsi, d'après Baume et al. (2013) :

$$W_{prél_{i,t}} = \frac{W_{utile}}{rdt_{pompe}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{prél_{i,t}} \cdot \left( \Delta H_i + S(Q_{prél_{i,t}}) \right)}{rdt_{pompe}} \quad (eq. 5)$$



Les paramètres utilisés sont décrits dans la Table 1. On considère que  $\Delta H_i$  est égal à la profondeur de l'eau au niveau de l'ouvrage  $i$ . Pour calculer les pertes de charge  $S(Q_{prél_{i,t}})$ , on considère que l'on est en régime permanent et on utilise une simplification de la formule de Dupuit, la formule de Porchet :

$$Q_{prél_{i,t}} = \frac{2}{3} K_{nappe_i} \cdot (2H_{nappe_i} - S) \cdot S \quad (eq. 6)$$

Où  $Q_{prél_{i,t}}$  est le débit de pompage ( $m^3/s$ ),  $K_{nappe_i}$  la perméabilité de la nappe ( $m/s$ ),  $H_{nappe_i}$  l'épaisseur de la nappe ( $m$ ) et  $S$  les pertes de charge ( $m$ ).

En faisant l'hypothèse que  $H_{nappe} \gg S$ , on obtient :

$$S = \frac{Q_{prél_{i,t}}}{\frac{2}{3} K_{nappe_i} \cdot 2H_{nappe_i}} \quad (eq. 7)$$

Le coût total de prélèvement correspond à la somme des coûts de prélèvements au niveau de tous les points de prélèvement  $i$ , sur l'ensemble des mois  $t$  de l'année :

$$C_{tot\text{prélèvement}} = \sum_{i,t} C_{prél_{i,t}} \quad (eq. 8)$$

Table 1 : Paramètres utilisés pour les calculs de coûts d'énergie

Paramètre	Signification	Unité	Valeur
$durée_{fonctionnement}$	Durée de fonctionnement de l'ouvrage	s/mois	3600*24*365/12
$Prix_{électricité}$	Prix de l'électricité	€.kWh	0.08
$\rho$	Masse volumique de l'eau	kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>
$g$	Constante de gravité	m/s <sup>2</sup>	9.81
$rdt_{pompe}$	Rendement de la pompe	sans unité	0.8

Le **coût de transport** est également calculé comme le coût de l'énergie nécessaire. Avec le coût de transport ( $C_{transp_{j,t}}$ ) du volume transporté ( $Q_{transp_{j,t}}$ ) sur le tronçon  $j$  au temps  $t$  :

$$C_{transp_{j,t}} = W_{transp_{j,t}} \cdot durée_{fonctionnement} \cdot Prix_{électricité} \quad (eq. 9)$$

Où la puissance nécessaire pour le transport est estimée ainsi :

$$W_{transp_{j,t}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{transp_{j,t}} \cdot \Delta H_{j,t} \cdot L}{rdt_{pompe}} \quad (eq. 10)$$

Où  $\Delta H$  correspond aux pertes de charges dans les conduites (en m par mètre linéaire de conduite), en fonction de leur diamètre  $D$  (m), du volume transporté ( $m^3/s$ ), de la distance  $L$  (m) et d'une constante  $k$  dépendant de la nature de la canalisation, liée à la rugosité et aux dépôts. Pour les estimer, on utilise la formule de Lévy, en considérant  $k=0.00245$  (valeur typique d'une conduite neuve), d'après le formulaire des fonderies de Pont-à-Mousson :

$$\Delta H_{j,t} = k \cdot \frac{1}{1 + 3\sqrt{\frac{D_j}{2}}} \cdot \frac{Q_{transport\ j,t}^2}{D_j^2} \quad (eq. 11)$$

Le coût total de transport correspond à la somme des coûts de transport au niveau de tous les tronçons  $j$  du système d'approvisionnement, sur l'ensemble des mois  $t$  de l'année :

$$C_{tot\ transport} = \sum_{j,t} C_{transporté\ j,t} \quad (eq. 12)$$

L'eau exploitée sur le territoire est globalement de bonne qualité, ne nécessitant en général pas de traitement particulier. Pour les deux stations de traitement présentes sur le territoire, un **coût de traitement** unitaire moyen ( $c_k$ ) de 0,10 €/m<sup>3</sup> traité (dans l'ordre de grandeur des valeurs observées pour des traitements standards – Corisco-Perez, 2006) est appliqué au niveau des stations de traitement  $k$ , et :

$$C_{tot\ traitement} = \sum_{k,t} c_k \cdot Q_{traité\ k,t} \quad (eq. 13)$$

Le **coût de la défaillance**, quant à lui, est défini comme une mesure de la perte de « bien-être » associée au fait de ne pas voir sa demande en eau totalement satisfaite. La défaillance correspond à la différence entre le volume demandé ( $Q_{max}$ ) et le volume effectivement consommé ( $Q_{disponible}$ ). Le coût de la défaillance correspond à la perte de surplus du consommateur associée à la non satisfaction de sa demande (Figure 7). On fait ici l'hypothèse d'une fonction de demande linéaire, définie par les paramètres suivants basés sur des ordres de grandeur de la littérature (Neverre et Dumas, 2015) : la valeur du premier mètre cube consommé est égale à l'ordre de grandeur du prix de l'eau en bouteille (i.e. 100 €/m<sup>3</sup>), la valeur du dernier mètre cube demandé est égal à l'ordre de grandeur du prix de l'eau (on utilise la valeur de 3,5 €/m<sup>3</sup>).

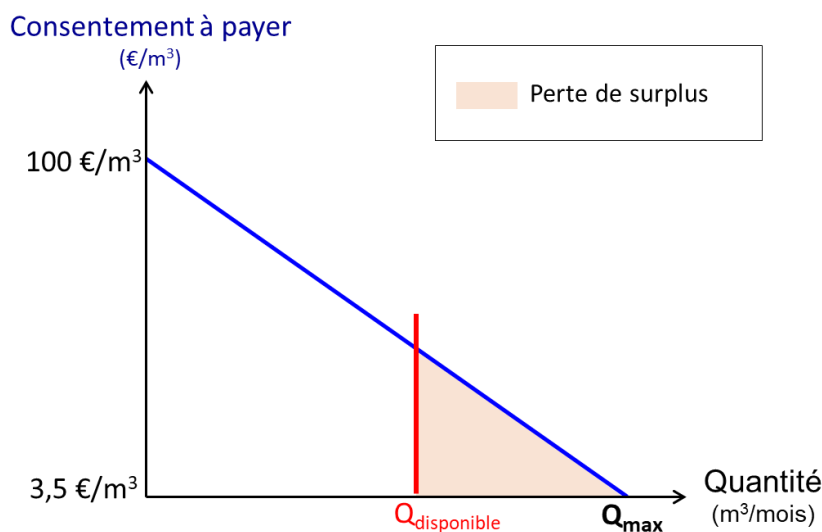


Figure 7 : Fonction de demande utilisée pour l'évaluation du coût de la défaillance

Le coût marginal de la défaillance augmente ainsi avec la défaillance : le premier mètre cube manquant (ex : ne pas pouvoir arroser sa pelouse) est moins pénalisant que les suivants (ex : ne pas pouvoir prendre de douche). En pratique, cela se traduit dans le modèle par le fait qu'il vaut mieux qu'il y ait 5% de défaillance pour 10 personnes – qui devront se restreindre légèrement, plutôt que 50% de défaillance pour une personne – qui serait beaucoup plus en difficulté.

En minimisant la fonction objectif, le modèle va ainsi chercher à équilibrer l'allocation de l'eau disponible entre les différentes URD, tout en privilégiant les modes d'approvisionnement les moins coûteux.

### 3.4. IMPLEMENTATION

Le modèle d'optimisation a été implémenté dans le logiciel GAMS (General Algebraic Modeling System), en utilisant le solveur CONOPT3.

## 4. Scénarios à horizon 2050

Les scénarios à simuler ont été définis lors d'un atelier de travail participatif, organisé le 21 octobre 2021 à Perpignan. Ces scénarios sont décrits dans les paragraphes suivants.

### 4.1. ÉVOLUTION DE LA DEMANDE AEP

Deux scénarios ont été retenus en ce qui concerne l'évolution de la demande en eau potable à horizon 2050 :

- Scénario « de référence » : ce scénario correspond au scénario « SCOT » du schéma de sécurisation (Artelia, 2017) à horizon 2050. On notera que ce scénario est probablement légèrement surévalué au vu de l'évolution constatée de taux de croissance de la population durant les dernières années.
- Scénario « optimiste » : dans ce scénario, on considère que la demande est de 10% inférieure à celle du scénario « SCOT », avec en outre un plafonnement de telle sorte que la demande à horizon 2050 soit au maximum doublée par rapport à la situation de référence de 2015.

Table 2 : Scénarios d'évolution de la demande AEP à horizon 2050 dans les communes du périmètre, par rapport à la consommation de 2013

Scénario	Ratio d'évolution de la demande (Consommation 2050 / Consommation 2013)		
	Moyenne sur l'ensemble des communes	Minimum	Maximum
SCOT	1,37	0,82	3,23
Optimiste	1,23	0,74	2

### 4.2. ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DES RESEAUX AEP

Deux scénarios d'évolution des rendements des réseaux ont été retenus :

- Scénario « de référence » : les rendements de 2050 sont égaux aux rendements « objectif Décret » (Cf. schéma de sécurisation)
- Scénario « optimiste » : les rendements de 2050 sont égaux aux rendements objectif SAGE (soit 85% partout)

Table 3 : Scénarios d'évolution des rendements des réseaux à horizon 2050 dans les communes du périmètre

Scénario	Rendement moyen sur l'ensemble des communes (pondéré par les volumes produits)	Rendement minimum	Rendement maximum
Rendement actuel de référence (2013)	72 %	32 %	89 %
Objectif Décret	76,5 %	70 %	87 %
Objectif SAGE	85 %	85 %	85 %

On notera que globalement ces deux scénarios constituent une amélioration du rendement par rapport à la situation actuelle.

### 4.3. ÉVOLUTION DES CAPACITES DE PRELEVEMENT AEP DANS LES NAPPES QUATERNAIRE ET PLIOCENE

Bien qu'il n'y ait pas de volumes prélevables, à proprement parler, définis pour le Quaternaire, il apparaît nécessaire de prendre en compte que les capacités de prélèvements ne sont pas illimitées dans le Quaternaire.

Deux scénarios d'évolution des capacités de prélèvement totales dans le Quaternaire ont été retenus :

- Scénario « de référence » : prélèvement total annuel maximum de 12,5 Mm<sup>3</sup> (chiffre basé sur l'étude VP HYDRIAD, phase 1)
- Scénario « optimiste » : prélèvement total annuel maximum de 16 Mm<sup>3</sup> (établi sur la base des prélèvements maximum observés entre 2010 et 2019, soit 15,2 Mm<sup>3</sup>, auxquels sont ajoutées les marges de manœuvre proposées par le SMNPR dans le schéma de sécurisation de 2017)

La contrainte suivante est ajoutée dans le modèle présenté en section 3.2 :

$$\sum_{i \text{ dans le Quaternaire}} \sum_t Q_{\text{prélevé}_{i,t}} \leq 12,5 \text{ ou } 16 \text{ Mm}^3 \quad (\text{eq. 14})$$

Pour le Pliocène, deux scénarios de volumes prélevables (VP) ont été retenus :

- Scénario « de référence » : VP fixés par captage, tels que définis dans la maquette de répartition de la DDTM66 d'avril 2021.
- Scénario « souple » : VP fixés par unité de gestion (secteur géographique), à partir des VP définis dans le PGRE et la maquette de répartition de la DDTM66, d'après l'étude VP HYDRIAD.

Les contraintes suivantes sont ajoutées dans le modèle présenté en section 3.2 en fonction du scénario simulé :

Pour le scénario de référence, pour chaque ouvrage *i* dans le Pliocène :

$$\sum_t Q_{\text{prélevé}_{i,t}} \leq VP_i \quad (\text{eq. 15})$$

Pour le scénario « souple », pour chaque secteur géographique :

$$\sum_{i \text{ dans le secteur}} \sum_t Q_{\text{prélevé}_{i,t}} \leq VP_{\text{secteur}} \quad (\text{eq. 16})$$

Table 4 : Volumes prélevables dans le Pliocène par secteur géographique

Secteur géographique	Volumes prélevables AEP dans le Pliocène (Mm <sup>3</sup> /an)	+ Marges 2030 (SAGE B.1.3)
Agly Salanque	3,6	3,6
Aspres Réart	6,2	6,2
Bordure côtière Nord	4,9	4,9
Bordure côtière Sud	4,3	4,7
Vallée de la Têt	10,4	14,5




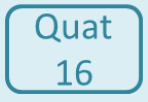

Secteur géographique	Volumes prélevables AEP dans le Pliocène (Mm <sup>3</sup> /an)	+ Marges 2030 (SAGE B.1.3)
Vallée du Tech	0,04	0,04
<b>TOTAL</b>	<b>29,5</b>	<b>33,9</b>

On notera que dans tous les scénarios les prélèvements restent également contraints à l'échelle du captage par le DUP et les capacités installées.

#### 4.4. BILAN DES SCENARIOS

La Table 5 récapitule tous les scénarios définis pour chaque type de scénario. Ces scénarios peuvent ensuite être combinés de différentes façons. Les pictogrammes seront utilisés dans la suite du document pour faciliter la lecture des résultats de ces scénarios combinés.

Table 5 : Récapitulatif des scénarios et pictogrammes associés

Type de scénario	Pictogramme	Signification
<b>Demande</b>		Scénario de demande « SCOT » du schéma de sécurisation (Artelia, 2017)
		Scénario de demande réduite (SCOT -10%, et au maximum doublement de la demande entre 2013 et 2050)
<b>Rendement</b>		Rendement objectif décret
		Rendement objectif SAGE
<b>Capacités de prélèvement dans le Quaternaire</b>		Capacité maximale de prélèvement dans le Quaternaire de 12,5 Mm <sup>3</sup> par an
		Capacité maximale de prélèvement dans le Quaternaire de 16 Mm <sup>3</sup> par an
<b>Volumes prélevables dans le Pliocène</b>		Volumes prélevables dans le Pliocène à respecter par captage
		Volumes prélevables dans le Pliocène à respecter par secteur géographique
		Volumes prélevables dans le Pliocène à respecter par secteur géographique + Marges supplémentaires 2030 de la disposition B.1.3 du SAGE

## 5. Résultats

Les différents scénarios décrits précédemment ont été simulés avec le modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable.

Pour chaque scénario, le modèle détermine quelle est l'organisation optimale de l'approvisionnement (i.e. quels volumes prélever, et comment les répartir entre les différentes destinations possibles) dans cette situation, de façon à minimiser le coût total (coût de l'approvisionnement + coût de la défaillance), sous contrainte des capacités de production – Cf. Section 3.

Une fois cette organisation optimale déterminée, on obtient notamment comme résultats en sortie de modèle :

- Les volumes prélevés au niveau des différents ouvrages de production ;
- Les demandes qui peuvent être satisfaites et les éventuelles situations de défaillance de l'approvisionnement (part de la demande qui ne peut pas être satisfaite), au niveau des différentes URD.

Dans les résultats présentés ci-dessous, on s'intéresse plus spécifiquement à la période estivale (juillet-août), pendant laquelle la pression sur les ressources est la plus importante.

### 5.1. SCENARIO DE REFERENCE (SCENARIO LE PLUS DEFAVORABLE)

Quand on se place dans le scénario de référence (*Demande : SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm<sup>3</sup> prélevables*), qui constitue la combinaison de scénarios la plus défavorable, on constate que même en optimisant l'approvisionnement, on ne parvient pas à satisfaire toute la demande en eau potable sur le territoire en été. La Figure 8 laisse apparaître des situations de défaillance de l'approvisionnement sur la majeure partie du territoire.

Globalement, cette situation est liée au fait que les volumes prélevables annuels par captage dans le Pliocène sont atteints (Figure 9), il n'est pas possible de prélever plus pour satisfaire la demande restante.

Quelques URD se démarquent cependant et parviennent à satisfaire leurs demandes, apparaissant en vert dans la Figure 8 : Toulouges et Caixas. Cela s'explique pour Caixas par le fait que l'URD dispose de ressources non Pliocène ou Quaternaire (forages/sources implantés dans des schistes), qui ne sont donc pas contraintes par des volumes prélevables maximums dans cette modélisation. Pour Toulouges, il apparaît que le volume prélevable de son captage n'est pas totalement atteint dans ce scénario : 93% du VP annuel du captage est prélevé, et cela est suffisant pour satisfaire toute la demande de l'URD.

L'URD de Canet Plage apparaît également en vert (Figure 8), cependant ce résultat est à prendre avec précaution du fait du manque de fiabilité des données d'entrée du modèle. En effet, en l'absence de données spatialisées par URD, la demande AEP de la commune de Canet a été répartie entre Canet Plage et Canet Village au prorata des capacités de prélèvements sur chaque URD, ce qui n'est pas forcément réaliste.

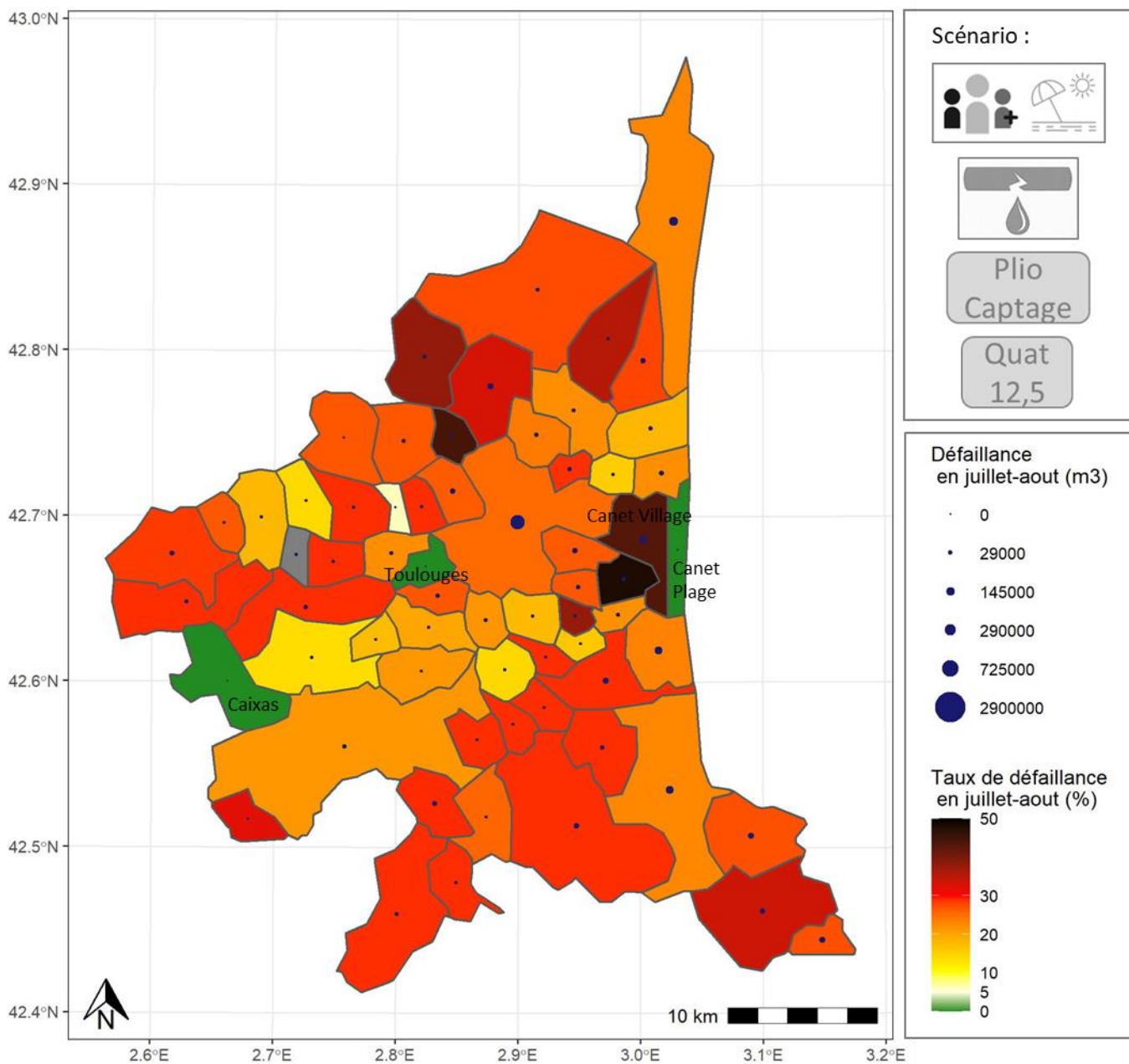


Figure 8 : Taux de défaillance de l'approvisionnement en été (juillet-août) dans le cas du scénario le plus défavorable (Demande : SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm<sup>3</sup> prélevables)



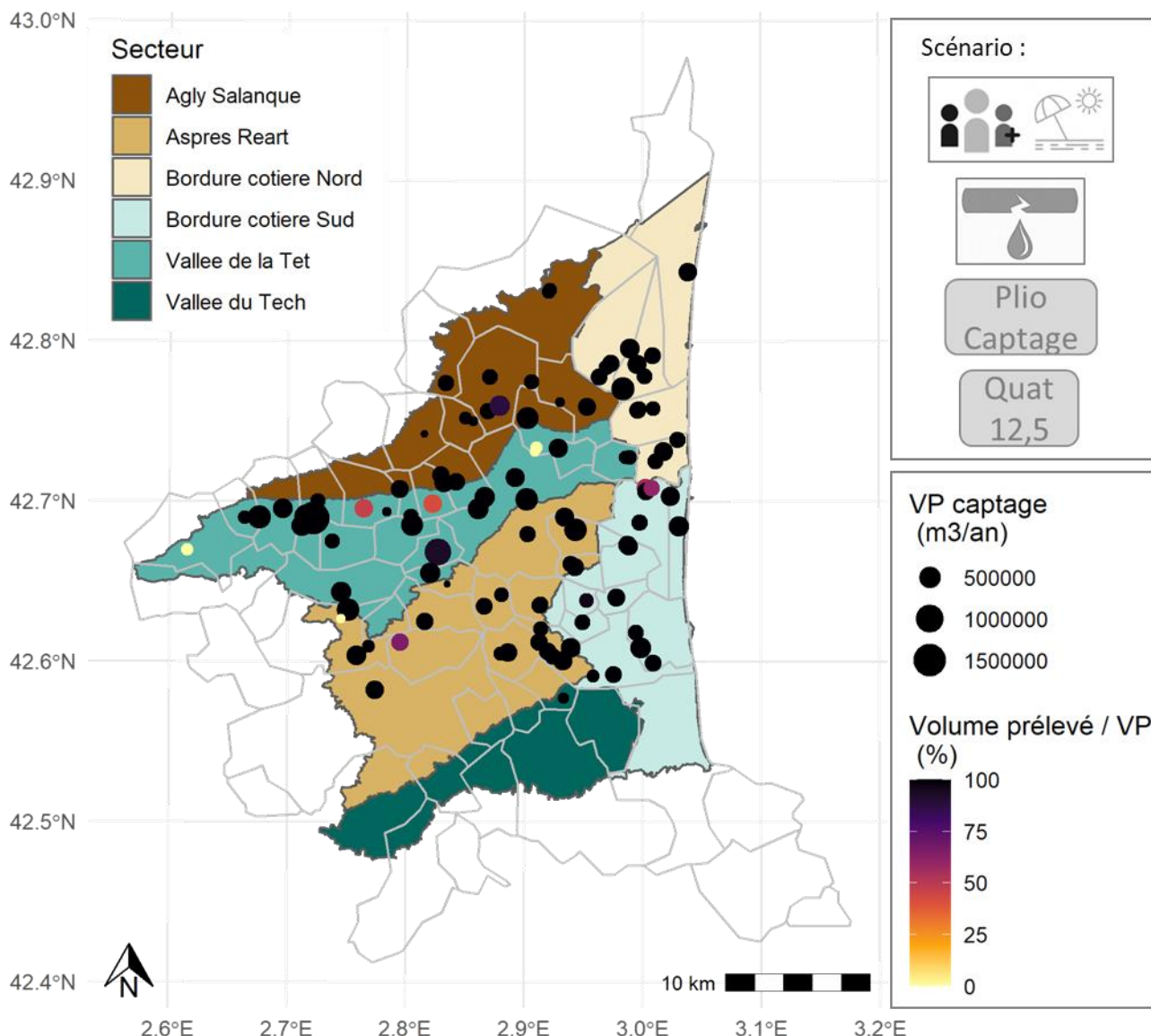


Figure 9 : Taux de sollicitation des ouvrages de prélèvements dans le Pliocène par rapport à leurs volumes prélevables annuels, dans le scénario le plus défavorable (Demande : SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm<sup>3</sup> prélevables)

## 5.2. SCENARIO LE PLUS FAVORABLE

Quand on se place dans le cadre du scénario le plus favorable (Demande réduite ; Rendements : objectif SAGE ; VP Pliocène par secteur, avec marges ; Quaternaire : 16 Mm<sup>3</sup> prélevables), il apparaît globalement possible de satisfaire les demandes en eau sur la majeure partie du territoire, même en été (Figure 10).

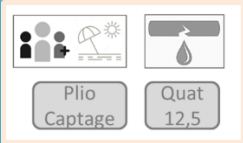


Quelques URD ne parviennent cependant pas à satisfaire entièrement leur demande estivale dans ce scénario : Théza, Banyuls Val Auger (Banyuls sur Mer), Saint Hippolyte, Leucate-Barcarès, Saint Laurent de la Salanque, Toreilles et Sainte Marie la Mer. L'URD de Saint Féliu d'Amont apparaît également en difficulté, cependant ce résultat est à prendre avec précaution,

car des questions des posent quant à la cohérence des données de consommation historique et de capacités des ouvrages de prélèvement disponibles pour cette URD.

Pour Théza, Saint Hippolyte et Banyuls Val Auger, l'incapacité à satisfaire toute la demande en eau s'explique par le fait que les capacités maximales de prélèvements (DUP et/ou capacité installée) sur leurs installations sont déjà atteintes.

En ce qui concerne les URD du secteur de la Bordure Côtière Nord, il apparait que les prélèvements sont contraints par le VP Pliocène sur ce secteur (Table 6). Le VP est déjà atteint sur ce secteur, il n'est pas possible de prélever plus pour satisfaire le reste de la demande.

Table 6 : Volumes prélevés dans le Quaternaire et dans le Pliocène par rapport aux volumes prélevables, dans le scénario le plus favorable (Demande réduite ; Rendements : objectif SAGE ; VP Pliocène par secteur, avec marges ; Quaternaire : 16 Mm<sup>3</sup> prélevables) et le plus défavorable (Demande SCOT ; Rendements : objectif décret ; VP Pliocène par captage ; Quaternaire : 12,5 Mm<sup>3</sup> prélevables)

	VP	VP + marge	Scénario le plus défavorable 	Scénario le plus favorable 
<b>Volumes prélevés dans le Pliocène – Par secteur géographique :</b>				
Agly Salanque	3,6	3,6	3,4	3,3
Aspres Réart	6,2	6,2	6,1	5,1
Bordure côtière Nord	4,9	4,9	4,9	4,9
Bordure côtière Sud	4,3	4,7	3,9	2,3
Vallée de la Têt	10,4	14,5	9,4	10
Vallée du Tech	0,04	0,04	0,04	0,01
<b>TOTAL (Mm<sup>3</sup>/an)</b>	<b>29,5</b>	<b>33,9</b>	<b>27,8</b>	<b>25,7</b>
<b>Volumes prélevés dans le Quaternaire :</b>				
<b>TOTAL (Mm<sup>3</sup>/an)</b>			<b>12,5</b>	<b>16</b>

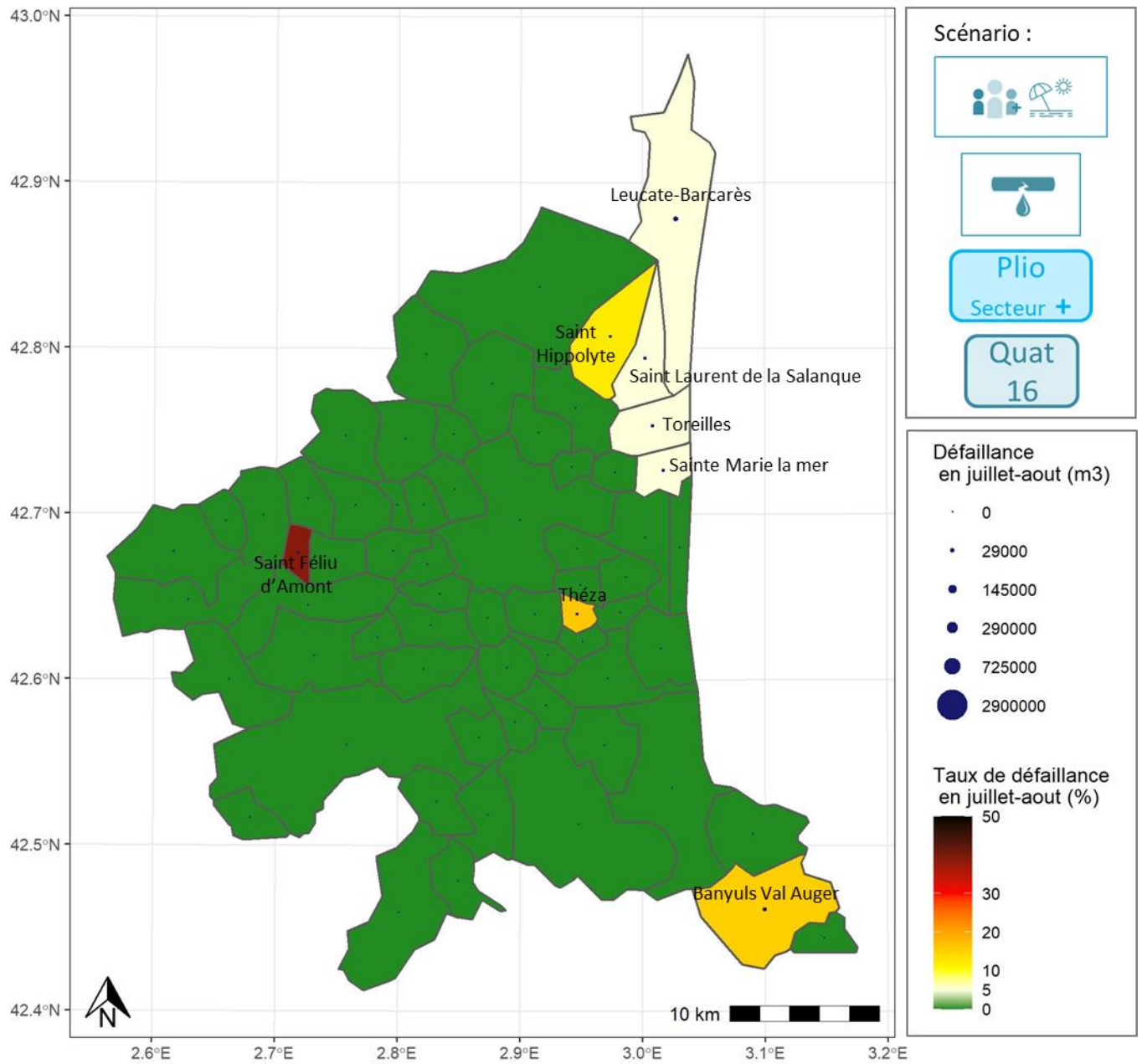


Figure 10 : Taux de défaillance de l'approvisionnement en été (juillet-août) dans le cas du scénario le plus favorable (Demande réduite ; Rendements : objectif SAGE ; VP Pliocène par secteur, avec marges ; Quaternaire : 16 Mm<sup>3</sup> prélevables)

### 5.3. IMPACT DU SCENARIO D'EVOLUTION DES CAPACITES DE PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES

La Figure 11 illustre l'impact qu'ont les différents scénarios d'évolution des capacités de prélèvement dans les différentes ressources, par rapport aux taux de défaillance observés dans le scénario le plus défavorable (situé tout en haut à gauche).

Sans surprise, on constate que lorsque l'on se place dans un scénario optimiste où l'on considère que le volume maximum prélevable dans le Quaternaire est de 16 Mm<sup>3</sup> (plutôt que 12,5 Mm<sup>3</sup> dans un scénario plus prudent), et que donc on s'autorise à prélever plus, les situations de défaillance de l'AEP sont atténuées par rapport à la situation de référence. De même lorsque l'on se place dans un scénario optimiste avec des marges supplémentaires de VP dans le Pliocène (scénario « Secteur + »).

Si l'on s'intéresse maintenant à la répartition spatiale des VP Pliocène, on constate que lorsque les VP dans le Pliocène sont contraints à l'échelle des secteurs géographiques plutôt qu'à l'échelle de chaque captage individuel, les situations de défaillance de l'AEP sont atténuées. En effet, dans ce cas de figure le modèle a plus de flexibilité pour réaliser son optimisation, il va pouvoir adapter plus finement les volumes à prélever au niveau de chaque ouvrage de prélèvement, de façon à satisfaire au mieux les demandes en eau qui en dépendent et donc répartir au mieux le VP du secteur entre les captages du secteur. Le fait que le taux de satisfaction des demandes soit meilleur quand on se laisse plus de flexibilité signifie que les volumes optimaux à prélever au niveau de chaque captage ne correspondent pas aux VP fixés par captage. L'examen attentif des valeurs de prélèvements optimales en chaque captage pourrait apporter de l'information utile pour l'aide à la révision de la répartition du VP entre les captages.

**Attention cependant à l'interprétation de ces résultats** : ce modèle d'optimisation ne prend pas en compte les dynamiques hydrogéologiques. Il ne permet donc pas de prendre en compte l'impact local que pourraient avoir certains prélèvements sur le risque d'intrusion d'eau salée, par exemple. Il permet juste de déterminer comment se partager au mieux un VP donné en termes de besoins à satisfaire, sans considérer l'impact qu'une modification de la répartition spatiale de ce VP pourrait avoir pour la problématique intrusion saline. Autrement dit, la répartition optimale des prélèvements proposée par le modèle dans les scénarios « Plio Secteur » correspond à la répartition optimale en termes de satisfaction de la demande, elle respecte bien les VP par secteur, mais on n'est pas certain que cette répartition ne pose pas de problème localement.

Dans tous les cas, même en combinant les scénarios les plus optimistes de capacités de prélèvement dans les deux aquifères, il n'est globalement pas possible de satisfaire entièrement les besoins en eau potable en juillet août, dans le cas d'une demande « SCOT » avec des rendements « Objectif Décret ». Bien que les situations de défaillance soient très fortement réduites sur une grande partie du territoire, certaines zones restent en difficulté, notamment la Bordure Côtière Nord (Figure 11, scénario tout en bas à droite).

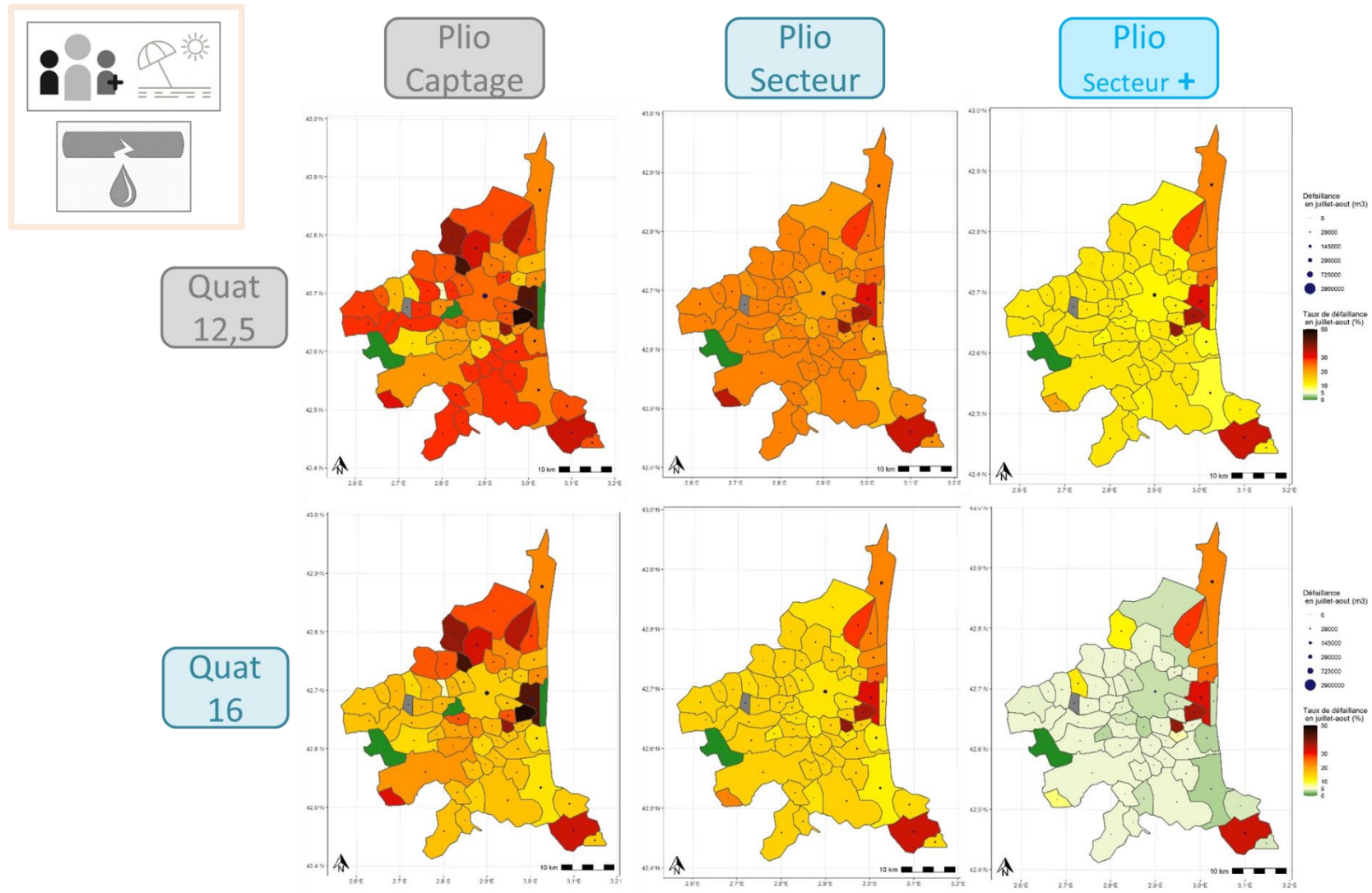


Figure 11 : Influence des scénarios d'évolution des capacités de prélèvements dans les dans les nappes Quaternaire et Pliocène sur le taux de défaillance de l'approvisionnement en eau potable en été (juillet-août).



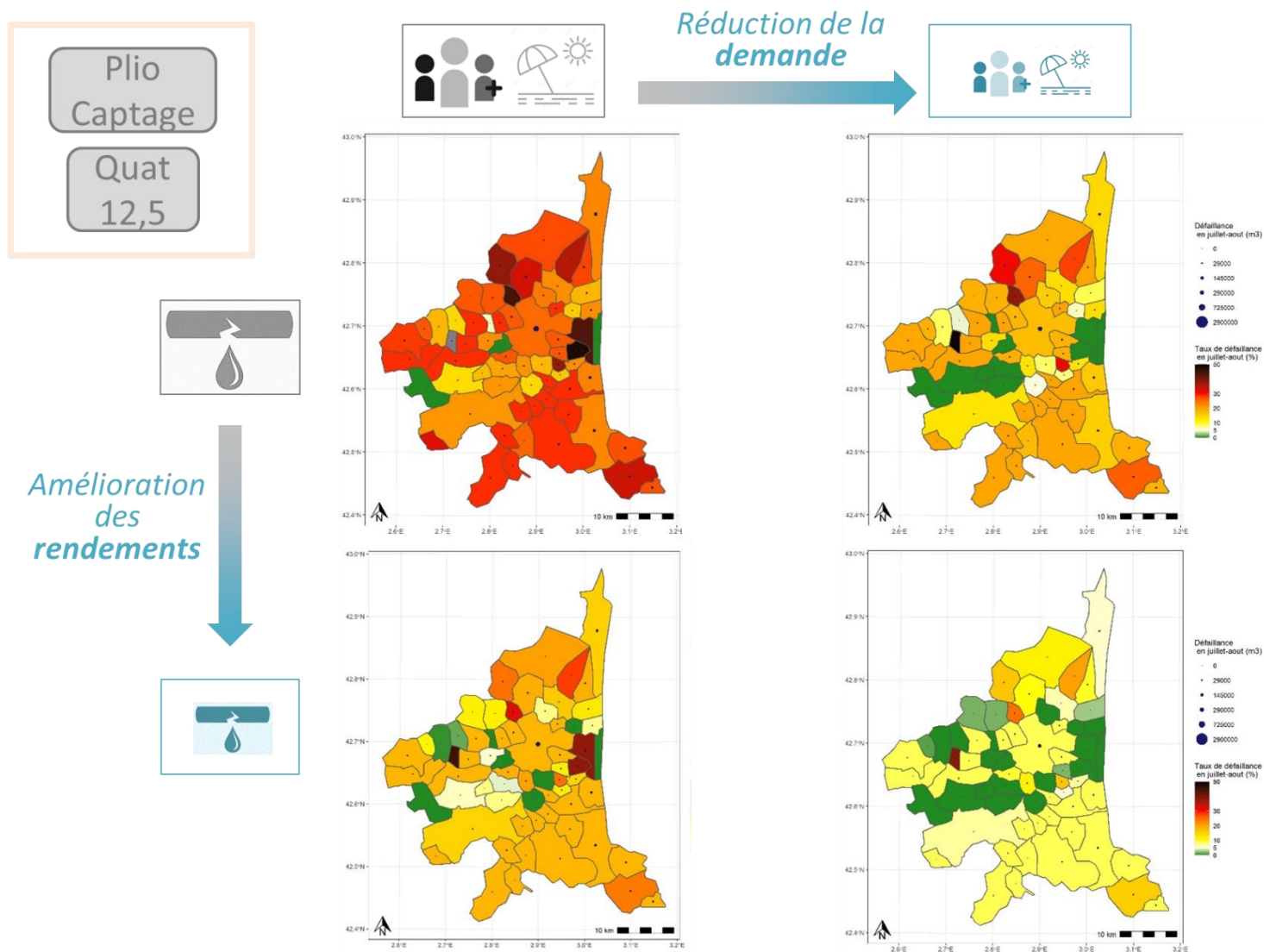


Figure 12 : Impact des scénarios d'évolution des besoins en eau sur le taux de défaillance de l'approvisionnement en eau potable en été (juillet-août).

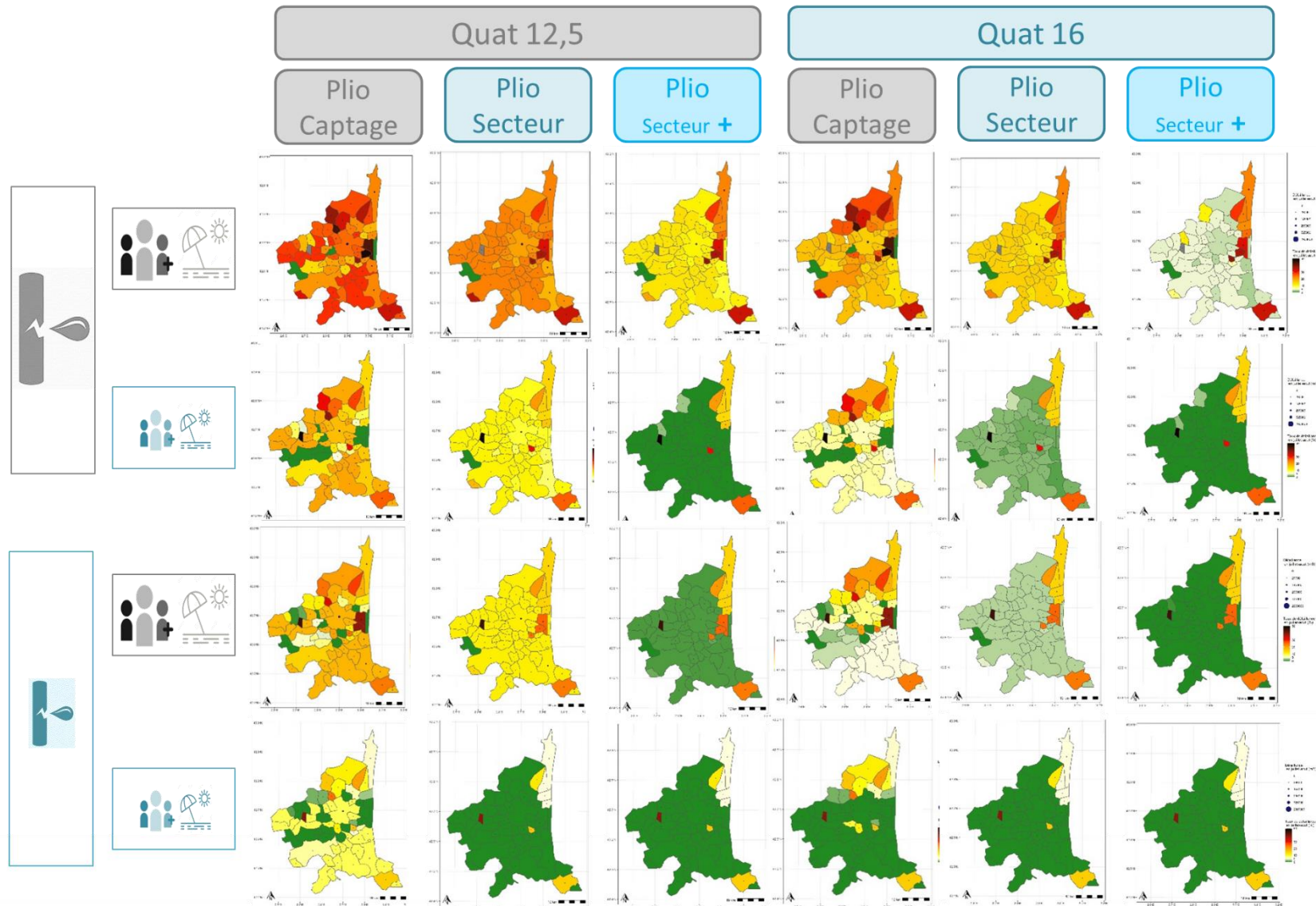


Figure 13 : Vue d'ensemble des résultats de tous les scénarios en termes de taux de défaillance de l'approvisionnement en eau potable. Le scénario le plus défavorable est situé tout en haut à gauche, le scénario le plus favorable tout en bas à droite.

#### **5.4. IMPACT DU SCENARIO D'EVOLUTION DES BESOINS EN EAU**

La Figure 12 illustre comment les scénarios de réduction de la demande et d'augmentation des rendements permettent d'atténuer les taux de défaillance observés dans le scénario le plus défavorable.

On constate que les scénarios volontaristes en termes de maîtrise de la demande et de gestion patrimoniale des réseaux permettent d'atténuer les situations de défaillance de l'approvisionnement. En combinant les deux, un certain nombre d'URD (en vert foncé) parviennent à satisfaire entièrement leur demande estivale. Cependant, cela n'est tout de même pas suffisant pour permettre de réussir à satisfaire entièrement les besoins en eau sur la totalité du territoire.

De façon intéressante, on remarque que la combinaison de ces scénarios de maîtrise de la demande et du rendement permet d'améliorer la situation dans la Bordure Côtière Nord (Figure 12, tout en bas à droite) significativement mieux que la combinaison des scénarios d'augmentation des capacités de prélèvement (Figure 11, tout en bas à droite).

#### **5.5. VUE D'ENSEMBLE DES SCENARIOS**

La Figure 13 présente une vue d'ensemble de toutes les combinaisons possibles de scénarios.

On constate que lorsque l'on se place dans des scénarios combinant réduction de la demande et excellents rendements (ligne du bas), on arrive à satisfaire la demande sur la majeure partie du territoire, pour la plupart des différents scénarios de capacités de prélèvements dans les aquifères. Sauf dans les cas où le VP Pliocène est défini par captage, où la demande est sensiblement moins bien satisfaite (colonnes « Plio Captage »).

Par contre, lorsque l'on se place dans le scénario le plus défavorable en termes à la fois de rendement et de demande (ligne du haut – Demande SCOT et rendement Objectif Décret), globalement on n'arrive pas à satisfaire toute la demande, quels que soient les scénarios de capacités de prélèvements dans les aquifères.

Dans les scénarios où les VP dans le Pliocène sont contraints à l'échelle des captages (colonnes « Plio Captage »), globalement, on n'arrive pas à satisfaire toute la demande, quels que soient les autres scénarios - même si la situation est nettement améliorée dans le cas où tous les autres types de scénarios sont les plus favorables possibles.

Le fait de contraindre le respect des VP Pliocène par secteur seulement (laissant une flexibilité pour redéfinir la répartition du VP entre les captages au sein de chaque secteur), permet d'atténuer les situations de défaillance (colonnes « Plio Secteur »). Ce n'est pas forcément suffisant pour réussir à satisfaire la demande sur l'ensemble du territoire, sauf dans les cas où on combine à la fois des scénarios volontaristes de maîtrise des demandes et des rendements (ligne du bas) ; ou bien soit demandes soit rendements, dans le cas où les prélèvements dans le Quaternaire peuvent s'élever à 16 Mm<sup>3</sup>/an.

Si l'on ajoute en plus les marges supplémentaires de la disposition B.1.3 du SAGE aux VP Pliocène par secteur (colonnes « Plio Secteur +»), on arrive à satisfaire globalement la demande sur la majeure partie du territoire à partir du moment où l'on a, soit d'excellents rendements, soit une demande réduite.



Cependant, dans tous les cas de figure, la zone de la Bordure Côtière Nord (ainsi que quelques autres URD) ne parvient pas à satisfaire toute sa demande, même si la situation est nettement améliorée par la combinaison diminution de la demande et augmentation des rendements.

Pour rappel, pour les URD de Théza, Saint Hippolyte et Banyuls Val Auger, l'incapacité à satisfaire toute la demande s'explique par le fait que les capacités maximales de prélèvements (DUP et/ou capacité installée) sur leurs installations sont déjà atteintes (Cf. Section 5.2). En ce qui concerne les URD de la Bordure Côtière Nord, il apparaît que les prélèvements sont contraints par le VP Pliocène sur ce secteur (Table 6). Le VP total est déjà atteint sur ce secteur, il n'est pas possible de prélever plus pour satisfaire le reste de la demande.

## 6. Conclusions et perspectives

Un modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable de la Plaine du Roussillon a été construit, qui permet d'évaluer les impacts de différents scénarios d'évolution à horizon 2050. Ce modèle ne doit pas être considéré comme un outil de gestion opérationnelle à court terme, mais plutôt comme un outil exploratoire pour le moyen et le long terme.

Différents types de résultats et d'indicateurs sont disponibles et analysables en sortie de modèle: prélèvements optimums au niveau de chaque captage, taux de satisfaction des demandes des URD, ou taux de défaillance (et volumes concernés), taux de saturation des capacités de prélèvements des différents captages, bilans par URD, par aquifère, par secteur, etc.

Différents scénarios d'évolution des demandes, des rendements et des capacités de prélèvement dans les deux aquifères, ont été construits avec les acteurs locaux et simulés avec le modèle d'optimisation de l'AEP.

Les résultats des simulations montrent que le territoire présente des risques de défaillance de l'approvisionnement en eau potable à horizon 2050 (dans les conditions d'infrastructures actuelles) et cela même lorsque l'organisation de l'approvisionnement est optimisée au maximum. Des stratégies de sécurisation apparaissent nécessaires, notamment dans le secteur Bordure Côtière Nord, même si des scénarios volontaristes de maîtrise des rendements et de maîtrise de la demande permettraient de réduire ces besoins de sécurisation.

Suite à cette étape de diagnostic des vulnérabilités du système actuel, une perspective de prolongation de l'analyse et de valorisation de l'outil construit serait d'utiliser le modèle pour simuler et évaluer différentes stratégies d'adaptation et de sécurisation: mobilisation de nouvelles ressources, interconnexions, etc. (Figure 14). Le modèle pourrait également être utilisé pour chercher à optimiser le dimensionnement de certaines mesures, ou pour identifier les combinaisons de mesures optimales.

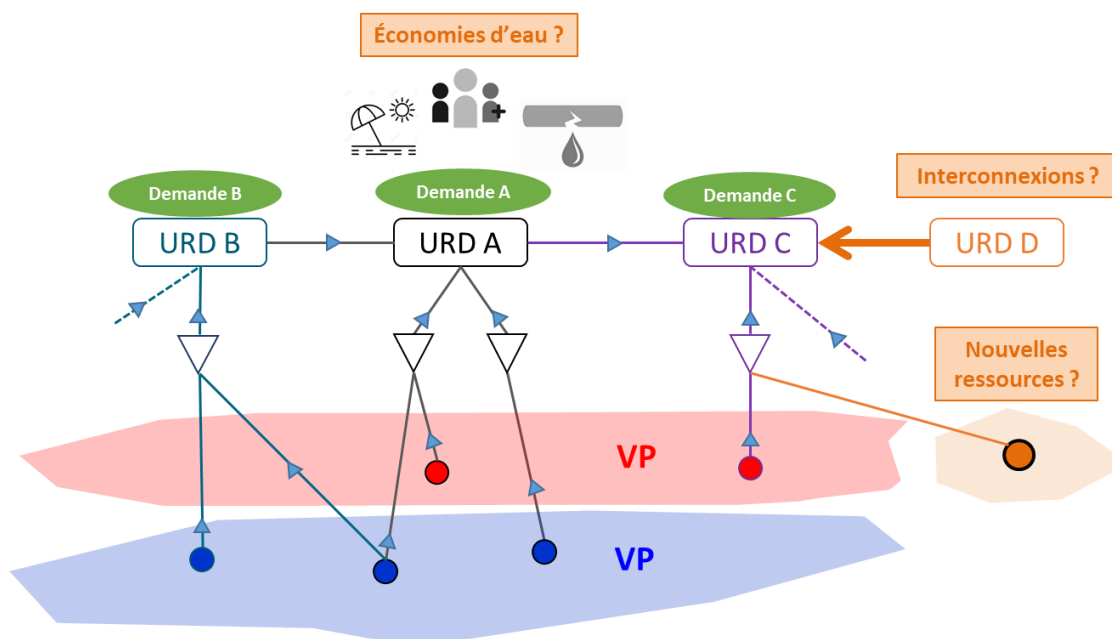


Figure 14 : Utilisation du modèle pour évaluer et optimiser des mesures d'adaptation

Deux points de vigilance sont à noter :

- Tout d'abord, l'importance de bien valider les données et paramètres d'entrée du modèle (ex : répartition mensuelle de la demande). La fiabilité des résultats du modèle dépend de la qualité de ces données.
- D'autre part, ce modèle ne représente de façon explicite que le système d'approvisionnement en eau potable et les demandes en eau ; les potentiels de prélèvement soutenable dans les ressources sont représentés par des volumes fixes maximums à ne pas dépasser, sans représentation explicite des dynamiques hydrogéologiques. Ainsi, il n'y a pas de prise en compte dynamique des impacts potentiels des prélèvements sur l'état des ressources, notamment en termes d'intrusion saline.

Une perspective d'amélioration scientifique de l'outil serait de coupler ce modèle d'optimisation à un modèle hydrogéologique, afin de pouvoir prendre en compte les interactions entre pompages et ressources de façon dynamique (baisse des nappes, intrusion saline, impacts sur les cours d'eau etc.). Dans un tel « modèle hydro-économique » (Harou et al., 2009 ; Grémont et al. 2015) ainsi constitué, l'optimisation ne se ferait pas de façon à respecter un VP fixe donné comme jusqu'à présent, mais de façon à éviter les éventuels impacts négatifs des prélèvements sur le bon état des ressources. L'optimisation de l'approvisionnement en eau potable se ferait de façon à satisfaire au mieux les besoins AEP à moindre coût, sous contrainte des dynamiques hydrogéologiques et de l'impact des prélèvements sur les ressources (Figure 15). Ce couplage pose cependant des défis, notamment en termes de temps de calcul ; des développements méthodologiques importants sont nécessaires.

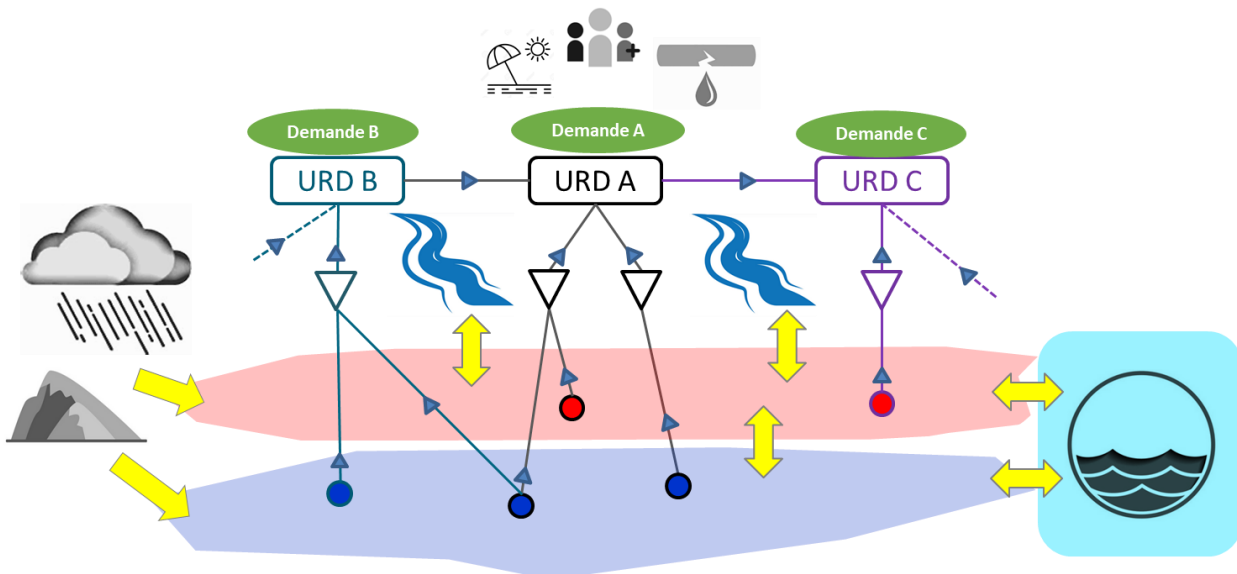


Figure 15 : Une perspective d'amélioration de l'outil est la prise en compte des dynamiques hydro(géo)logiques (représentées par les flèches jaunes), via le couplage du modèle d'optimisation de l'AEP avec un modèle hydrogéologique

## 7. Bibliographie

Artelia Eau & Environnement (2017). Schéma de sécurisation des besoins en eau potable de la Plaine du Roussillon aux horizons 2017 – 2030 – 2050 (phases 1, 2 et 3)

Baume J-P., Belaud G., Vion P-Y. (2013). « Pompes » (chapitre 3) dans Hydraulique pour le génie rural, pp. 29-48

Corisco-Perez, C (2006). Potabilisation : les coûts réels de production de l'eau potable. Synthèse technique. ENGREF Centre de Montpellier.

Grémont M., Girard C., Gauthey J., Augeard B. (2015) Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ? ONEMA, collection Comprendre pour agir, 20 pages

Harou J.J., Pulido-Velazquez M., Rosenberg D. E., Medellín-Azuara J., Lund J.R., Howitt R.E., (2009). Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects, in Journal of Hydrology, n°375, pp. 627-643

Hydiad Eau & Environnement (2014). Étude des volumes prélevables des nappes plio-quadernaires de la plaine du Roussillon (Phase 1 : Estimation des volumes prélevés, Phase 2 : Estimation des volumes prélevables).

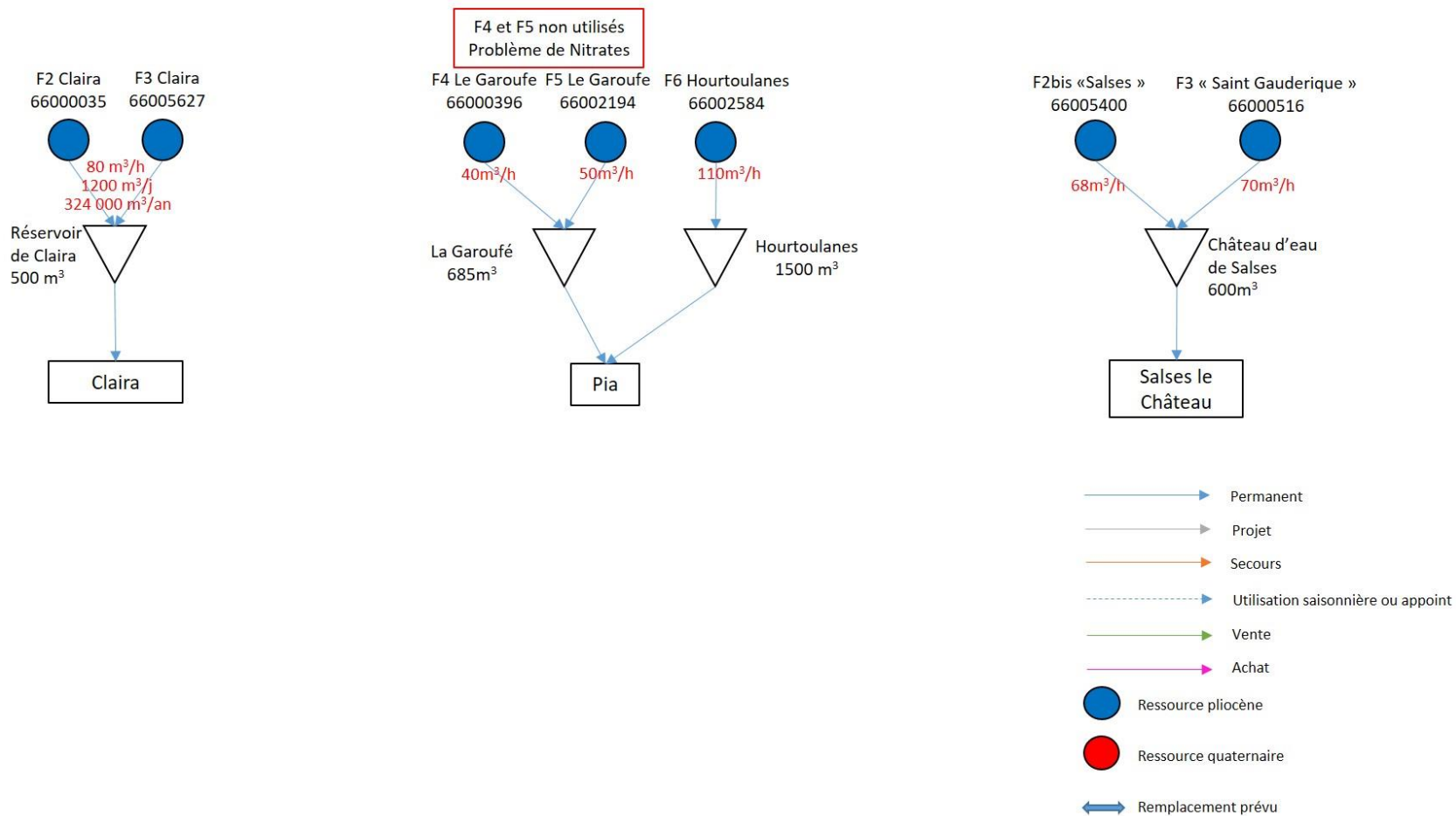
Neverre, N. et Dumas, P. (2015). Projecting and valuing domestic water use at regional scale: A generic method applied to the Mediterranean at the 2060 horizon. Water Resources and Economics, 11, 33–46.

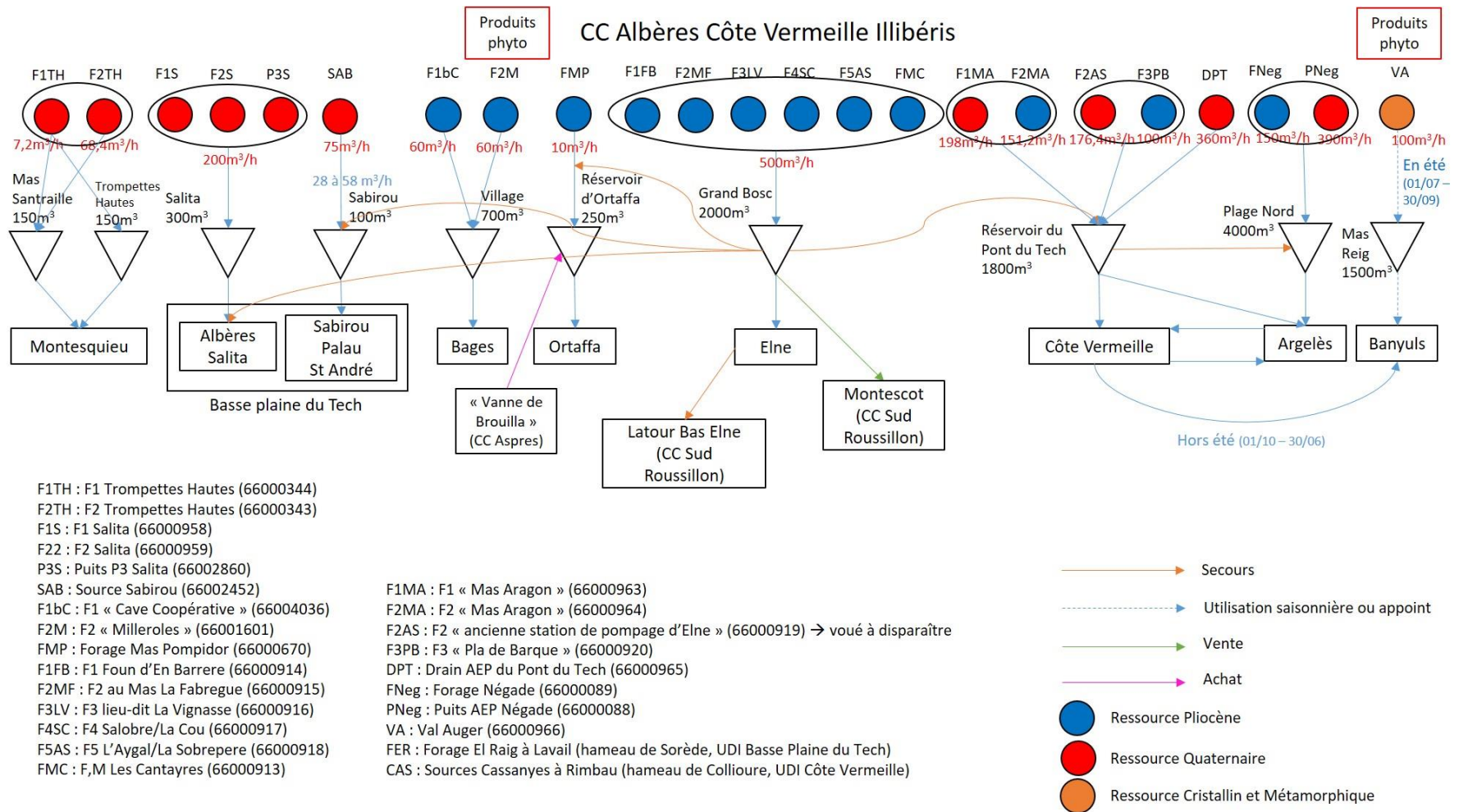
Neverre N., Charlier J-B., Moiroux F., Grémont M. (2019) Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe face à la problématique chlorures à horizon 2050. Rapport final. BRGM/RP-69310-FR

## **Annexe 1**

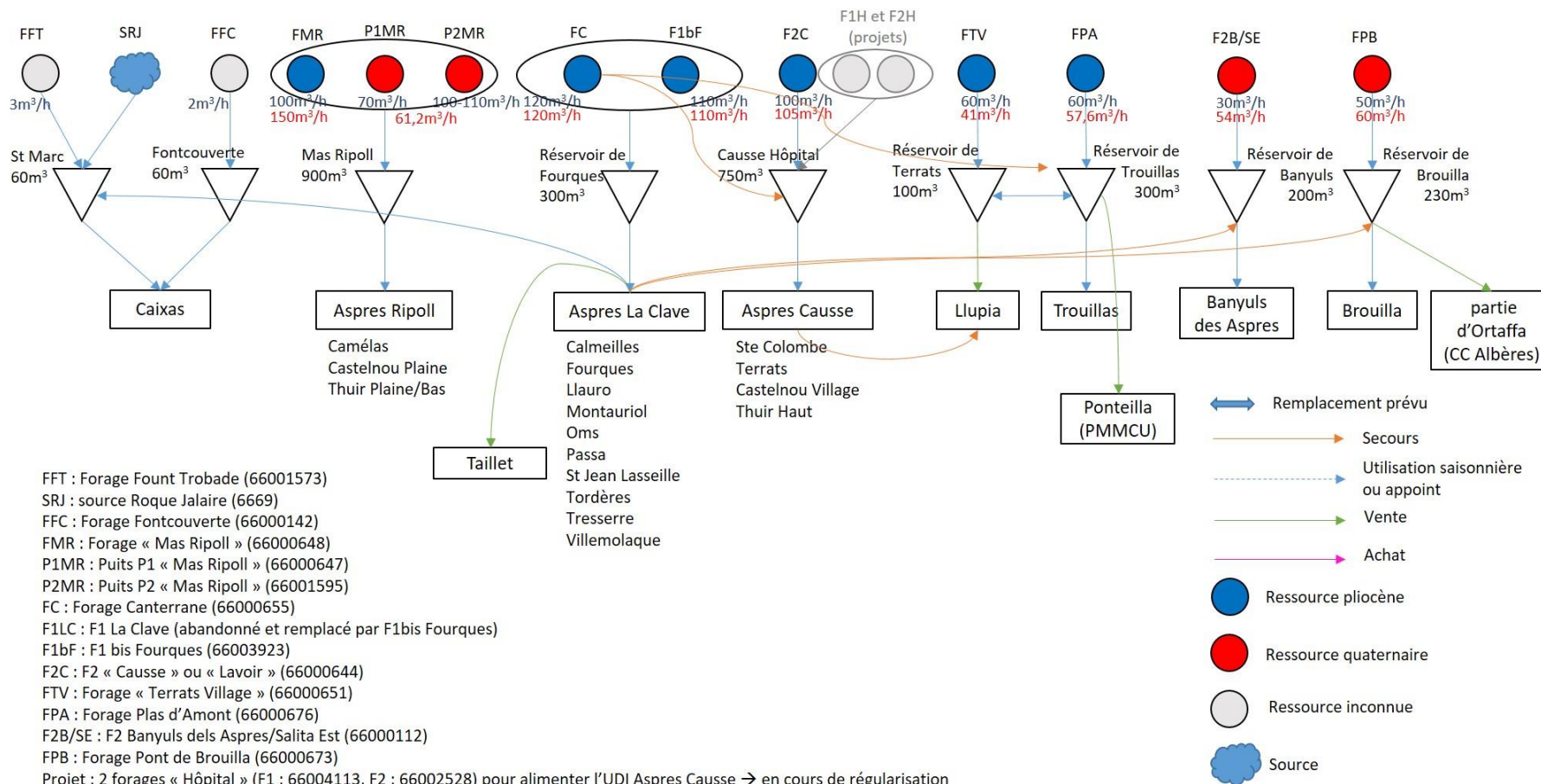
# **Schémas Ressources-Infrastructures-Demandes pour les collectivités du territoire**

### Agly Salanque



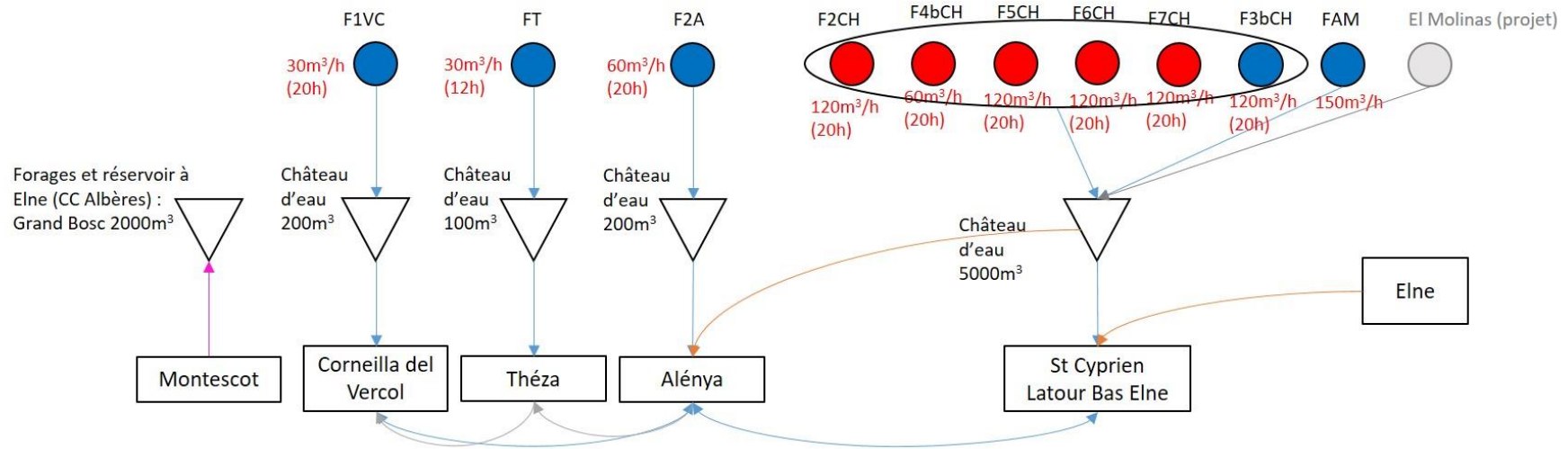


### CC Aspres





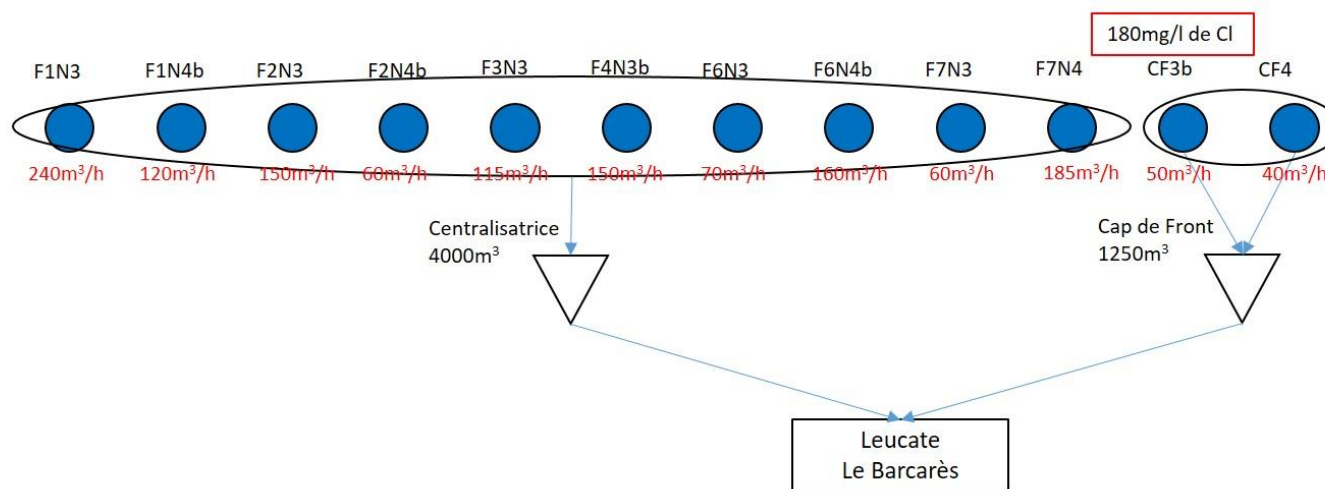
### CC Sud Roussillon



- F1VC : F1 Village Corneilla (66000196)
- FT : Forage Théza (66000587)
- F2A : F2 Alénia (66000828)
- F2CH : F2 « Camp de la Hortes » (66000814)
- F4bCH : F4bis « Camp de la Hortes » (66001626)
- F5CH : F5 « Camp de la Hortes » (66000816)
- F6CH : F6 « Camp de la Hortes » (66000817)
- F7CH : F7 « Camp de la Hortes » (66000813)
- F3bCH : F3bis « Camp de la Hortes » (66001627)
- FAM : Forage « Al Mouly » (66000818)
- Projet : Forage El Molinas (66004149) pour l'UDI St Cyprien Latour Bas Elne

- (grey) Projet
- (orange) Secours
- (green) Vente
- (purple) Achat
- (blue) Ressource pliocène
- (red) Ressource quaternaire

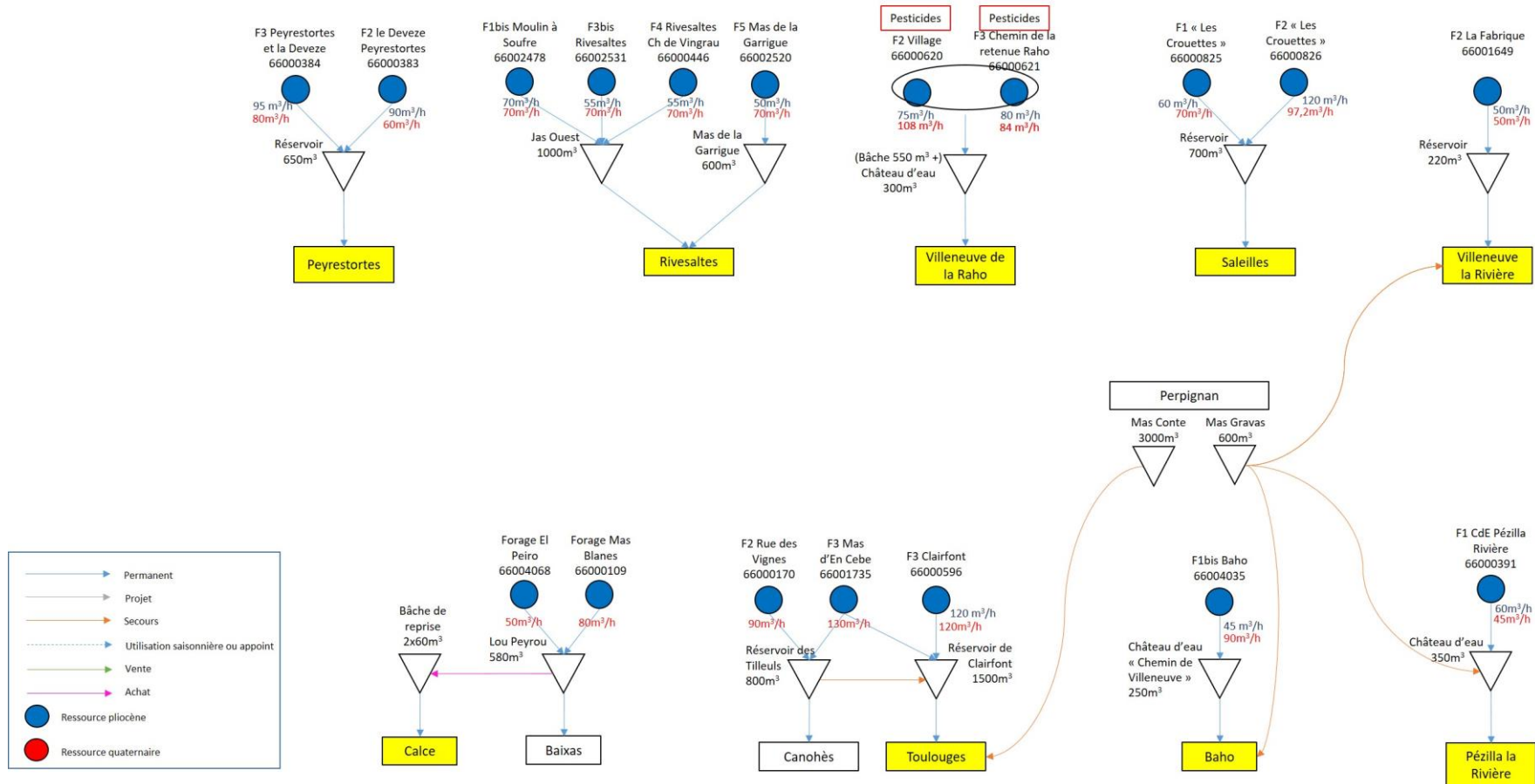
### SMIPEP Leucate/Le Barcarès



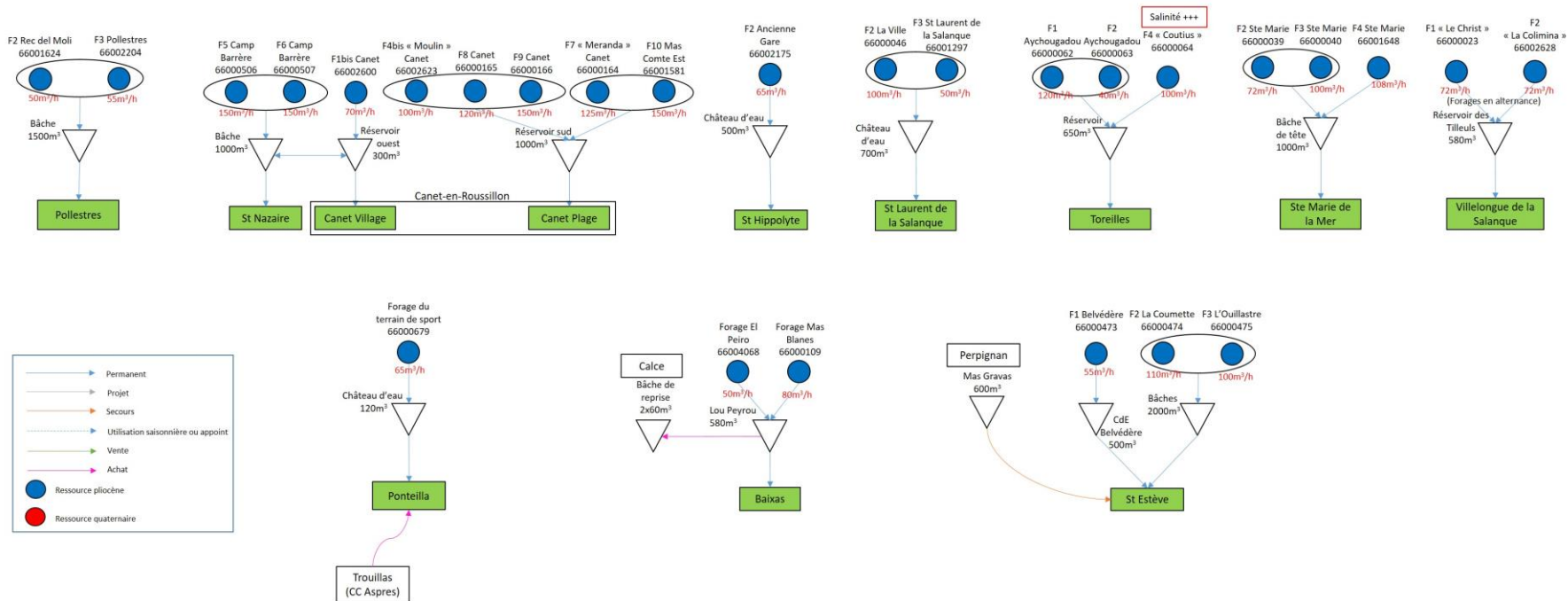
- F1N3 : F1N3 « Conangle » (66003848)
- F1N4b : F1N4bis « Conangle » (66000003)
- F2N3 : F2N3 « Rompuda » (66000005)
- F2N4b : F2N4bis « Rompuda » (66000004)
- F3N3 : F3N3 « Els Prats » (66000006)
- F4N3b : F4N3bis « Varatxe » (66000007)
- F6N3 : F6N3 « Mollague » (66000009)
- F6N4b : F6N4bis « Mollague » (66000010)
- F7N3 : F7N3 « Pla de Saint Jean » (66000012)
- F7N4 : F7N4 « Pla Saint Jean » (66000011)
- CF3b : Cap de Front CF3bis (pas de code dans ArcGis)
- CF4 : Cap de Front CF4 (pas de code dans ArcGis)

- Permanent
- Secours
- Utilisation saisonnière ou appoint
- Vente
- Achat
- Ressource pliocène
- Ressource quaternaire

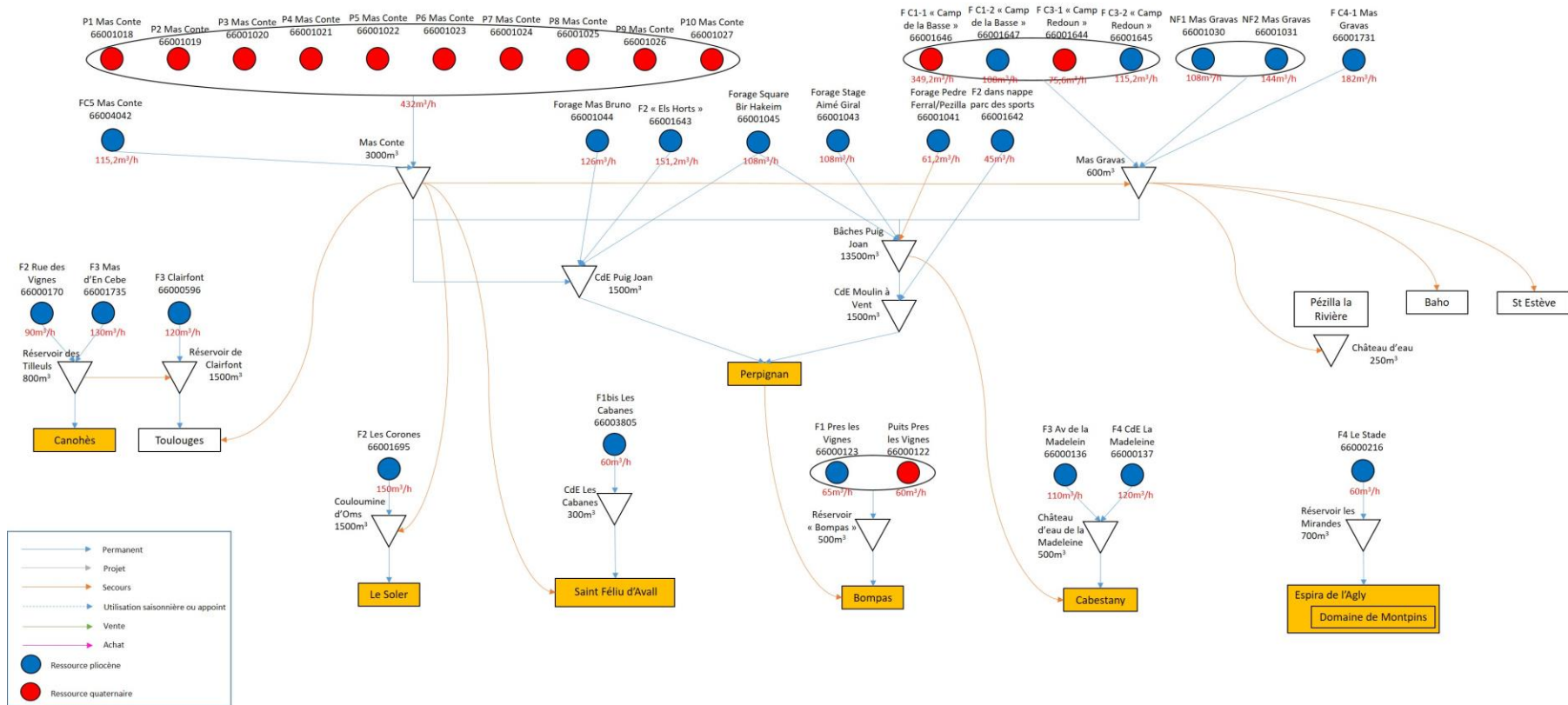
## PMMCU (Régie)



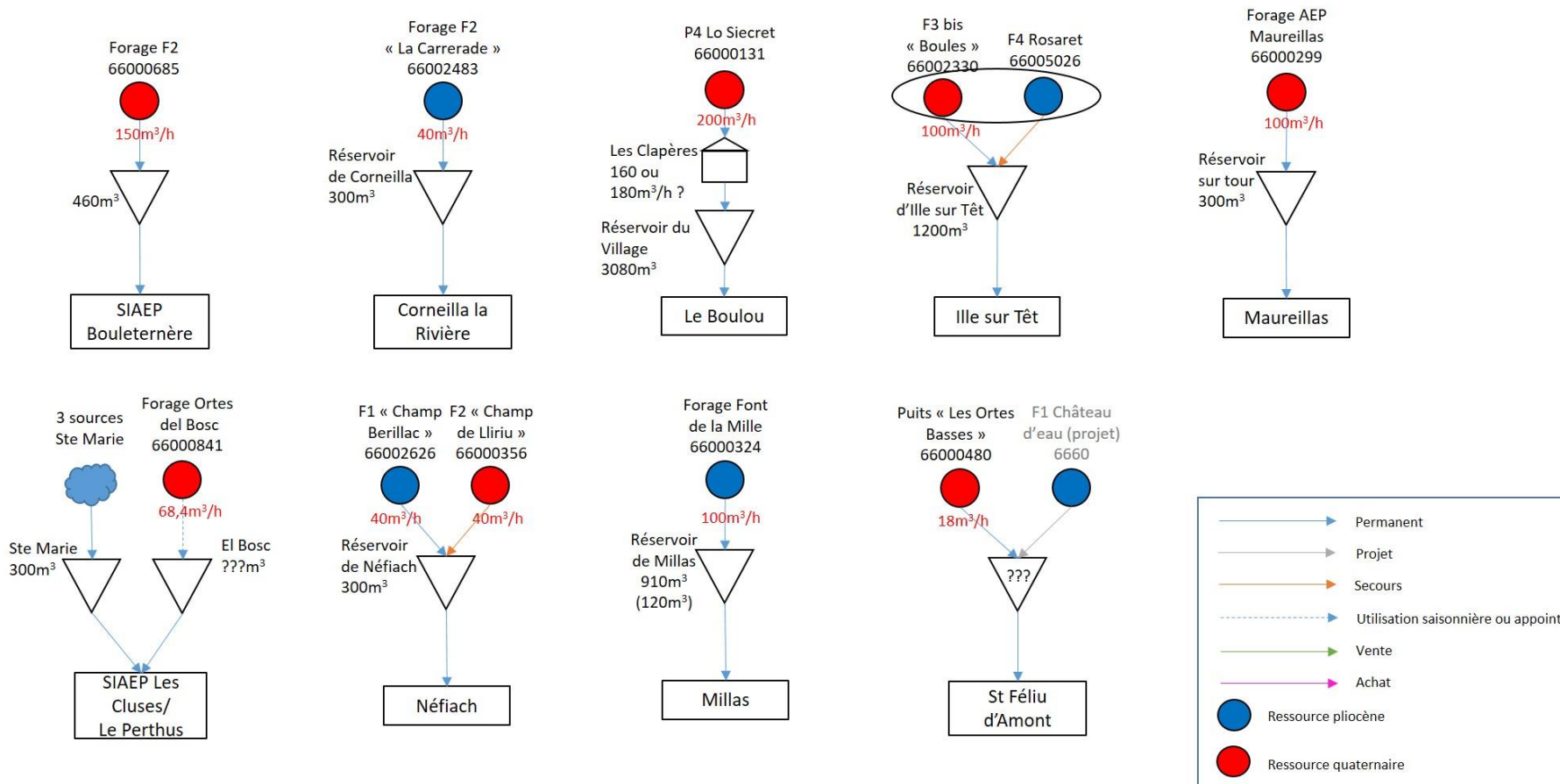
### PMMCU (SAUR)



### PMMCU (Véolia)



### Autres collectivités



## Annexe 2

### Documents disponibles utilisés pour la première étape d'élaboration des schémas et bases de données

UGE	URD	RAD/ RPQS	SDAEP
CC Albères Côte Vermeille Illibéris	Argelès-sur-Mer	RPQS 2016	Non
	Bages	RAD 2016	
	Banyuls-sur-Mer	RPQS 2016	
	Basse Plaine du Tech	RPQS 2016	
	Côte Vermeille	RPQS 2016	
	Elné	RPQS 2016	
	Montesquieu	RPQS 2016	
	Ortaffa	RPQS 2016	
CC des Aspres	Aspres Causse	RPQS 2016	2012
	Aspres La Clave		
	Aspres Ripoll		
	Banyuls-dels-Aspres		
	Brouilla		
	Caixas		
	Llupia		
	Trouillas		
CC Sud Roussillon	Alénya	RPQS 2016	Non
	Corneilla-del-Vercol	RPQS 2016	2014
	Montescot	RPQS 2016	2014
	Saint Cyprien Latour Bas Elné	RPQS 2016	Non
	Théza	RPQS 2016	2014
PMMCU	Baho	Non	2009
	Baixas	RAD 2016 (périphérie)	
	Cases-de-Pène		
	Pollestres		
	Ponteilla		
	Sainte-Estève		
	Toreilles		
	Cabestany	RAD 2016 (littoral)	
	Canet-en-Roussillon		
	Sainte-Marie		
	Saint-Nazaire		
	Saint-Laurent-de-la-Salanque		
	Villelongue-de-la-Salanque		
	Bompas	RAD 2016 (centre)	
	Canohès		
	Le Soler		
Perpignan			
Saint-Félicien-d'Avall			



	Calce	Non	
	Espira-de-l'Agly	RAD 2016	
	Peyrestortes	Non	
	Pézilla-la-Rivière	Non	
	Rivesaltes	RAD 2016	
	Saint-Hippolyte	RAD 2016	
	Saleilles	Non	
	Toulouges	Non	
	Villeneuve-de-la-Raho	Non	
	Villeneuve-la-Rivière	Non	
SIAEP de Bouleternère	SIAEP de Bouleternère	RPQS 2016	Non
SIAEP du Vallespir	Céret	RPQS 2017	Non
	Saint-Jean-Pla-des-Corts		
	Vivès		
SIAEP Les Cluses/ Le Perthus	SIAEP Les Cluses/Le Perthus	Non	Non
SMIPEP Leucate/ Le Barcarès	SMIPEP Leucate/Le Barcarès	RPQS 2016	2012 (avec fiches ouvrages et réservoirs)
Claira	Claira	RPQS 2010	2012
Corneilla-la-Rivière	Corneilla-la-Rivière	RPQS 2015	Non
Ille-sur-Têt	Ille-sur-Têt	RPQS 2016	Non
Le Boulou	Le Boulou	RPQS 2014	2013
Maureillas-las-Illas	Maureillas-las-Illas	RPQS 2008	2007
Millas	Millas	RPQS 2015	Non
Néfiach	Néfiach	Non	Non
Pia	Pia	RPQS 2016	2007
Saint-Féliu-d'Amont	Saint-Féliu-d'Amont	RPQS 2017	Non
Salses-le-Château	Salses-le-Château	RPQS 2016	2014 (avec fiches ouvrages et réservoir)
Taillet	Taillet	Non	Non



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Occitanie**

1039 rue de Pinville

34000 – Montpellier – France

Tél. : 04 67 15 79 80