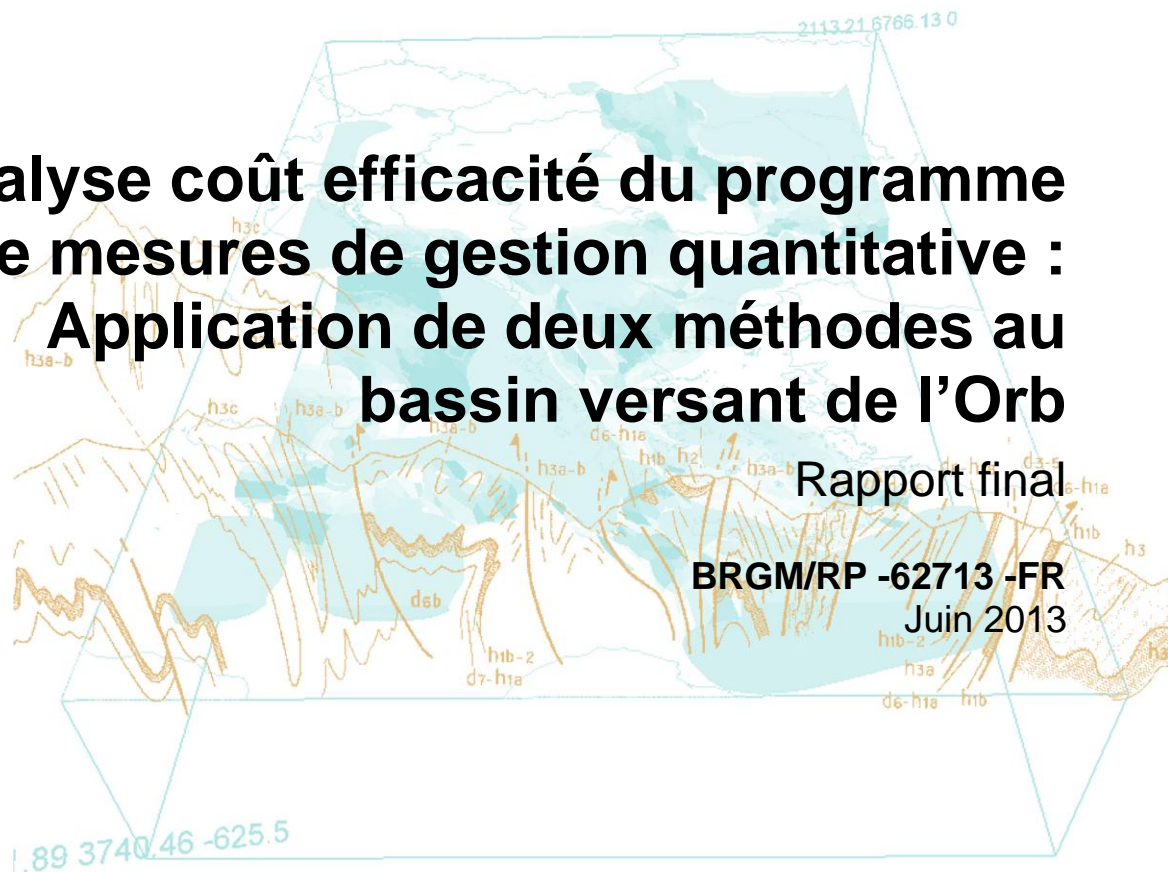


Analyse coût efficacité du programme de mesures de gestion quantitative : Application de deux méthodes au bassin versant de l'Orb

Rapport final

BRGM/RP -62713 -FR

Juin 2013



Analyse coût efficacité du programme de mesures de gestion quantitative : Application de deux méthodes au bassin versant de l'Orb

Rapport final

BRGM/RP RC- 62713 -FR

Avril 2013

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public du BRGM 2009-PSP09LRO12

JD Rinaudo, C. Girard et M. Vernier de Byans

Vérificateur :

Nom : M. Grémont

Date : 23/07/2013

Approbateur :

Nom : M. Audibert

Date : 18/09/2013

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

Mots-clés : analyse coût-efficacité ; économie d'eau ; modèle hydro-économique ; optimisation.

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

Rinaudo JD, C. Girard P. M. Vernier de Byans (2013) – Analyse coût efficacité du programme de mesures de gestion quantitative : Application de deux méthodes au bassin versant de l'Orb. Rapport final. BRGM/RP- 62713 -FR, p.52

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce document est le 6^{ème} et dernier volume du rapport de l'étude « Evaluation économique du programme de mesures de la Directive Cadre sur l'Eau : application à la gestion quantitative des ressources dans l'Ouest de l'Hérault ». Il présente deux méthodes pouvant être utilisées pour concevoir et évaluer en termes économiques un programme de mesures de gestion quantitative. Ces méthodes ont été appliquées au bassin de l'Orb afin de permettre une comparaison, tant en termes de résultat que de données nécessaires et de facilité de mise en œuvre.

La première contribution du rapport consiste à évaluer le déficit en eau susceptible d'apparaître à l'horizon 2030, du fait d'une hausse de la demande (+15 millions de m³) concomitante avec une baisse des ressources disponibles (-5.4 millions de m³ en moyenne) et avec une hausse des volumes réservés pour l'environnement (+2 millions de m³). L'incertitude associée aux prévisions climatiques est analysée en considérant les résultats de 9 modèles climatiques. Cette analyse permet de dégager un scénario défavorable dans lequel le déficit serait compris entre 15 et 26 millions de m³, un scénario favorable dans lequel le changement climatique conduirait à une augmentation de la ressource disponible et un scénario intermédiaire dans lequel le déficit serait compris entre 1.5 et 5.6 millions de m³.

Le rapport présente ensuite l'analyse coût-efficacité (ACE) d'une quinzaine de mesures de gestion quantitative, considérant à la fois des actions et projets visant à mobiliser de nouvelles ressources et d'autres visant à maîtriser la demande (actions en faveur des économies d'eau). La modernisation des systèmes d'irrigation apparaît clairement comme une action à privilégier, tant au regard des gisements d'économie d'eau qu'elle représente (de l'ordre de 2 millions de m³) que de son faible coût par m³ d'eau économisé (0.25€/m³). Les économies dans le secteur eau potable représentent une stratégie économiquement avantageuse, même si le gisement d'économie est très inférieur et le coût par m³ économisé plus variable d'une commune à l'autre et d'une mesure à l'autre. Globalement, le gisement d'eau qui peut être économisé dans le secteur eau potable à un coût inférieur à celui de la mobilisation de nouvelles ressources, qui représente un volume de 547 000 m³ (pour un coût moyen de 1.13 €/m³). Pour un déficit supérieur à 3 millions de m³ (en période de pointe), il est nécessaire de mobiliser de nouvelles ressources, soit avec la construction d'unités de dessalement, soit en mobilisant de nouvelles ressources en eau souterraine. Si cela ne suffit pas à résorber le déficit, d'autres mesures d'économie d'eau, plus coûteuses, peuvent encore être utilisées, permettant d'économiser plus de 560 000 m³ pour un coût moyen de 3.45 €/m³ (en période de pointe). Si le déficit à combler dépasse 6.6 millions de m³ (ce qui correspond aux hypothèses les plus défavorables relatives au changement climatique), alors aucune combinaison de mesures ne permet de faire face à la situation, ce qui implique que le développement agricole et urbain sera contraint par l'eau et/ou que les volumes attribués à l'environnement ne pourront pas être respectés.

Le rapport présente ensuite la mise en œuvre d'un modèle d'optimisation hydro-économique, qui représente une méthode alternative à l'analyse coût-efficacité. Alors que l'ACE présentée ci-dessus propose de raisonner de manière globale à l'échelle du bassin, le modèle d'optimisation vise à identifier la combinaison d'actions la moins coûteuse qui permettrait de respecter l'objectif environnemental dans chaque sous bassin et au pas de temps mensuel. La méthode permet donc d'améliorer la résolution spatiale et temporelle de l'analyse. Elle permet également de mieux représenter la gestion du barrage des Monts d'Orb, dont la gestion des lâchers représente une mesure importante, à faible coût. Le modèle d'optimisation conclut que, dans 5 des 9 hypothèses climatiques, une optimisation de la gestion du barrage des Monts d'Orb suffit à résorber le déficit.

Table des matières

1. Introduction	9
2. Evaluation des déficits futurs.....	10
2.1. VARIATION DE LA DEMANDE EN EAU POTABLE A L'HORIZON 2030	10
2.1.1. Evolution de la consommation.	10
2.1.2. Evolution des prélèvements	11
2.2. VARIATION DE LA DEMANDE AGRICOLE A L'HORIZON 2030	12
2.2.1. Scénario tendanciel d'évolution des cultures et surfaces irriguées (2030)	12
2.2.2. Estimation des besoins en eau d'irrigation associés au scénario tendanciel	12
2.2.3. Projets de transferts interbassin (Aquadomitia)	13
2.3. VARIATION DU VOLUME DEDIE AUX MILIEUX AQUATIQUES	13
2.4. VARIATION DU VOLUME LACHE PAR LE BARRAGE	14
2.5. VARIATION DE LA RESSOURCE DISPONIBLE LIEE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	14
2.6. RESULTAT : DEFICIT ESTIME DANS LE BASSIN DE L'ORB (2030).....	15
3. Mesures possibles pour résorber le déficit.....	17
3.1. MESURES D'ECONOMIE D'EAU DANS LE SECTEUR AGRICOLE.....	17
3.1.1. Description des mesures et hypothèses de calcul.....	17
3.1.2. Evaluation du coût et de l'efficacité des mesures	18
3.2. MESURES D'ECONOMIE D'EAU DANS LE SECTEUR EAU POTABLE.....	19
3.2.1. Définition et hypothèses de calcul des mesures d'économie d'eau potable.....	20
3.2.2. Résultats.....	22
3.3. MOBILISATION DE NOUVELLES RESSOURCES.....	26
3.3.1. Substitution des prélèvements via la mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine.....	26
3.3.2. Substitution des prélèvements via le dessalement de l'eau de mer.....	27
3.3.3. Substitution des prélèvements par le projet Aquadomitia	28
4. Analyse coût-efficacité	29

4.1. LES DIFFERENTES APPROCHES DE L'ANALYSE COUT-EFFICACITE	29
4.2. ANALYSE ECONOMIQUE D'UN PROGRAMME GENERIQUE	29
4.2.1. Avec l'hypothèse de non recours à des ressources extérieures au bassin.....	29
4.2.2. Avec l'hypothèse de recours au dessalement.....	30
4.3. APPROCHE MESURES INDIVIDUELLES	31
4.3.1. Description du portefeuille d'actions considérées	31
4.3.2. Hiérarchisation des actions avec différentes hypothèses de déficit.....	32
4.3.3. Orientations pour un programme coût-efficace	35
4.3.4. Analyse de la répartition de l'effort.....	35
4.4. LIMITES DE L'APPROCHE	36
5. Modèle hydro-économique d'optimisation.....	37
5.1. STRUCTURE DU MODELE	37
5.2. DESCRIPTION DES RESULTATS OBTENUS	41
5.2.1. Evaluation de la situation présente (2008).....	41
5.2.2. Impact sur la gestion de l'augmentation des demandes en eau (2030).....	42
5.2.3. Impact sur la gestion de l'augmentation des demandes et du changement climatique (2030)	43
5.2.4. Analyse du programme de mesures mis en œuvre.....	44
5.3. COUT ASSOCIE A DIFFERENTS NIVEAUX DE GARANTIE DU DEBIT D'ETIAGE DE REFERENCE	46
6. Implication pour la sélection des mesures dans le bassin de l'Orb.....	47
7. Discussion et conclusion.....	49
7.1. ENSEIGNEMENTS METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE	49
7.1.1. Type de mesures considérées.....	49
7.1.2. Echelle spatiale	49
7.1.3. Echelle de temps.....	50
7.1.4. Analyse des incertitudes relatives au changement climatique	50
7.2. ENSEIGNEMENTS POUR LA GESTION DU BASSIN DE L'ORB.....	50
7.3. CONCLUSION GENERALE	52

Liste des figures

<i>Figure 1 : Evolution des prélèvements pour l'eau potable entre 2008 et 2030, tenant compte de la démographie et de l'évolution du rendement des réseaux (3 scénarios)</i>	11
Figure 2 : Evolution des prélèvements agricoles dans le bassin de l'Orb pour différents scénarios.	13
Figure 3 : Variation de ressource disponible dans l'Orb suivant le modèle climatique considéré.	15
Figure 4 : Ratio coût-efficacité et volume économisable pour les deux mesures agricoles, avec ou sans changement climatique (bassin de l'Orb uniquement).....	19
Figure 5 : Volume mobilisable en pointe et coût en €/m ³ pour les 8 mesures d'économie d'eau considérées (horizon 2030, ensemble du territoire Ouest Hérault).	23
Figure 6 : Répartition géographique du potentiel maximal d'économie d'eau pendant les 4 mois de la période de pointe (en m ³ , estimation pour 2030)	24
Figure 7 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison coût-efficace spatialement non différenciée du programme de mesures (sans dessalement).....	30
Figure 8 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison coût-efficace spatialement non différenciée du programme de mesures (avec 2 hypothèses de dessalement).	31
Figure 9 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé sans nouvelles ressources.	33
Figure 10 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec mobilisation de nouvelles ressources souterraines.	33
Figure 11 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec dessalement et eaux souterraines.	34
Figure 12 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison spatialement différenciée du programme de mesures (dessalement avec capacité 10 000 m ³ /j).....	34
Figure 13 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison spatialement différenciée du programme de mesures (dessalement avec capacité 20 000 m ³ /j).....	35
Figure 14 : Cadre de modélisation de l'optimisation	37
Figure 15 : Concept du modèle d'optimisation : Réseau de noeuds représentant le bassin de l'Orb (en haut) et Zoom sur le bilan réalisé à chaque noeud (en bas).....	40
Figure 16 : Comparaison de l'évolution du volume stocké dans le barrage des Monts d'Orb au présent et avec l'augmentation des demandes prévue pour 2030.....	42
Figure 17 : Surcoût du programme de mesure lié au changement climatique selon le modèle climatique utilisé.....	43
Figure 18 : Répartition du coût et du volume économisé d'un programme de mesures.	44
Figure 19 : Illustration de la répartition géographique du programme de mesures (scenario climatique NCAR)	45
Figure 20 : Variation du coût du programme de mesures en fonction de l'objectif de débit d'étiage de référence.....	46
Figure 21 : Coût marginal du débit de référence dans les différents sous-bassins de l'Orb	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution des cultures irriguées entre 2006 et 2030.	12
Tableau 2 : Déficit en eau estimé à l'horizon 2030 pour les hypothèses de changement climatiques correspondant à 9 modèles de circulation générale.	16
Tableau 3 : Coût et efficacité des mesures d'économie d'eau potable (bassin Orb uniquement).....	19
Tableau 4 : Coût et efficacité des mesures d'économie d'eau potable (ensemble zone Ouest Hérault)	25
Tableau 5 : Coût et volume mobilisable pour plusieurs scénarios de mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine dans le bassin de l'Orb.	26
Tableau 6 : Evaluation du coût d'investissement d'une installation de dessalement dans la région de Béziers.	28
Tableau 7 : Evaluation du coût total (investissement et fonctionnement) d'une installation de dessalement (capacité 10 000 m ³ /jour).....	28
Tableau 8 : Répartition par type de mesure des actions permettant de réduire les prélèvements dans l'Orb et sa nappe alluviale.	32
Tableau 9 : Répartition de l'effort d'économie d'eau entre sous-bassins de l'Orb	36

1. Introduction

Ce document est le 6^{ème} et dernier volume du rapport de l'étude « Evaluation économique du programme de mesures de la Directive Cadre sur l'Eau : application à la gestion quantitative des ressources dans l'Ouest de l'Hérault ». Il présente deux méthodes pouvant être utilisées pour concevoir et évaluer en termes économiques un programme de mesures de gestion quantitative. Ces méthodes ont été appliquées au bassin de l'Orb afin de permettre une comparaison, tant en termes de résultat que de données nécessaires et de facilité de mise en œuvre. Les grandes étapes du travail présenté dans le rapport sont les suivantes.

1. La première consiste à évaluer le déficit futur en eau à l'échelle du bassin versant de l'Orb. Pour cela, nous intégrons les résultats du travail de prospective sur les besoins en eau agricole (rapports BRGM/RP-61323 et 61311), sur l'évolution future de la demande en eau potable (BRGM/RP-61317) et sur l'impact sur les ressources en eau du changement climatique. L'incertitude relative à ce dernier facteur est prise en compte dans les estimations.
2. Le volume d'eau pouvant être économisé par différentes mesures ou substitué à des prélèvements actuels dans l'Orb et sa nappe alluviale est ensuite calculé, en tenant compte du contexte local de mise en œuvre des mesures. Le coût de chaque mesure est également évalué, en intégrant les coûts d'investissement et de fonctionnement, ainsi que la durée de vie des mesures. Ces deux informations permettent d'estimer un coût par mètre cube économisé (ou substitué) qui servira d'indicateur de coût-efficacité pour comparer les mesures entre elles.
3. Les mesures sont ensuite classées par ordre de coût-efficacité croissant (exprimé en € par m³ économisé ou substitué), puis elles sont combinées selon différentes approches, afin de résorber au moindre coût le déficit estimé dans la première étape. Les résultats obtenus permettent de dégager des priorités d'actions pour le bassin étudié.
4. Une approche alternative est ensuite mise en œuvre. Réutilisant les résultats des trois premières étapes, un modèle d'optimisation hydro-économique est développé. Cet outil permet d'identifier un programme coût-efficace qui respecte les débits de référence en chacun des nœuds hydrologiques du bassin versant et au pas de temps mensuel.

Ces quatre étapes sont successivement présentées dans les sections qui suivent. Une discussion relative aux méthodes développées et testées est présentée en conclusion du rapport.

2. Evaluation des déficits futurs

Plusieurs facteurs sont susceptibles de faire apparaître une situation de déficit en eau à l'horizon 2030. La demande en eau potable devrait augmenter de manière significative, du fait de la forte croissance démographique que connaît la zone Ouest Hérault. La demande en eau d'irrigation devrait aussi progresser fortement, sous l'effet combiné du changement climatique, du développement de l'irrigation de la vigne et de l'augmentation des surfaces en grandes cultures et maraichage. En parallèle, l'augmentation des débits réservés pour l'environnement réduira la ressource disponible pour les usages. Enfin, le changement climatique conduira à une réduction des ressources disponibles (baisse de la pluviométrie, augmentation de l'évapotranspiration). Cette section du rapport présente une tentative d'évaluation du déficit global auquel le territoire pourrait avoir à faire face à l'horizon 2030.

Concrètement, le déficit futur a été calculé de la manière suivante :

$$\text{Déficit} = \Delta_{DA} + \Delta_{Daep} + \Delta_R + \Delta_{DE} - \Delta V_{res}$$

où :

- ✓ Δ_{DA} et Δ_{Daep} représentent les variations des demandes agricoles et urbaines respectivement entre 2008 et 2030 pour la période de pointe de 4 mois de mi-mai à mi-septembre (positive),
- ✓ Δ_R la variation des ressources en eau à l'échelle du bassin de l'Orb liée au changement climatique (négative),
- ✓ Δ_{DE} la variation de volume d'eau dédié à la protection des milieux aquatiques (liée à l'augmentation des débits d'étiage de référence),
- ✓ ΔV_{RES} la variation (augmentation) des volumes d'eau lâchés par le réservoir des Monts d'Orb rendue possible par une optimisation de la gestion de l'ouvrage.

Le calcul des différents termes de cette équation sont présentés dans les sections suivantes.

2.1. VARIATION DE LA DEMANDE EN EAU POTABLE A L'HORIZON 2030

L'évolution future des prélèvements réalisés pour l'alimentation en eau potable (Δ_{DAEP}) a été estimée en considérant qu'elle dépend principalement de la croissance démographique et de l'amélioration du rendement des réseaux d'eau potable. D'autres facteurs secondaires, comme le prix de l'eau ou l'évolution du climat ont aussi été pris en compte. Les paragraphes qui suivent présentent les principaux résultats obtenus. Le lecteur intéressé par une description détaillée de la méthode de calcul et des résultats se reportera au rapport BRGM/RP-61317-FR.

2.1.1. Evolution de la consommation.

Le territoire Ouest Hérault est caractérisé par une forte croissance démographique. A l'horizon 2030, le territoire passera de 660 000 à 800 000 habitants. Environ 110 000 logements devront être construits avec une nette prédominance d'habitations individuelles (60%), plus consommatrices en eau (jardins et piscines) que l'habitat collectif. Cette évolution conduira à une hausse de la consommation d'eau potable de 48.5 millions de m³ (en 2008) à 60 millions de m³ en 2030 (+23%). Cette augmentation sera plus prononcée pendant la période de pointe (15/05 au 15/09). Du point de vue géographique, les besoins augmenteront essentiellement

dans la zone littorale et plus ponctuellement dans certaines zones d'arrière-pays (Cœur d'Hérault).

2.1.2. Evolution des prélèvements

L'augmentation de la consommation sera partiellement compensée par une baisse des fuites survenant dans les réseaux d'adduction et de distribution. L'amélioration du rendement a ainsi été estimée, en supposant une mise en œuvre du décret 2012-97 du 27 janvier 2012 définissant les modalités d'application de la loi du Grenelle 2 en matière d'amélioration du rendement des réseaux d'eau potable. Trois scénarios ont été considérés et les consommations correspondantes ont été estimées. Le premier suppose que toutes les communes mettent en œuvre les prescriptions du décret, dépassant même les objectifs réglementaires lorsque cela est économiquement pertinent. Le deuxième scénario suppose que les prescriptions du décret ne sont pas appliquées et que les collectivités maintiennent les rendements de 2008. Le troisième scénario, intermédiaire, suppose que le décret est appliqué de manière minimaliste. Les résultats sont illustrés dans la *Figure 1*. L'amélioration des rendements telle qu'imposée par le décret permet d'économiser 3,7 millions de m³ en période de pointe, ce qui compensera en partie l'augmentation de la consommation¹.

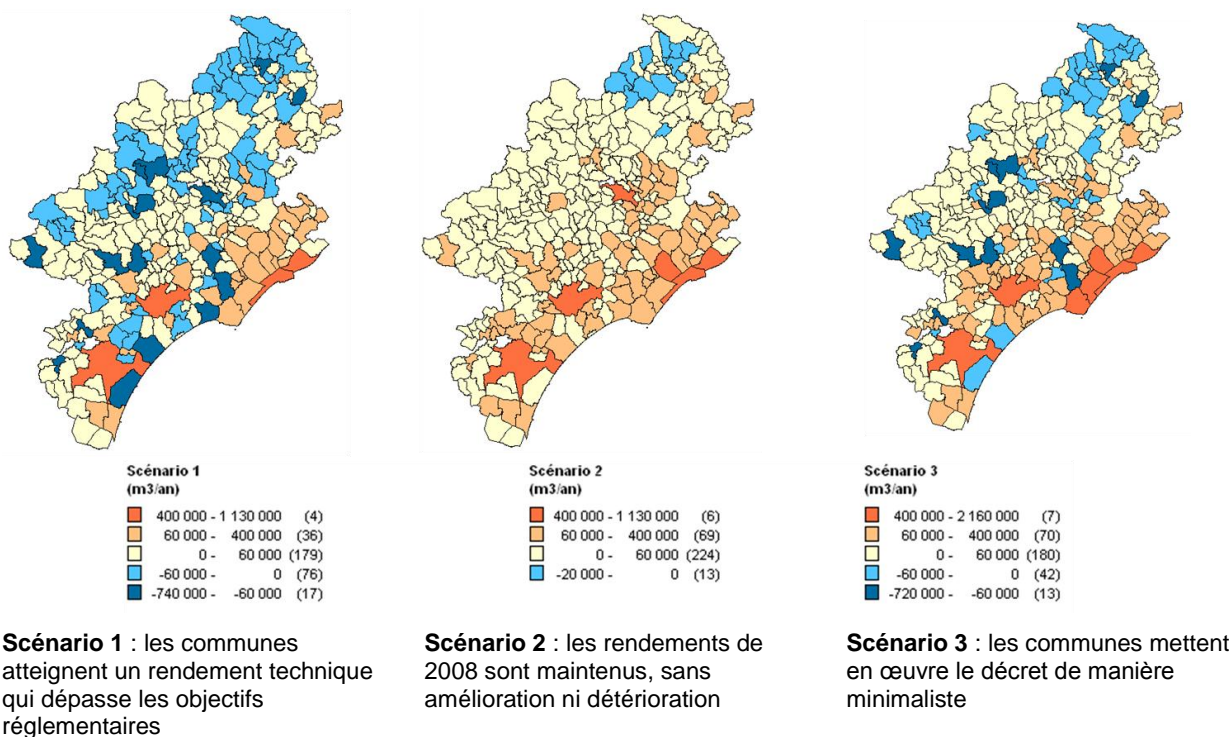


Figure 1 : Evolution des prélèvements pour l'eau potable entre 2008 et 2030, tenant compte de la démographie et de l'évolution du rendement des réseaux (3 scénarios)

¹ L'amélioration des rendements implique un coût unitaire annualisé moyen de 0,12 € par m³ économisé. Cependant, ce coût varie entre 0,02 et 39 € par m³ selon la collectivité concernée.

2.2. VARIATION DE LA DEMANDE AGRICOLE A L'HORIZON 2030

L'estimation de la variation de demande en eau d'irrigation agricole (Δ_{DA}) a été réalisée en deux étapes. Un travail de prospective a d'abord été réalisé pour caractériser l'évolution future probable des cultures et surfaces irriguées dans la zone d'étude, en se focalisant sur le cas du bassin versant de l'Orb. Cette réflexion, qui a permis de construire un scénario tendanciel, s'est appuyée sur des avis d'experts et des documents produits à l'échelle régionale, nationale ou européenne. Les résultats détaillés sont présentés dans le rapport BRGM/RP-61323-FR. Les besoins en eau d'irrigation associés au scénario tendanciel ont ensuite été quantifiés en utilisant un modèle agronomique, qui permet notamment d'intégrer l'effet du changement climatique. Ce modèle est décrit dans le rapport BRGM/RP-61311-FR. Les paragraphes qui suivent présentent les résultats issus de ces deux analyses.

2.2.1. Scénario tendanciel d'évolution des cultures et surfaces irriguées (2030)

Le scénario tendanciel suppose, pour le bassin de l'Orb, une augmentation des surfaces irriguées d'un facteur 4 (de 6 400 à 22 000 ha environ). Cette augmentation est essentiellement due au développement de l'irrigation de la vigne qui passe de 3 300 ha à plus de 17 000 ha. Cette évolution très significative est néanmoins très dépendante d'hypothèses sur la ressource en eau, des aides publiques au développement de l'irrigation et de la maîtrise du foncier agricole². En parallèle, la surface en grandes cultures augmente de 20% tandis que celle des vergers se réduit de 15% avec une substitution partielle des vergers de pommiers et de pêchers par de l'olivier. La surface en maraîchage double (de 1 000 à 2 000 ha). Le tableau ci-dessous résume ces hypothèses pour le bassin de l'Orb.

Cultures irriguées	surfaces en ha		
	2006	2030	Variation
Céréales	729	875	20%
Oléo-protéagineux	339	407	20%
Fourrages	242	290	20%
Maraîchage	1003	2007	100%
Vergers	473	402	-15%
<i>dont olivier</i>	100	237	137%
Autres	166	52	-69%
Vigne irriguée	3367	17757	427%
Total irrigué	6420	22027	243%

Tableau 1 : Evolution des cultures irriguées entre 2006 et 2030.

2.2.2. Estimation des besoins en eau d'irrigation associés au scénario tendanciel

Nous avons ensuite estimé les besoins en eau d'irrigation associés aux surfaces et cultures du scénario tendanciel décrit ci-dessus. Les besoins en eau d'irrigation correspondent aux besoins agronomiques des plantes, multipliés par un coefficient d'efficacité des techniques d'irrigation

² Il convient de noter que les hypothèses relatives au développement de la vigne ne tiennent pas compte de la contrainte de ressource en eau et qu'elles supposent l'existence d'aides publiques importantes pour le développement des réseaux secondaires d'irrigation. Ce scénario représente donc la vision d'un développement agricole souhaité mais dont la réalisation supposera la création de nouvelles ressources.

qui rend compte des pertes ayant lieu dans les systèmes d'adduction, de distribution puis d'arrosage à la parcelle.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous. Globalement, l'augmentation des surfaces **irriguées à partir de l'Orb ou de sa nappe alluviale** conduit à une hausse de 7.4 millions de m³ par an. Lorsqu'on y ajoute l'effet du changement climatique, ce sont 8.4 millions des m³ supplémentaires qui sont nécessaires. L'effet est particulièrement marqué en été.

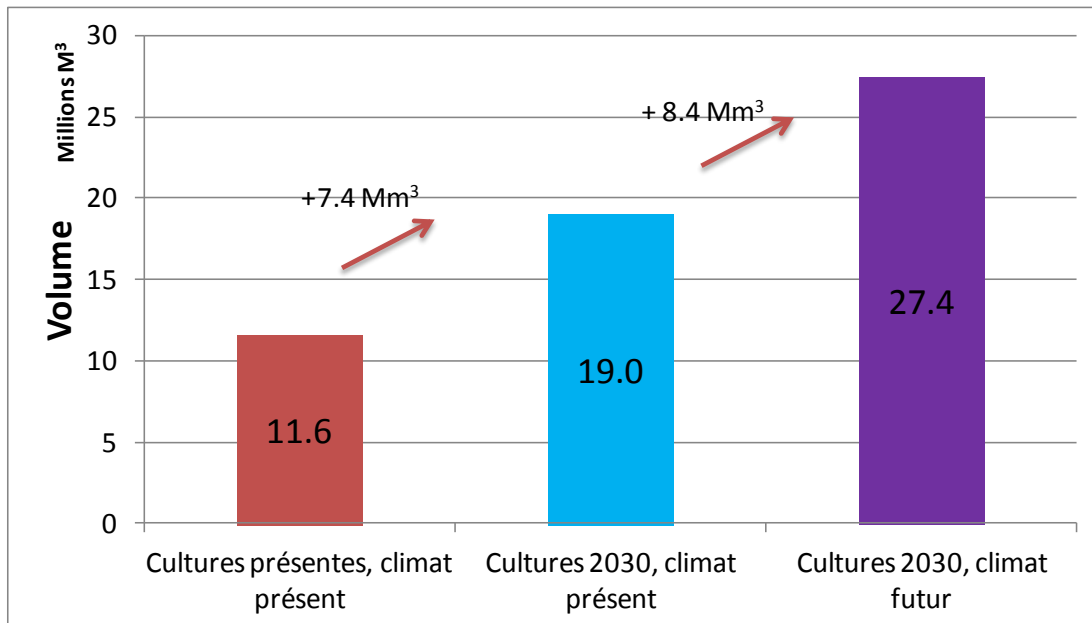


Figure 2 : Evolution des prélèvements agricoles dans le bassin de l'Orb pour différents scénarios.

2.2.3. Projets de transferts interbassin (Aquadomia)

Nous avons également tenu compte du projet Aquadomia qui prévoit la construction d'une infrastructure permettant de transférer de l'eau prélevée dans l'Orb vers des périmètres irrigués (actuels ou nouveaux) situés à l'Est et à l'Ouest du bassin. Les nouveaux prélèvements associés à ce projet s'ajouteront à la hausse évaluée dans le scénario tendanciel présenté ci-dessus. Les études réalisées par BRL et mises à disposition lors du débat public de 2011 estiment que la nouvelle demande associée à ces deux maillons du projet Aquadomia sera comprise entre 1 et de 2 Mm³ pour le maillon Biterrois, et entre 0,7 Mm³ et 2,2 Mm³ pour le maillon Minervois. Ces nouvelles demandes correspondent principalement à l'extension de l'usage de l'irrigation pour la culture de la vigne. Pour la présente étude, nous avons pris des valeurs moyennes de 1,5 Mm³ pour le maillon Biterrois et 1,45 Mm³ pour le maillon Minervois. Elles sont supposées réparties sur les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août) selon une répartition de 5%, 60% et 35% respectivement.

2.3. VARIATION DU VOLUME DEDIE AUX MILIEUX AQUATIQUES

En application de la Directive Cadre sur l'Eau, le SAGE établira prochainement des valeurs de débit d'étiage de référence qui doivent permettre de satisfaire l'ensemble des usages 8 années sur 10 aux différents nœuds hydrologiques du bassin. Ces valeurs de débits n'étant pas encore fixées définitivement, nous avons supposé que le débit minimum à l'aval du bassin devrait être

augmenté de 200 litres par seconde (10% environ). Cette augmentation de débit d'étiage correspond à un volume de 2 millions de m³ pendant la période de pointe.

Notons qu'il s'agit d'une hypothèse basse. En effet, l'étude de définition des débits d'étiage de référence (Ginger, 2010) préconise une augmentation de 400 l/s, afin de maintenir un débit de 2.4 m³/s au niveau du pont rouge au moulin Saint Pierre contre un débit actuel (QMNA5) de 2 m³/s. Cette augmentation est justifiée par un besoin accru de dilution des rejets de la STEP de la CABEM.

2.4. VARIATION DU VOLUME LACHE PAR LE BARRAGE

L'étude d'optimisation du barrage des Monts d'Orb (BRLi, 2011) a montré que les lâchers d'eau actuellement réalisés à partir de juin correspondent en moyenne à un volume de 11 millions de m³, sur les 30 millions de m³ disponibles à cette date. L'étude a aussi montré que le barrage ne rencontrerait pas de problème de remplissage 39 années sur 40, y compris en tenant compte des conséquences du changement climatique.

Le volume d'eau lâché pourrait donc augmenter de 19 millions de m³, permettant de compenser une partie de l'augmentation de la demande en eau potable et en eau d'irrigation ainsi que la hausse des besoins pour les milieux aquatiques.³

2.5. VARIATION DE LA RESSOURCE DISPONIBLE LIEE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La baisse des précipitations et la hausse de l'évapotranspiration conduira, à l'horizon 2030 – 2050, à une baisse du débit de l'Orb. Pour évaluer cet impact du changement climatique, le Brgm a développé un modèle hydrologique simple qui a ensuite été utilisé pour simuler l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique. Pour rendre compte de l'incertitude associée au changement climatique, nous avons considéré les résultats produits par 9 modèles de circulation générale (voir rapport BRGM/RP-61319-FR).

Pour évaluer la variation de ressources en eau disponible, on calcule la variation de débit sur la période de pointe (mi-mai / mi-septembre) dans la situation présente et la situation future, pour les 9 modèles climatiques. Les variations de débits sont calculées pour les débits mensuels de fréquence quinquennale sèche (calculées sur 20 ans).

La Figure 2 montre que les résultats sont très variables selon le modèle de climat utilisé :

- La variation de ressource disponible calculée est positive, si l'on s'appuie sur les résultats des modèles MRI et NCAR. Dans cette éventualité, la croissance de la demande en eau serait partiellement compensée par une augmentation de la pluviométrie et des débits d'écoulements.
- La variation de ressource disponible calculée est très fortement négative si l'on s'appuie sur les résultats des modèles Arpège et ECHAM (respectivement -17 et -26 millions de m³). Dans cette éventualité, le déficit en eau atteindra de telles proportions qu'il ne sera pas possible de le résoudre avec les mesures d'économie d'eau considérées.
- Enfin, la variation de ressource est de l'ordre de 3 à 7 millions de m³ pour les 5 modèles restants (4.96 en moyenne sur ces 5 modèles).

³ Les bénéficiaires de ces lâchers d'eau pourraient alors être amenés à contribuer au financement du coût de la gestion de l'ouvrage (collectivités eau potable en aval du bassin).

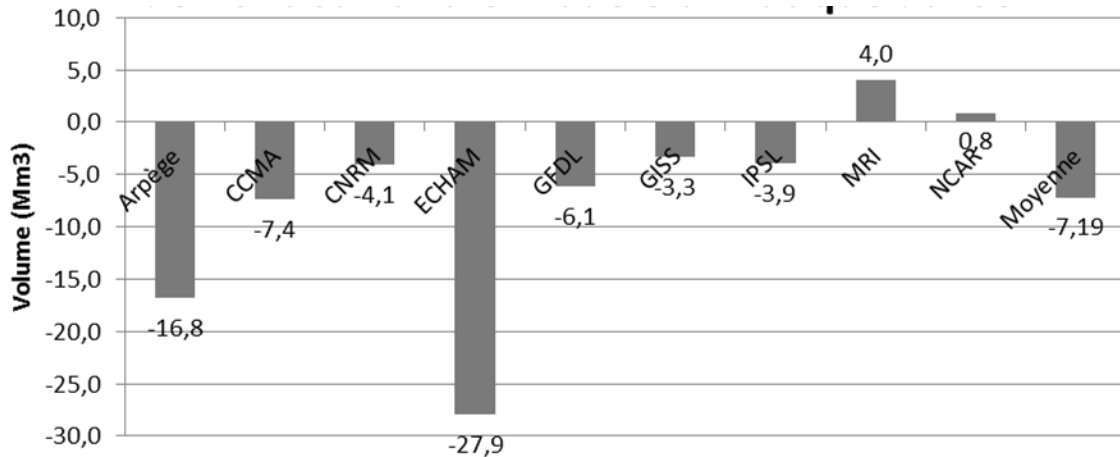


Figure 3 : Variation de ressource disponible dans l'Orb suivant le modèle climatique considéré.

2.6. RESULTAT : DEFICIT ESTIME DANS LE BASSIN DE L'ORB (2030)

Le déficit futur à l'échelle du bassin versant de l'Orb est calculé selon l'équation présentée au début de cette section, pour les différents scénarios de changement climatique. Les résultats sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous. Ils varient significativement selon le modèle climatique pris en compte. Le déficit est ainsi estimé entre 15 et 30 millions de m³ si l'on considère les modèles Arpège et ECHAM. Le bilan besoins-ressources présente un solde positif en 2030, avec deux des modèles (MRI, NCAR). Enfin, le déficit est compris entre 1.5 et 5.6 million de m³ avec les 5 modèles qui donnent des résultats intermédiaires, soit environ 3 millions de m³ en moyenne sur ces 5 modèles. Ce déficit pourrait être effacé par une réduction de 20% de l'augmentation de la demande en eau prévue entre 2008 et 2030 – un objectif qui semble atteignable⁴.

⁴ Le plan national d'adaptation au changement climatique, rendu public le 20 juillet 2011, porte la résolution d'économiser 20% de l'eau prélevée actuellement, hors stockage d'eau d'hiver, d'ici 2020.

	Modèle de climat	Variation ressource disponible	Variation de demande	Variation de lâchers du réservoir	Variation de volume réservé aux milieux	Déficit total (Mm3)
Scénarios défavorable	Arpège	-16,8				-15
	ECHAM	-27,9	-15,2	19	-2	-26,1
Scénarios intermédiaires	CCMA	-7,4				-5,6
	CNRM	-4,1				-2,3
	GFDL	-6,1	-15,2	19	-2	-4,3
	GISS	-3,3				-1,5
	IPSL	-3,9				-2,1
Scénarios favorables	MRI	4	-15,2	19	-2	5,8
	NCAR	0,8		19		2,6
Moyenne multi-modèles		-7,19	-15,2	19	-2	-5,39

Tableau 2 : Déficit en eau estimé à l'horizon 2030 pour les hypothèses de changement climatiques correspondant à 9 modèles de circulation générale.

3. Mesures possibles pour résorber le déficit

Pour faire face à la situation de déficit en eau prévue à l'horizon 2030, deux types de mesures peuvent être mises en œuvre. La première consiste à réduire la demande en eau des deux principaux usages (l'eau potable et l'irrigation agricole) tandis que la seconde consiste à mobiliser de nouvelles ressources en eau. Les deux types de mesures peuvent être complémentaires et combinées pour atteindre les objectifs environnementaux et satisfaire les différentes demandes à l'échelle des bassins. Cette section du rapport présente ces mesures, ainsi que leur coût et leur efficacité.

Pour chaque mesure, nous avons évalué un coût moyen annualisé, en tenant compte de la durée de vie des travaux réalisés dans le cadre de la mesure considérée. Ce coût moyen annualisé est calculé avec un taux d'actualisation de 4%. Le résultat (exprimé en € par an) est ensuite divisé par le volume d'eau que la mesure permet d'économiser pendant les 4 mois de la période de pointe. Ce ratio est ensuite comparé pour comparer les mesures entre elles.

3.1. MESURES D'ECONOMIE D'EAU DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Le secteur agricole est la principale cible des mesures d'économie d'eau. Dans l'Orb, comme dans l'Hérault, l'irrigation se présente sous deux principales configurations : des systèmes d'irrigation gravitaires, souvent gérés en ASA ; et des périmètres irrigués sous pression, correspondant pour la plupart aux réseaux BRL. Deux mesures d'amélioration de l'efficacité de l'irrigation ont été considérées dans l'étude, se focalisant sur ces deux types. Leur coût et leur efficacité ont été évaluées dans le bassin de l'Orb uniquement. Les résultats sont présentés ci-dessous.

3.1.1. Description des mesures et hypothèses de calcul

- Mesure A1 : Modernisation des périmètres irrigués gravitaires

La première mesure consiste à moderniser les systèmes d'irrigation gravitaire, en développant un réseau sous pression à partir du canal principal. Des stations de pompage sont installées en différents points du réseau gravitaire, desservant chacune des îlots de 150 à 300 ha, irrigués par aspersion (grandes cultures). Les pertes liées à l'irrigation gravitaire (dans le réseau de canaux et à la parcelle) sont fortement réduites.

L'investissement correspondant à la modernisation du réseau de distribution est estimé à 6500€ par hectare (moyenne), avec une durée de vie de 40 ans. Les coûts de maintenance représentent 1 % par an du coût d'investissement initial et les coûts liés à l'énergie 30€/ha et par an.

Un investissement complémentaire doit être réalisé par les agriculteurs pour changer l'équipement à la parcelle. Deux types d'équipements sont considérés : la couverture intégrale par aspersion (1600€/ha d'investissement pour une durée de vie de 15 ans et 310€/ha/an d'entretien) ; l'aspersion par canon (investissement de 650€/ha pour une durée de vie de 20 ans et un coût d'entretien de 260€/an). Les deux techniques sont utilisées sur 50% des surfaces irriguées respectivement, le coût moyen annualisé à la parcelle est donc de 380€/ha. Le coût annualisé total est de 803,4 €/ha irrigué.

L'efficacité de l'irrigation est améliorée du fait d'une réduction des pertes au niveau du réseau de distribution et à la parcelle. Dans le réseau de distribution, les pertes sont réduites dans le réseau secondaire en remplaçant les canaux par des tuyaux, mais le réseau principal ne change pas. On considère donc que 50% du réseau est amélioré pour atteindre un rendement de 76 %). A la parcelle, l'efficacité moyenne des deux techniques d'irrigation considérées est de 75 %.

- Mesure A2 : Développement de l'irrigation par goutte-à-goutte

Cette mesure correspond au développement de l'irrigation au goutte-à-goutte sur les îlots déjà desservis par un réseau sous pression (BRL) pour une irrigation par aspersion. Par conséquent, il n'y a pas de coût associé à la modification du réseau de distribution, l'investissement pour le système d'irrigation à la parcelle est estimé à 2000€/ha pour une durée de vie de 10 ans. L'entretien correspond à 78€/ha chaque année. L'efficacité à la parcelle de l'irrigation au goutte-à-goutte est évaluée à 90%. Le coût total annualisé de cette mesure est de 325€ par ha modernisé.

- Autres mesures

D'autres mesures pourraient être envisagées, telles que l'amélioration de la gestion de l'irrigation par un suivi plus régulier des besoins des plantes et des ressources disponibles, ou des mesures plus locales concernant la fermeture des canaux inutilisés. Cependant, ce type de mesures, même si prometteuses, sont difficiles d'intégrer dans notre analyse, étant donné que leur coût et leur efficacité sont difficiles à estimer. Par ailleurs certaines de ces mesures ont déjà été mises en place par l'organisme de bassin et ne représentent donc plus une option.

3.1.2. Evaluation du coût et de l'efficacité des mesures

Les résultats du calcul du coût et de l'efficacité de ces mesures pour le bassin de l'Orb sont présentés dans le graphique suivant. Globalement, le ratio coût-efficacité de la première mesure d'économie d'eau (modernisation des systèmes gravitaires) présente un ratio coût-efficacité de l'ordre de 0.18 € par m³ économisé pendant la période de pointe. Il est de 0.47 €/m³ pour la seconde mesure (passage au goutte-à-goutte dans les systèmes sous pression). Notons que le ratio coût-efficacité varie selon que l'on tient compte ou pas du changement climatique, puisque l'économie d'eau correspond à un pourcentage du volume d'irrigation (lequel est plus élevé avec l'hypothèse de changement climatique). La mesure permettant de passer à une irrigation au goutte-à-goutte sur la partie aval du bassin, même si moins efficace (0.47€/m³) que celle permettant le passage à l'irrigation par aspersion sur l'amont du bassin (0.18€/m³), permet d'économiser un volume deux fois plus important d'eau au total (1.5 Mm³ pour A2 contre 0.77 Mm³ pour A1).

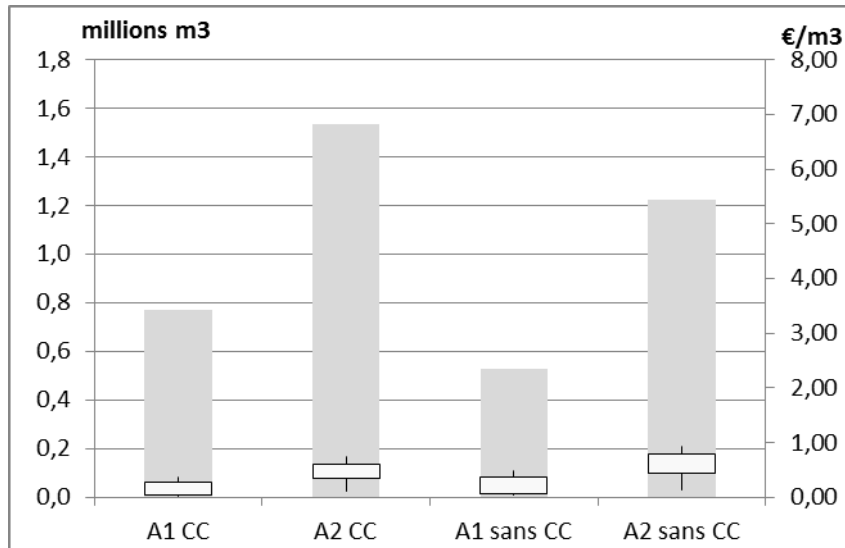


Figure 4 : Ratio coût-efficacité et volume économisable pour les deux mesures agricoles, avec ou sans changement climatique (bassin de l'Orb uniquement)

	Description	Coût (€)		Ratio coût-efficacité (€/m ³)			Economie d'eau	
		Unitaire	Total annualisé	moyen	min	max	Unitaire	Total zone (période pointe)
A1	Modernisation des périmètres irrigués en gravitaire par deux techniques d'aspersion (couverture intégrale et canon d'aspersion)	380€/an à la parcelle, 423€/ha/an pour le réseau de distribution	128 500 €/an	0.18	0.03	0.38	Amélioration de la moitié du réseau de distribution (efficacité de 76 %) et efficacité moyenne à la parcelle de 75 %	770 000 m ³
A2	Développement de l'irrigation par goutte-à-goutte	2000€/ha pour une durée de vie de 10 ans	638 000 €/an	0.47	0.11	0.72	Efficacité du goutte à goutte 90%	1 535 000 m ³

Tableau 3 : Coût et efficacité des mesures d'économie d'eau potable (bassin Orb uniquement)

3.2. MESURES D'ECONOMIE D'EAU DANS LE SECTEUR EAU POTABLE

Le secteur eau potable représente le second gisement d'économie d'eau. Plusieurs mesures d'économie d'eau potable ont été simulées en termes de coût et de volume économisé. Ces mesures ont été définies en s'appuyant sur une analyse des pratiques en France et dans d'autres régions du monde (Australie, UK, USA). L'évaluation de leur coût et de leur efficacité repose sur un certain nombre d'hypothèses qui sont explicitées dans les paragraphes suivants.

A noter que la mesure visant à améliorer le rendement des réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable a été supposée mise en œuvre systématiquement dans le cadre de la mise en œuvre du Grenelle II de l'environnement. Il s'agit donc d'une mesure de base au sens de la Directive cadre sur l'Eau, qui doit être mise en œuvre indépendamment de son ratio coût-efficacité.

3.2.1. Définition et hypothèses de calcul des mesures d'économie d'eau potable

- *M2 – Mise à disposition gratuite de kits hydro économes auprès des ménages*

Cette mesure consiste à proposer à tous les abonnés domestiques de retirer gratuitement un kit de dispositifs hydro-économes auprès de la collectivité chargée du service d'eau potable (commune, syndicat, agglomération). Le kit est composé de réducteurs de débit pour la douche, l'évier de la cuisine et plusieurs lavabos (nombre adapté à la taille du logement).

Le coût est calculé en distinguant l'application de la mesure aux maisons ou aux appartements, et en réalisant des hypothèses quant au taux d'adoption. Le coût total inclut le coût du matériel et le coût de gestion de l'opération. La durée de vie des dispositifs distribués est supposée être de 6 ans en moyenne.

Les économies d'eau sont estimées à 13% pour les appartements et 9% pour les maisons individuelles (différence expliquée par les usages extérieurs). Ces hypothèses sont basées sur une revue d'expériences ailleurs en France (voir le site du Smegreg www.jeconomiseleau.com) et sur le résultat d'une expérience réalisée par le SMETA.

- *M3 – Audit des consommations des ménages (maisons individuelles)*

Cette mesure consiste à proposer aux abonnés domestiques résidant en maison individuelle la réalisation d'un audit de leur consommation par un professionnel accrédité. Le coût de l'audit est de 40€ en moyenne par logement. La collectivité propose en outre de subventionner (25%) les travaux qui seront préconisés à l'issue de l'audit. On suppose que 75% des personnes contactées acceptent l'audit. La nature des travaux réalisés après l'audit dépend de l'équipement de la maison. Ce coût s'élève à 188€ pour un ménage installant tous les dispositifs proposés (dont 47€ de subvention), il est de 24€ en moyenne (dont 6€ de subvention). En moyenne, un audit coûte donc 46 € à la collectivité et permet d'économiser 13% de la consommation des ménages ciblés par l'action.

- *M4 – Audit des consommations des logements collectifs*

Il s'agit d'une mesure identique à M3 mais ciblant les logements collectifs. La réalisation de l'audit est moins coûteuse puisque les visites peuvent être groupées par immeuble ; elle ne bénéficie donc que de 25% de subvention (contre 100% pour les individuels). Les actions proposées suite à l'audit sont identiques à celles de M3 et également subventionnées à 25%. Elles sont complétées par la pose de compteurs divisionnaires (entre bâtiments, local poubelle, espaces verts) et de compteurs individuels dont le relevé et l'entretien est assuré par un prestataire externe.

- *M5 - Tarification saisonnière*

Cette mesure consiste à majorer le prix de l'eau de 50% en période de pointe (15 mai-15 septembre) afin d'inciter les ménages à réduire leur consommation pendant cette période, notamment à l'extérieur des maisons (arrosage des jardins). Si le prix de base sur la commune

est déjà élevé, l'augmentation est limitée à 30%. Au contraire, si le prix est initialement très faible, le tarif d'été correspond au prix moyen sur la zone Ouest-Hérault majoré de 50%. Le prix marginal moyen en 2030 passe ainsi de 2,16 €/m³ à 3,62 €/m³. Les coûts supplémentaires induits sont liés à la pose de compteurs à télé relève, permettant de relever les index à date fixe en début et en fin de la période de pointe (ce qui constitue un surcoût de 5 € par logement et par an par rapport à un compteur classique) et au coût d'un relevé supplémentaire sur une courte période (3€ par logement).

L'effet de ce changement de tarification sur la demande en eau potable est calculé en utilisant le modèle économétrique présenté dans le rapport BRGM/RP-61317-FR. Le modèle permet de recalculer le ratio de consommation en période de pointe pour différents types de logement dans chacune des communes de la zone. A l'échelle de la zone d'étude, le changement de tarification fait baisser la consommation de 60 à 50 m³ (sur 4 mois) pour une maison avec jardin et de 29 à 27 m³ pour un appartement ou une maison sans jardin.

- *M6 – Subvention du matériel hydro-économe dans les hôtels*

Il s'agit ici d'inciter les hôtels à équiper leurs chambres de robinets, douches et WC hydro-économiques en proposant une subvention de 25% du prix du matériel. La mise en place de la mesure nécessite une opération de communication auprès des hôtels (donc un coût) afin de faire prendre conscience de l'intérêt financier de la mesure (temps de retour sur investissement très court compte tenu de la subvention de 25%). Le coût des équipements à installer est subventionné à 25% mais le coût d'installation n'est pas subventionné. La durée de vie des équipements est de 6 ans. On suppose que le taux d'adoption peut atteindre 80% pour les hôtels de 2 étoiles ou moins, et 60% pour les hôtels de 3 étoiles et plus. L'effet sur la consommation est estimé à 20% pour les hôtels de plus de 3 étoiles et 35% pour les autres.

- *M7 - Audit de la consommation en eau des campings*

Sur la base du volontariat, les propriétaires de campings se voient offrir un audit personnalisé afin d'identifier les actions permettant de réduire leur consommation en eau. On suppose que 100% des campings acceptent de réaliser cet audit. Les mesures préconisées par l'audit portent principalement sur les sanitaires (douches, WC, robinets temporisés) et sur l'arrosage des espaces verts. Le coût unitaire et le résultat en termes d'économie d'eau sont basés sur un exemple étudié par le SMEGREG⁵. Le résultat de cette étude est utilisé comme référence et extrapolé aux cas des campings de la zone d'étude. Cette hypothèse devra ultérieurement être affinée, notamment en tenant compte de l'audit des campings en cours de réalisation dans l'Astien.

On suppose ensuite que 75% des campings mettent en œuvre les mesures préconisées par l'audit, vu le rapide retour sur investissement de ces mesures. De fait, les bénéfices associés à cette mesure (économie d'énergie pour l'eau chaude, réduction de la facture d'eau) sont du même ordre de grandeur que le coût total. La subvention de 25% ne vise qu'à faciliter l'adoption d'une mesure qui devrait théoriquement être mise en œuvre de façon spontanée par les propriétaires des campings.

- *M8 - Remplacement des pelouses par des pelouses synthétiques sur les grands terrains de sports pour les communes de plus de 5000 habitants*

⁵ Voir guide méthodologique sur les économies d'eau page 123 à l'adresse internet suivante : http://www.jeconomiseleau.org/images/stories/content/guide_tertiaire_445.pdf. Dernière consultation le 24 mai 2013.

Cette mesure consiste à remplacer les pelouses naturelles des grands terrains de sports par des pelouses synthétiques. Cette mesure permet de réaliser une économie d'eau de 8000 m³ par an et par terrain. Le coût d'investissement est rapidement amorti du fait des économies de main d'œuvre (tonte, arrosage) qu'il génère pour la collectivité. Une subvention de 25% est prévue dans cette mesure afin de faciliter l'adoption d'une mesure qui génère théoriquement plus de bénéfices que de coûts (et qui devrait donc être adoptée spontanément d'un point de vue purement économique).

- *M9 – Réduction de la consommation en eau des espaces verts.*

Cette mesure consiste à modifier l'aménagement de 10% de la superficie des espaces verts publics, en remplaçant les pelouses et autres espaces irrigués par des plantations ne nécessitant pas d'eau (végétation méditerranéenne). Le coût de conversion est lié aux travaux, mais aussi à la formation du personnel. Le coût de conversion est subventionné à hauteur de 25%, avec l'hypothèse que les économies financières permises pour le maître d'ouvrage de la mesure permettent de couvrir les 75% de coûts restants.

3.2.2. Résultats

Les résultats obtenus sont présentés dans les illustrations suivantes (Figure 5, Figure 6 et Tableau 4). La plupart des mesures considérées permettent de réduire de manière significative la consommation d'eau potable en période de pointe, pour un coût unitaire moyen variant entre 0.4 et 2 € par m³ économisé pendant cette période de pointe.

Le ratio coût-efficacité d'une même mesure peut varier d'une commune à l'autre. C'est par exemple le cas de la mesure « tarification saisonnière » dont le ratio varie de 0.1 à plus de 8€/m³ (moyenne de 1.3 €/m³). Cette variabilité est due au fait qu'une hausse de prix conduira à une baisse de la consommation d'intensité variable selon le niveau actuel du prix de l'eau.

Le potentiel total d'économie d'eau des neuf mesures considérées est supérieur à 4 millions de m³ en période de pointe. La définition des mesures est telle qu'il ne devrait pas y avoir de double compte des volumes économisés. D'un point de vue spatial, le potentiel d'économie se situe principalement dans les grandes villes et dans la région littorale (avec son arrière-pays). Le gisement d'économie d'eau est de 1 million de m³ pour les six communes qui présentent le plus gros potentiel (Béziers, Agde, Frontignan, Mèze, Sète, Narbonne). Mobiliser ce gisement coûterait en moyenne 1.5 €/m³ économisé pendant la période de pointe (4 mois).

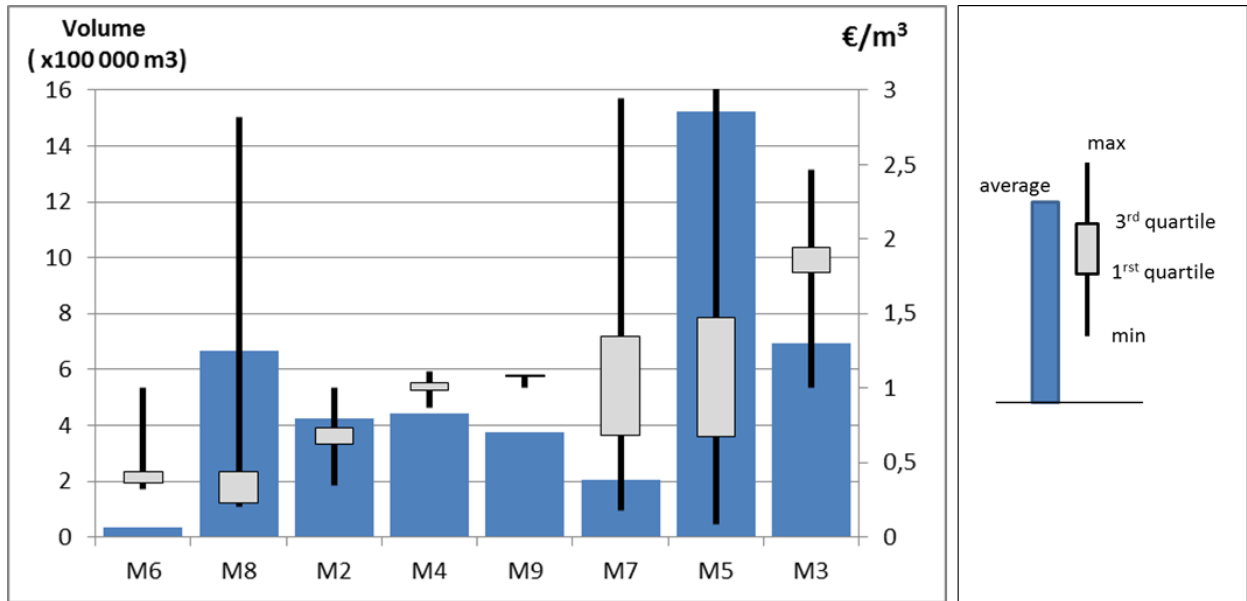


Figure 5 : Volume mobilisable en pointe et coût en €/m³ pour les 8 mesures d'économie d'eau considérées (horizon 2030, ensemble du territoire Ouest Hérault).

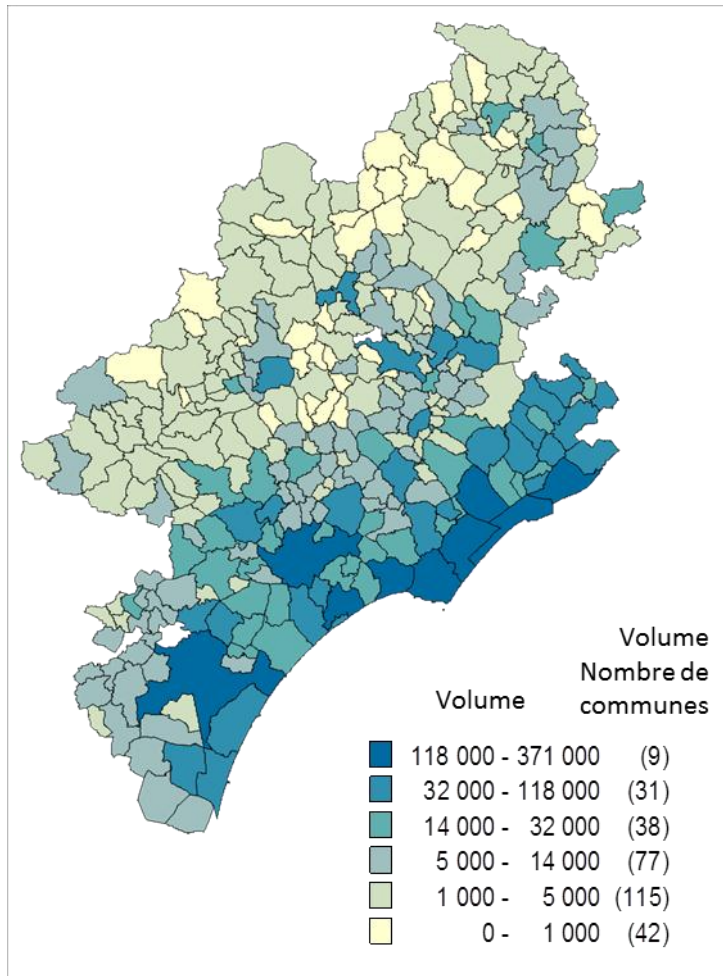


Figure 6 : Répartition géographique du potentiel maximal d'économie d'eau pendant les 4 mois de la période de pointe (en m3, estimation pour 2030)

	Description	Coût (€)		Ratio coût-efficacité (€/m ³)			Economie d'eau	
		Unitaire	Total annualisé	moyen	min	max	Unitaire (période pointe)	Total zone
M2	Mise à disposition gratuite de kits hydro-économiques aux ménages. Hypothèse d'adoption par 25% des ménages.	21.8 €/ maison individuelle 12.2 €/ appartement	285 500 €/an	0.68	0.35	0.98	9 à 13% de la consommation de l'utilisateur	426 000 m ³
M3	Audit de la consommation des ménages résidant en maison individuelle. Hypothèse audit gratuit et subvention à 25% des dépenses. Adoption par 75% des abonnés concernés.	46 € en moyenne (pour coll.)	1 285 000 €/an	1.86	1.35	2.45	13%	695 000 m ³
M4	Audit de la consommation des logements collectifs, pose de compteurs divisionnaires et individuels, installation de dispositifs hydro-économiques.	47€/ logement	446 000 €/an	1.01	0.87	1.11	13%	441 000 m ³
M5	Tarifification saisonnière	8€ par abonné	2 340 000 €/an	1.27	0.09	8.19	7 à 17% selon catégorie logement	1 500 000 m ³
M6	Subventions des dispositifs hydro-économiques dans les hôtels	35€ / chambre + 20€/hôtel	150 000 €/an	0.4	0.32	0.57	20 à 35%selon catégorie hôtel	34 000 m ³
M7	Audit des consommations et subvention des mesures d'économie dans les campings	450 € audit subvention de 25% travaux (est.17 000€)	12 000 €/an	1.16	0.18	2.94	25%	206 000 m ³
M8	Remplacement des pelouses par des pelouses synthétiques sur les grands terrains de sports pour les communes de plus de 5000 habitants	230 000€	406 000 €/an	1.08	1.08	1.08	8000 m ³ par terrain	376 000 m ³
M9	Espaces verts communaux : conversion de 10% des surfaces en pelouses et aménagements arrosés en végétation méditerranéenne.	2.35 €/m ² 1000 à 4000€ formation	166 000 €/an	0.40	0.20	2.8	0.85 m ³ par m ² converti	668 000 m ³

Tableau 4 : Coût et efficacité des mesures d'économie d'eau potable (ensemble zone Ouest Hérault)

3.3. MOBILISATION DE NOUVELLES RESSOURCES

Pour résorber les déficits futurs, les actions en faveur des économies d'eau devront probablement être complétées par des actions visant à mobiliser de nouvelles ressources. Il s'agit notamment de substituer des prélèvements réalisés dans l'Orb et l'Hérault (et leurs nappes alluviales) par des apports de ressources non connectées à ces milieux, et qui ne soient pas surexploitées.⁶ Plusieurs ressources de substitution pourraient être sollicitées à l'horizon temporel considéré : ressources en eau souterraines notamment karstiques, adducteur d'eau du Rhône et/ ou dessalement d'eau de mer. Dans le cadre de cette étude, nous avons principalement considéré la solution « eau souterraine », qui a été étudiée en détail (voir rapport BRGM/RP61794-FR). La solution « transfert interbassin » (Aquadomia) n'a pas été étudiée en détail, faute de données précises (études économiques en cours de réalisation par BRL). Enfin, le dessalement a été considéré comme une alternative possible, sur la base de coûts moyens tirés de la littérature scientifique. Les paragraphes qui suivent résument les hypothèses et résultats relatifs aux coûts et volumes mobilisables.

3.3.1. Substitution des prélèvements via la mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine

Le rapport BRGM/RP61794-FR présente plusieurs scénarios d'exploitation de ressources en eau souterraine situées dans les bassins de l'Orb et de l'Hérault. Pour chacun de ces scénarios, nous avons estimé les coûts de mobilisation de la ressource, de potabilisation et de raccordement aux réseaux existants. Le Tableau 5 ci-dessous présente les résultats obtenus pour les scénarios d'exploitation de nouvelles ressources en eau souterraine dans le bassin de l'Orb.

Scénario	Zone alimentée	Volume exploité	Coût (€/m3 en pointe)
SES-1 (Cessenon 100 m3/h)	Vallée Orb amont Béziers	100 000	2,45
		200 000	1,91
SES-2 (Cessenon 200 m3/h)	Vallée Orb amont & Béziers Ouest	300 000	1,95
		425 000	1,77
SES-3 (Cessenon + Vieussan, 400 m3/h)	Vallée Orb amont & Béziers Ouest	400 000	4,24
		800 000	2,21
SES-4 (Vieussan 100 m3/h)	Vallée amont Orb & Jaur - Bédarieux	207 000	3,14
SES-5 (Cruzy)	Ouest Béziers	100 000	4,4
		182 000	2,49

Tableau 5 : Coût et volume mobilisable pour plusieurs scénarios de mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine dans le bassin de l'Orb.

Le coût unitaire est de l'ordre de 2 €/m3 en période de pointe. Rappelons que, comme pour les mesures d'économie d'eau, ce ratio est calculé en attribuant l'intégralité des coûts fixes au

⁶ Cette logique de substitution de prélèvements est mise en œuvre dans d'autres territoires, notamment dans le SAGE Nappes profondes en Gironde.

volume mobilisé pendant les 4 mois de la période de pointe. Le coût moyen d'exploitation (calcul sur l'hypothèse de fonctionnement toute l'année) est inférieur d'un facteur 3 environ (voir détails dans le rapport BRGM/RP61794-FR). Le volume maximum qui peut être substitué avec les scénarios considérés dans l'Orb est de 1.2 million de m³ (en période de pointe).

3.3.2. Substitution des prélèvements via le dessalement de l'eau de mer

Bien que la possibilité d'avoir recours au dessalement d'eau de mer ne soit pas considérée dans les démarches de planification à l'échelle régionale et locale (SAGE), nous l'incluons dans l'analyse. En effet, la baisse du coût des technologies membranaires rend cette option compétitive d'un point de vue économique. Son utilisation est cependant susceptible d'être réduite du fait des impacts environnementaux liés à la consommation énergétique et au rejet des saumures en mer.

Dans le cas de l'étude, nous avons supposé que le dessalement ne pouvait représenter une solution que pour la frange littorale. Si cette option était retenue, on suppose que des unités de capacité inférieure ou égale à 10 000 m³ par jour seraient construites, afin d'être utilisées en appoint pendant la période estivale (4 mois).

Les coûts associés au développement du dessalement comme alimentation d'appoint en été sont les suivants : (i) construction de l'usine ; (ii) restructuration du réseau d'eau potable de façon à pouvoir être alimenté par l'usine située en aval du réseau en été, et par les ressources conventionnelles situées en amont le reste de l'année ; (iii) coût de fonctionnement de l'usine de dessalement et (iv) coût de pompage pour réalimenter le réseau.

Des études spécifiques, similaires à ce qui a été réalisé pour les projets d'exploitation des eaux souterraines seraient nécessaires pour évaluer plus précisément ces coûts. Nous nous limitons ici à présenter un ordre de grandeur du coût, calculé avec des hypothèses issues de la littérature scientifique et des hypothèses correspondant au site d'étude :

- Le coût d'investissement de l'usine est estimé à 1200 € par m³/jour de capacité installée, soit 28 800 €/m³/heure de capacité ; cette valeur est relativement faible au regard des hypothèses réalisées pour le coût d'un traitement simple des eaux souterraines⁷.
- Le coût de restructuration du réseau est estimé en supposant que 25 kilomètres de canalisation principale (360 mm) sont construits pour remonter l'eau de l'usine vers l'amont des réseaux (CABEME) ainsi que des interconnexions nouvelles d'un diamètre de 250 mm. Des stations de refoulement sont également nécessaires pour remonter l'eau du niveau de la mer vers l'amont des réseaux.
- Le coût du fonctionnement de l'usine de dessalement est évalué à 0.7 € par m³, et le coût de refoulement de l'eau vers l'amont du réseau à 0.15 €/m³.
- Au total, le coût par m³ est évalué à 1.22 € par m³ si l'usine est utilisée à pleine capacité toute l'année, et à 1.97 € par m³ si l'installation n'est utilisée que pendant la période d'étiage (hypothèse 4 mois de fonctionnement à pleine capacité).⁸

⁷ Lors du calcul du coût d'exploitation des eaux souterraines, nous avons supposé un coût de 24000 € par m³/heure pour une installation de potabilisation simple de l'eau souterraine.

⁸ Ces valeurs sont compatibles avec celles citées dans la littérature scientifique. Une étude des coûts de dessalement réalisée sur un échantillon de plus de 2500 unités dans le monde montre que le coût complet est de l'ordre de 2 USD par m³ (soit 1.6 €/m³) lorsque l'eau de mer est utilisée. Zhou et Tol, 2005. Evaluating the cost of desalination and water transport. Water Resources Research, vol 41.

	Investissement	Durée vie	Coût moyen annualisé
Usine - Génie civil	6 000 000	50	279 301
Pompe refoulement	500 000	15	44 971
Techno	6 000 000	20	441 491
Canalisations	12 500 000	50	581 878
Total investissement	25 000 000		1 347 640

Tableau 6 : Evaluation du coût d'investissement d'une installation de dessalement dans la région de Béziers.

Nature du coût	€/m3
Coût de fonctionnement dessalement	0,7
Coût de fonctionnement refoulement	0,15
Coût d'utilisation pleine capacité (€/m3)	1,22
Coût d'utilisation en appoint (€/m3)	1,97

Tableau 7 : Evaluation du coût total (investissement et fonctionnement) d'une installation de dessalement (capacité 10 000 m3/jour).

3.3.3. Substitution des prélèvements par le projet Aquadomia

Les données publiques actuellement disponibles sont insuffisantes pour évaluer le coût de la substitution des prélèvements dans l'Orb par un apport d'eau du Rhône via le projet Aquadomia. Pour mémoire, nous rappelons les éléments suivants :

- L'investissement sera compris entre 145 et 259 millions d'euros pour l'infrastructure principale ; le développement des réseaux secondaires (eau potable et irrigation) est estimé à 135 millions € supplémentaires (valeur minimale, de fait comprise entre 135 et 241 millions € selon variante du projet). La durée de vie moyenne de cet équipement est de 50 ans (durée variable selon les composantes de l'infrastructure) ce qui donne un coût moyen annualisé compris entre 6.7 et 9.1 millions € par an.
- La capacité maximale du projet est comprise entre 2.2 et 3.8 m³/s par seconde, soit 10 millions de m³ pendant les 4 mois de la période de pointe. Si l'on suppose que l'infrastructure n'est utilisée que pendant cette période (comme pour toutes les autres mesures), le coût d'investissement est de 0.95 €/m³.
- Le coût de transport de l'eau de Montpellier à la zone d'étude est de l'ordre de 0.2 €/m³. S'y ajoute le coût d'acheminement de l'eau jusqu'à Montpellier, puis le coût de potabilisation avant distribution, le tout étant compris entre 0.45 et 0.6 €/m³.
- Au total, le coût du m³ d'eau du Rhône, rendu potable et dans la zone d'étude, est de l'ordre de 1.40 à 1.68 €/m³ pendant la période de pointe.
- Enfin, le volume disponible pour la zone d'étude pourrait être de l'ordre de la moitié du débit initial à Montpellier, soit 7.5 millions de m³ pendant la période de pointe.

Ces chiffres ne sont présentés qu'à titre indicatif et devraient faire l'objet d'une étude plus approfondie avant d'être mobilisés dans une évaluation coût-efficacité. Ils ne sont donc pas utilisés dans la suite de ce document.

4. Analyse coût-efficacité

4.1. LES DIFFERENTES APPROCHES DE L'ANALYSE COUT-EFFICACITE

L'analyse coût-efficacité vise à définir un programme d'actions qui permette de résorber un déficit futur au moindre coût. Elle peut être mise en œuvre avec deux approches différentes, selon la nature de la décision qu'elle doit informer.

- La première approche correspond à une situation où l'utilisateur de l'ACE souhaite définir un programme d'actions générique, susceptible de s'appliquer de manière uniforme dans l'ensemble du bassin. Cela peut être le cas d'un acteur public (Agence de l'Eau par exemple) qui souhaiterait définir des priorités d'action dans un programme d'intervention. Dans ce cas, le calcul du coût et de l'efficacité est réalisé sur un échantillon de situations représentative de la diversité réelle (échantillon de communes ou de périmètres irrigués, de masses d'eau) ; une valeur moyenne de ratio coût-efficacité est ensuite calculée ; puis les mesures sont hiérarchisées au regard de ce ratio coût-efficacité moyen, et les priorités d'action établies sur la base de ce classement. Cette approche néglige l'hétérogénéité géographique des ratios coût-efficacité pour chaque mesure, les actions préconisées sont identiques dans toutes les situations.
- La seconde approche correspond à une situation où un gestionnaire de bassin dispose d'informations précises sur les conditions de mise en œuvre des mesures en chaque point du bassin. Il cherche alors à définir les actions les plus pertinentes (en termes de coût et d'efficacité) pour chaque localité, ce qui permet d'éviter d'appliquer des mesures qui s'avèreraient localement inadaptées bien que cout-efficaces dans la plupart des situations. Cette approche permet de minimiser le coût total par rapport à la première, mais elle requiert (i) une information plus détaillée et (ii) la capacité de mettre en œuvre un programme d'actions spatialement différencié, ce qui génère des coûts supplémentaires.

Cette section présente une application concrète de ces deux approches au bassin versant de l'Orb.

4.2. ANALYSE ECONOMIQUE D'UN PROGRAMME GENERIQUE

Sur la base des calculs présentés dans la section précédente, les mesures considérées ont été hiérarchisées au regard de leur ratio coût-efficacité moyen.

4.2.1. Avec l'hypothèse de non recours à des ressources extérieures au bassin

Nous avons d'abord exclu le dessalement d'eau de mer des options considérées, le programme d'action considéré reposant alors uniquement sur une logique d'économies d'eau et de mobilisation des ressources locales (eaux souterraines). La Figure 7 décrit la combinaison optimale de ces mesures et illustre l'évolution conjointe du coût du programme et du volume économisé. La figure met en évidence que les deux premières mesures à mettre en œuvre sont relatives à la modernisation des périmètres irrigués (A1, A2), suivies de trois mesures d'économie d'eau potable (M8, M2, M6 et M5). L'analyse recommande aussi d'inclure dans la solution deux projets de mobilisation des eaux souterraines (ESE-3b et ESE-5b). Certaines des mesures d'économie d'eau, qui présentent un ratio coût-efficacité peu favorable, ne doivent être mobilisées qu'en dernier ressort, si le déficit à combler est élevé.

Globalement, pour un déficit à combler de 3.16 millions de m³, (moyenne des scénarios intermédiaires, cf. supra) il est nécessaire de mettre en œuvre les mesures A1, A2, M8, M2, M6 et M5 plus un projet « eau souterraine » qui n'est pas utilisé à pleine capacité.

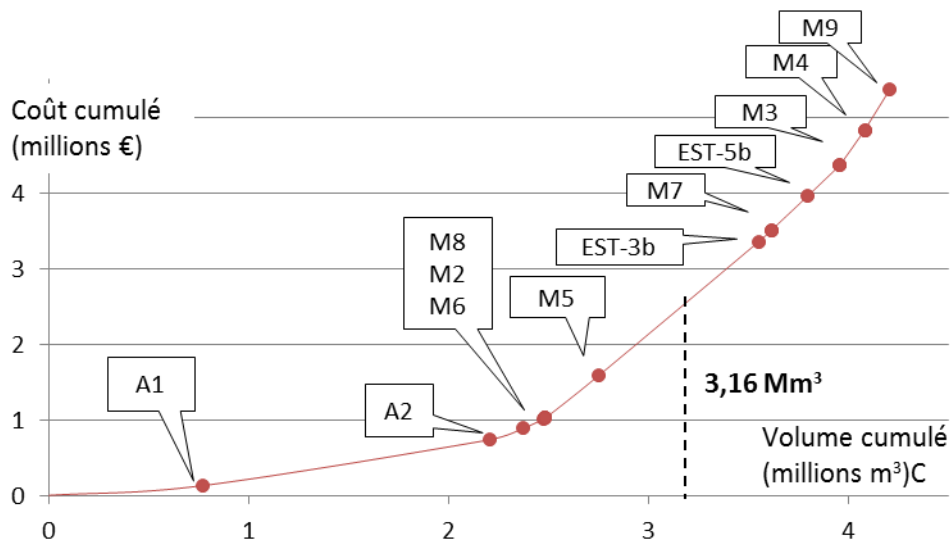


Figure 7 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison coût-efficace spatialement non différenciée du programme de mesures (sans dessalement).

4.2.2. Avec l'hypothèse de recours au dessalement

On suppose maintenant que le recours aux ressources non conventionnelles est admis. Une mesure consistant à substituer le dessalement d'eau de mer aux prélèvements dans l'Orb est définie, avec deux variantes qui diffèrent en terme de capacité (10 000 et 20 000 m³ / jour). Cette mesure présentant un ratio coût-efficacité de 1.97 €/m³, elle est mobilisée avant d'autres mesures (M5 et au-delà sur la courbe) ce qui décale la courbe vers la droite du graphique. Deux courbes sont ainsi tracées : la première (en bleu) suppose la création d'une unité de dessalement de 10 000 m³ jour de capacité, la seconde (courbe verte) une capacité de 20 000 m³/jour.

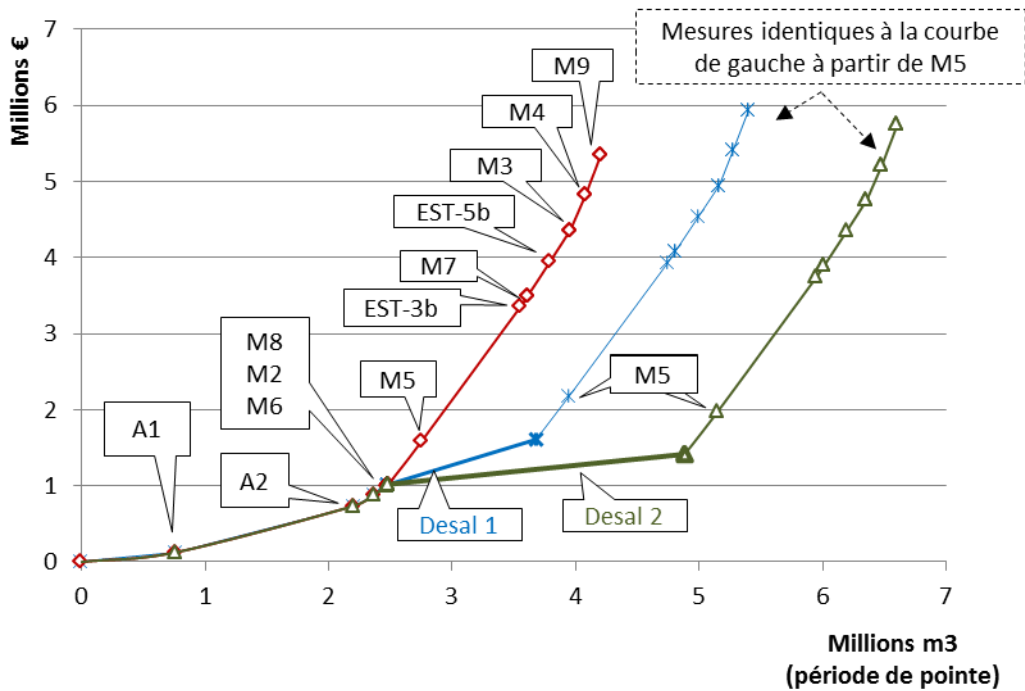


Figure 8 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison coût-efficace spatialement non différenciée du programme de mesures (avec 2 hypothèses de dessalement).

4.3. APPROCHE MESURES INDIVIDUELLES

4.3.1. Description du portefeuille d'actions considérées

La deuxième approche consiste à analyser séparément chacune des mesures en chacun des sites dans lesquels elle est mise en œuvre. Dans le bassin de l'Orb par exemple, nous considérons un portefeuille de 347 actions permettant de réduire les prélèvements en eau dans l'Orb et sa nappe alluviale. La répartition de ces actions par type de mesures est décrite dans le Tableau 8.

Code	Description de la mesure	Nombre d'actions
DE	Projet de dessalement	2
ES	Projets d'exploitation de nouvelles ressources en eau souterraine	9
M2	Mise à disposition gratuite de kits hydro-économiques aux ménages. Hypothèse d'adoption par 25% des ménages.	62
M3	Audit de la consommation des ménages résidant en maison individuelle.	62
M4	Audit de la consommation des logements collectifs, pose de compteurs divisionnaires et individuels, installation de dispositifs hydro-économiques.	33
M5	Tarifification saisonnière	62
M6	Subventions des dispositifs hydro-économiques dans les hôtels	20
M7	Audit des consommations et subvention des mesures d'économie dans les campings	10
M8	Remplacement des pelouses par des pelouses synthétiques sur les grands terrains de sports (communes de plus de 5000 habitants)	62
M9	Espaces verts communaux : conversion de 10% des surfaces en pelouses et aménagements arrosés en végétation méditerranéenne.	7
AGRI1	Modernisation des périmètres irrigués en gravitaire par deux techniques d'aspersion (couverture intégrale et canon d'aspersion)	7
AGRI2	Développement de l'irrigation par goutte à goutte	11
Nombre total d'actions considérées		347

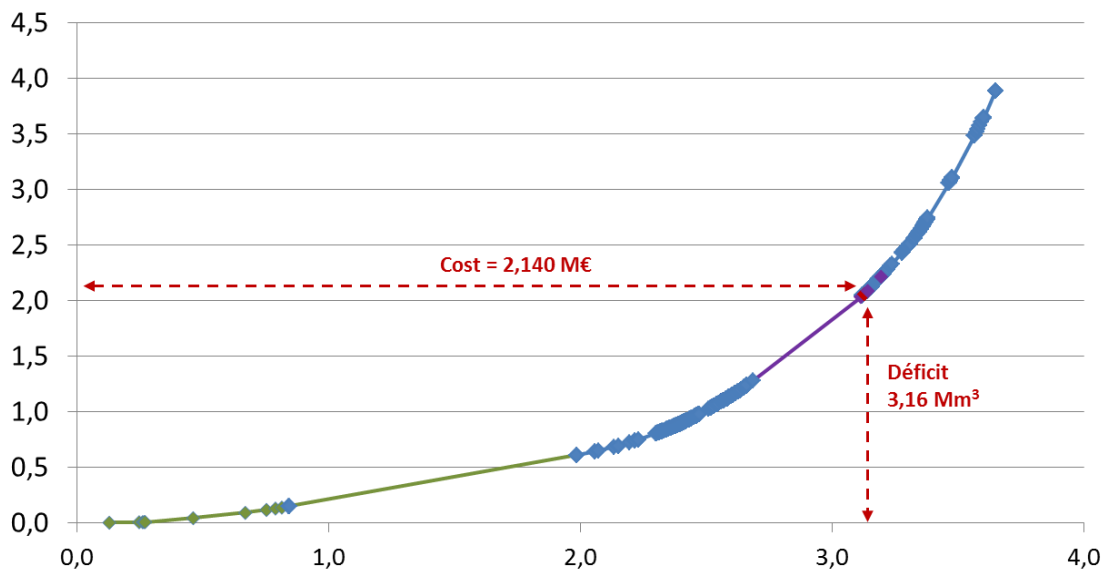
Tableau 8 : Répartition par type de mesure des actions permettant de réduire les prélèvements dans l'Orb et sa nappe alluviale.

4.3.2. Hiérarchisation des actions avec différentes hypothèses de déficit

Pour chacune de ces actions, nous avons calculé le coût total, le volume économisé et le ratio coût-efficacité exprimé en € par m³ non prélevé dans l'Orb en été. Les actions sont ensuite classées par ordre croissant de ratio coût-efficacité. L'évolution du coût cumulé en fonction du volume cumulé est ensuite représentée graphiquement.

Comme précédemment, nous avons construit plusieurs courbes correspondant aux situations suivantes :

Situation 1 : le déficit à combler est de 3.16 millions de m³ ce qui correspond au déficit moyen des scénarios climatiques intermédiaires (cf. supra); pour y répondre, le programme qui minimise le coût combine des actions d'économie d'eau (87% du volume) et la mobilisation d'une ressource en eau souterraine (13% du volume). Le coût total est de 2.14 millions d'euros par an ; l'investissement dans une unité de dessalement ne serait pas pertinent car générant une capacité de production non utilisée (donc un surcoût). La Figure 9 décrit le coût cumulé et le volume cumulé associé à ce programme de mesures.



Situation 2 : le déficit à combler est de l'ordre de 4 à 5.5 millions de m³ ; il est possible d'y répondre en combinant des actions d'économie d'eau et la mobilisation de ressources souterraines (Figure 10), éventuellement en combinaison avec du dessalement d'eau de mer (Figure 11, Figure 12).

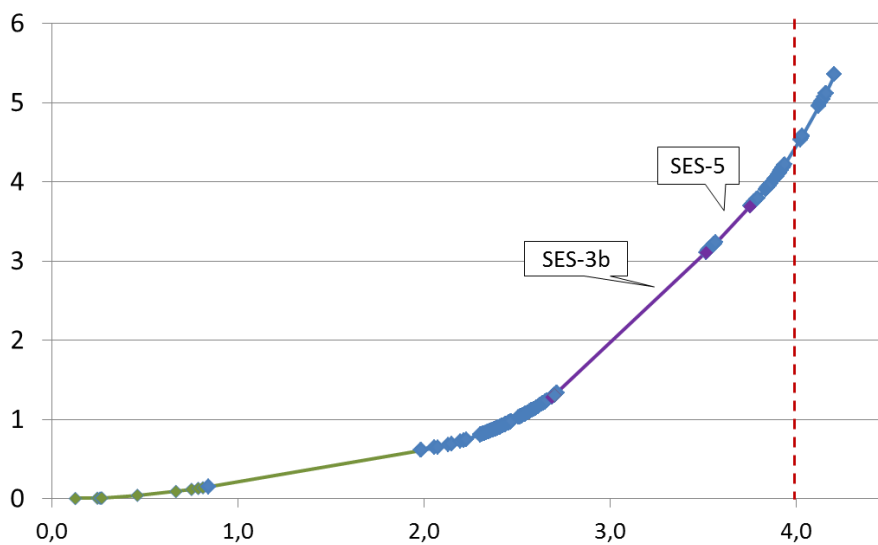


Figure 10 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec mobilisation de nouvelles ressources souterraines.

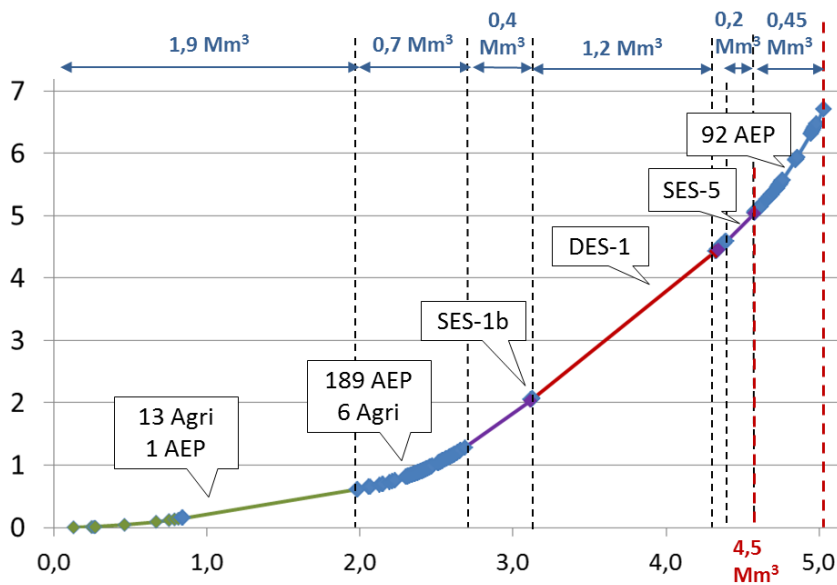


Figure 11 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec dessalement et eaux souterraines.

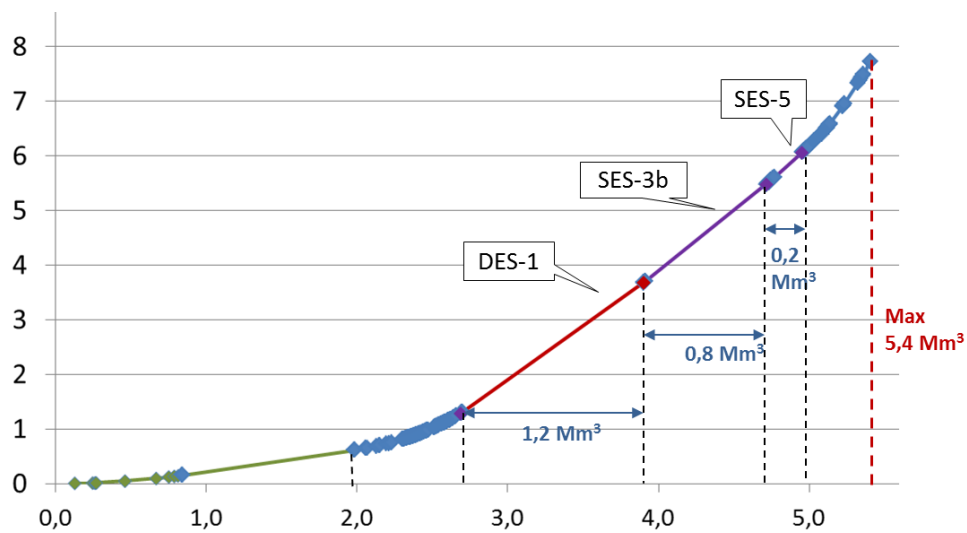


Figure 12 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison spatialement différenciée du programme de mesures (dessalement avec capacité 10 000 m3/j).

Situation 3 : le déficit à combler est de supérieur à 6 millions de m³ ; il est alors nécessaire de mobiliser toutes les nouvelles ressources souterraines et la capacité de dessalement maximum (20 000 m³/jour).

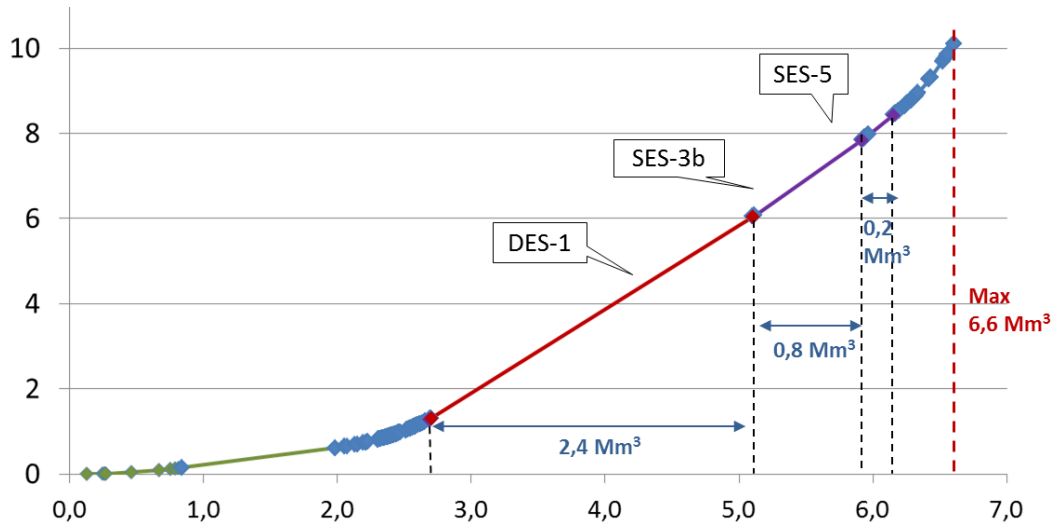


Figure 13 : Evolution du coût total cumulé et du volume mobilisé avec la combinaison spatialement différenciée du programme de mesures (dessalement avec capacité 20 000 m³/j).

4.3.3. Orientations pour un programme coût-efficace

Cette analyse conduit à une conclusion proche de celle de la première approche de l'ACE :

- Elle montre que les mesures les plus efficaces sont celles visant à réaliser des économies d'eau dans le secteur agricole (1.9 million de m³ avec 13 actions dans le domaine agricole et 1 dans le domaine eau potable).
- La mise en œuvre de 184 actions d'économie d'eau potable permet ensuite de réduire les prélèvements dans l'Orb de 700 000 m³. Ces actions se répartissent en 33% actions de type M2 (kits hydro-économes maisons) ; 24% actions M5 (tarification saisonnière) ; 11% actions M6 (hôtels) ; 30% actions M8 (terrains de sports) et 2% d'actions M7 (modification espaces verts).
- Il est ensuite plus intéressant économiquement de mobiliser de nouvelles ressources (souterraines ou dessalement).
- Enfin, d'autres mesures d'économie d'eau peuvent être mobilisées, pour un volume économisé de 450 000 m³. Les 92 actions de ce dernier groupe relèvent principalement des audits des consommations et économies d'eau dans l'habitat individuel (39% M3 et 36% M4), avec 25% de ces actions relevant des mesures M5, M7, M8 et M9.

4.3.4. Analyse de la répartition de l'effort

L'analyse coût-efficacité présentée ci-dessus vise à identifier la combinaison d'actions la moins couteuse pour résorber le déficit en eau à l'horizon 2030. Rien ne garantit que cet optimum économique permette de répartir équitablement l'effort d'économie d'eau entre les secteurs, les acteurs et plus globalement les sous bassins.

Un indicateur pertinent pour mesurer l'effort demandé à chaque sous bassin par le programme est le ratio entre le volume économisé, d'une part, et la demande totale du sous bassin, d'autre part. Le Tableau 9 ci-dessous montre que cet indicateur d'effort varie de quelques pourcents (bassins 8, 9 et 11) à plus de 20% (bassins 2 et 6). Notons que certains bassins, qui représentent une très faible part de la consommation totale, devront réaliser des efforts très

importants (exemple sous-bassins 2, 5 et 6 qui doivent réduire de 20% alors qu'ils ne représentent que 8% de la consommation).

Sous-bassins	Volume économisé (Mm3)	Volume économisé en % de la demande du sous bassin	Volume économisé en % du total économisé
1	30 000	15,2%	0,9%
2	250 000	20,8%	7,8%
3	30 000	15,1%	0,8%
4	110 000	15,1%	3,5%
5	200 000	23,3%	6,3%
6	120 000	21,7%	3,7%
7	140 000	15,8%	4,3%
8	-	-	0,0%
9	380 000	4,6%	11,9%
10	1 810 000	11,7%	56,0%
11	150 000	3,0%	4,7%
Total	3 220 000		100,0%

Tableau 9 : Répartition de l'effort d'économie d'eau entre sous-bassins de l'Orb

4.4. LIMITES DE L'APPROCHE

L'ACE présentée ci-dessus apporte des éléments intéressants pour définir des priorités d'action dans le cadre de l'élaboration d'un programme de mesures. Elle souffre néanmoins d'un certain nombre de limites qui en restreignent la portée.

- La première limite est liée au pas de temps choisi (4 mois de période de pointe) qui néglige l'existence de tensions plus marquées à un pas de temps plus court (le mois ou la semaine de pointe). Par ailleurs, cette approche ne permet pas de simuler les possibilités d'optimisation des lâchers du barrage des Monts d'Orb, mesure dont le coût marginal est très faible, et qui pourrait permettre de faire face à la variabilité climatique au sein de la période de pointe.
- La deuxième limite est liée à la résolution spatiale ; la combinaison optimale d'actions est définie de manière à résorber un déficit total dans le bassin, sans pouvoir vérifier que les débits d'étiages sont respectés dans chaque sous bassin.
- La troisième limite est que la démarche ne tient pas compte des effets cumulés des mesures de l'amont vers l'aval. Une mesure d'économie d'eau mise en œuvre en amont du bassin génère un bénéfice environnemental pour l'ensemble du cours d'eau en aval ; son efficacité écologique est donc supérieure à la même mesure mise en place juste à l'amont de l'embouchure du fleuve par exemple.

C'est donc pour dépasser ces limites que nous avons développé une approche plus complexe, reposant sur un outil d'optimisation hydro-économique. Celui-ci est présenté dans la section suivante de ce rapport.

5. Modèle hydro-économique d'optimisation

Cette section présente la mise en œuvre d'un modèle d'optimisation hydro-économique, qui représente une méthode alternative à l'analyse coût-efficacité. Alors que l'ACE présentée dans les sections précédentes propose de raisonner de manière globale à l'échelle du bassin, le modèle d'optimisation vise à identifier la combinaison d'actions la moins coûteuse qui permettrait de respecter l'objectif environnemental dans chaque sous bassin et au pas de temps mensuel. La méthode permet donc d'améliorer la résolution spatiale et temporelle de l'analyse. Elle permet également de mieux représenter la gestion du barrage des Monts d'Orb, dont la gestion des lâchers représente une mesure importante, à faible coût, et qui n'était pas intégrée dans l'ACE.

5.1. STRUCTURE DU MODELE

Le modèle d'optimisation intègre les résultats des différents travaux du projet Ouest Hérault II afin de déterminer le programme de mesures de moindre coût qui permet d'atteindre les objectifs fixés en termes d'alimentation en eau des usagers et de respect des débits environnementaux. La structure du modèle d'optimisation est présentée (Figure 14) comme un intégrateur de scénarios, contraintes et mesures. Les scénarios de demandes agricoles et urbaines détaillés précédemment sont incorporés au pas de temps mensuel sous la forme d'une année type de demande à l'horizon 2030. Les chroniques de débits mensuels issues de la modélisation hydrologique de l'impact du changement climatiques sur les ressources en eau dans le bassin de l'Orb sont utilisées comme données d'entrée pour le modèle d'optimisation. Afin de prendre en compte les variations intra et interannuelles de l'hydrologie, on utilise une série de débits mensuels sur 20 ans pour le scénario futur (2046-2065) et 30 ans pour la période de contrôle au présent (1970-2000).

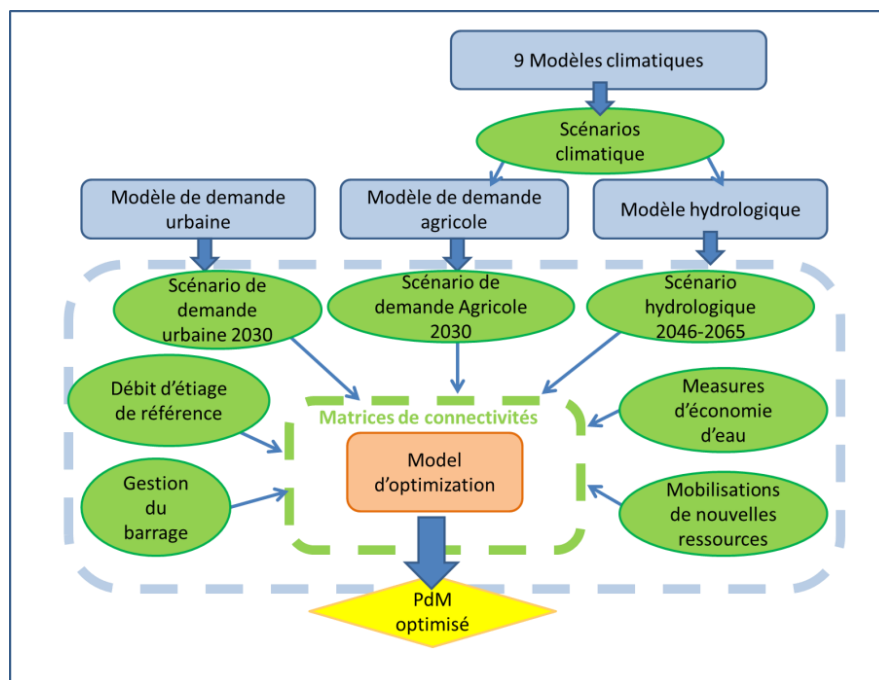


Figure 14 : Cadre de modélisation de l'optimisation

Encadré : Pourquoi optimiser ?

Deux principaux défis se présentent au gestionnaire de bassin au moment de réaliser un exercice de planification de la gestion quantitative des ressources en eau. Dans le cas qui nous intéresse, le problème consiste à définir un programme de mesures d'économie d'eau et/ou de développement d'infrastructures. D'un côté de nombreuses options sont disponibles en terme de développement des infrastructures, de gestion de la demande, de schéma de gouvernance, et leurs possibilités de combinaison tendent vers l'infinie ; d'autre part les conditions dans lesquelles doivent se prendre les décisions sont incertaines étant donné qu'il s'agit de scénarios futurs avec leur lot d'incertitudes. En pratique, cela a amené les gestionnaires à développer deux types de modélisation complémentaires pour les aider dans leurs tâches de planification: la simulation et l'optimisation.

Les modèles de simulations permettent de représenter en détails un système complexe et d'estimer les conséquences de la mise en place d'un plan de gestion donné (règle d'opération d'un barrage, mise en place d'un programme de mesures) en se basant sur des indicateurs de fonctionnement du système (satisfaction des demandes, des débits environnementaux,...). Ce type de modèle permet de représenter plus fidèlement la réalité et la prise en compte de scénarios futurs avec leurs incertitudes, mais présente des limites en termes de recherche d'une meilleure solution, chaque option correspondant à une nouvelle simulation particulière, le processus itératif peut être long.

Au contraire, les modèles d'optimisation se basent sur des représentations des systèmes de ressources en eau plus simple mais permettent d'analyser l'ensemble des options possibles en respectant des contraintes définies en terme de débits environnementaux, ou d'alimentation en eau des usagers. L'optimisation permet de chercher de manière systématique parmi un ensemble de possibilités et de choisir la combinaison qui permet de satisfaire au mieux un objectif défini mathématiquement. Ce processus repose sur l'utilisation d'algorithmes puissants de programmation mathématique, comme par exemple les algorithmes de programmation mixte entière linéaire qui permettent de représenter des décisions de type oui/non lors de l'activation de mesures. Cependant linéariser un problème implique une simplification de la complexité du système étudié et limite les possibilités de tenir compte des incertitudes futures. L'usage de modèles d'optimisation et de simulation reste donc complémentaire dans la planification. Dans le cas de la rivière Orb, un modèle d'optimisation a été développé afin d'apporter des éléments de discussion à la planification de la gestion quantitative des ressources en eau du bassin versant et de permettre une première sélection entre l'ensemble des mesures de gestion de la demande et de mobilisation de nouvelles ressources définies dans le projet Ouest Hérault II.

Le modèle d'optimisation est ensuite utilisé pour sélectionner les mesures d'économie d'eau ou de mobilisation de nouvelles ressources qui permettent de respecter les contraintes i) de débits environnementaux, ii) d'alimentation des usages urbains et agricoles et iii) de gestion du risque d'inondation (barrage des Monts d'Orb).

Les mesures d'économies d'eau sont celles présentées dans la section précédente pour les usages urbains et agricoles. Elles sont calculées au pas de temps mensuel au moyen de coefficients de pointe pour prendre en compte leurs variations saisonnières. Le coefficient de pointe est spécifique pour chaque unité de demande urbaine.

Les débits d'étiage de référence (objectif à atteindre) sont définis par une valeur seuil de débit moyen mensuel, en chaque nœud du modèle. Ce seuil a été défini de manière à garantir le bon état du milieu aquatique⁹.

⁹ Ginger, 2011. Etude de définition des débits d'étiage de référence pour la mise en oeuvre d'une gestion quantitative de la ressource en eau dans le bassin de l'Orb. Rapport provisoire phases 1 et 2. Avril 2011. Syndicat mixte de la vallée de l'Orb.

La gestion du barrage est contrainte par une courbe de consigne qui définit, pour chaque mois, le volume minimum et maximum. Ces seuils sont définis pour éviter la remise en circulation des sédiments et pour assurer la protection des zones aval contre les inondations¹⁰. La production électrique n'est pas prise en compte dans cette version du modèle pour le barrage des Monts d'Orb, son importance n'étant pas considérée comme stratégique à ce stade.

Les lâchers provenant de l'usine hydroélectrique de Montahut (bassin Adour Garonne) sont intégrés dans le modèle au moyen des moyennes mensuelles interannuelles. En effet, le caractère peu prédictible de ces lâchers ne permet pas une modélisation plus fine, comme constaté dans les autres études de référence sur le sujet (BRLi, 2011, Ginger, 2011).

Le modèle en lui-même est composé d'une série d'équations réalisant des bilans de flux entre des nœuds qui sont reliés par des tronçons de rivière. Le bassin de l'Orb est découpé en 11 sous-bassins délimités par les principaux nœuds de l'étude de définition des débits d'étiage de référence (Ginger, 2011).

A chaque nœud, un bilan besoin-ressource est réalisé prenant en compte d'un côté : les apports naturels au nœud, les apports des bassins supérieurs, et les retours de prélèvement ; et de l'autre : les demandes à satisfaire et les débits environnementaux à préserver (Figure 15). Dans le cas du nœud correspondant au barrage des Monts d'Orb, le volume du barrage est pris en compte pour permettre un stockage ou déstockage selon les prélèvements du bassin. Les pertes par évaporation mensuelle du lac de retenue du barrage des Monts d'Orb sont également incluses dans le bilan. Les interactions entre la rivière et les aquifères ne sont pas considérées dans cette version du modèle, même si elles pourraient être responsables des difficultés rencontrées dans la modélisation hydrologique du bassin.

¹⁰ BRLi, 2011. Perspectives d'évolution de la gestion des volumes stockés dans le barrage des Monts d'Orb. Rapport final, Novembre 2011, BRL Ingénierie

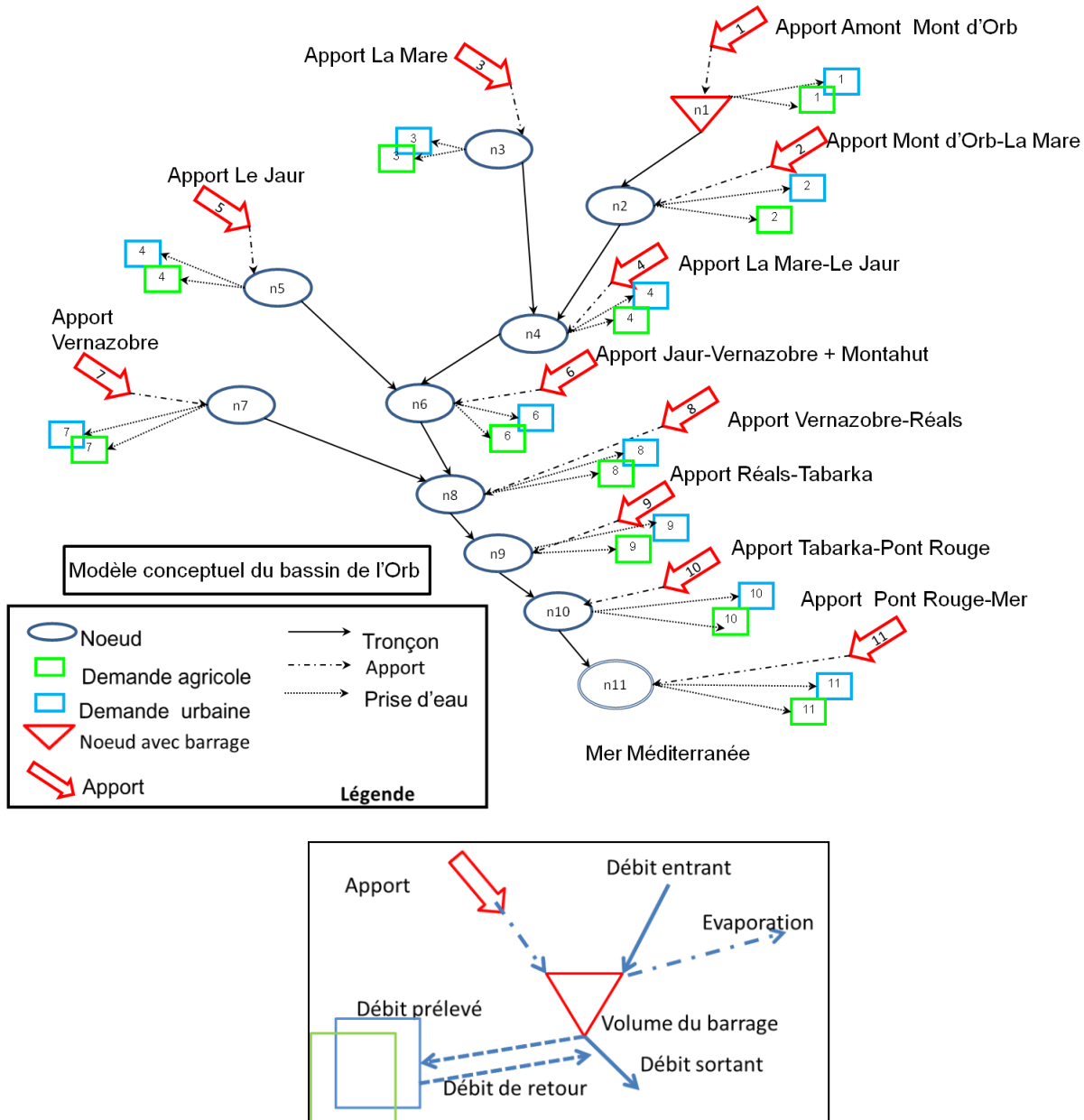


Figure 15 : Concept du modèle d'optimisation : Réseau de nœuds représentant le bassin de l'Orb (en haut) et Zoom sur le bilan réalisé à chaque nœud (en bas)

Le modèle d'optimisation est développé au moyen du logiciel GAMS (General Algebraic Modeling System), outil de programmation mathématique qui associe un langage de programmation à une gamme de solveurs¹¹. GAMS est utilisé avec le solveur Cplex pour résoudre un problème de programmation mixte entière linéaire (Mixt Integer Programming, MIP).

La fonction objectif de l'optimisation est définie pour minimiser le coût total du programme de mesures. Celui-ci est calculé comme la somme des coûts annualisés des mesures activées. Les contraintes définies à chaque nœud permettent de respecter les débits environnementaux,

¹¹ ROSENTHAL, E., 2012. GAMS, A User's Guide Tutorial by Richard E. Rosenthal, GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA

d'alimenter les demandes en eaux, et de respecter les règles de gestion du barrage. Lorsque les ressources en eau ne sont plus suffisantes pour respecter ces contraintes, des mesures sont appliquées pour réduire les demandes ou solliciter de nouvelles ressources.

D'un point de vue temporel, l'optimisation est réalisée sur la totalité de la chronique de débits mensuels fournie (20 ou 30 ans) ce qui permet de définir le programme de mesures permettant de satisfaire les contraintes pour une succession d'années climatiques, en tenant compte de la possibilité de stockage interannuel dans le barrage des Monts d'Orb. D'un point de vue spatial, l'intégralité du bassin versant est considérée dans l'optimisation, prenant ainsi en compte les interactions entre les parties amont et aval pour l'allocation des ressources et des mesures.

5.2. DESCRIPTION DES RESULTATS OBTENUS

5.2.1. Evaluation de la situation présente (2008)

Le modèle a d'abord été utilisé pour optimiser le programme de mesures pour un scénario de référence dans lequel les demandes sont celles de l'année 2008 et l'hydrologie est celle des années 1970-2000. Les données hydrologiques sont obtenues suite à la modélisation hydrologique du bassin versant de l'Orb (voir rapport BRGM/RP-61319) à partir des données observées de pluies et d'évapotranspiration sur la grille SAFRAN¹².

L'objectif est de définir le programme de mesures de moindre coût qui permet d'alimenter 100 % des demandes urbaines et agricoles, en respectant un débit d'étiage de référence égal à 85% du seuil haut défini par l'étude des débits d'étiage de référence à chaque nœud du modèle extrapolé au pas de temps mensuel. Ce seuil correspond à la limite entre un fonctionnement confortable, où toutes les fonctions du milieu sont assurées et un fonctionnement satisfaisant présentant un état global correct (Ginger, 2010).

Cette contrainte est définie comme une contrainte souple, c'est-à-dire que la possibilité de ne pas respecter ce seuil est possible. Cela correspond à une situation de déficit en eau accru pour une période donnée. Cependant, afin de limiter cette défaillance dans le respect des contraintes environnementales, cette défaillance est associée à une période de retour (comme dans le cas de la gestion des risques d'inondation). Cette période de retour a été fixée à 6 ans pour l'instant. Ces valeurs ont été décidées arbitrairement en l'absence de définition existante au niveau de l'Orb à l'heure actuelle des débits objectifs d'étiage pour lesquels devront être simultanément satisfaits le bon état des eaux et, en moyenne huit années sur dix, l'ensemble des usages. Les valeurs de débits environnementaux et périodes de retour des déficits ont été choisies pour permettre une première optimisation du programme de mesures et illustrer le potentiel de cette méthode. Elles doivent être considérées comme des hypothèses de travail. Elles pourront par la suite être discutées sous la forme d'une analyse de sensibilité du coût du programme de mesures au niveau de débit environnemental et aux périodes de retour associées

¹² P. QUINTANA-SEGUI, P. LE MOIGNE, Y. DURAND, E. MARTIN, F. HABETS, M. BAILLON, C. CANELLAS, L. FRANCHISTEGUY, S. MOREL, 2008. Analysis of Near Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN analysis over France, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47, 92-107, 2008. doi:10.1175/2007JAMC1636.1.

Le résultat principal de cette optimisation est que dans la situation actuelle il n'y a pas de problème pour respecter les débits d'étiage de référence intermédiaires sur les tronçons de l'Orb en aval du barrage des Monts d'Orb. En revanche, les contraintes environnementales ne peuvent pas être respectées 100% du temps sur les deux sous bassins des affluents principaux de l'Orb : la Mare et le Jaur. Des mesures sont donc appliquées pour un coût de 75 000 € par an, repartis exclusivement entre ces deux sous bassins (26% et 74 % respectivement). Toutes les mesures envisageables sont appliquées sur ces sous bassins, mais elles ne suffisent pas pour systématiquement respecter les débits d'étiage de référence.¹³

Dans le cas des tronçons de rivière situés en aval du réservoir des Monts d'Orb, les capacités de stockage et déstockage du barrage garantissent le maintien des débits de référence en permanence, sans même avoir besoin de solliciter à son maximum le barrage. Il n'y a donc pas de coût associé au programme de mesures sur le reste du bassin versant. Dans le reste de l'étude, les bassins versant de la Mar et du Jaur ne seront plus mentionnés car leur programme de mesures a atteint sa limite, il consiste à appliquer toutes les mesures à disposition sur ces bassins.

5.2.2. Impact sur la gestion de l'augmentation des demandes en eau (2030)

Une deuxième optimisation a été ensuite réalisée en considérant l'augmentation des demandes en eau urbaine et agricole à l'horizon 2030, mais sans inclure l'effet du changement climatique.

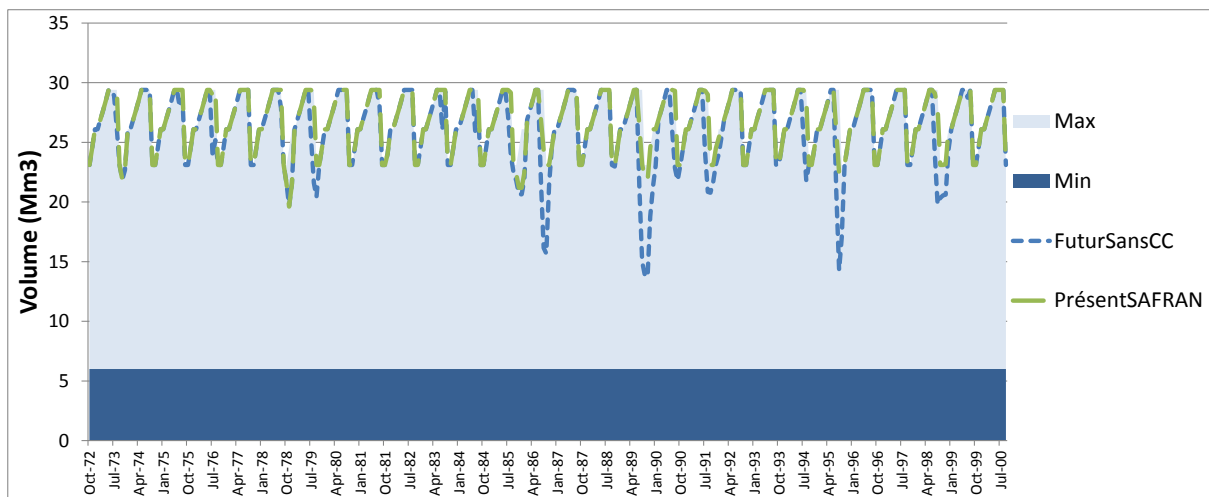


Figure 16 : Comparaison de l'évolution du volume stocké dans le barrage des Monts d'Orb au présent et avec l'augmentation des demandes prévue pour 2030.

¹³ Ce résultat s'explique par le fait que les débits d'étiage de référence définis pour ces deux affluents de l'Orb correspondent à des valeurs supérieures à certain débit naturel mensuel actuellement observé, c'est pourquoi ces objectifs ne peuvent être respectés en permanence. On retrouve l'une des conclusions de l'étude Ginger qui mentionne que les débits d'étiage de référence sont compris dans une gamme entre 76 % et 85 % du QMNA5 et que la Mare est l'un des secteurs les plus exigeant en terme de débit environnemental du bassin versant de l'Orb (Ginger, 2011 p.145).

Le résultat de cette optimisation montre que la capacité actuelle du barrage des Monts d'Orb est suffisante pour faire face à cette augmentation de la demande sans avoir recours à d'autres mesures. Le barrage est plus sollicité en été que dans la situation de référence (2008), son volume minimum atteint 14 Mm³ (Figure 16) et le marnage augmente. Il n'est toujours pas nécessaire de mettre en place de programme de mesures, le coût de l'adaptation de la gestion à l'augmentation de la demande est donc nul (toujours à l'exception des affluents Mare et Jaur, lesquels voient leurs difficultés à maintenir les débits d'étiage de référence s'aggraver avec l'augmentation des demandes).

5.2.3. Impact sur la gestion de l'augmentation des demandes et du changement climatique (2030)

Une troisième optimisation est réalisée en considérant à la fois l'augmentation des demandes en eau et l'effet du changement climatique (sur les ressources et sur les besoins en eau d'irrigation).

Dans le but de prendre en compte les incertitudes propres aux modèles de prédiction d'évolution du climat, l'optimisation du programme de mesures a été réalisée pour des scénarios hydrologiques correspondant à 9 modèles climatiques différents. Nous n'avons pas considéré l'incertitude relative aux besoins en eau d'irrigation (qui dépendent également des prévisions de climat futur). Ainsi, une moyenne multi-modèle entre les différents modèles de climat a été utilisée pour l'estimation des demandes agricoles moyennes mensuelles.

Les résultats en termes de coût des programmes de mesures sont présentés dans le graphique ci-dessous (Figure 17).

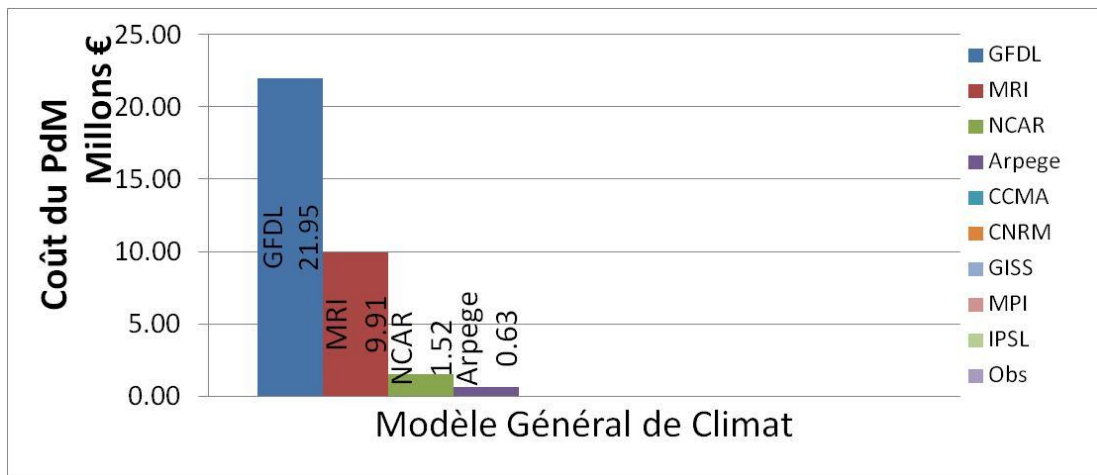


Figure 17 : Surcoût du programme de mesure lié au changement climatique selon le modèle climatique utilisé

Une première conclusion est que, avec les hypothèses de 5 des 9 modèles, la seule amélioration de la gestion du barrage des Monts d'Orb est suffisante pour satisfaire les demandes et respecter les débits environnementaux en même temps sur le bassin versant de l'Orb. Il n'est alors pas nécessaire de mettre en œuvre de programme de mesures dans le bassin, le coût d'adaptation est nul.

Avec les 4 autres modèles, la capacité de régulation du barrage s'avère insuffisante pour satisfaire l'ensemble. Des mesures complémentaires d'adaptation au changement climatique sont alors nécessaires. Le coût du programme de mesures qui doit être mis en place oscille

entre + 0.63M € (Modèle Arpège) et 21M € (Modèle GFDL). L'activation du coût du programme de mesures s'explique en partie par l' « effet de seuil » lié à l'utilisation du barrage des Monts d'Orb. C'est-à-dire que des mesures s'appliquent seulement une fois que le barrage a été utilisé à son maximum, aucun coût n'étant associé au changement de sa gestion dans cette version du modèle (maintenance, production électrique,...). Cet effet de seuil crée une discontinuité importante dans les résultats du modèle d'optimisation entre les simulations qui se maintiennent dans une situation gérable avec la capacité de régulation du barrage (situation actuelle en 2008, 2030 sans changement climatique et dans 5 cas de figures de changement climatique) et celles qui ont épuisé la capacité de régulation de barrage (les 4 situations restantes de changement climatique).

Cet effet de seuil est d'autant plus renforcé que les optimisations ont été réalisées pour garantir la totalité des demandes urbaines et agricoles sur l'intégralité de la série temporelle d'une part et garantir le respect des débits d'étiage de référence avec un période de retour d'une défaillance mensuelle de 6 ans. Il est clair que le coût du programme de mesures sera d'autant plus diminué que ces contraintes seront assouplies, c'est-à-dire en autorisant des défaillances dans le respect des débits environnementaux ou l'alimentation des demandes plus fréquentes. Par exemple, autoriser qu'une année sur cinq en moyenne le débit d'étiage ne soit pas respecté, ou que la demande agricole ne soit pas alimenté à 100%.

5.2.4. Analyse du programme de mesures mis en œuvre

Pour chaque scénario climatique considéré, le modèle identifie donc une combinaison de mesures particulière. La Figure 18 ci-dessous présente, à titre d'illustration, la répartition du coût et du volume du programme de mesure optimisé pour s'adapter au changement climatique tel que prévu par le modèle NCAR (cout total de 1.52 M€/an).

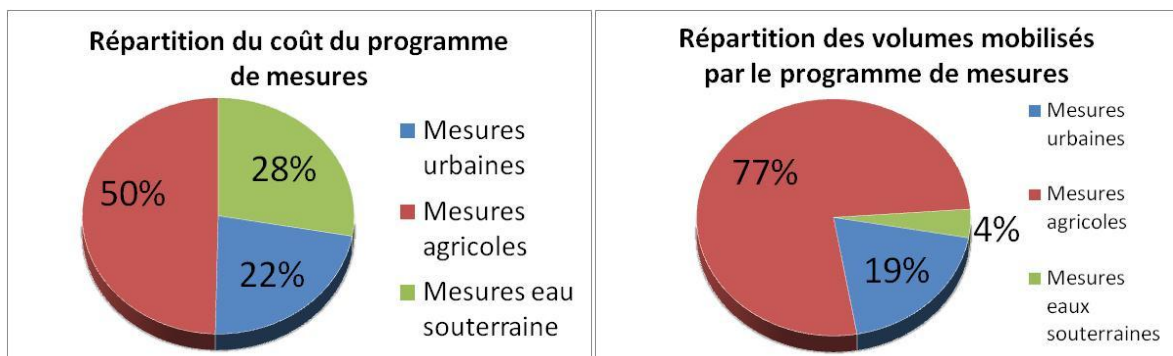


Figure 18 : Répartition du coût et du volume économisé d'un programme de mesures.

Sur cette figure, on constate par exemple que les mesures agricoles représentent la moitié du coût alors qu'elles mobilisent 77% des volumes, ces mesures paraissent donc plus efficaces que les mesures d'eaux souterraines qui représentent 28 % du coût pour 4 % seulement des volumes mobilisés. On retrouve donc ici des conclusions établies avec la méthode d'analyse coût-efficacité présentée dans la section précédente

La localisation des mesures à l'échelle du bassin versant est illustrée par les cartes suivantes. Les mesures urbaines sont principalement appliquées dans la partie amont du bassin versant et pour les communes de l'Aude, l'agglomération de Béziers par exemple n'a pas besoin d'appliquer de mesures mais bénéficie des mesures appliquées en amont. C'est là l'un des intérêts de la modélisation en comparaison avec l'analyse coût-efficacité à l'échelle du bassin.

L'effet bénéfique des mesures appliquées en aval est pris en compte dans l'analyse de l'efficacité des mesures.

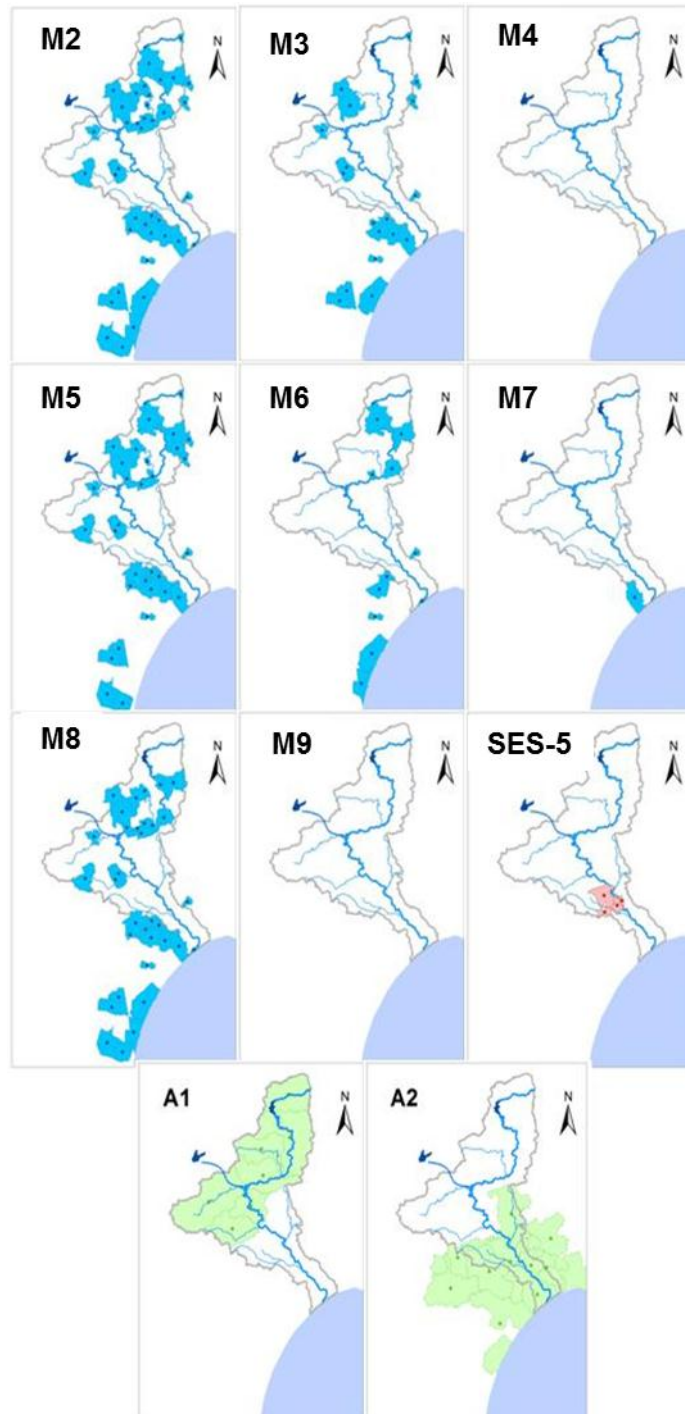


Figure 19 : Illustration de la répartition géographique du programme de mesures (scenario climatique NCAR)

5.3. COUT ASSOCIE A DIFFERENTS NIVEAUX DE GARANTIE DU DEBIT D'ETIAGE DE REFERENCE

Dans l'étude de définition des débits d'étiage de référence, la difficulté de traduire les besoins du milieu par une seule valeur de débit est soulignée, et une gamme de débits est proposée pour traduire l'évolution du fonctionnement du milieu (Ginger, p.137). Le choix de l'une de ces valeurs de débit d'étiage de référence aura un impact sur la définition du programme de mesures et sur le coût associé.

Le modèle a donc été utilisé pour identifier le programme de mesures correspondant à différents niveaux (augmentation de 10%) de débits définis entre les seuils intermédiaire et haut des débits d'étiage de référence. L'optimisation est réalisée dans le cas d'un scénario de demande future en 2030, en tenant compte de l'impact du changement climatique à partir des données du modèle Arpège. La comparaison des résultats permet d'estimer le coût associé aux différentes valeurs de débit de référence.

Les résultats sont décrits dans la Figure 20 ci-dessous. Chaque barre de ce diagramme représente le coût du programme de mesure associé à une valeur de débit de référence, exprimée en pourcentage du seuil haut défini par GINGER dans son étude (100% = seuil haut). Le graphique montre qu'aucune mesure n'est nécessaire (hormis l'optimisation de la gestion du barrage) tant que l'objectif de débit reste inférieur à 60% de la valeur haute de l'étude GINGER. Si l'on augmente la valeur du débit de référence, le coût du programme de mesures rendu nécessaire augmente de manière quasi-exponentielle. L'augmentation de coût est liée à la mobilisation de nouvelles ressources (eau souterraine ou dessalement) rendu nécessaire par l'élévation du débit de référence à respecter.

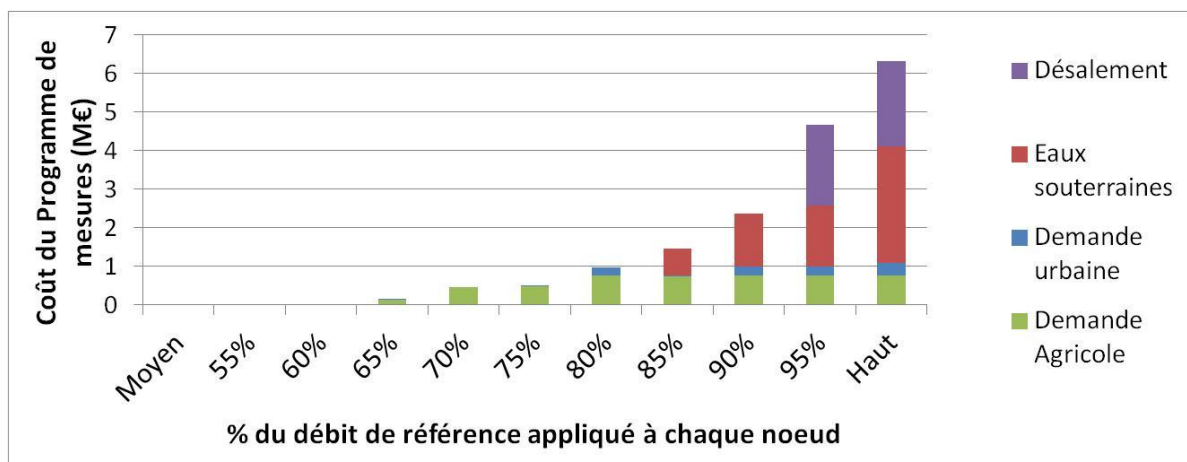


Figure 20 : Variation du coût du programme de mesures en fonction de l'objectif de débit d'étiage de référence.

Le modèle permet également d'évaluer le coût marginal associé à la contrainte de débit en chaque nœud du bassin. Le coût marginal en chaque nœud est le coût auquel conduirait une augmentation d'une unité du débit de référence (exprimé en litres par seconde ou en millions de m3 par mois). La Figure 21 met en évidence le fait que le coût marginal est nul dans un certain nombre de bassins, ce qui signifie que le débit de référence pourrait être relevé sans aucun coût (autrement dit, le débit réel sera toujours supérieur à l'objectif). Le coût marginal est positif pour les nœuds représentés en rouge, avec une valeur de l'ordre de 0.2 € par mètre cube par mois.

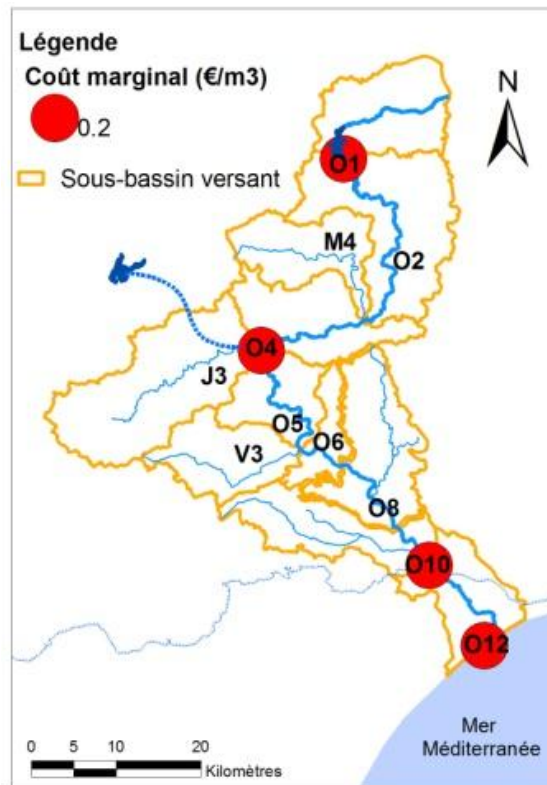


Figure 21 : Coût marginal du débit de référence dans les différents sous-bassins de l'Orb

6. Implication pour la sélection des mesures dans le bassin de l'Orb

Dans la perspective de la définition d'un programme de mesures pour la gestion quantitative des ressources en eau dans le bassin de l'Orb, les résultats de l'optimisation doivent être considérés dans la mesure des limites de la méthodologie utilisée. Le programme de mesures défini par le modèle d'optimisation présente, comme exposé précédemment, une sensibilité élevée aux hypothèses réalisées pour sa construction ainsi qu'aux scénarios de changement climatique envisagés, ou au niveau des débits environnementaux imposés. Par ailleurs, dans la nature même de l'optimisation il convient de souligner les limites de cette méthode qui nuance l'applicabilité du programme de mesures sélectionné. D'une part le modèle d'optimisation sélectionne les mesures dans une situation de connaissance parfaite des données climatiques de la série temporelle considérée, cette prévision parfaite permet de sélectionner le programme de mesures à moindre coût pour faire face aux périodes de sécheresse telles qu'elles se présentent et se succèdent dans la série de données utilisées. Cela ne correspond pas à une gestion réelle dans laquelle la succession des années n'est pas connue. Cela influence par exemple la gestion des lâchers du barrage qui dans la réalité peuvent être plus conservateur.

Par ailleurs les variations importantes du coût du PdM reflète la difficulté de sélectionner le bon programme de mesures, le PdM optimum dans un scénario de changement climatique ne l'étant plus forcément dans un autre pourtant équiprobable dans le futur. Il semble que plus qu'une solution optimum, l'intérêt serait de sélectionner un PdM robuste qui permette de faire face au moindre coût à une majorité de cas de figures, et qui permette d'identifier aussi clairement les cas de figure et les facteurs causant une défaillance du système étudié. Cependant, cette démarche n'est pas encore possible dans le modèle actuel.

L'autre limitation majeure à considérer dans la définition du programme de mesures par un modèle d'optimisation est que quand bien même la définition d'un PdM théoriquement optimum ou robuste serait possible, cela ne présagerait en rien de la possibilité de l'appliquer dans la réalité propre de la gestion du bassin versant de l'Orb. En effet, le modèle d'optimisation ne considère pas l'acceptabilité des mesures et les possibilités de leur mise en place autrement qu'en terme de coût annualisé direct. L'organisme de bassin est considéré comme ayant les « pleins pouvoirs » d'appliquer ou de faire appliquer les mesures (via des subventions par exemple). Or, un programme de mesure optimum dont le coût serait réparti de manière inégale entre les acteurs du bassin a peu de chance d'être mis en place. Dans ce but, un développement futur du modèle viserait à y ajouter des critères d'équité dans la définition du programme de mesures et de mettre en débat ces critères avec les acteurs concernés. Tel n'était pas l'objectif de cette première version du modèle dans le cadre du projet Ouest Hérault II, néanmoins ce premier modèle apporte des premiers éléments de réflexion pour améliorer la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de l'Orb. Il pose des bases nécessaires à la construction d'un modèle plus complet. Dans l'état actuel du modèle, les résultats peuvent servir d'indicateurs économiques pour alimenter la discussion sur la définition d'un PdM à l'échelle du bassin.

7. Discussion et conclusion

Ce rapport décrit la mise en œuvre de deux méthodes pour concevoir un programme de mesures qui permette de satisfaire, au coût le plus faible possible, les besoins futurs en eau des usagers et ceux des milieux aquatiques. La première méthode est l'analyse coût-efficacité, qui a été mise en œuvre selon deux modalités. La seconde méthode est l'utilisation d'un outil d'optimisation fonctionnant à une échelle spatiale plus fine et avec une meilleure résolution temporelle. Ces deux méthodes sont comparées dans les sections ci-dessous. Nous mettons également en évidence les conclusions communes auxquelles ces deux méthodes conduisent dans le cas du bassin de l'Orb.

7.1. ENSEIGNEMENTS METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE

Les deux approches qui ont été développées ci-dessus sont comparées au regard de plusieurs critères ci-dessous.

7.1.1. Type de mesures considérées

Analyse coût-efficacité

L'ACE permet d'intégrer dans l'analyse les mesures d'économie d'eau et de mobilisation de ressources. Ces dernières sont intégrées comme des projets dont la capacité est fixe, ce qui peut conduire à un excédent de capacité lorsqu'il s'agit de la dernière mesure sélectionnée pour atteindre l'objectif.

De plus, l'ACE permet difficilement de rendre compte des mesures de gestion des barrages, autrement que par l'évaluation d'un volume global pouvant être mobilisé en changeant les règles de gestion et du coût associé (perte d'activité économique liées à la dégradation des usages touristique ou à la réduction du turbinage).

Modèle d'optimisation hydro-économique

Le MHE permet d'intégrer les mêmes mesures que l'ACE avec comme principal avantage la possibilité d'ajuster précisément la taille des infrastructures créées pour mobiliser de nouvelles ressources au niveau de déficit à combler (on évite le surdimensionnement).

Le MHE permet également d'intégrer dans le programme de mesures des actions consistant à modifier les règles de gestion du barrage. Le MHE reproduit en effet le remplissage et la vidange du barrage au pas de temps mensuel, affinant considérablement l'évaluation de l'efficacité d'un changement des règles de gestion de ce type d'ouvrage. L'optimisation réalisée est cependant biaisée par la connaissance parfaite du futur hydrologique (perfect foresight), ce qui conduit à une gestion parfaite impossible à obtenir dans la réalité compte tenu des incertitudes hydrologiques.

7.1.2. Echelle spatiale

Analyse coût-efficacité

L'ACE permet de concevoir un programme coût efficace pour résorber un déficit global spécifié à l'échelle d'un bassin versant. La solution identifiée garantit bien qu'un débit minimum est respecté à l'aval du bassin, mais

Modèle d'optimisation hydro-économique

Le MHE permet de définir une répartition optimale des mesures entre les sous-bassins. Cette optimisation tient compte de l'effet de chaque mesure sur tous les sous-bassins situés en aval (effets cumulatifs) et notamment

ne permet pas d'assurer que des débits d'étiages sont respectés à des nœuds hydrologiques intermédiaires.

du fait qu'une réduction des prélèvements en amont permet de réduire le déficit dans tous les sous-bassins versants en aval.

7.1.3. Echelle de temps

Analyse coût-efficacité

L'ACE a pour objectif de concevoir un programme de mesures qui permette de résorber un déficit défini pour une période de l'année (4 mois d'été dans notre cas) et pour une situation moyenne dans le futur (année quinquennale sèche ou année moyenne). L'ACE ne permet pas de tenir compte des fluctuations intra et interannuelles en termes de demande et d'hydrologie.

Modèle d'optimisation hydro-économique

Le MHE a pour objectif de définir un programme de mesures qui satisfasse les usages et les exigences environnementales pour chaque mois d'une chronique de plusieurs années. Le fait de travailler sur une chronique (et non sur une année moyenne) permet de tenir compte de la succession d'évènement sur plusieurs années consécutives (ex. 3 années de sécheresse).

7.1.4. Analyse des incertitudes relatives au changement climatique

Analyse coût-efficacité

L'impact du changement climatique sur les besoins en eau et sur les ressources est estimé en amont de l'ACE pour évaluer le déficit en eau pour une année type. Chaque hypothèse de changement climatique donne lieu à l'estimation d'une valeur de déficit. Un programme de mesures (et le coût associé) est ensuite évalué pour chaque valeur de déficit.

Modèle d'optimisation hydro-économique

Le principal avantage du MHE par rapport à l'ACE est de pouvoir intégrer les scénarios de changement climatique sous forme de chroniques hydrologiques. Cela permet de tenir compte non seulement des tendances lourdes en matière de changement climatique (anomalie moyenne interannuelle), mais aussi de la variabilité interannuelle du climat, notamment de l'effet d'une succession d'années particulières.

7.2. ENSEIGNEMENTS POUR LA GESTION DU BASSIN DE L'ORB

Concernant les mesures de gestion à mettre en œuvre dans le bassin de l'Orb, les principales conclusions dégagées sont les suivantes :

- La hausse de la demande en eau potable et en eau d'irrigation, combinée à la baisse de ressource entraînée par le changement climatique, est susceptible de faire apparaître une situation de déficit en eau dans le bassin. Il existe cependant une incertitude relative à ce déficit, dont l'intensité dépend en grande partie des changements climatiques simulés par différents modèles de circulation générale (MCG). Si l'on considère les résultats des MCG les plus optimistes pour notre zone d'étude (2 des 9 MCG), les ressources disponibles pourraient augmenter et compenser la croissance de la demande. Si l'on considère les MCG les plus pessimistes (2 autres modèles), le déficit pourrait varier de 15 à 26 millions de m³ pendant la période de pointe ; il serait alors très difficile, sinon impossible, de satisfaire les demandes futures tout en respectant les débits d'étiage de référence. Enfin, 5 des autres MCG conduisent à estimer un déficit entre 2 et 5.6 millions de m³ (pendant la période d'étiage), déficit qui pourrait être comblé par un programme de mesures d'adaptation. C'est sur cette hypothèse intermédiaire que nous avons basé l'analyse économique.

- Le modèle hydro-économique développé suggère qu'il est possible de compenser l'augmentation de la demande en eau potable et agricole et l'effet du changement climatique par une amélioration des règles de gestion du barrage des Monts d'Orb. Cette conclusion est cependant dépendante des hypothèses relatives au changement climatique (c'est-à-dire du GCM choisi). L'optimisation des lâchers du barrage suffit à résorber le déficit estimé avec 5 des GCM. Elle doit être complétée par des mesures supplémentaires si l'on considère les hypothèses associées aux 4 autres scénarios. La création de nouvelles ressources (superficielles ou souterraines, non conventionnelles) est alors indispensable.
- Quelles que soient les hypothèses de changement climatique considérées, il ne semble pas possible de satisfaire les usages futurs et de respecter les débits de référence dans les bassins du Jaur et de la Mare (non réalimentés par le barrage)
- Parmi les mesures d'économie d'eau considérées, celles relatives à la modernisation des périmètres irrigués semblent être les plus coût-efficaces (i.e. faible coût par m³ économisé). Elles permettent en outre de mobiliser un volume très important (de l'ordre de 2 millions de m³ en période de pointe). Cette conclusion s'appuie cependant sur des hypothèses de calcul qui demandent à être affinées, notamment en mobilisant les résultats d'une étude en cours, soutenue par la Région Languedoc Roussillon.
- Un certain nombre de mesures d'économie d'eau dans le secteur eau potable présentent également un ratio coût-efficacité très favorable et largement inférieur au coût de mobilisation de nouvelles ressources. Leur mise en œuvre permettrait de mobiliser de l'ordre de 550 000 m³ en période de pointe pour un coût moyen de 1.1 € par m³. Cette conclusion n'est cependant pas généralisable, certaines mesures d'économie d'eau dans le secteur eau potable présentant un ratio coût-efficacité plus élevé que la mobilisation de nouvelles ressources.
- Le coût de mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine dans le bassin est variable selon le projet (ressource mobilisée, capacité d'exploitation, destination de l'eau pompée). Deux des projets étudiés présentent un ratio coût-efficacité favorable (entre 1.8 et 2.5 €/m³ en période d'étiage) et pourraient être intégrés dans le programme de mesure, afin de se substituer à des prélèvements réalisés dans l'Orb ou sa nappe alluviale.
- L'évaluation du ratio coût-efficacité des projets de dessalement d'eau de mer et des variantes du projet de transfert interbassin Aquadomia peut difficilement être réalisée en l'état actuel des connaissances disponibles. Concernant Aquadomia, l'une des difficultés majeure consistera à affecter une partie spécifique du coût du projet global à la réalimentation du bassin de l'Orb.
- Il est possible, à l'aide du modèle d'optimisation, d'évaluer le coût des mesures rendues nécessaires par une variation de l'objectif de débit d'étiage en chaque nœud hydrologique du bassin. L'exemple produit dans ce rapport montre que la définition des objectifs de débit d'étiage pourrait être alimentée par une réflexion de nature économique, et ne pas uniquement reposer sur des critères relatifs au fonctionnement biologique du cours d'eau.
- De même, le modèle pourrait être permettre d'évaluer le gain (en termes de coût) associé à une réduction du niveau de sécurisation des usages. Il s'agirait de dimensionner le programme de mesures de manière à ce qu'il garantisse la satisfaction des usages à hauteur de 90% de leurs besoins (et non 100%) et ce avec une fréquence de 8 années sur 10. Une approche similaire est mise en pratique en Espagne et mériterait d'être étudiée pour le cas français, notamment dans une perspective d'évolution à long terme (2030).

7.3. CONCLUSION GENERALE

Le travail réalisé dans l'étude Ouest Hérault 2 a permis de développer et de tester plusieurs approches méthodologiques pouvant être mises en œuvre dans le cadre de l'application du volet économique de la DCE. Ce travail confirme l'intérêt et la nécessité de développer des approches pluridisciplinaires pour évaluer les programmes de mesures, alliant démarches prospectives, modélisation hydrologique des bassins, modélisation de la demande en eau des cultures, modélisation de la demande en eau potable et évaluation économique des coûts des mesures.

Il propose plusieurs méthodologies et outils d'analyse, plus ou moins complexes, et dont la mise en œuvre suppose des niveaux de connaissances (données), d'expertise et de moyens croissants. L'utilisation des modèles hydro-économiques, tels que celui présenté dans la dernière section du rapport, se situe clairement en haut de l'échelle en termes de complexité, sans néanmoins paraître hors de portée des compétences des bureaux d'études et des gestionnaires de bassin.

Les résultats mettent également en évidence la difficulté de concevoir un programme de mesures dans un contexte d'incertitude relative au changement climatique et à l'évolution de la demande en eau (secteur agricole). Ce constat s'inscrit dans une réflexion plus générale sur la manière dont doivent être identifiées des stratégies robustes, qui permettent de minimiser le coût de l'adaptation pour une large palette d'évènements futurs possibles.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Service géologique régional Languedoc Roussillon
1034 rue de Pinville
34 000 Montpellier
Tél. : 04 67 15 79 80