



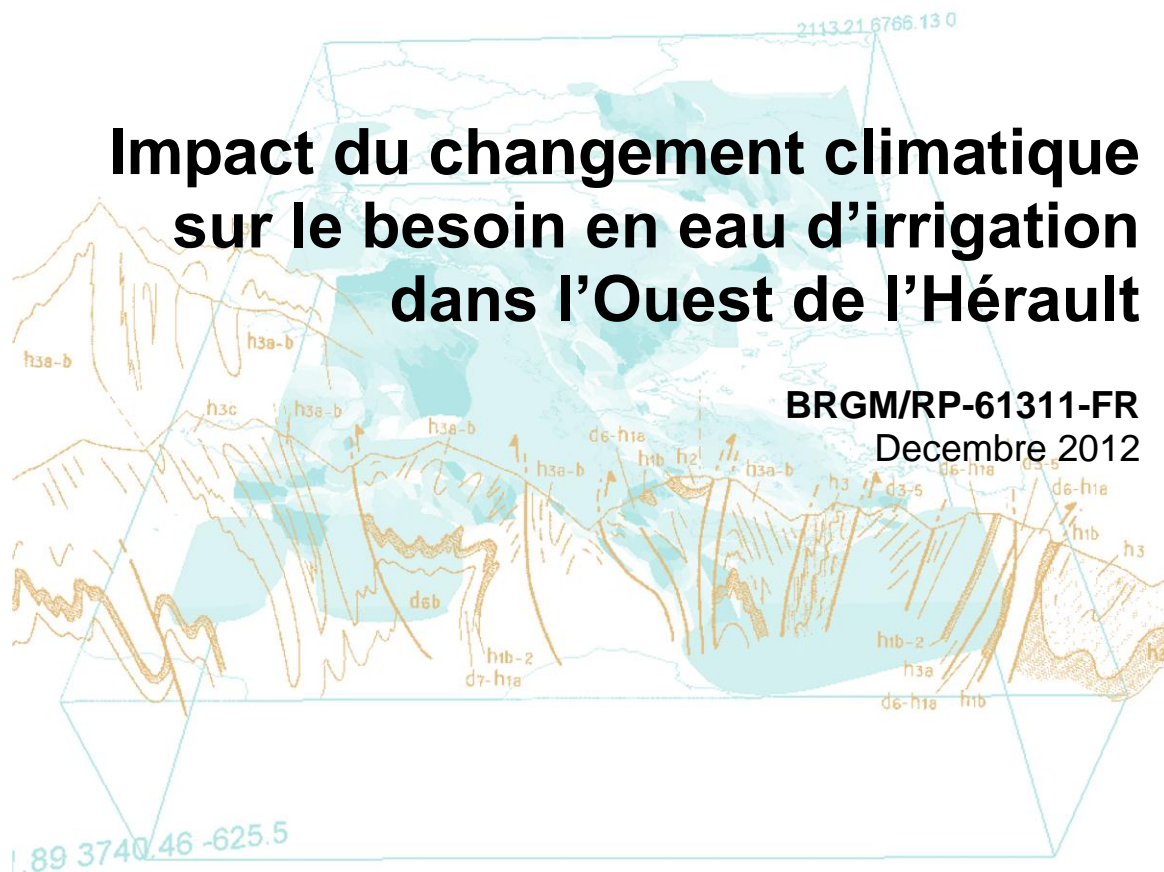
Géosciences pour une Terre durable

brgm



Impact du changement climatique sur le besoin en eau d'irrigation dans l'Ouest de l'Hérault

BRGM/RP-61311-FR
Decembre 2012



Géosciences pour une Terre durable

Impact du changement climatique sur le besoin en eau d'irrigation dans l'Ouest de l'Hérault

BRGM/RP-61311-FR
Décembre 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM PSP09LRO12

**T. Hoang, Y. Caballero
L. Maton et J-D. Rinaudo**

Vérificateur : Desprats J-F.

Date : 5/12/2012

Approbateur : Audibert, M.

Date : 05/01/2013

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : changement climatique ; irrigation ; Hérault ; France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Hoang, T., Maton, L. Caballero, Y. et Rinaudo J-D. Impact du changement climatique sur le besoin en eau d'irrigation dans l'Ouest de l'Hérault. Rapport Brgm RP-61311-FR. 36 pages + 2 annexes

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet « Ouest Hérault 2 » qui vise à réaliser une évaluation économique du programme de mesures de gestion quantitative des ressources en eau dans l'Ouest du Département de l'Hérault (34). Les principales étapes de ce projet consistent à (1) réaliser un bilan ressources-besoins à l'horizon 2030, en tenant compte des évolutions socio-économiques et du changement climatique ; (2) évaluer le coût et les volumes d'eau pouvant être mobilisés ou économisés par les différentes mesures de gestion envisagées dans les deux bassins versants ; (3) identifier une combinaison optimale de ces mesures à l'échelle des principaux sous-bassins versants.

Ce rapport présente la méthode et les résultats d'une analyse de l'impact du changement climatique sur la demande en eau agricole. La première partie présente la méthodologie développée et les données utilisées. Elle repose sur l'utilisation des résultats de simulation de 9 modèles de circulation générale développés à l'échelle planétaire. Chacun de ces modèles indique une estimation de la variation de température (T), d'évapotranspiration (ETP) et de précipitation (P) à l'horizon 2045-2065 et pour un scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre donné (le scénario A1B a été retenu pour cette étude). Les résultats de ces simulations sont fournis à l'échelle de très grandes régions. Après avoir moyenné les résultats issus des différents modèles, un travail de désagrégation spatiale vise à produire des cartes du climat futur sur la zone d'étude. Le modèle météorologique SAFRAN de Météo France utilisé permet de décrire le climat local à une maille de 8 kilomètres de côté. Les résultats sont ensuite représentés à l'échelle des cantons, échelle à laquelle nous disposons de données statistiques sur la production agricole. Un modèle d'estimation des besoins en eau d'irrigation est ensuite développé et appliqué à l'échelle de chaque canton. Il permet ainsi d'évaluer l'augmentation du besoin en eau d'irrigation auquel conduira le changement climatique dans la zone. Les besoins futurs dépendant également de l'évolution des surfaces irriguées et des types de cultures, nous intégrons des hypothèses relatives à l'évolution économique du secteur agricole, ces hypothèses étant directement issues de la phase 1 de l'étude (rapport BRGM-RP 54143 FR).

Du point de vue climatique, nous montrons que l'évaporation devrait augmenter de 10 à 15% en été, et ce de manière relativement uniforme sur l'ensemble de la zone. Une augmentation plus importante est attendue en automne, notamment pour les hauts cantons où elle atteindra 20 à 25% de plus en 2045-2065 qu'actuellement. Les précipitations devraient simultanément baisser de l'ordre de 5 à 10% en été, avec localement des baisses plus fortes de l'ordre de 10 à 15% sur le littoral (Adge-Vias). Les pluies automnales pourraient baisser de 10 à 15% sur toute la basse vallée de l'Hérault. Enfin, des variations très différenciées sont attendues en fin d'été (août - septembre) avec localement quelques augmentations.

Les besoins en eau d'irrigation sont ensuite estimés en intégrant les hypothèses de changement climatique (augmentation ETP et baisse P) et en tenant compte des différences de réserve utile en eau des sols. Ces besoins sont d'abord calculés pour

chaque culture, au pas de temps décadaire pour les 30 années de la période actuelle (1971-2000) puis future (2046-2065). Les résultats montrent que les besoins pour l'irrigation du blé devraient augmenter de 50 à 100% selon la localisation et les types de sols. Ils passent ainsi de 800 à 1200 m³ /ha dans le canton d'Agde, de 600 à 1000 m³/ha dans le canton de Gignac et de 400 à 800 dans le canton de Coursan. Pour le Tournesol, le besoin augmente de 30 à 50% et pour la vigne de 28 à 45%. Le calcul montre que le changement climatique conduira à un épuisement plus rapide de la réserve utile des sols. Les résultats obtenus pour 6 cultures et 3 cantons sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Besoin m ³ /ha	Canton d'Agde		Canton de Gignac		Canton de Coursan	
	Présent	futur	présent	Futur	présent	futur
Blé	854	1211	629	1038	438	830
Tournesol	1191	1579	1059	1420	822	1186
Vigne	683	1018	538	824	306	592
Mais	3846	4589	3044	3839	3407	4102
Légumes	3803	4551	3008	3776	3375	4058
prairies	4150	4960	3392	4223	3772	4428

Illustration 1 : Besoins actuels et futurs en eau d'irrigation (synthèse)(m³/ha)

Le besoin total en eau d'irrigation est ensuite estimé pour l'ensemble de la zone d'étude en tenant compte des surfaces des différentes cultures (présentes et futures) et du climat (présent ou futur). Les besoins sont évalués pour quatre scénarios : (référence) surfaces actuelles (référence 2006) et climat présent (1971-2000) ; (S2) surfaces futures et climat actuel ; (S3) surfaces actuelles et climat futur ; (S4) surfaces futures (2020) et climat futur. Les besoins sont calculés pour une série de 30 années (passé) et 20 années (futur). Nous calculons ensuite le besoin moyen sur la période, puis le besoin correspondant au quintile supérieur (i.e. valeur de besoin qui est susceptible d'être dépassée une année sur 5 seulement). Les résultats montrent que :

- Les besoins d'irrigation, estimés à 15 millions de m³ dans la situation de référence (climat présent, surfaces actuelles), pourraient augmenter de 12% d'ici 2030 sous l'effet des seuls changements économiques.
- L'effet du changement climatique seul représente une augmentation de 33% des besoins environ, soit un débit fictif continu de 320 l/s. L'effet du climat est donc 3 fois supérieur à celui de l'évolution socio-économique.
- L'effet combiné des deux facteurs conduirait à une augmentation de 50% des besoins en eau d'irrigation sur l'ensemble de la zone d'étude, soit un volume de 7.5 millions de m³ ou un débit fictif continu de 500 l/s.

Scénario	Climat	Surfaces	Besoin irrigation (millions m ³)	Variation besoin en l/s	Variation besoin en % référence
Référence	1971-2000	2006	15	-	-
S2	1971-2000	2030	17	+118	+12%
S3	2046-2065	2006	20	+319	+33%
S4	2046-2065	2030	23	+493	+50%

Illustration 2 : Evolution des besoins selon les différentes hypothèses

Sommaire

1. Introduction	9
2. Méthodologie et données	11
2.1. DEFINITION DE LA METHODOLOGIE	11
2.2. CHOIX D'ECHELLE SPATIALE, D'HORIZON TEMPOREL ET DE PAS DE TEMPS DE CALCUL	13
2.3. METHODOLOGIE DE DESAGREGATION SPATIALE DES SCENARIOS CLIMATIQUES	14
2.4. METHODOLOGIE DE CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION	16
2.5. EVALUATION DES SURFACES CULTIVEES FUTURES	18
3. Le climat futur dans la zone d'étude	19
3.1. TEMPERATURE	19
3.2. EVAPOTRANSPIRATION	19
3.3. PRECIPITATIONS	19
3.4. CHOIX DE CANTONS REPRESENTATIFS	23
4. Impact du changement climatique sur les besoins en irrigation	24
4.1. ANALYSE PAR TYPE DE CULTURE	24
4.2. EVOLUTION DU BESOIN TOTAL (TOUTES CULTURES CONFONDUES) PAR CANTON	30
5. Conclusions et perspectives	32
5.1. RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS	32
5.2. PERSPECTIVES	32
6. Bibliographie	35

Liste des Illustrations

Illustration 1 : Besoins actuels et futurs en eau d'irrigation (synthèse)(m ³ /ha).....	4
Illustration 2 : Evolution des besoins selon les différentes hypothèses	4
Illustration 3 : Vue d'ensemble de la méthodologie développée pour évaluer l'impact du changement climatique sur le besoin en eau d'irrigation pour les 34 cantons de la zone d'étude.	12
Illustration 4 : Localisation de la zone d'étude et découpage en cantons.	13
Illustration 5 : Exemple d'agrégation des données climatiques à l'échelle d'un canton : les mailles sélectionnées apparaissent en gris.	15
Illustration 6 : Matrice des besoins d'irrigations pour le présent, pour un type de culture, un canton et un modèle climatique donné.....	17
Illustration 7 : Surfaces agricoles 2020 (à gauche) et évolution relative des surfaces calculées entre 2006 et 2020	18
Illustration 8 : Synthèse des évolutions climatiques moyennes attendues sur la zone d'étude.	19
Illustration 9 : Evolution de la température dans la zone d'étude (moyenne multimodèle).	20
Illustration 10 : Evolution de l'évapotranspiration dans la zone d'étude (moyenne multimodèle)	21
Illustration 11 : Evolution des précipitations dans la zone d'étude (moyennes multimodèles).	22
Illustration 12 : Cartes des réserves utiles des sols (à gauche) et surfaces totales de cultures (à droite).....	23
Illustration 13 : Evolution mensuelle du coefficient cultural pour le blé tendre et le blé dur (à gauche) et surface de blé dur par canton (à droite). Les cantons hachurés sont ceux pour lesquels la surface de blé est nulle.	24
Illustration 14 : Evolution des besoins en eau d'irrigation du blé en mai et juin dans la zone d'étude.	25
Illustration 15: Augmentation au besoin d'irrigation par culture dans trois cantons (moyenne multimodèles).	26
Illustration 15 : Evolution du besoin en irrigation du blé dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.....	27
Illustration 16 : Evolution du besoin en irrigation du tournesol dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.....	27
Illustration 17 : Evolution du besoin en irrigation du maïs dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.....	28

Illustration 18 : Evolution du besoin en irrigation de la vigne dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.	28
Illustration 19 : Evolution du besoin en irrigation des légumes dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.	29
Illustration 20 : Evolution du besoin en irrigation de cultures avec Kc proche de 1 (ex. prairie irriguée) dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.	29
Illustration 21 : Evolution des besoins en eau d'irrigation de toute la zone Ouest Hérault pour différentes hypothèses d'évolution des surfaces cultivées et du climat.	30
Illustration 22 : Impact relatif et cumulé du changement climatique et de l'augmentation des surfaces cultivées dans les 34 cantons de la zone d'étude.	31

1. Introduction

De nombreux travaux de recherche scientifique ont montré que le changement climatique renforcera les tensions sur l'eau dans le bassin méditerranéen (García-Ruiz, López-Moreno, Vicente-Serrano, Lasanta-Martínez et Beguería, 2011). Ces tensions résulteront à la fois de la diminution des ressources en eau disponibles et de la hausse des besoins en eau, notamment dans le secteur agricole (Döll, 2002). Des études réalisées à l'échelle nationale (Boe, Terray, Martin et Habets, 2009) ont ainsi montré que le débit moyen annuel de la plupart des cours d'eau français (dont l'Hérault) devrait baisser de 15 à 25%, cette baisse étant de l'ordre de 25 à 35% dans certains affluents de la Garonne et du bas Adour. A l'échelle régionale, le projet VULCAIN (Projet de Recherche ANR) a montré que le débit de petits cours d'eau côtiers comme le Tech dans les Pyrénées orientales pourrait baisser de 30 à 40% à l'étiage (<http://agire.brgm.fr/vulcain.htm>). Il montre également que les besoins en eau d'irrigation pourraient augmenter dans le même temps de l'ordre de 15 à 20%. Cette double évolution appellera nécessairement à modifier les règles de gestion des ressources en eau dans les bassins versants méditerranéens.

Ces changements annoncés à l'horizon 2050 ne sont généralement pas (ou peu) pris en compte dans les démarches de planification de la gestion des ressources en eau à l'échelle locale. Ce constat s'explique tant par la difficulté technique d'intégrer ces hypothèses dans le cadre des études hydrologiques réalisées pour les SAGE par exemple, que par l'éloignement de l'horizon temporel auquel ces changements auront lieu. Cet horizon temporel correspond pourtant à celui auquel les acteurs doivent raisonner lorsqu'ils prennent des décisions en matière d'aménagement des eaux (construction d'infrastructures en particulier).

Le projet « Ouest Hérault 2 » vise à contribuer à cette réflexion. Il propose notamment d'évaluer l'impact du changement climatique sur les besoins en eau d'irrigation (objet du présent rapport) mais aussi sur les débits d'étiages. Cette double analyse, complétée par une évaluation de l'augmentation des besoins en eau potable, devrait ainsi permettre d'évaluer assez finement le niveau de déficit hydrique à l'horizon 2030-2050.

Le projet vise ensuite à analyser les mesures de gestion devant être mises en place pour résorber ce déficit, c'est-à-dire satisfaire les demandes des acteurs économiques tout en respectant les contraintes environnementales de débit d'étiage en particulier. Une analyse économique sera alors mise en œuvre pour optimiser ce programme de mesures, c'est-à-dire en minimiser le coût. Les résultats de l'analyse mise en œuvre dans le projet « Ouest Hérault » devrait bénéficier aux études en cours des SAGE Orb et Hérault. Des contacts étroits ont d'ailleurs été établis avec les structures porteuses de ces SAGE ainsi qu'avec les bureaux d'études qui réalisent actuellement les études « volumes prélevables ».

Le présent rapport est organisé comme suit. La section 2 présente la méthodologie et les données utilisées. La section 3 présente le climat futur dans la zone d'étude, à

l'échelle des cantons. La section 4 présente le résultat du calcul des besoins en eau d'irrigation futurs, intégrant l'impact du changement climatique. Ces résultats sont mis en perspective dans la conclusion.

2. Méthodologie et données

2.1. VUE D'ENSEMBLE DE LA METHODOLOGIE

Les principales étapes de la méthodologie mise en œuvre sont représentées sur la figure ci-dessous (les numéros dans le texte font référence à ceux de la figure).

Le travail repose sur l'utilisation des résultats de simulation de 9 modèles de circulation générale développés à l'échelle planétaire. La première étape du travail **1** a donc consisté à extraire des bases de données du CERFACS les résultats de ces simulations, en ne conservant que les données relatives à la zone d'étude. Chacun de ces modèles fournit une estimation de la variation de température (T), d'évapotranspiration (ETP) et de précipitation (P) à l'horizon 2045-2065 et pour un scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (nous avons retenu le scénario A1B pour cette étude).

Après avoir moyenné les résultats issus des différents modèles, fournis à l'échelle de mailles de plusieurs centaines de kilomètres de côté, la deuxième étape consiste à réaliser un travail de désagrégation spatiale pour produire des cartes plus détaillées du climat futur sur la zone d'étude **2**. Nous utilisons pour cela le modèle météorologique SAFRAN de Météo France qui permet de décrire le climat local sur une grille de 8 kilomètres de côté. Les résultats sont ensuite représentés à l'échelle des cantons, échelle à laquelle nous disposons de données statistiques sur la production agricole.

Un modèle d'estimation des besoins en eau d'irrigation est ensuite développé et appliqué à l'échelle de chaque canton **3**. Il permet ainsi d'évaluer l'augmentation du besoin en eau d'irrigation auquel conduira le changement climatique dans chaque canton, en tenant compte de la réserve utile moyenne des sols dans chaque canton **4**. Les besoins futurs dépendent également de l'évolution des surfaces irriguées et des types de cultures, nous intégrons des hypothèses relatives à l'évolution économique du secteur agricole **5**, ces hypothèses étant directement issues de la phase 1 de l'étude (rapport BRGM-RP 54143 FR).

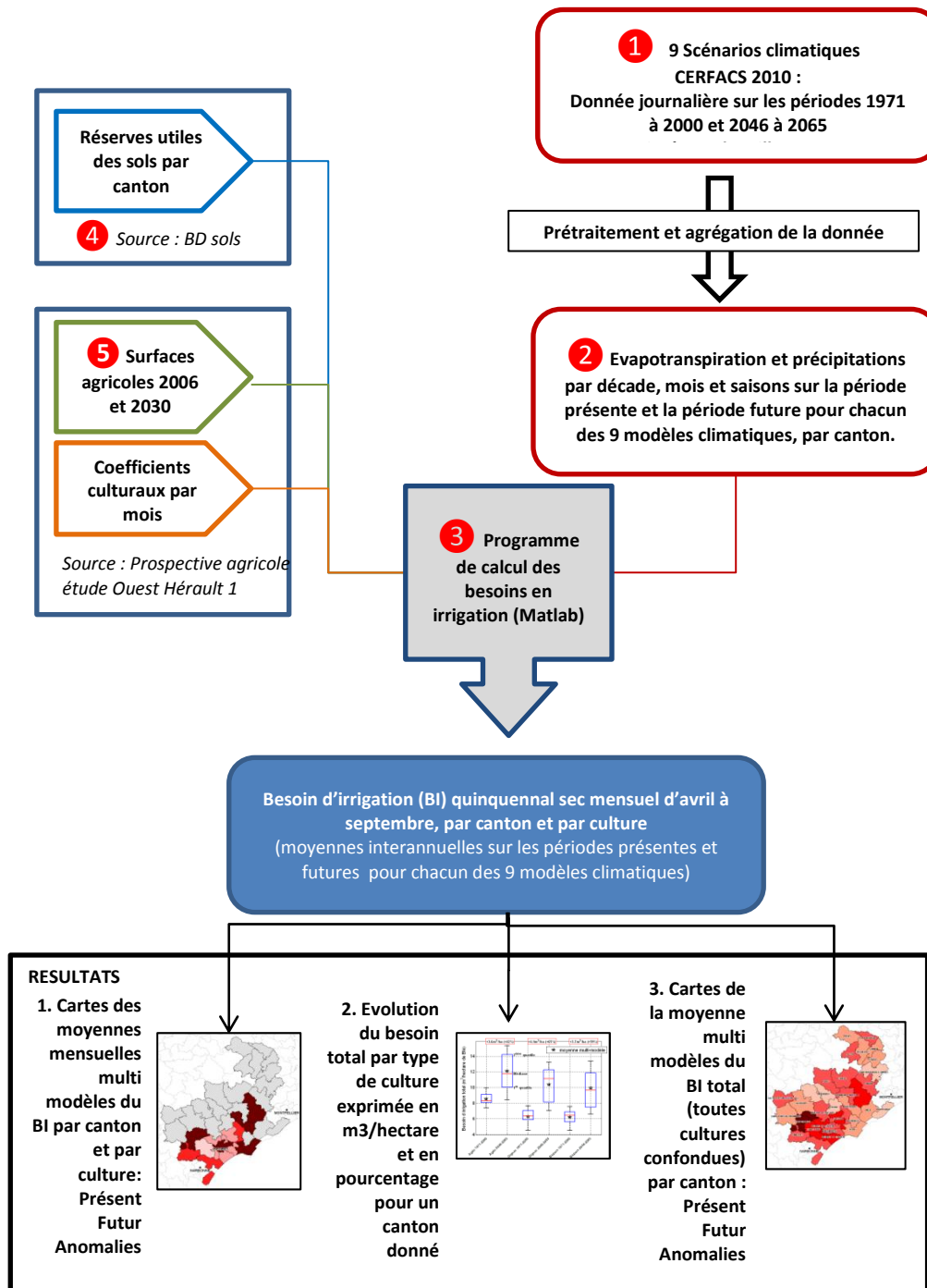


Illustration 3 : Vue d'ensemble de la méthodologie développée pour évaluer l'impact du changement climatique sur le besoin en eau d'irrigation pour les 34 cantons de la zone d'étude.

2.2. CHOIX D'ECHELLE SPATIALE, D'HORIZON TEMPOREL ET DE PAS DE TEMPS DE CALCUL

- **Echelle spatiale**

L'échelle spatiale d'analyse retenue pour l'ensemble du travail est le canton. C'est en effet à cette échelle que l'on dispose de données statistiques agricoles permettant de connaître les surfaces des différentes cultures. Toutes les autres données du projet disponibles à des échelles différentes ont donc été retraitées au niveau cantonal.

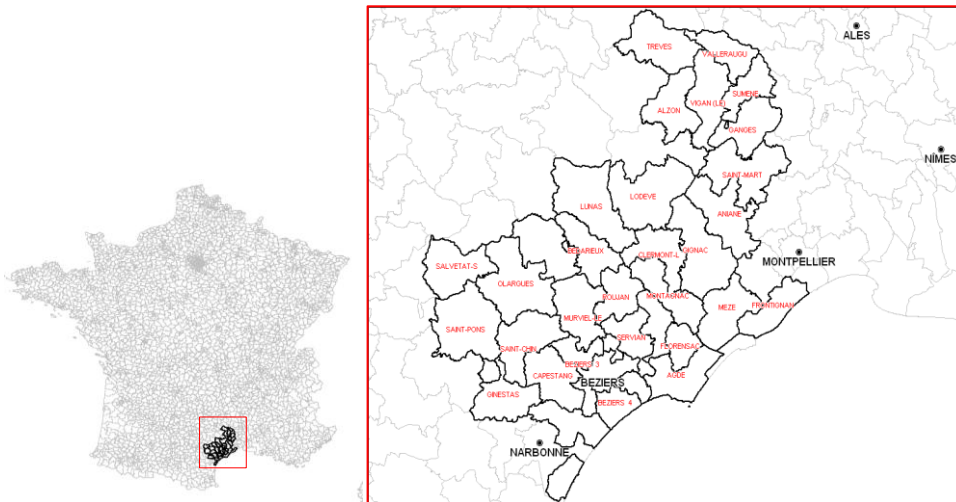


Illustration 4 : Localisation de la zone d'étude et découpage en cantons.

- **Horizon temporel**

La définition d'horizons temporels cohérents pour l'ensemble des composantes de la démarche se heurte à des difficultés inhérentes à la nature des données disponibles.

Concernant le climat, nous disposons de données (issues des modèles de circulation générale) pour la période 1971-2000 (que nous appellerons **climat présent**) et pour la période 2046 -2065 (que nous appellerons par la suite **climat futur**).

Concernant l'évolution de l'agriculture (cultures et surfaces), nous disposons d'une estimation des surfaces et cultures pour 2006 (recensement agricole de 2000, corrigées à dire d'expert dans le cadre de l'étude Ouest Hérault 1) que nous appellerons par la suite « surfaces présentes ». Nous disposons également d'un scénario d'évolution tendancielle des surfaces cultivées (par culture) qui avait été établi à l'horizon 2030 (que nous appellerons **surfaces futures**).

Par souci de simplification, nous allons dans la suite du projet comparer une situation présente et une situation future qui sont définies comme suit :

Situation présente = surfaces agricoles et cultures 2006 + climat 1971-2000.

Situation future = surface agricoles et cultures 2030 + climat 2045-2065.

- **Pas de temps de calcul**

Les données climatiques issues des 9 modèles de circulation générale ont été récupérées au pas de temps quotidien. On dispose donc d'une chronique de :

- 11000 valeurs de T, P et ETP pour la période passée (1971 – 2000)
- 7300 valeurs de T, P et ETP pour la période future (2046-2065).

Après réalisation de l'agrégation à l'échelle des mailles SAFRAN, puis à celle des cantons, les valeurs cumulées de P et ETP ont été calculées par période de 10 jours. C'est ensuite à ce pas de temps décadaire que les besoins en eau des cultures ont été calculés, en simulant le remplissage et la vidange de la réserve utile du sol. Les résultats de ce calcul réalisé au pas de temps décadaire sont ensuite sommés par mois, puis par saison, pour en faciliter l'analyse et la représentation graphique.

2.3. METHODOLOGIE DE DESAGREGATION SPATIALE DES SCENARIOS CLIMATIQUES

- **Données utilisées**

Nous avons utilisé les résultats de 9 modèles d'impact régionaux désagrégés suivant une méthode statistique multi variée, qui repose sur l'utilisation du concept de type de temps (Boé et al. 2006 ; Boé 2007) et intégrée dans l'outil DsClim développé au CERFACS. (<http://www.cerfacs.fr/~page/work/dsclim/>). Il s'agit des modèles reconnus pour Ces modèles sont les suivants :

- CCCMA CGCM3 1 t63
- CNRM CM3
- GFDL CM2 0
- GISS MODEL ER
- IPSL CM4
- MPI ECHAM5
- MRI CGCM2 3 2A
- NCAR CCSM3 0
- Arpege V3
-

Nous avons retenu le scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre A1B comme scénario de référence : il s'agit d'un scénario médian (entre les scénarios extrêmes B1 et A2). Les résultats des simulations produites par chacun des 9 modèles pour ce scénario ont été récupérés pour les périodes allant du 01/01/1971 au 31/12/2000 pour la période présente (ou période de référence) et du 01/01/2046 au 31/12/2065 pour la période future. La donnée est au pas de temps journalier.

Nous considérons dans cette étude que les résultats issus des 9 modèles seront équiprobables. L'analyse de l'impact du changement climatique sur les besoins en irrigation est donc réalisée en considérant la moyenne multi-modèle des résultats de simulation. Les calculs sont également réalisés pour chaque modèle afin d'évaluer la dispersion des résultats et l'incertitude associée.

- **Procédure de désagrégation spatiale**

Les chroniques de pluie (P), d'évapotranspiration (ETP) et de température (T) ont été projetées sur la grille SAFRAN (Vidal et al. 2010) qui couvre l'ensemble du territoire national, avec une résolution spatiale de 8 km X 8km. Cette première désagrégation consiste à projeter de manière uniforme l'anomalie climatique issue de chacun des modèles planétaires sur une représentation de la variabilité spatiale actuelle du climat.

Le résultat de cette désagrégation nous fournit une chronique de P, T et ETP pour chaque maille de 8 km de côté. L'étape suivante consiste à recalculer ces chroniques à l'échelle des cantons. Chaque canton recoupant plusieurs mailles SAFRAN, le calcul consiste à réaliser une moyenne des valeurs des différentes mailles recoupant le canton. Par soucis de simplification, chaque maille est affectée du même poids. La démarche est illustrée avec le cas de Gignac sur la figure ci-dessous : une seule chronique de pluie, température et ETP est reconstruite pour le canton à partir de celles des 11 mailles SAFRAN qui recouvrent le canton de Gignac (Illustration 5).

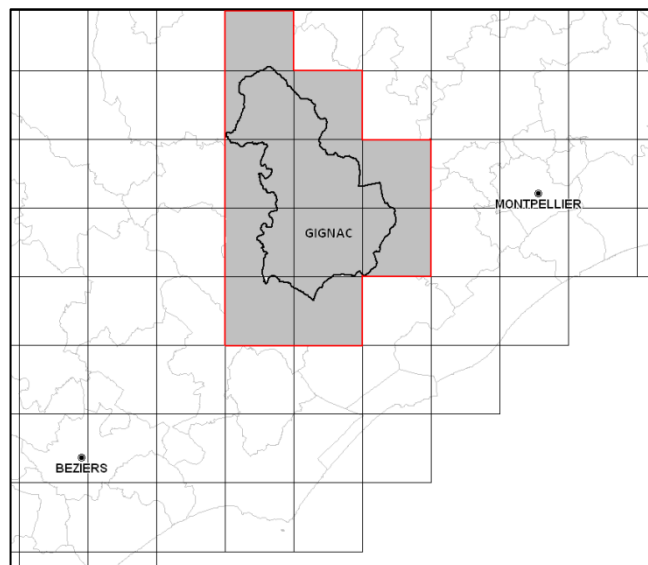


Illustration 5 : Exemple d'agrégation des données climatiques à l'échelle d'un canton : les mailles sélectionnées apparaissent en gris.

2.4. METHODOLOGIE DE CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

- **Principe de calcul**

Le modèle développé vise à calculer la quantité d'eau qui doit être apportée aux cultures (besoin d'irrigation, noté BI par la suite) pour compenser l'évapotranspiration (ETP), en complément de la pluie (P) et en tenant compte de la possibilité d'utiliser l'eau contenue dans la réserve utile (RU) du sol. La formule suivante résume ce calcul :

$$BI = Kc * ETP - P - RU$$

Le modèle calcule donc par période de 10 jours (i) le besoin en eau des plantes, (ii) la quantité d'eau prélevée dans la réserve utile du sol et (iii) le niveau d'eau contenu dans la réserve utile du sol après que le prélèvement par la plante ait eu lieu. Le besoin des cultures est le produit de l'ETP et du coefficient cultural, ce coefficient étant variable dans le temps et distinct pour chaque culture.

Pour chaque pas de temps, le calcul du besoin en irrigation nécessite un processus itératif. En effet, à l'instant « t » on a :

- Si $BI(t)=0$ et $RU(t)<RU_{max}$: $RU(t)=RU(t-1)-Kc(t-1)*ETP(t-1) +Pluie(t-1)$
- Si $BI(t)=0$ et $RU(t)\geq RU_{max}$: $RU(t)=RU_{max}$
- Si $BI(t)\neq 0$, $BI(t)=Kc(t)*ETP(t)-Pluie(t)-RU(t)$ et $RU(t+1)=0$

Pour augmenter la précision de notre calcul, le besoin est d'abord calculé au pas de temps décadaire (à partir des cumuls décadaires d'ETP et de précipitations) avant d'être ramené au pas de temps mensuel. Ainsi la RU est « actualisée » tous les dix jours, et peut évoluer au cours d'un même mois. Nous supposons que RU est maximale au début de la période d'irrigation (recharge durant les pluies de l'hiver). Le calcul est réalisé sous MATLAB.

Concernant la RU, une valeur moyenne a été calculée pour chaque canton à partir de la carte pédologique 1/250.000 (BDSols Languedoc-Roussillon). Le calcul a été réalisé grâce à un Système d'Information Géographique (Arcgis) en calculant la moyenne pondérée par les surfaces de la RU des différentes unités pédologiques présentes dans chaque canton.

- **Calcul et analyse fréquentielle des résultats**

Le modèle développé est utilisé pour calculer le besoin en irrigation $BI_{(i,j)}$ pour :

- chaque année i ($n=1$ à 30 pour le passé et 1 à 20 pour le futur).
- chaque décade j ($d=1$ à 18)

On obtient ainsi 360 valeurs de besoins décennales (pour la période future) et 540 valeurs (pour la période présente) sous forme d'une matrice représentée dans l'illustration 6 ci-dessous :

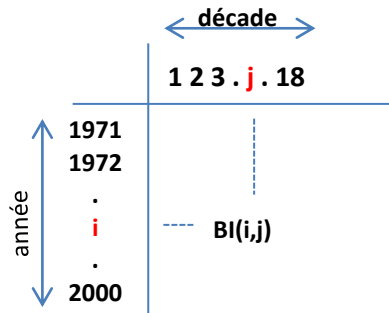


Illustration 6 : Matrice des besoins d'irrigations pour le présent, pour un type de culture, un canton et un modèle climatique donné.

Cette matrice est à nouveau calculée pour :

- chaque culture k ($i = 1$ à 18),
- chaque canton n ($k = 1$ à 34)
- chacun des m modèles climatiques ($m = 1$ à 9)

Au total, ce sont donc **4 957 000 valeurs** de besoin en eau d'irrigation qui ont été calculées. Ces résultats ont ensuite fait l'objet de plusieurs traitements statistiques visant à analyser la sensibilité des résultats au choix du modèle de circulation générale choisi (voir résultats en section 4).

Pour exploiter les résultats, on calcule plusieurs indicateurs.

Le premier est la **valeur mensuelle moyenne des besoins en eau d'irrigation sur la période considérée** (30 ans pour le passé, 20 ans pour le futur). La comparaison de ces moyennes permet ensuite de connaître l'augmentation moyenne des besoins en eau pour chaque culture, chaque mois et chaque canton. Cette augmentation moyenne de besoin mensuel, notée $\bar{B}_{(k,n,m,t)}$, est calculée pour chaque mois t , chaque culture k , chaque canton n et chaque modèle m .

Par ailleurs, nous calculons la **valeur du besoin en eau d'irrigation correspondant au quintile supérieur de la chronique calculée** pour les 30 ans passés (période actuelle) ou les 20 ans futurs. L'objectif est de représenter une valeur haute des besoins en irrigation, susceptible de ne pas être dépassée 4 années sur 5, c'est-à-dire dans 80% du temps. Cette valeur, notée $B_{(k,n,m,t)}^{80}$ est calculée pour chaque mois t , chaque culture k , chaque canton n et chaque modèle m .

3. Le climat futur dans la zone d'étude

3.1. TEMPERATURE

Le réchauffement climatique se traduira, dans la zone d'étude par une augmentation de température moyenne de l'ordre de 1.5 à 2 degrés en été. Cette augmentation dépassera les 2 degrés en hiver dans les hauts cantons. Elle dépassera également 2 degrés en automne dans la plus grande partie du territoire (voir Illustration 9 ci-dessous).

Ces variations de températures auront des impacts agronomiques autres que l'augmentation du besoin en eau, tant en été (réduction de l'activité chlorophyllienne, modification des arômes et du taux d'alcool des vins ...) qu'en hiver (insuffisance de froid et problèmes de vernalisation). Ces impacts ne sont pas étudiés ici.

3.2. EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration devrait augmenter de 10 à 15% en été, et ce de manière relativement uniforme sur l'ensemble de la zone (voir Illustration 9 ci-dessous). Une augmentation plus importante est attendue en automne, notamment pour les hauts cantons où elle atteindra 20 à 25% de plus qu'actuellement en 2045-2065.

3.3. PRECIPITATIONS

Les précipitations devraient simultanément baisser de l'ordre de 5 à 10% en été, avec localement des baisses plus fortes de l'ordre de 10 à 15% sur le littoral (Adge-Vias). Les pluies automnales pourraient baisser de 10 à 15% sur toute la basse vallée de l'Hérault. Enfin, des variations très différenciées sont attendues en fin d'été (août-septembre) avec des augmentations localement.

Le tableau ci-dessous (Illustration 8) résume les évolutions climatiques attendues.

	Présent	Futur	Anomalies
ETP (cumul annuel)	915 mm	1029 mm	+12.50%
Pluie (cumul annuel)	888 mm	818 mm	-8%
Température annuelle (moyenne)	14 °C	16 °C	+2°C

Illustration 8 : Synthèse des évolutions climatiques moyennes attendues sur la zone d'étude.

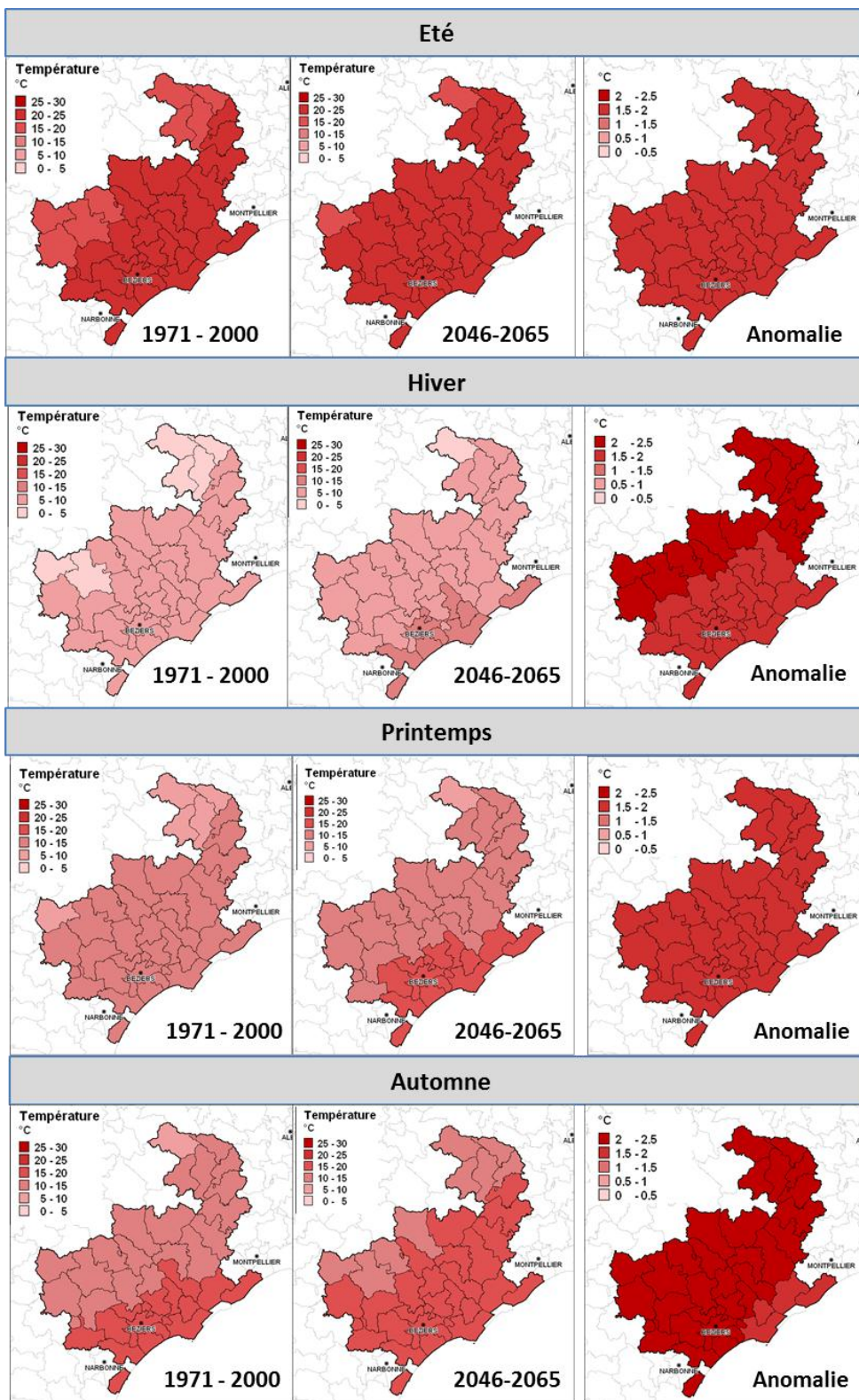


Illustration 9 : Evolution de la température dans la zone d'étude (moyenne multimodèle).

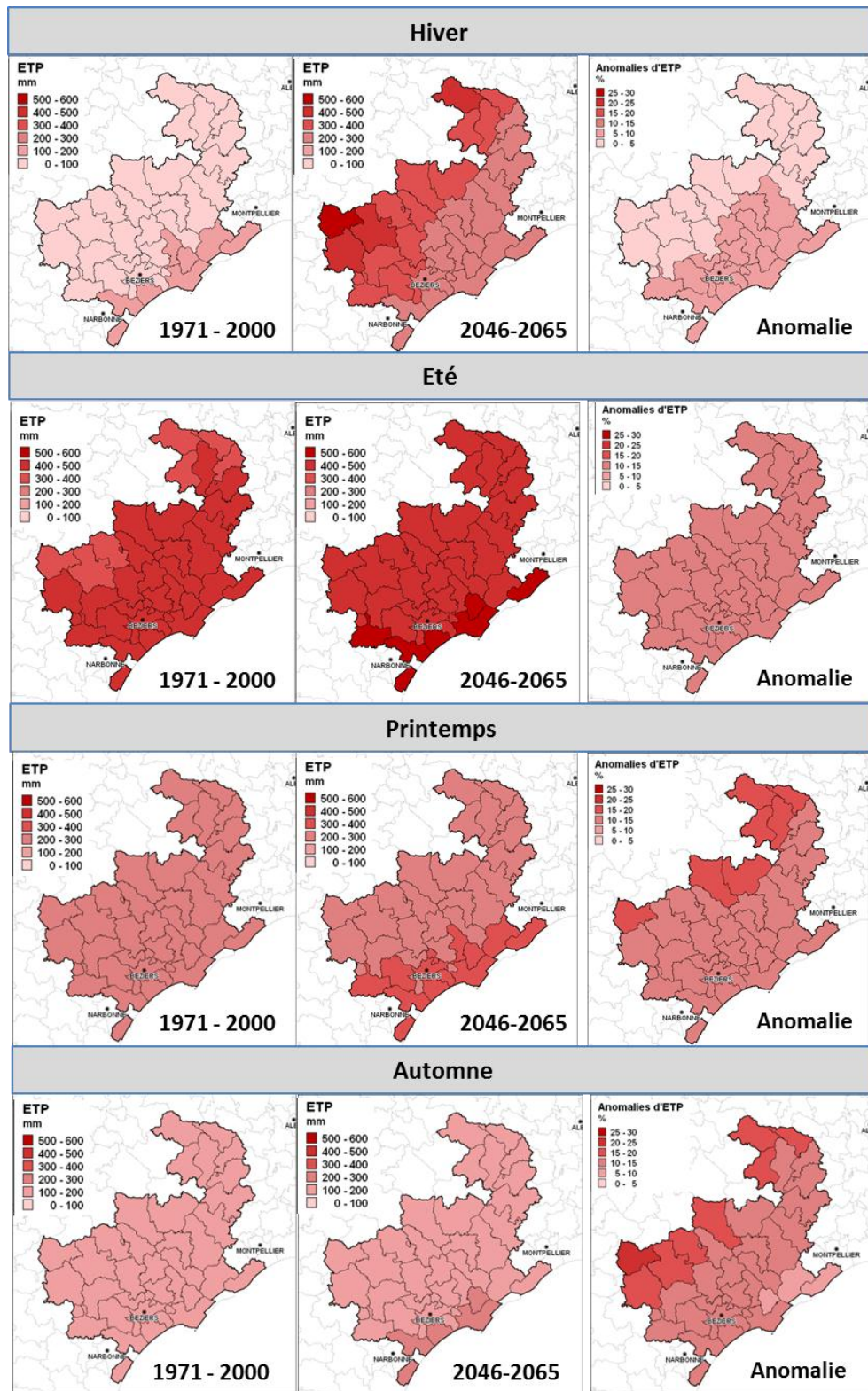


Illustration 10 : Evolution de l'évapotranspiration dans la zone d'étude (moyenne multimodèle)

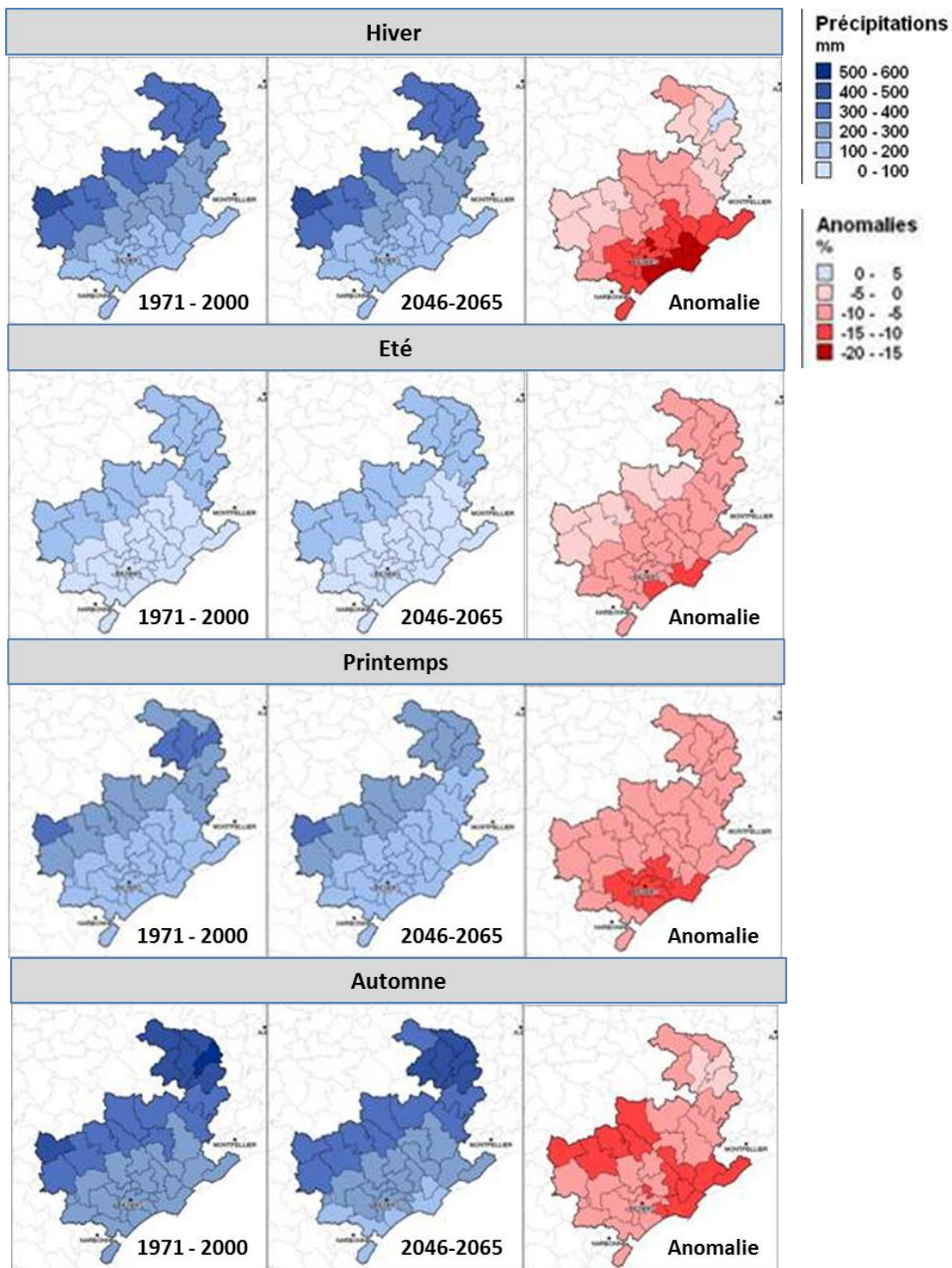


Illustration 11 : Evolution des précipitations dans la zone d'étude (moyennes multi-modèles).

3.4. CHOIX DE CANTONS REPRESENTATIFS

L'analyse de l'impact du changement climatique sur l'évolution du besoin en irrigation est faite pour 18 cultures et dans 34 cantons sur la période du 1^{er} avril au 30 septembre. Les paramètres sont l'ETP, la pluie, le type de culture et la réserve utile des sols qui est une caractéristique propre à chaque canton.

Les anomalies saisonnières d'ETP varient peu spatialement, en particulier pour la période sur laquelle les besoins sont évalués (1^{er} avril au 30 septembre). Au contraire, les cumuls de précipitations calculés sur les mois d'août et septembre mettent en évidence trois zones distinctes.

C'est pourquoi nous avons sélectionné trois cantons appartenant chacun à une de ces zones : Agde, Gignac et Coursan (Illustration 12). Ces cantons présentent de plus l'avantage de posséder une grande variété de cultures ainsi que des réserves utiles contrastées (99 mm pour Agde, 73 mm pour Gignac et 132 mm pour Coursan).

Une analyse plus détaillée de l'évolution du besoin d'irrigation sera réalisée sur ces trois cantons, permettant par la suite d'interpréter les variations des besoins totaux calculés sur l'ensemble de la zone d'étude.

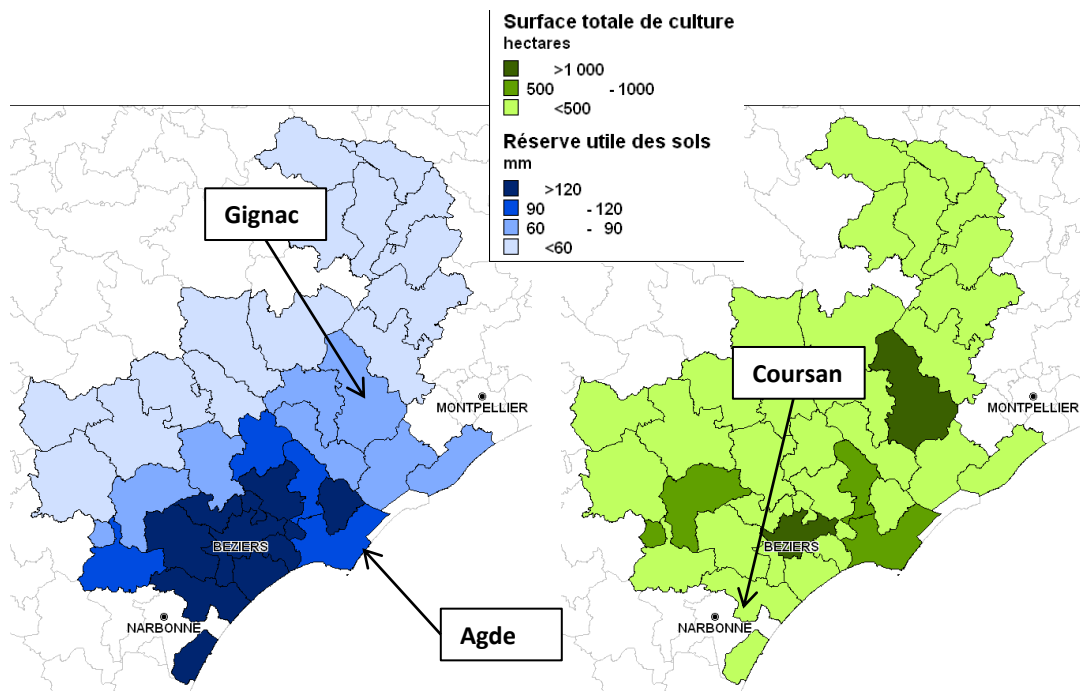


Illustration 12 : Cartes des réserves utiles des sols (à gauche) et surfaces totales des cultures (à droite).

4. Impact du changement climatique sur les besoins en irrigation

4.1. ANALYSE PAR TYPE DE CULTURE

Cette première étape consiste à estimer l'impact des scénarios de changement climatique sur les besoins d'irrigation des principales cultures présentes. Cet impact est évalué en variation des besoins unitaires par unité de surface (m³/ha). Le calcul a été effectué pour chacune des 18 cultures. Les résultats sont proposés pour 6 cultures représentant la diversité des calendriers et des coefficients cultureux : blé, tournesol, maïs, vigne, légumes et prairie. Les résultats détaillés de l'analyse sont présentés en annexe.

- **Illustration des résultats par culture : le cas du blé dur**

Le cas du blé dur est illustré ci-dessous (Illustration 13). Il s'agit d'une culture qui se développe au printemps. Son coefficient cultural est maximal au mois de mai, période à laquelle ses besoins en eau seront donc les plus élevés (Illustration 13 :). La présence de cette culture (donnée 2000 ajustées pour 2006) est représentée sur la carte ci-dessous (Illustration 13 :

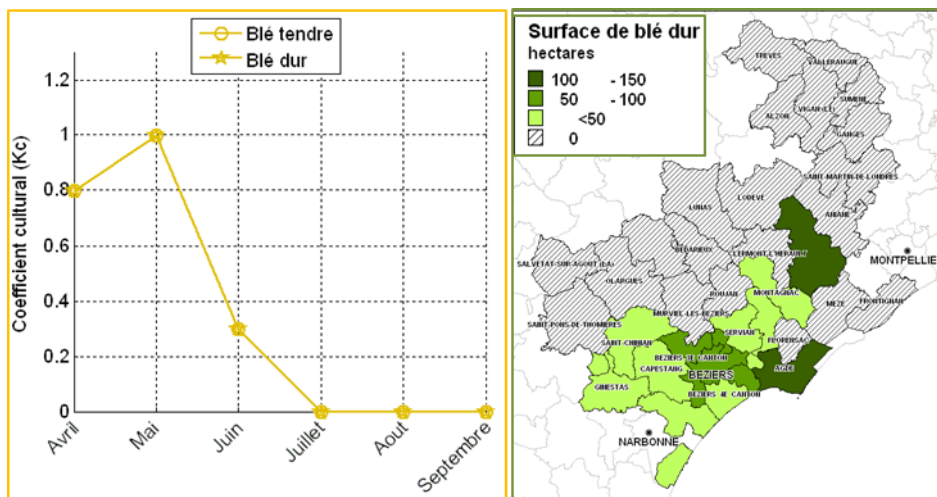


Illustration 13 : Evolution mensuelle du coefficient cultural pour le blé tendre et le blé dur (à gauche) et surface de blé dur par canton (à droite). Les cantons hachurés sont ceux pour lesquels la surface de blé est nulle.

L'illustration 14 montre que le changement climatique conduira à une augmentation des besoins en eau d'irrigation du blé dur comprise entre 200 et 300 m³/ha au mois de mai. Cette augmentation sera plus faible au mois de juin, fin de la période végétative du blé. Les différences d'impact observées entre les cantons proviennent

essentiellement des variations de réserve utile des sols mais aussi des différences de climat local.

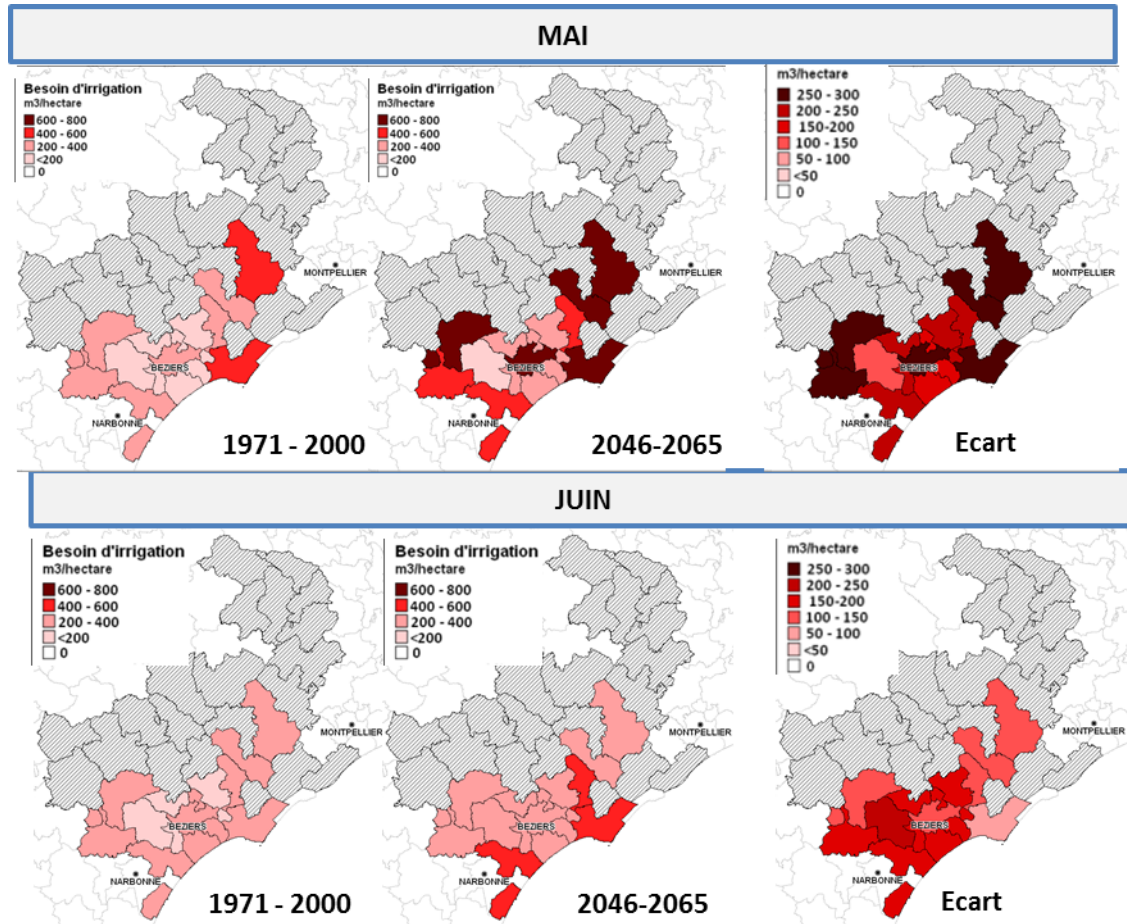


Illustration 14 : Evolution des besoins en eau d'irrigation du blé en mai et juin dans la zone d'étude.

La même analyse a été répétée pour chacune des cultures. Les résultats détaillés sont présentés en annexe de ce rapport.

Cette analyse met en évidence plusieurs phénomènes. Tout d'abord l'influence des RU dans la répartition des besoins et de leur évolution qui est loin d'être négligeable. On observe en général pour les cantons ayant une RU comprise entre 60 mm et 90 mm une forte augmentation du besoin pour le deuxième mois de culture qui s'explique par un épuisement anticipé des réserves d'eau contenues dans le sol. De même pour les RU comprise entre 90 mm et 120 mm sauf que la nette augmentation intervient cette fois ci au bout du troisième mois. De manière générale on peut donc en déduire que les RU devraient être épuisées un mois plus tôt dans le futur.

Ensuite, on observe que lorsque les RU sont épuisées, les évolutions des besoins sont homogènes et se rapprochent en ce sens des tendances observées pour l'ETP. Les

mois de juillet et août sont les mois les plus critiques en termes de besoins. Durant cette période une augmentation du Kc de 0.15 peut se traduire par une augmentation du besoin en irrigation de 100m³/ha.

- **Synthèse et sensibilité au modèle de circulation générale considéré**

L'illustration 15 présente la synthèse des résultats obtenus pour les principales cultures dans les trois cantons sélectionnés.

Besoin m ³ /ha	Canton d'Agde		Canton de Gignac		Canton de Coursan	
	présent	futur	présent	futur	présent	futur
Blé	854	1211	629	1038	438	830
Tournesol	1191	1579	1059	1420	822	1186
Vigne	683	1018	538	824	306	592
Mais	3846	4589	3044	3839	3407	4102
Légumes	3803	4551	3008	3776	3375	4058
prairies	4150	4960	3392	4223	3772	4428

Illustration 15: Augmentation au besoin d'irrigation par culture dans trois cantons (moyenne multimodèles).

Le calcul des besoins en eau des différentes cultures a été réalisé en considérant les résultats des 9 modèles séparément, en vue de caractériser la sensibilité des résultats à ce choix. Nous en concluons que les résultats sont robustes et que l'on peut considérer la moyenne multi-modèle pour calculer l'impact du changement climatique sur les besoins en eau d'irrigation. Les résultats montrent cependant que l'incertitude liée au choix du modèle augmente en passant du présent au futur.

Les illustrations 16 à 21 présentent les résultats obtenus pour 6 cultures sur les 3 cantons. Le besoin du blé passe de 800 à 1200 m³/ha pour la saison d'irrigation. Ce type de représentation permet de quantifier l'incertitude liée à la dispersion des modèles climatiques. Les graphiques en « boîtes à moustache » représentent la répartition des valeurs des différents modèles. L'écart entre l'extrémité inférieure de la boîte (qui représente le 1^{er} quartile) et l'extrémité supérieure (qui représente le 3^{ème} quartile) est une bonne approximation de la plage de répartition des valeurs et donc de l'incertitude. Un écart faible, comme on peut l'observer au présent pour la vigne signifie qu'il y a peu de dispersion des modèles autour de la moyenne. Au contraire un écart élevé tel que l'on peut l'observer pour le blé dans le futur témoigne d'une importante incertitude autour du résultat.

On remarque enfin qu'il y a une très grande variabilité des impacts en fonction des cantons et du type de culture considéré. Par exemple Agde subit la plus grande évolution des trois cantons pour le tournesol et la vigne et la plus petite pour le blé (en m³/ha).

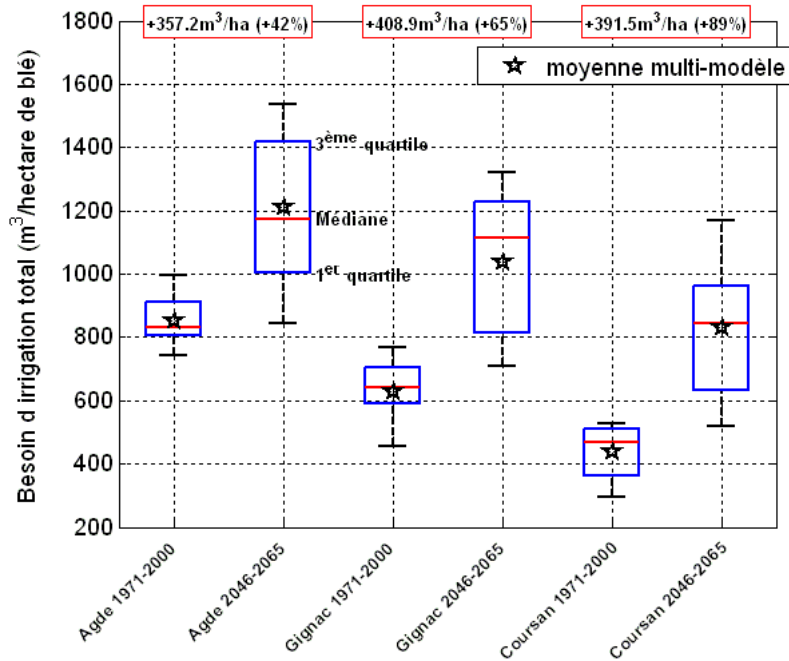


Illustration 16 : Evolution du besoin en irrigation du **blé** dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.

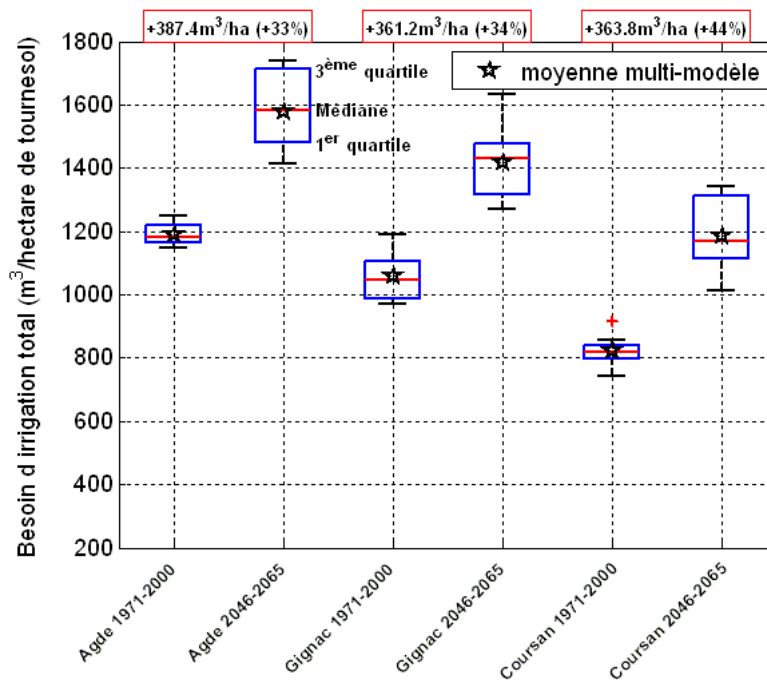


Illustration 17 : Evolution du besoin en irrigation du **tournesol** dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.

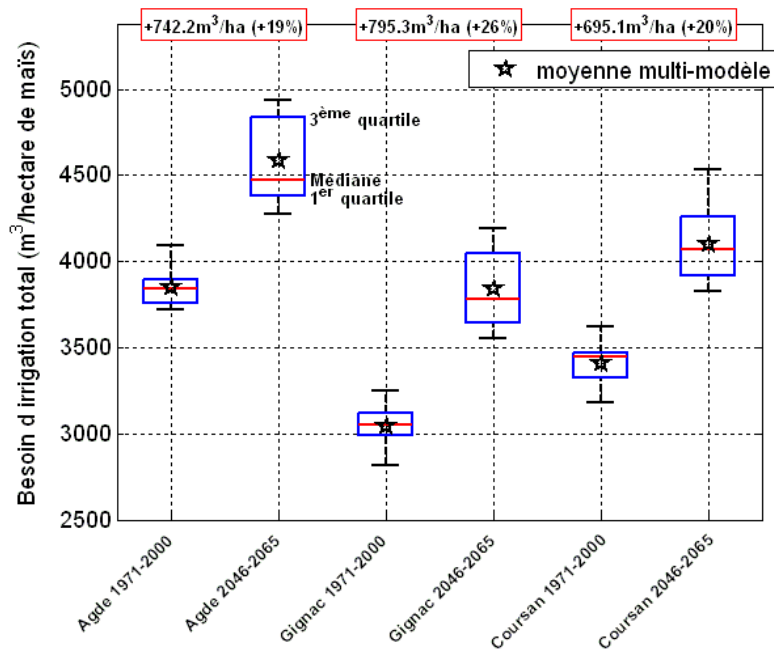


Illustration 18: Evolution du besoin en irrigation du **maïs** dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.

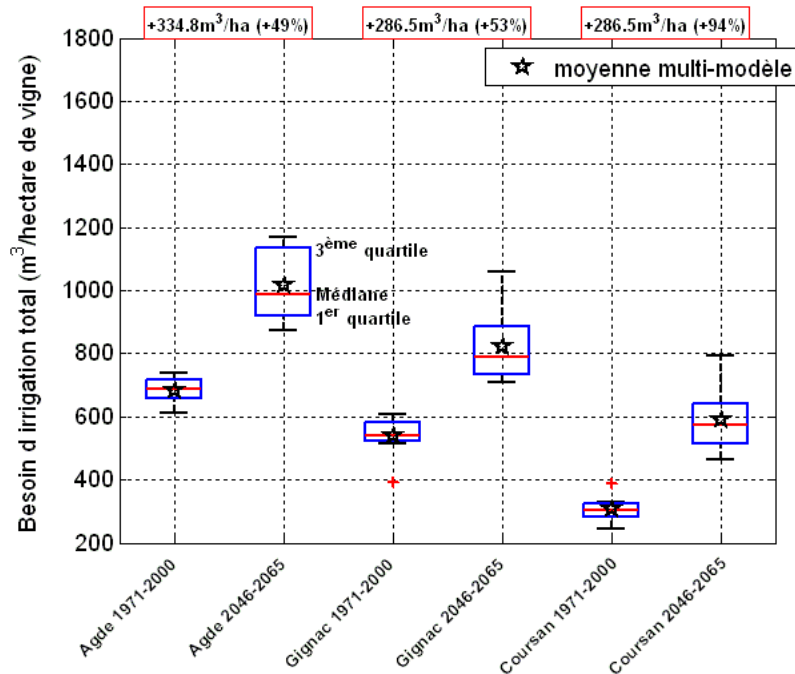


Illustration 19: Evolution du besoin en irrigation de la **vigne** dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.

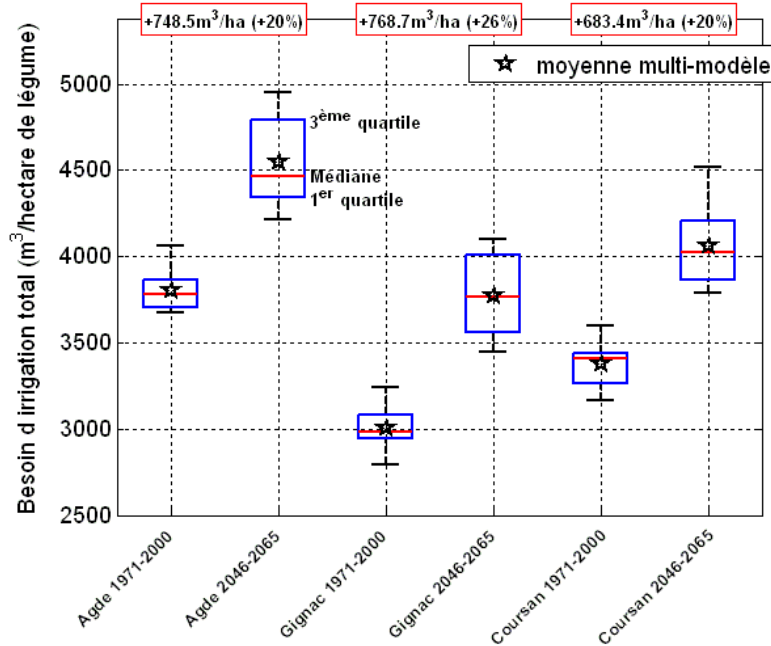


Illustration 20: Evolution du besoin en irrigation des légumes dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.

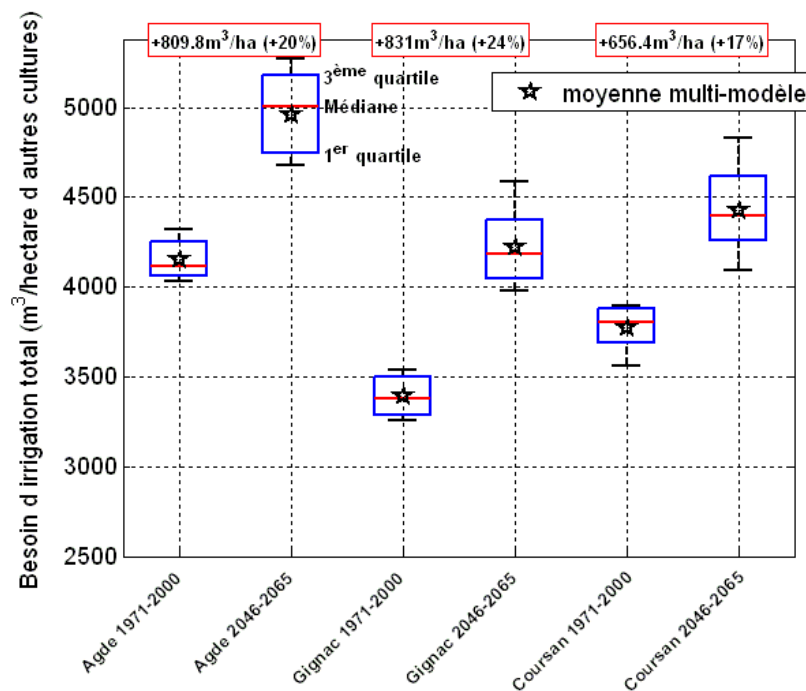


Illustration 21: Evolution du besoin en irrigation de cultures avec Kc proche de 1 (ex. prairie irriguée) dans les 3 cantons représentatifs : moyenne et enveloppe des résultats selon le modèle de circulation général utilisé.

4.2. EVOLUTION DU BESOIN TOTAL (TOUTES CULTURES CONFONDUES) PAR CANTON

La dernière étape consiste à évaluer la somme des besoins en eau de toutes les cultures présentes dans chaque canton. Les besoins sont évalués pour quatre scénarios :

- Référence surfaces actuelles (référence 2006) et climat présent (1971-2000) ;
- S1 : surfaces futures et climat actuel ;
- S3 : surfaces actuelles et climat futur ;
- S4 : surfaces futures (2020) et climat futur.

Les besoins sont calculés pour une série de 30 années (passé) et 20 années (futur). Les résultats montrent que :

- Les besoins d'irrigation, estimés à 15 millions de m³ dans la situation de référence (climat présent, surfaces actuelles) pourraient augmenter de 12% d'ici 2030 sous l'effet des seuls changements économiques.
- L'effet du changement climatique seul représente une augmentation de 33% des besoins environ, un débit fictif continu de 320 l/s. L'effet du climat est donc 3 fois supérieur à celui de l'évolution socio-économique.
- L'effet combiné des deux facteurs conduirait à une augmentation de 50% des besoins en eau d'irrigation sur l'ensemble de la zone d'étude, soit un volume de 7.5 millions de m³ ou un débit fictif continu de 500 l/s.

Synthèse des résultats sur l'évolution du BI	Climat	Surfaces	Besoin irrigation total (Mm ³)	Besoin irrigation total (l/s)	Evolution (% référence)
Référence	1971-2000	2006	15 163	975	-
Hypothèse n°1	1971-2000	2030	16 994	1093	+12.1%
Hypothèse n°2	2046-2065	2006	20 120	1294	+32.7%
Hypothèse n°3	2046-2065	2030	22 836	1468	+50.6%

Illustration 22 : Evolution des besoins en eau d'irrigation de toute la zone Ouest Hérault pour différentes hypothèses d'évolution des surfaces cultivées et du climat.

L'illustration 23 met en évidence les points suivants :

- Les changements économiques conduiront à une augmentation des besoins d'irrigation dans la plupart des cantons mais aussi à une baisse dans certains autres cantons, notamment du fait de la substitution de la vigne à d'autres cultures.

- Le changement climatique conduira à une forte augmentation des besoins en volume dans la région du Biterrois et le canton de Gignac, zones où les surfaces cultivées sont les plus importantes.

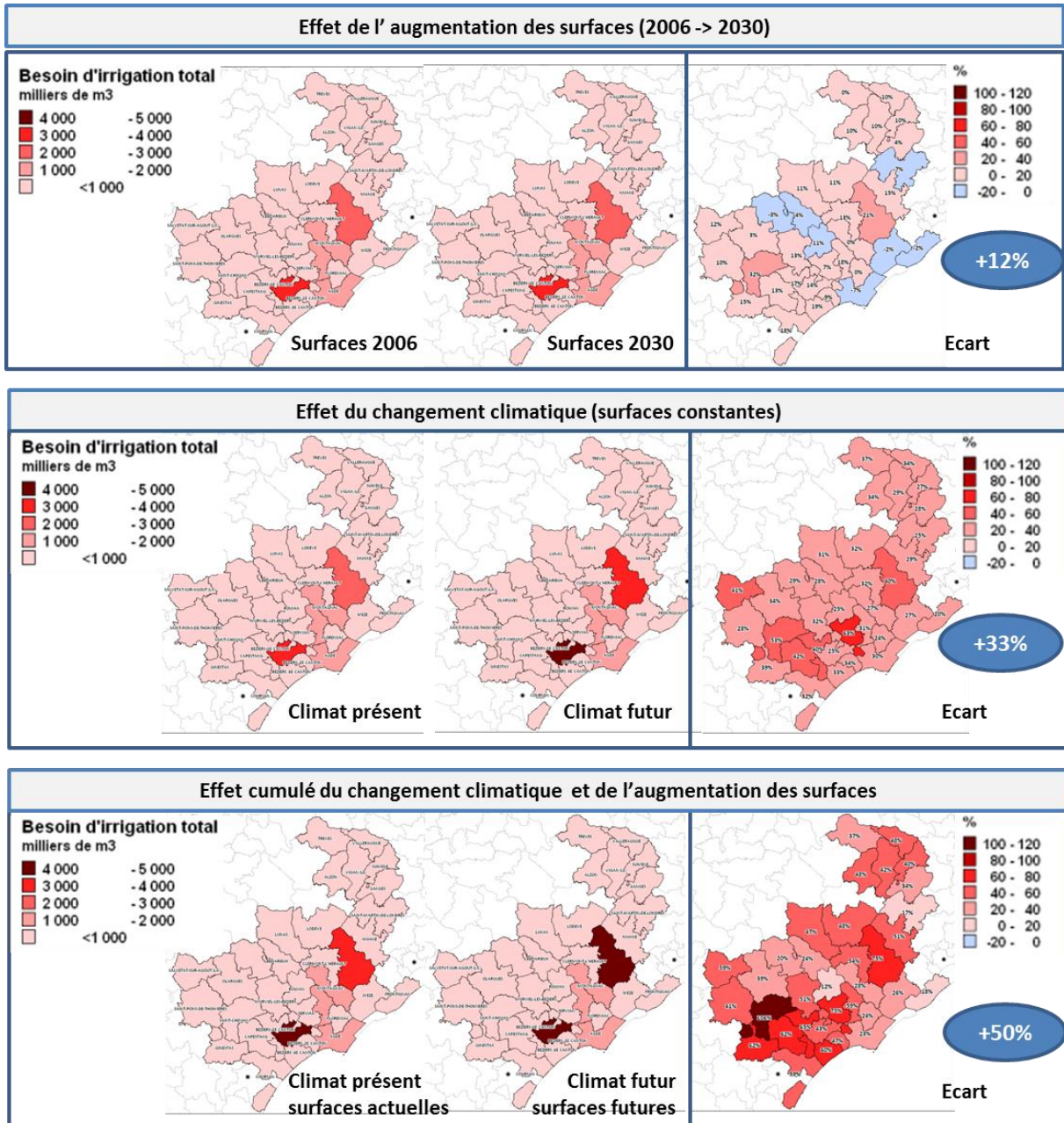


Illustration 23 : Impact relatif et cumulé du changement climatique et de l'augmentation des surfaces cultivées dans les 34 cantons de la zone d'étude.

5. Conclusions et perspectives

5.1. RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS

Le premier résultat du travail présenté est une caractérisation fine des variations de température, d'évapotranspiration et de pluie que prédisent les différents modèles de circulation générale à l'horizon 2045-2065. On montre que l'évaporation devrait augmenter de 10 à 15% en été, et ce de manière relativement uniforme sur l'ensemble de la zone. Une augmentation plus importante est attendue en automne, notamment pour les hauts cantons où elle atteindra 20 à 25% de plus en 2045-2065 qu'actuellement. Les précipitations devraient simultanément baisser de l'ordre de 5 à 10% en été, avec localement des baisses plus fortes de l'ordre de 10 à 15% sur le littoral (Adge-Vias). Les pluies automnales pourraient baisser de 10 à 15% sur toute la basse vallée de l'Hérault. Enfin, des variations très différenciées sont attendues en fin d'été (aout-septembre) avec des augmentations localement.

Le deuxième résultat est une estimation de l'impact du changement climatique sur le besoin en eau des principales cultures de la zone. Les besoins unitaires des cultures (en m³/ha) sont susceptibles d'augmenter de 30 à 50%, selon la réserve utile des sols sur lesquels elles sont cultivées. Les besoins en eau seront plus importants en début de saison, et le tarissement de la réserve utile des sols aura lieu un mois plus tôt. Ces conclusions restent valides quel que soit le modèle climatique retenu.

Le troisième résultat est une estimation de l'impact du changement climatique sur le besoin en eau d'irrigation global pour la zone. Nous montrons qu'il conduira à une augmentation des besoins de l'ordre de 33%, faisant passer le volume d'eau nécessaire aux cultures de 15 à 20 millions de m³. Cette augmentation représente un débit fictif continu de l'ordre de 320 litres par seconde. Si l'on tient compte des évolutions économiques et des modifications de surfaces et cultures, le besoin en eau d'irrigation pourrait augmenter de l'ordre de 7.5 millions de m³ soit un débit fictif continu de 500 l/s.

Ces volumes et débits correspondent aux stricts besoins des plantes et ils ne tiennent pas compte des pertes survenant dans les réseaux d'irrigation et à la parcelle lors de l'irrigation. Si l'on considère que l'efficacité technique de l'irrigation est en moyenne dans la zone de 50% (c'est-à-dire qu'il faut prélever 2 m³ dans le milieu pour que la plante puisse en consommer 1), alors l'augmentation de volumes prélevés sera le double des estimations présentées ci-dessus, soit de l'ordre de 1000 l/s en débit et environ 15 millions de m³ en volume.

5.2. PERSPECTIVES

Le travail présenté dans ce rapport se poursuit selon trois axes.

Le premier axe de travail consistera à réviser le scénario d'évolution tendanciel de l'agriculture considéré ici. Ce travail sera réalisé en lien avec les études volumes

prélevables conduites dans le cadre des SAGE Orb et Hérault. Des entretiens seront réalisés avec des experts agricoles afin de préciser les tendances d'évolution des surfaces en cultures.

Le deuxième axe de travail consistera à évaluer les prélèvements en eau (et non simplement les besoins en eau des plantes). Ceci suppose de caractériser l'efficacité technique des principaux systèmes irrigués à l'échelle de chacun des cantons. Ce travail s'appuiera sur les données collectées en 2006 et 2007 dans le cadre de l'étude Ouest Hérault 1 qui seront complétées et remises à jour.

Le troisième axe de travail consistera à évaluer les économies d'eau qui peuvent être réalisées soit via une modernisation des systèmes d'irrigation, soit via des changements de cultures. L'outil de calcul des besoins en eau présenté dans ce rapport sera utilisé à cet effet.

6. Bibliographie

BOE, J., TERRAY, L., MARTIN, E. and HABETS, F., 2009 - Projected changes in components of the hydrological cycle in French river basins during the 21st century, *Water Resources Research*, 45, Aug, pp.

DÖLL, P., 2002 - Impact of climate change and variability on irrigation requirements : a global perspective, *Climatic Change*, 54, pp. 269 à 293

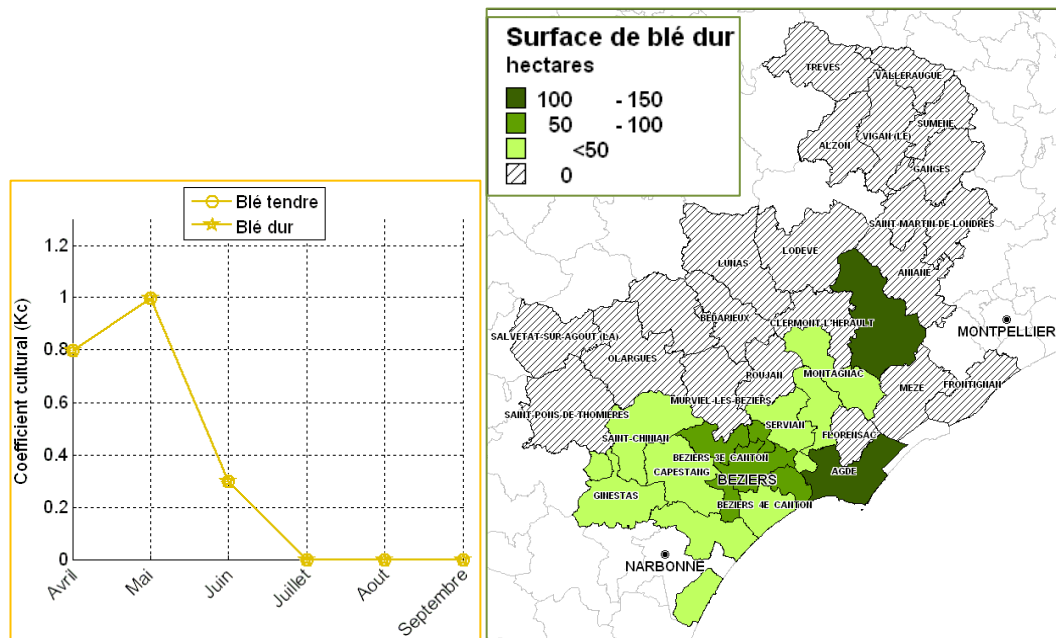
GARCÍA-RUIZ, J. M., LÓPEZ-MORENO, J. I., VICENTE-SERRANO, S. M., LASANTA-MARTÍNEZ, T. and BEGUERÍA, S., 2011 - Mediterranean water resources in a global change scenario, *Earth-Science Reviews*, 105, pp. 121-139

VIDAL, JP, MARTIN E, FRANCHISTÉGUY L, M BAILLON, JM SOUBEYROUX (2010) A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology* Vol 30 (11)

Annexe 1

Evolution des besoins en eau d'irrigation pour les principales cultures de la zone d'étude

Groupe de cultures n°1 : Blé tendre et blé dur



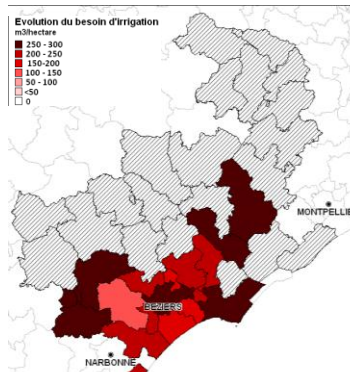
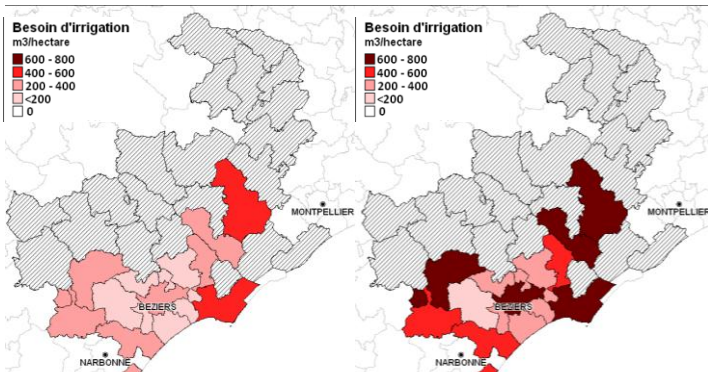
Evolution mensuelle du coefficient cultural pour le blé tendre et le blé dur (à gauche) et surface de blé dur par canton (à droite). Les cantons hachurés sont ceux pour lesquels la surface de blé est nulle.

Blé dur - MAI

Mai : 1971-2000

Mai : 2046-2065

Mai, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000

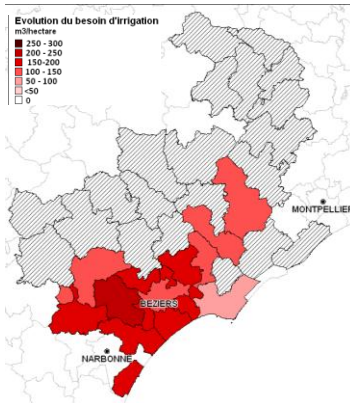
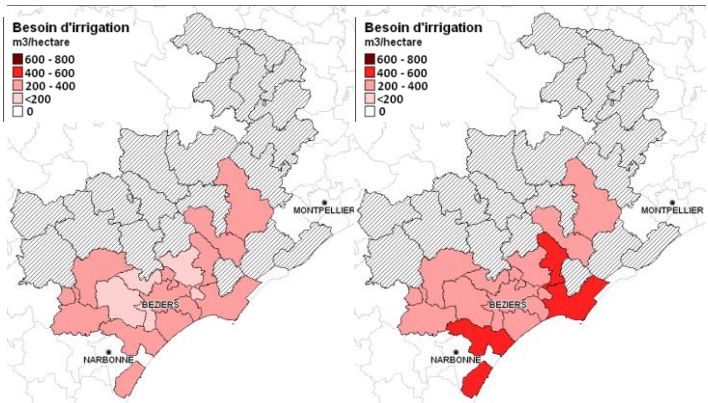


Blé dur - JUIN

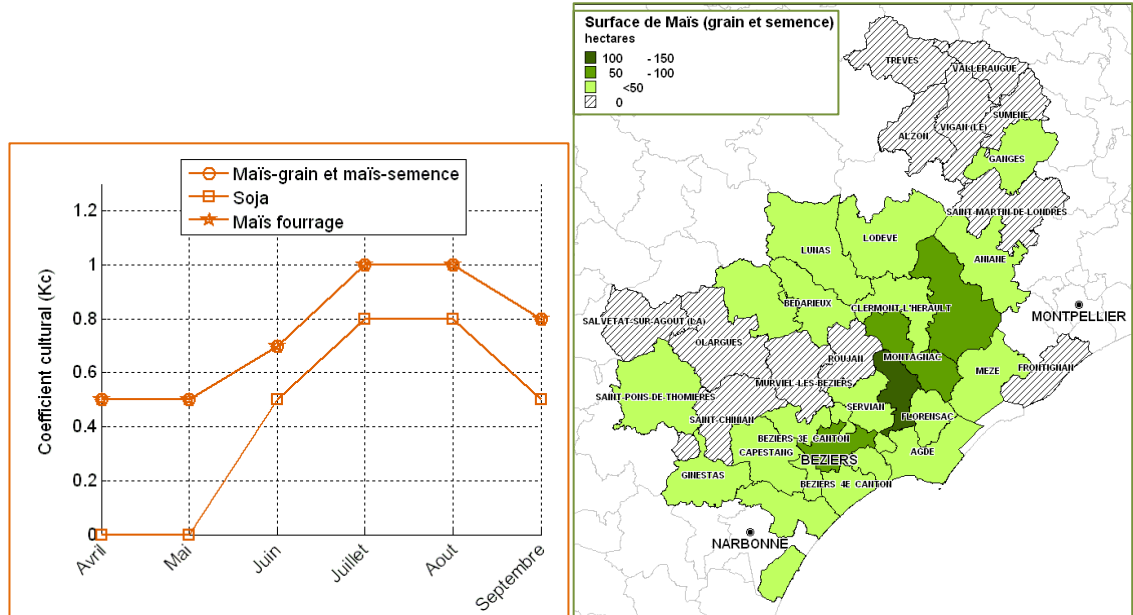
Juin : 1971-2000

Juin : 2046-2065

Juin, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000



Groupe n°2 : Maïs et Soja

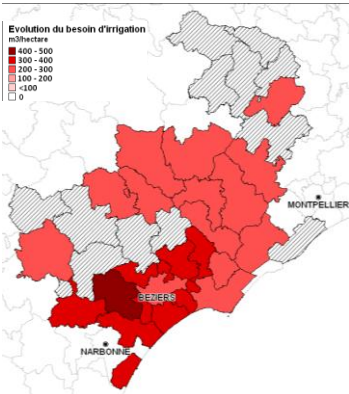
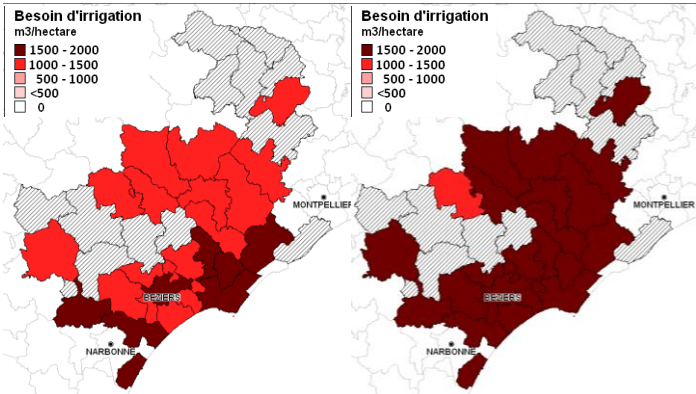


Evolution mensuelle du coefficient cultural pour le Maïs et le Soja (à gauche) et surface de Maïs-grain et Maïs-semence par canton (à droite). Les cantons hachurés sont ceux pour lesquels la surface de ces cultures est nulle.

Maïs grain et Maïs semence - JUILLET

Juillet : 1971-2000 **Juillet: 2046-2065**

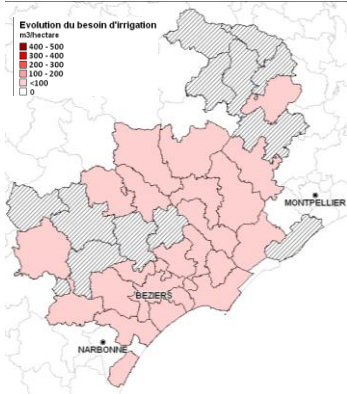
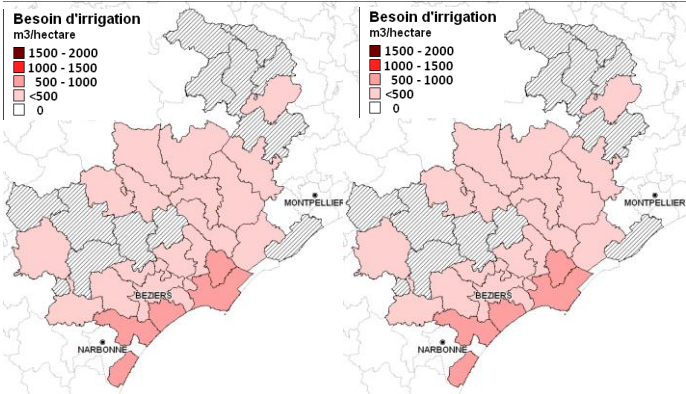
Juillet, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000



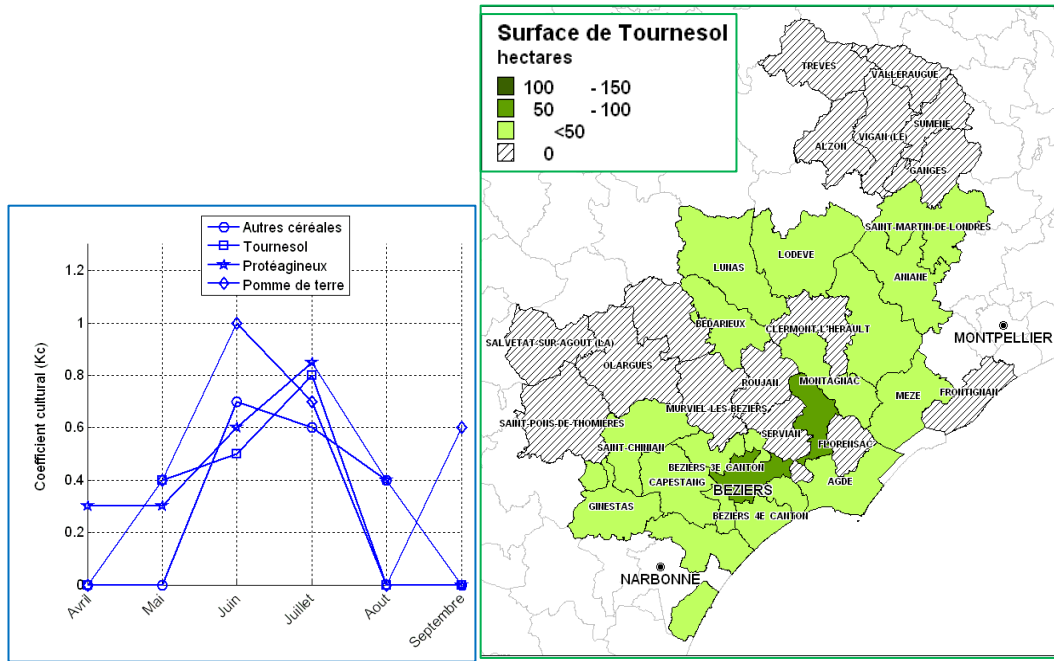
Maïs grain et Maïs semence - SEPTEMBRE

Septembre : 1971-2000 **Septembre : 2046-2065**

Septembre, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000



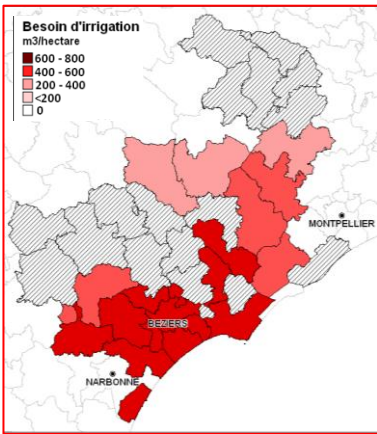
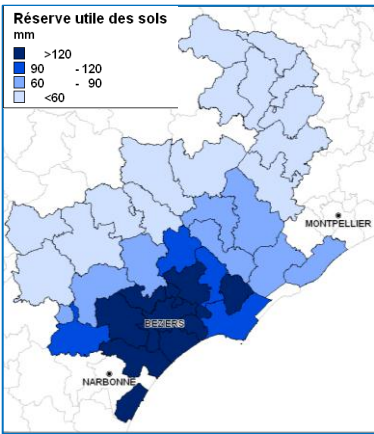
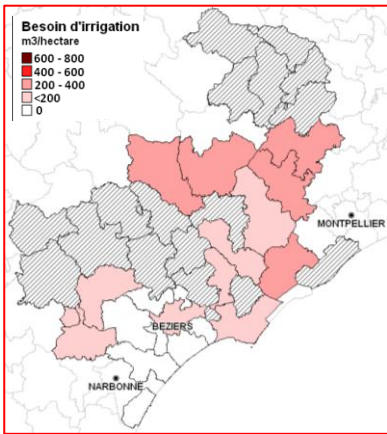
Groupe n°3 : Tournesol, protéagineux et pomme de terre



Evolution mensuelle du coefficient cultural pour le tournesol, les protéagineux, les pommes de terre et les autres céréales (à gauche) et surface de tournesol par canton (à droite). Les cantons hachurés sont ceux pour lesquels la surface de tournesol est nulle.

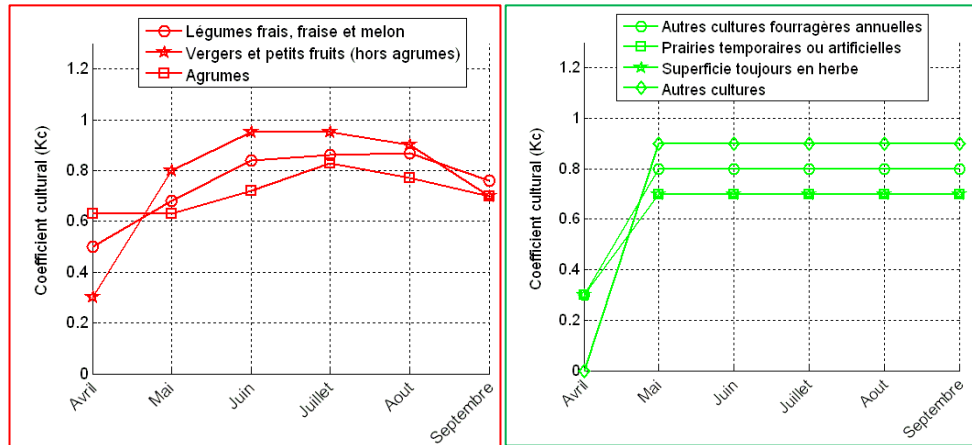
Juin, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000

Juillet, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000



Anomalies du besoin d'irrigation pour le tournesol pour les mois de juin (à gauche) et juillet (à droite). Les réserves utiles par canton sont représentées au centre.

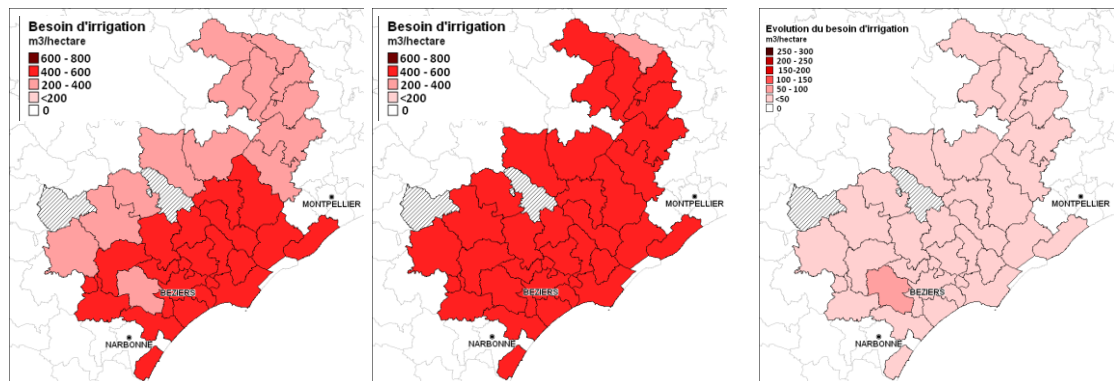
Groupe n°4 & 5 : légumes, vergers, agrumes et autres types de cultures



Evolution mensuelle du coefficient cultural pour les légumes frais, les vergers et les agrumes à gauche et pour les autres types de cultures à droite.

Légumes - JUILLET

<p>Juillet : 1971-2000</p>	<p>Juillet : 2046-2065</p>	<p>Juillet, anomalies Période : 2046-2065 Réf. : 1971-2000</p>
-----------------------------------	-----------------------------------	---

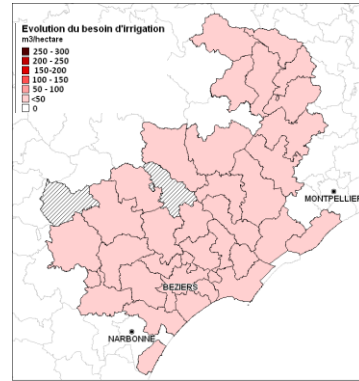
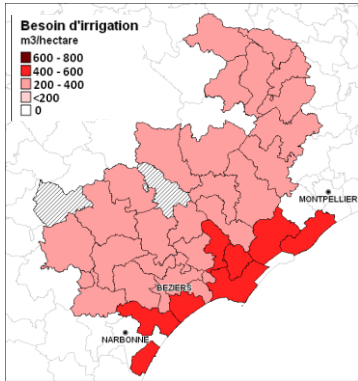
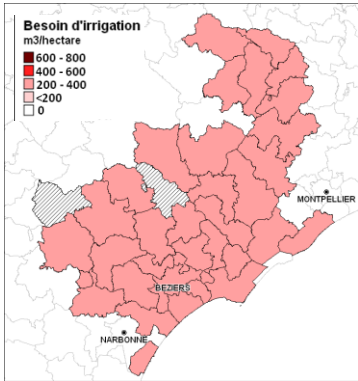


Légumes - AOUT

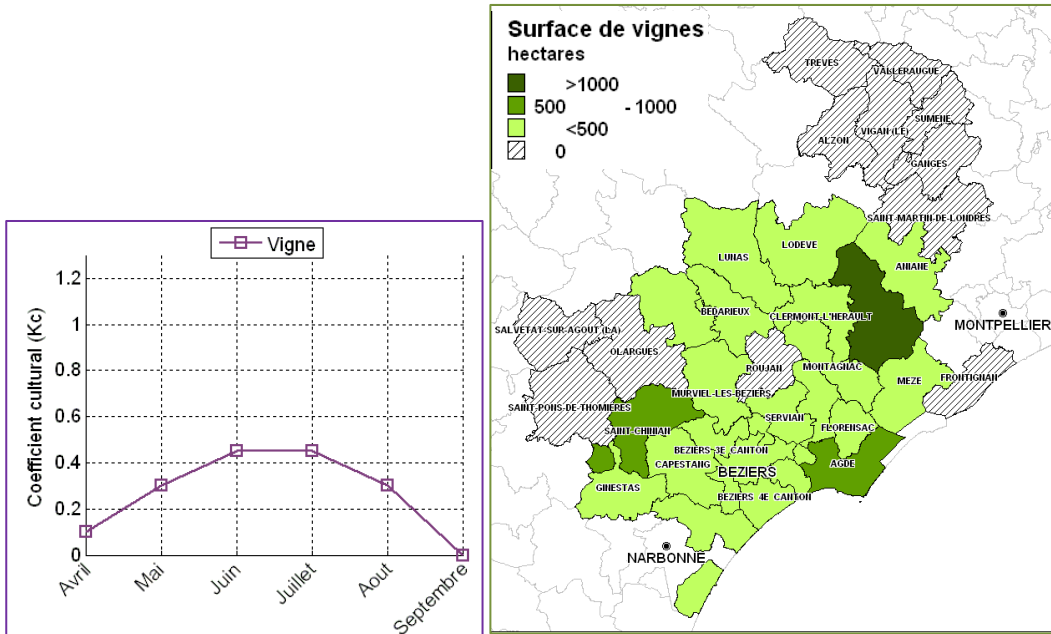
Août : 1971-2000

Août : 2046-2065

**Août, anomalies
Période : 2046-2065
Réf. : 1971-2000**



Groupe n°6 : Vignes



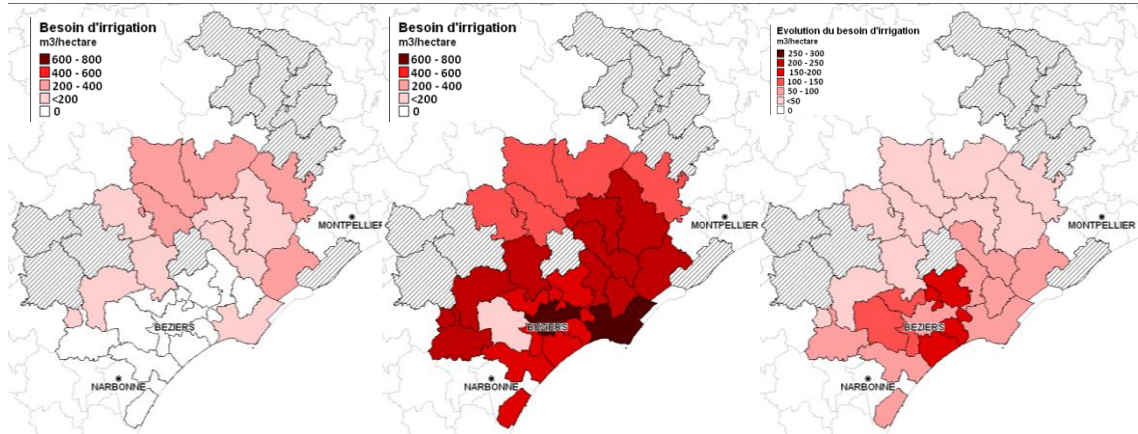
Evolution mensuelle du coefficient culturel pour la vigne (à gauche) et surface de vigne par canton (à droite). Les cantons hachurés sont ceux pour lesquels la surface de vigne est nulle.

Vignes – JUIN, JUILLET ET AOUT

Juin, anomalies
 Période : 2046-2065
 Réf. : 1971-2000

Juillet, anomalies
 Période : 2046-2065
 Réf. : 1971-2000

Aout, anomalies
 Période : 2046-2065
 Réf. : 1971-2000



Annexe 2

Estimation des besoins en eau d'irrigation par canton

Estimation des besoins d'irrigation: climat actuel (1971-2000),
surfaces actuelles

Canton	Surface de culture (hectares)	Besoin d'irrigation total (m3)	Besoin d'irrigation total (débit fictif continu : l/s)
AGDE	863	1243200	80
ALZON	6	11600	1
GANGES	15	32500	2
SUMENE	68	164700	11
TREVES	1	2100	0
VALLERAUGUE	98	192700	12
VIGAN (LE)	67	167600	11
LODEVE	197	348500	22
ANIANE	52	80200	5
CLERMONT-L'HERAULT	268	378400	24
GIGNAC	2451	2425700	156
SAINT-MARTIN-DE-LONDRES	7	19800	1
PEZENAS	623	1032500	66
ROUJAN	12	37800	2
FLORENSAC	144	368100	24
FRONTIGNAN	36.5	138400	9
MEZE	166	272600	18
MONTAGNAC	451	1027100	66
SERVIAN	297	187400	12
BEDARIEUX	49	101400	7
LUNAS	199	240900	15
SAINT-GERVAIS-SUR-MARE	101	205100	13
OLARGUES	9	18500	1
SAINT-PONS-DE-THOMIERES	67	162200	10
SALVETAT-SUR-AGOUT (LA)	93	134800	9
SAINT-CHINIAN	806	447100	29
COURSAN	106.2	131600	8
GINESTAS	253.6	240600	15
BEZIERS	1423	3429600	221
BEZIERS 2E CANTON	401	580600	37
BEZIERS 3E CANTON	416	462100	30
BEZIERS 4E CANTON	230	305300	20
CAPESTANG	498	402100	26
MURVIEL-LES-BEZIERS	114	170100	11

Estimation des besoins d'irrigation: climat actuel (1971-2000),
surfaces agricoles futures

Canton	Surface de culture (hectares)	Besoin d'irrigation total (m3)	Besoin d'irrigation total (débit fictif continu : l/h)
AGDE	876 (+2%)	1168300 (-6%)	2676
ALZON	7 (+11%)	12700 (+10%)	30
GANGES	16 (+3%)	34100 (+5%)	80
SUMENE	75 (+10%)	181900 (+10%)	432
TREVES	1 (=)	2100 (=)	5
VALLERAUGUE	108 (+10%)	212000 (+10%)	503
VIGAN (LE)	74 (+10%)	184500 (+10%)	438
LODEVE	253 (+28%)	387100 (+11%)	927
ANIANE	72 (+39%)	92600 (+15%)	225
CLERMONT-L'HERAULT	378 (+41%)	427900 (+13%)	1033
GIGNAC	3611 (+47%)	2940900 (+21%)	6808
SAINT-MARTIN-DE-LONDRES	7 (-5%)	18500 (-7%)	42
PEZENAS	849 (+36%)	1227600 (+19%)	2842
ROUJAN	11 (-10%)	33900 (-11%)	76
FLORENSAC	146 (+2%)	368300 (=)	853
FRONTIGNAN	36 (-1%)	136200 (-2%)	315
MEZE	170 (+2%)	268900 (-1%)	623
MONTAGNAC	467 (+4%)	1036400 (+1%)	2410
SERVIAN	312 (+5%)	201800 (+8%)	476
BEDARIEUX	49 (=)	98300 (-3%)	226
LUNAS	250 (+26%)	268600 (+11%)	644
SAINT-GERVAIS-SUR-MARE	107 (+6%)	189500 (-8%)	431
OLARGUES	10 (+6%)	19200 (+4%)	45
SAINT-PONS-DE-THOMIERES	74 (+11%)	178900 (+10%)	425
SALVETAT-SUR-AGOUT (LA)	105 (+13%)	152000 (+13%)	362
SAINT-CHINIAN	1147 (+42%)	592900 (+33%)	1373
COURSAN	133 (+25%)	156300 (+19%)	362
GINESTAS	309 (+22%)	277800 (+15%)	643
BEZIERS	1672 (+17%)	3931900 (+15%)	9422
BEZIERS 2E CANTON	466 (+16%)	635800 (+10%)	1510
BEZIERS 3E CANTON	507 (+22%)	542000 (+17%)	1307
BEZIERS 4E CANTON	282 (+22%)	365900 (+20%)	887
CAPESTANG	601 (+21%)	455100 (+13%)	1088
MURVIEL-LES-BEZIERS	136 (+19%)	193800 (+14%)	464

Estimation des besoins d'irrigation: climat futur (2046-2065), surfaces agricoles actuelles

Canton	Surface de culture (hectares)	Besoin d'irrigation total (m3)	Besoin d'irrigation total (débit fictif continu : l/h)
AGDE	863	16167 (+30%)	3742
ALZON	6	156 (+35%)	36
GANGES	15	417 (+28%)	97
SUMENE	68	2101 (+28%)	486
TREVES	1	29 (+38%)	7
VALLERAUGUE	98	2599 (+35%)	602
VIGAN (LE)	67	2175 (+30%)	504
LODEVE	197	4625 (+33%)	1071
ANIANE	52	1039 (30%)	241
CLERMONT-L'HERAULT	268	5019 (+33%)	1162
GIGNAC	2451	34147 (+41%)	7904
SAINT-MARTIN-DE-LONDRES	7	249 (+26%)	58
PEZENAS	623	13586 (+32%)	3145
ROUJAN	12	476 (+26%)	110
FLORENSAC	144	4567 (+24%)	1057
FRONTIGNAN	36.5	1664 (+20%)	385
MEZE	166	3481 (+28%)	806
MONTAGNAC	451	13052 (+27%)	3021
SERVIAN	297	3067 (+64%)	710
BEDARIEUX	49	1299 (+28%)	301
LUNAS	199	3165 (+31%)	733
SAINT-GERVAIS-SUR-MARE	101	2662 (+30%)	616
OLARGUES	9	248 (+34%)	57
SAINT-PONS-DE-THOMIERES	67	2077 (+28%)	481
SALVETAT-SUR-AGOUT (LA)	93	1910 (+42%)	442
SAINT-CHINIAN	806	6851 (+53%)	1586
COURSAN	106.2	1749 (+33%)	405
GINESTAS	253.6	3359 (+40%)	778
BEZIERS	1423	42929 (+25%)	9937
BEZIERS 2E CANTON	401	7796 (+34%)	1805
BEZIERS 3E CANTON	416	6476 (+40%)	1499
BEZIERS 4E CANTON	230	4077 (+34%)	944
CAPESTANG	498	5728 (+42%)	1326
MURVIEL-LES-BEZIERS	114	2247 (+32%)	520

Estimation des besoins d'irrigation: climat futur (2046-2065), surfaces agricoles futures

Canton	Surface de culture (hectares)	Besoin d'irrigation total (m3)	Besoin d'irrigation total (débit fictif continu : l/h)
AGDE	876 (+2%)	15326	3548
ALZON	7 (+11%)	172	40
GANGES	16 (+3%)	438	102
SUMENE	75 (+10%)	2320	537
TREVES	1 (=)	29	7
VALLERAUGUE	108 (+10%)	2861	662
VIGAN (LE)	74 (+10%)	2395	554
LODEVE	253 (+28%)	5172	1197
ANIANE	72 (+39%)	1214	281
CLERMONT-L'HERAULT	378 (+41%)	5831	1350
GIGNAC	3611 (+47%)	42546	9849
SAINT-MARTIN-DE-LONDRES	7 (-5%)	233	54
PEZENAS	849 (+36%)	16445	3807
ROUJAN	11 (-10%)	426	99
FLORENSAC	146 (+2%)	4575	1059
FRONTIGNAN	36 (-1%)	1638	379
MEZE	170 (+2%)	3442	797
MONTAGNAC	467 (+4%)	13193	3054
SERVIAN	312 (+5%)	3280	759
BEDARIEUX	49 (=)	1263	292
LUNAS	250 (+26%)	3565	825
SAINT-GERVAIS-SUR-MARE	107 (+6%)	2462	570
OLARGUES	10 (+6%)	259	60
SAINT-PONS-DE-THOMIERES	74 (+11%)	2293	531
SALVETAT-SUR-AGOUT (LA)	105 (+13%)	2153	498
SAINT-CHINIAN	1147 (+42%)	9225	2135
COURSAN	133 (+25%)	2097	485
GINESTAS	309 (+22%)	3915	906
BEZIERS	1672 (+17%)	49332	11419
BEZIERS 2E CANTON	466 (+16%)	8587	1988
BEZIERS 3E CANTON	507 (+22%)	7649	1771
BEZIERS 4E CANTON	282 (+22%)	4902	1135
CAPESTANG	601 (+21%)	6552	1517
MURVIEL-LES-BEZIERS	136 (+19%)	2575	596



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

Service géologique régional Languedoc Roussillon
1034 rue de Pinville
34000 Montpellier - France
Tél. 04 67 15 79 80