

RESSOURCES ET BESOINS EN EAU EN FRANCE À L'HORIZON 2030

*Etude réalisée par BRL Ingénierie pour le
Centre d'Analyse Stratégique*



Crédit photos : Claude Corbier

**Rapport final
Septembre 2012**

Equipe BRLi :

- ▶ Rédaction : Sébastien Chazot, Isabelle Terrasson, Ancia Drocourt ;
- ▶ Relectures et contributions : Eric Belluau, Jean-Michel Citeau, Guillaume Fabre.

Remarques et commentaires intégrés au rapport final :

- ▶ Centre d'Analyse Stratégique : Dominique Auverlot, Clélia Godot, Johanne Buba ;
- ▶ Comité de Pilotage : Jean-Luc Pujol (INRA), Hervé Guyomard (INRA) ;
- ▶ Panel d'experts réunis en séminaire : Ghislain de Marsily, Jean Margat, Vazken Andréassian (Irstea), Halvard Hervieu (MEDDTL), Xavier De Lacaze (MEDDTL) ;
- ▶ François Tardieu (INRA).

Les études du Centre d'analyse stratégique (CAS) sont des travaux de recherche commandés par le Centre à un organisme extérieur. Elles n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du CAS. L'objet de leur diffusion est de susciter le débat et d'appeler des commentaires et critiques.

RESSOURCES ET BESOINS EN EAU EN FRANCE À L'HORIZON 2030

Rapport final – Septembre 2012

INTRODUCTION.....	1
1. PRÉLÈVEMENTS ET CONSOMMATIONS D'EAU EN FRANCE EN 2010.....	3
1.1 L'eau prélevée n'est pas l'eau consommée	3
1.2 Quelques ordres de grandeurs	3
1.3 L'énergie est le plus gros préleveur, l'irrigation le plus gros consommateur	4
1.4 Synthèse du Chapitre 1	8
2. COMMENT POURRAIENT ÉVOLUER LES DEMANDES EN EAU À L'HORIZON 2030 ?.....	9
2.1 Les demandes en eau potable pourraient augmenter moins vite que la population	10
2.1.1 Rétrospective : après une croissance continue des prélèvements, on assiste à une baisse récente des consommations individuelles	10
2.1.2 Les questions structurantes pour la demande 2030	15
2.1.3 Les demandes en eau potable possibles en 2030	20
2.2 Les demandes en eau agricole traduiront les politiques agricoles et environnementales	23
2.2.1 Rétrospective : des irrigations aux histoires très diverses	23
2.2.2 Les questions structurantes pour la demande 2030	31
2.2.3 Les demandes possibles en eau agricole en 2030	37
2.3 Les demandes en eau pour la production d'énergie dépendront du mix énergétique et des choix de filière de refroidissement	41
2.3.1 Rétrospective : le développement du refroidissement le long des fleuves	41
2.3.2 Les questions structurantes pour la demande 2030	44
2.3.3 Les demandes en eau pour l'énergie possibles en 2030	47
2.4 Les demandes en eau pour la production industrielle dépendront des process et circuits de refroidissement	51
2.4.1 Rétrospective : une baisse continue des prélèvements industriels depuis 1970	51
2.4.2 Les questions structurantes pour la demande 2030	53

2.4.3	Les demandes en eau pour l'industrie possibles en 2030	54
2.5	Les demandes en eau pour l'environnement	55
2.5.1	La prise en compte du besoin des milieux aquatiques s'est progressivement affirmée dans le cadre réglementaire	55
2.5.2	Des histoires différentes d'un grand bassin à l'autre : cas des bassins RM&C et Adour-Garonne	56
2.5.3	Une réglementation parfois en décalage avec l'hydrologie naturelle des cours d'eau	57
2.5.4	Le regard des sciences sociales sur les indicateurs en gestion quantitative	58
2.6	Synthèse du Chapitre 2	60
3.	COMMENT POURRAIENT ÉVOLUER LES RESSOURCES EN EAU À L'HORIZON 2030 ?	61
3.1	Vue d'ensemble du cycle de l'eau à l'échelle nationale	61
3.2	Les ressources en eau sont très hétérogènes selon les territoires	62
3.3	Retour sur les sécheresses historiques	70
3.4	Rétrospective : quelle stationnarité des températures, pluies et débits en France ?	72
3.4.1	Des températures en hausse principalement depuis les années 1980	72
3.4.2	Précipitations : Stationnarité à l'échelle annuelle mais des tendances à l'échelle saisonnière	73
3.4.3	Analyse rétrospective des débits et niveaux de nappes	74
3.5	Comment le changement climatique pourrait-il influencer les ressources en eau ?	74
3.5.1	Évolutions futures possibles des pluies et des températures	74
3.5.2	Conséquences possibles en termes de ressources superficielles	81
3.5.3	Conséquences possibles en termes de ressources souterraines	83
3.5.4	Conséquences possibles en termes de sécheresse	83
3.6	Synthèse du Chapitre 3	84
4.	LE BILAN BESOINS / RESSOURCES À L'HORIZON 2030 PRESENTE-IL DES RISQUES STRATÉGIQUES ?	86
4.1	Une question transterritoriale et fractale	86
4.2	La production agricole est-elle menacée par la possibilité de sécheresses plus récurrentes ?	87
4.2.1	De nombreux projets de recherche et expertises s'intéressent aux impacts de la sécheresse et du changement climatique sur l'agriculture et aux pistes d'adaptation	87
4.2.2	Effets de la sécheresse sur la production agricole	88
4.2.3	Impacts du changement climatique sur les cultures	92
4.2.4	Impact des sécheresses sur les systèmes fourragers : zoom sur l'arc périméditerranéen (projet Climfourrel)	95
4.2.5	Effets des sécheresses et du changement climatique sur les forêts	96

4.3 La sécurisation de l'alimentation en eau potable n'est pas menacée mais pourra nécessiter des investissements importants	97
4.4 Les hausses de températures et les baisses de débits attendues questionnent les possibilités de refroidissement de certaines centrales	98
4.4.1 Importance des contraintes hydrologiques et thermiques pour le fonctionnement des centrales	98
4.4.2 Analyse des contraintes futures	99
4.4.3 Prise en compte de la température de l'eau dans la gestion des centrales	101
4.5 Panorama partiel et partiel d'enjeux de gestion de l'eau quantitative à l'échelle de trois grands bassins hydrographiques à l'horizon 2030	102
4.5.1 Rhône Méditerranée	102
4.5.2 Adour Garonne	107
4.5.3 Seine - Normandie	109
4.5.4 Quelques mots sur les autres grands bassins hydrographiques	113
4.6 Synthèse du Chapitre 4	114
5. QUELLES ORIENTATIONS POUR SATISFAIRE LES DEMANDES EN EAU ET LES ATTENTES ÉCONOMIQUES ASSOCIÉES TOUT EN PRÉSERVANT LES MILIEUX AQUATIQUES ?.....	115
5.1 Mieux connaître et diffuser les données nécessaires au suivi du cycle hydrologique	115
5.2 Soutenir les projets de recherche sur les impacts du changement climatique et encourager le développement d'études prospectives territoriales sur les possibilités d'adaptation	116
5.3 Inciter les collectivités locales à optimiser les prélèvements destinés à l'eau potable	118
5.4 Adapter l'agriculture à une France plus sèche en favorisant la recherche et le développement dans le domaine des économies d'eau	125
5.5 Renforcer la coopération interministérielle afin de donner de la cohérence dans les politiques publiques concernant l'allocation d'eau à l'agriculture	137
5.6 Etudier l'opportunité des solutions de sécurisation d'approvisionnement en eau	143
5.7 Revoir le partage intersectoriel des coûts	151
5.8 Gouvernance : structurer la réponse agricole sur les questions d'eau	153
CONCLUSION	157
BIBLIOGRAPHIE	161
ANNEXES	167

Annexe 1 : Travaux de prospective agricole analysés dans le cadre de l'étude	169
Annexe 2 : Projets de recherche ayant étudié l'impact de la sécheresse et du changement climatique sur les cultures	181
Annexe 3 : Impacts du changement climatique sur les cultures (résultats du projet Climator)	187

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Prélèvements et consommations d'eau par usage en France en 2009	5
Figure 2 : Répartition des prélèvements 2009 par ressource et par secteur (Source : Agences de l'eau, graphes BRLi)	5
Figure 3 : Répartition des prélèvements d'eau par région et par usage en 2009	6
Figure 4 : Comparaison besoins/ressources en eau au cours de l'année sur le sous-bassin versant de la Têt entre Serdinya et Prades (66) (Source : BRLi)	8
Figure 5 : Evolution des volumes d'eau prélevés par usage entre 1955 et 2002	9
Figure 6 : Evolution des volumes d'eau prélevés par usage entre 1994 et 2007	9
Figure 7 : Evolution prospective des prélèvements (extrait à l'horizon 2040)	10
Figure 8 : Evolution des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable entre 1955 et 1985	11
Figure 9 : Prélèvements pour l'eau potable entre 1999 et 2009	12
Figure 10 : Croissances comparées de la population et des prélèvements en eau de la Gironde entre 1975 et 2005 (Source : INSEE, BRGM, rapport annuel gestion des nappes 2008)	14
Figure 11 : Evolution des prélèvements pour l'eau potable entre 1998 et 2007 dans les Pyrénées-Orientales (Source : BRLi, projet Vulcain)	14
Figure 12 : Facteurs et variables du sous-système AEP (Source : BIPE 2011 d'après AESN 2005)	15
Figure 13 : Projections d'évolution de la population en France métropolitaine d'ici à 2040 (Source : INSEE scénario central de projection ; graphe BRLi)	16
Figure 14 : Projections d'évolutions démographiques régionales entre 2007 et 2040 (milliers)	17
Figure 15 : Taux de croissance annuels moyens régionaux sur les périodes 1990-2007 et 2007-2040	17
Figure 16 : Evolution prospective de la consommation d'eau par ménage à l'horizon 2030 selon le type d'habitat (Source : BIPE 2011)	18
Figure 17 : Pourcentage des volumes perdus dans les réseaux AEP par département (Source : IFEN-Scees, Enquête eau 2004 ; carte BIPE)	19
Figure 18 : Evolution prospective des taux de rendement des réseaux primaires AEP à l'horizon 2040 selon les performances initiales (Source : BIPE 2011)	20
Figure 19 : Evolution prospective des prélèvements pour l'eau potable (extrait à l'horizon 2040) (Source : BIPE 2011)	20
Figure 20 : Evolution des prélèvements AEP en eaux de surface et nappes alluviales entre 2002 et 2025 sur le bassin Seine-Normandie selon les différents scénarios (Source : BIPE-GERPA-Hydratec 2002)	22
Figure 21 : Evolution des prélèvements AEP de la Gironde entre 2005 et 2030 selon différentes hypothèses (Source : Smegreg ; graphe INSEE)	22
Figure 22 : L'aqueduc romain du canal d'Ansignan (Pyrénées-Orientales), un exemple de système d'irrigation gravitaire historique (Photo : BRLi)	23
Figure 23 : La construction du canal Philippe Lamour, qui a permis l'irrigation du Languedoc Roussillon avec l'eau du Rhône à partir de 1960 (Photo : Pervenchon, groupe BRL)	24
Figure 24 : Irrigation de céréales par aspersion (Photo : BRL)	24
Figure 25 : Evolution de l'irrigation en France depuis 1955 (Source : Association Générale des Producteurs de Maïs 2006 ; graphe ESCo « Sécheresse et agriculture » INRA 2006)	25

Figure 26 : Evolution des surfaces irriguées par région depuis 1950 (Source : RGA, graphe Chambre d'agriculture LR).....	25
Figure 27 : Superficies irriguées par département en 2000.....	26
Figure 28 : Répartition des cultures irriguées en surface en 2000	27
Figure 29 : Principales cultures irriguées en 2000 (milliers d'hectares) (Source : RGA 2000 ; graphe Agreste 2007)	27
Figure 30 : Importance de l'irrigation et du maïs irrigué par département (Sources : RGA 2000 ; graphe Isiimm/Chambre d'Agriculture du Roussillon)	27
Figure 31 : Réseaux collectifs d'irrigation en Languedoc-Roussillon et PACA (Source : AIRMF 2009).....	29
Figure 32 : Marge brute moyenne des exploitations agricoles en Languedoc-Roussillon et PACA selon l'orientation technico-économique et l'accès à l'eau (Source : SRSA DRAF-PACA ; graphe AIRMF).....	30
Figure 33 : Evolution des prélèvements pour l'irrigation entre 2000 et 2009.....	31
Figure 34 : Les changements d'usages des sols en France entre 2006 et 2009 (Source : Agreste 2010)	33
Figure 35 : Taux de remplissage des réserves utiles des sols de Bourgogne en avril sous climat actuel et sous climat futur (Source : Alterre Bourgogne 2010)	35
Figure 36 : Besoins en eau du maïs (mm/jour) sur le bassin de Lamagistère (moyenne 2015- 2045) en fonction du jour de l'année (Source : Projet Imagine 2030, Irstea 2009).....	36
Figure 37 : Localisation des vignobles irrigués en Languedoc-Roussillon (Source : Chambre d'agriculture LR).....	36
Figure 38 : Evolution prospective des prélèvements d'eau pour l'irrigation à l'horizon 2070 selon deux scénarios d'habitat (Source : BIPE 2011)	37
Figure 39 : Evolution prospective des prélèvements en surface et en nappes alluviales pour l'irrigation sur la période 2004-2025 selon les différents scénarios (Source : BIPE-GERPA 2005).....	38
Figure 40 : Hypothèses sur l'évolution des surfaces irriguées de 1970 à 2015 sur le bassin Seine-Normandie (Sources : RGA, AESN, AND-Irstea 2006).....	39
Figure 41 : Evolution des prélèvements pour l'irrigation sur le bassin Seine-Normandie : prélèvements mesurés pour 2000-2004 et fourchette de prélèvement selon les deux scénarios prospectifs pour 2004-2015. (Source : AESN, AND-Irstea 2006).....	39
Figure 42 : Localisation des 19 centrales nucléaires françaises (Source : EDF)	41
Figure 43 : Evolution des prélèvements pour la production d'électricité entre 1999 et 2009	43
Figure 44 : Facteurs et variables du sous-système énergie (Source : BIPE-GERPA 2005)	44
Figure 45 : Comparaison des parcs de production installés en 2030 dans les différents scénarios (TWh) (Source : CAS 2012)	45
Figure 46 : Production d'électricité en France entre 1976 et 2006	45
Figure 47 : Place du nucléaire dans la production d'électricité en 2030 selon les différents scénarios (Source : CAS 2012)	46
Figure 48 : Niveau de la demande d'électricité en 2030 dans les différents scénarios analysés (TWh) (Source : CAS 2012)	47
Figure 49 : Evolution prospective des volumes d'eau annuels prélevés par les centrales nucléaires.....	48
Figure 50 : Evolution prospective des volumes d'eau consommés par les centrales nucléaires (extrait à 2050) (Source : BIPE 2011)	48
Figure 51 : Evolution prospective des prélèvements et consommations d'eau pour l'énergie sur le bassin Seine-Normandie à l'horizon 2025 selon les différents scénarios (Source : AESN, BIPE-GERPA 2005)	49
Figure 52 : Trajectoires de la macro réserve en amont de Foix sur la période 2021-2040 et sous climat présent selon les modèles hydrologiques CEQUEAU et GR4J (Source : Imagine 2030, Irstea 2009)	50
Figure 53 : Prélèvements d'eau pour les usages industriels par secteur d'activité (chiffres 2006) (Source : BIPE, SOeS 2011)	51
Figure 54 : Evolution des prélèvements pour l'industrie entre 1999 et 2009.....	52
Figure 55 : Facteurs et variables du sous-système industrie (Source : BIPE-GERPA 2005).....	53

Figure 56 : Evolution prospective des prélèvements d'eau pour l'industrie (extrait à l'horizon 2040) (Source : BIPE 2011).....	54
Figure 57 : Evolution prospective des prélèvements d'eau pour l'industrie sur le bassin Seine-Normandie à l'horizon 2025 selon les différents scénarios (Source : AESN, BIPE-GERPA 2005).....	55
Figure 58 : Comparaison des débits d'étiage (QMNA5) et des seuils de débit réservé pour plusieurs cours d'eau (Source : AIRMF 2009).....	57
Figure 59 : Le modèle DSPIR avec l'exemple des DOE de la Garonne (Source : Fernandez et al, 2011)	59
Figure 60 : Ressources et prélèvements annuels en France métropolitaine en milliards de m ³ par an (Sources : IFEN, BRGM, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, modifié)	61
Figure 61 : Précipitations moyennes annuelles sur la France métropolitaine –période 1971-2000 (mm).....	62
Figure 62 : Nombre moyen annuel de jours de précipitations- période 1971-2000 (Source : Météo France).....	63
Figure 63 : Les six grands bassins hydrographiques de métropole.....	64
Figure 64 : La géologie et les principaux aquifères de la métropole.....	64
Figure 65 : Exemple de répartition annuelle des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (Source : données Météo France ; graphe BRLi)	65
Figure 66 : Typologie définie par les douze séries de coefficients mensuels de débit, proposée par Sauquet et al. (2008)	66
Figure 67 : Carte des régimes hydrologiques (établie par Sauquet dans le cadre d'Explore 2070 – Lot Hydrologie de Surface – BRLi – Irstea – Météo France).....	67
Figure 68 : Exemple de variabilité interannuelle de la ressource en eau	67
Figure 69 : Localisation et capacité de l'ensemble des barrages de France métropolitaine	69
Figure 70 : Surface affectée par la sécheresse en France métropolitaine (source : projet CLIMSEC, 2011).....	70
Figure 71 : Durée des sécheresses en Languedoc-Roussillon de 1550 à 2005 (source : Les dérangements du temps – 500 ans de chaud et de froid en Europe, Emmanuel Garnier)	71
Figure 72 : Evolution de l'indicateur de température moyenne annuelle en France métropolitaine sur la période 1900-2009 (source : Météo France – site de l'ONERC)	72
Figure 73 : Evolution de l'indicateur de cumul annuel moyen de précipitations en France métropolitaine sur la période 1959-2010 (Source : Météo France)	73
Figure 74 : Test de Spearman avec une confiance à 95 % appliqué aux séries séculaires homogénéisées de hauteurs de précipitations (1901-2000)	73
Figure 75 : Evolutions des concentrations de CO2 pour les différents scenarii utilisés par le GIEC (source : http://www.ipcc-data.org)	75
Figure 76 : Evolutions possibles (°C) des températures annuelles et saisonnières en France entre 1961-90 et 2046-65, résultats issus de sept modèles de circulation générale utilisés pour Explore 2070.	78
Figure 77: Evolutions possibles (en%) des cumuls de précipitations annuelles et saisonnières en France entre 1961-90 et 2046-65 : résultats issus des 7 modèles de circulation générale utilisés pour Explore 2070	79
Figure 78 : Ecart de valeur moyenne des températures (en °C) et précipitations (en %) quotidiennes Safran simulées pour la France métropolitaine entre simulations 2046-2065 et référence 1961-1990 pour l'année et les quatre saisons. Intervalle de confiance et valeurs extrêmes. Pour l'ensemble des 7 simulations-scénario A1B.....	80
Figure 79 : Evolutions relatives possibles (en %) du débit moyen annuel entre 1961-90 et 2046-65 : résultats moyens établis sur les 14 simulations (2 modèles hydrologiques x 7 MCG)	82
Figure 80: Evolutions relatives possibles (en %) du débit moyen annuel entre 1961-90 et 2046-65 : Résultats des 14 projections pour cinq grands bassins versants	82

Figure 81 : Effets de la sécheresse de 2003 sur les prélèvements d'eau dans le bassin Adour-Garonne (Sources : AEAG ; Expertise sécheresse INRA)	91
Figure 82 : Les impacts prévus du changement climatique sur le paysage national (Source : Climfourel).....	95
Figure 83 : Tendances de la production d'une prairie moyenne périméditerranéenne de 1980 à 2008 (Source : Climfourel).....	95
Figure 84 : Indice de production fourragère 15 mai-15 septembre entre 1980 et 2006 (modèle STICS) à Lyon, Millau et Montpellier (Source : Climfourel).....	96
Figure 85 : Evolution des températures moyennes de l'eau du Rhône par périodes de 5 ans	100
Figure 86 : Augmentations moyennes de température et incertitude pour chaque station	101
Figure 87 : Territoires concernés par des études des volumes prélevables dans le bassin Rhône-Méditerranée (Source : Agence de l'Eau RM&C).....	103
Figure 88 : Débit moyen annuel des fleuves français (Source : Agence de l'Eau RM&C)	105
Figure 89 : Débits moyens mensuels comparés aux étiages historiques sur le bassin du Rhône (Source : SIE Rhône Méditerranée) (en rouge, la moyenne 1970-2011).....	105
Figure 90 : Evolution possible du débit du Rhône à l'horizon 2046-2065 (source : Explore 2070 – BRLi, Irstea, Météo France, graphe BRLi)	106
Figure 91 : Moyenne annuelle des prélèvements agricoles en nappe par commune sur le bassin Seine-Normandie entre 1997 et 2001 (Source : DIREN Ile-de-France ; Carte : PIREN-Seine).....	109
Figure 92 : Le bassin versant de la Seine et les 4 barrages-réservoirs (Source : EPTB Seine Grands Lacs)	111
Figure 93 : Courbes de régime de débit (quantiles 0,25 0,50 0,75) obtenues en temps présent et futur à Paris (Source : Irstea).....	112
Figure 94 : Orientation culturelle des petites régions agricoles alsaciennes en 2000.....	113
Figure 95 : Exemple de tarification progressive (Source : AEAG).....	121
Figure 96 : Consommation moyenne annuelle d'EP et EB (Source : BRL 2007)	123
Figure 97 : Actions pour pallier la pénurie de fourrages (enquêtes Climfourel Ardèche 2008)	128
Figure 98 : ISOP : indicateur de la pousse des prairies permanentes au 20/08/11 (Source : INRA)	130
Figure 99 : Canon enrouleur (Crédit photo : BRL)	136
Figure 100 : Pivot d'irrigation.....	136
Figure 101 : Nature des actions collectives en termes d'offre et d'impacts sur l'exploitation.....	140
Figure 102 : Projet (en cours) d'unité de dessalement à Belle-Ile en Mer (Source : Sogreah)	146
Figure 103 : Coût actualisé des solutions « Transfert » et « Dessalement » pour produire 8,5 Mm3/an dans les Pyrénées-Orientales – Sensibilité au coût de l'énergie électrique (Source : BRLi).....	148
Figure 104 : Le projet du barrage de Charlas (Source : Association Vivre en Comminges)	149
Figure 105 : Types d'irrigation, structures de gestion et modes d'irrigation en France	153
Figure 106 : Fréquence d'atteinte de la maturité d'une culture de maïs variété précoce pour les sites de Mons, Mirecourt et Clermont-Theix (Source : Climator).....	189
Figure 107 : Durée de l'interculture d'une monoculture de blé tendre pour le site de Versailles dans le passé récent, futur proche et futur lointain pour deux variétés et trois types de sols (Source : Climator).....	190
Figure 108 : Evolution du nombre de jours échaudants (tmax journalière > 25°C) entre avril et juin à Toulouse au cours du 21 ^e siècle (Source : Climator).....	191
Figure 109 : Evolutions des besoins en eau d'irrigation à 0,8 ETM d'une culture de maïs d'ici 2100 (Source : Climator).....	192
Figure 110 : Date de début des vendanges à Châteauneuf du Pape depuis 1945 (Source : CNRS).....	193

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Prélèvements et consommations d'eau par usage en 2009 (Source : Agences de l'eau)	4
Tableau 2 : Consommations spécifiques selon la structure des ménages en 2008 (Source : BIPE).....	19
Tableau 3 : Données sur l'irrigation pour les régions françaises où la part de l'irrigation dans la consommation d'eau totale dépasse 70% (Source : Buisson 2005 à partir de IFEN 2003 et RGA 2000).....	28
Tableau 4 : Besoins actuels et futurs (scénario climatique A1B) en eau d'irrigation d'1 ha de pêcher dans les Pyrénées-Orientales (m3/ha) (Source : Projet Vulcain, BRLi 2010)	35
Tableau 5 : Caractéristiques et prélèvements en eau (milliers de m3) du parc de centrales nucléaires en France en 2006 (Sources : SOeS, Agences de l'Eau, EDF ; Tableau : BIPE).....	42
Tableau 6 : Niveaux de prélèvement et de consommation d'eau des centrales nucléaires selon le type de circuit de refroidissement (Source : EDF 2007)	42
Tableau 7 : Ratios des consommations d'eau par grand secteur d'activité industrielle (Source : BIPE)	52
Tableau 8 : Conséquences des sécheresses de 1976, 2003 et 2005 sur les rendements des cultures (Source : Expertise sécheresse INRA 2006)	90
Tableau 9 : Superficies irriguées en 2000 et 2003 en milliers d'hectares (Sources : RGA 2000 ; SCEES 2003 ; tableau : Expertise sécheresse INRA 2006)	91
Tableau 10 : Les principales évolutions favorables et défavorables modélisées dans le cadre du projet Climator du changement climatique sur les cultures.....	94
Tableau 11 : Equipements disponibles pour la production d'énergie hydroélectrique et nucléaire sur le bassin Rhône Méditerranée (source : Plan Rhône)	98
Tableau 12 : Prélèvements bruts en eau opérés par les centres nucléaires (source : EDF)	98
Tableau 13 : Adaptations au changement climatique des principales grandes cultures par ordre de priorité (Source : Climator)	129
Tableau 14 : Exigences de traitement des eaux usées pour leur utilisation à des fins d'irrigation (Source : Arrêté du 2 août 2010 ; synthèse BRLi 2011)	144
Tableau 15 : Agriculture et environnement : 4 scénarios à l'horizon 2025 (Groupe de la Bussière), principales caractéristiques et surfaces irriguées (Source : AScA).....	171
Tableau 16 : Prospective Agriculture Energie 2030 : principales caractéristiques des 4 scénarios (Source : Centre d'Etudes et de Prospective 2010).....	172
Tableau 17 : Prospective Nouvelles ruralités 2030 : principales caractéristiques des 4 scénarios.....	174
Tableau 18 : Prospective Garonne 2050 : principales caractéristiques des 3 scénarios	176

INTRODUCTION

Le bilan besoins en eau / ressources en eau de la France à l'horizon 2030 ne peut pas trouver sa résolution hydrologique à l'échelle nationale.

Le raisonnement en grande masse, sans considérer les « frontières de l'eau », et en ignorant les variations de demande ou d'offres au cours d'une année ou d'une année sur l'autre, est inopérant.

La réalité de l'eau et des territoires impose en effet de raisonner à des échelles plus fines pour mettre en parallèle l'offre, la demande en prélèvements et la demande des usages non préleveurs. Un mètre-cube disponible ne l'est pas pour tous les territoires. Les bilans doivent se faire en croisant des territoires d'offres correspondant à des entités naturelles (nappes, bassins versants) et des territoires de demande qui peuvent se situer à l'intérieur, mais aussi parfois à l'extérieur, de ces entités naturelles (la ville de Marseille est alimentée par l'eau du bassin de la Durance, la ville de Montpellier est sécurisée par l'eau du Rhône, le système Neste dans les Pyrénées met en lien de nombreux cours d'eau, la ville de Paris puise ses ressources dans de nombreuses entités hydrologiques, nappes et rivières,...). Un territoire très abondant en eau peut se trouver très proche de territoires très déficitaires.

Notons par ailleurs qu'une large part de la politique de l'eau est sous gouvernance locale : le prix des services liés à l'eau est local et les taxes redevances ou prélèvements sont fixées par grands districts hydrographiques ; les collectivités locales jouent un rôle-clé dans les réflexions stratégiques d'allocation (schémas directeurs eau potable, irrigation, eau brute) et le rôle de l'Etat ou de monopoles pour la maîtrise d'ouvrage diminue : passages de concessions d'Etat à des concessions régionales sur les grands systèmes hydrauliques des Sociétés d'Aménagement Régional, mise en concurrence de concessions hydroélectriques, ...

La question du bilan besoins en eau / ressources en eau de la France à l'horizon 2030 n'a-t-il pas pour autant des dimensions nationales, sur des plans stratégiques ou de solidarité interterritoriales, en termes de politiques agricoles, de politiques énergétiques, ... ?

C'est ce que tentera de montrer cette synthèse qui se propose de faire des allers-retours entre des visions locales, qui iront puiser des illustrations dans la multitude des cas particuliers, et des questionnements plus généraux qui peuvent conditionner des politiques nationales.

L'horizon retenu est 2030. On débordera toutefois largement, par exemple lorsqu'on évoquera les possibles changements climatiques et leurs impacts possibles sur le cycle de l'eau.

***NB :** Les questions de qualité de l'eau peuvent avoir des liens étroits avec les questions de quantité, notamment à travers les aspects de dilution. Ces questions, très vastes, ne sont cependant pas traitées dans le présent rapport.*

1. PRÉLÈVEMENTS ET CONSOMMATIONS D'EAU EN FRANCE EN 2010

1.1 L'EAU PRÉLEVÉE N'EST PAS L'EAU CONSOMMÉE

Une partie des prélèvements retourne *in fine* dans un cours d'eau ou une nappe, par l'intermédiaire des stations d'épuration ou par rejet diffus pour l'usage domestique, en fin de canal ou par infiltration vers les nappes pour l'usage irrigation, en sortie de circuit de refroidissement pour certaines centrales de production électrique, ...

Il est donc important de distinguer :

- ▶ le prélèvement brut, qui est la quantité totale d'eau prélevée dans le milieu ;
- ▶ le prélèvement net (on parlera aussi de consommations), qui est la part du prélèvement qui ne retourne pas au milieu naturel : une partie du prélèvement net est destinée à la satisfaction des besoins/usages consommateurs, et une autre partie est perdue, *a priori* sans valorisation (évaporation, évapotranspiration non productive, ...).

Ce constat souligne l'importance de l'échelle d'analyse et de la définition des systèmes auxquels on s'intéresse. Prenons le cas d'un prélèvement pour le refroidissement d'une centrale qui conduirait à remettre dans le cours d'eau 99 % du débit prélevé. En termes d'impact hydrobiologique, le tronçon court-circuité sera impacté (en débit mais aussi, dans le cas présent, en température). En termes de ressource globale à l'échelle du bassin, pour un autre préleveur situé plus à l'aval, le prélèvement de la centrale aura très peu d'impact puisque son prélèvement net sera très faible. Selon qu'on considérera le système « tronçon court-circuité » ou le système « bassin versant » l'analyse ne sera pas la même. Ces deux points de vue ne s'opposent pas mais se complètent et illustrent l'importance de définir précisément si on parle de prélèvements bruts ou de prélèvements nets (consommations).

Par ailleurs, il apparaît important également de souligner les **difficultés de la comptabilité de l'eau**, et notamment de mentionner les **risques de doubles-comptes**. En effet, la comptabilisation des ressources en eau comporte le risque de compter deux fois « la même eau », par exemple lors de la distinction entre écoulement souterrain et écoulement superficiel, qui peuvent être en partie confondus car les nappes alimentent les rivières en étiage, ou encore dans le cas de cours d'eau transfrontaliers (ex : le Nil, compté au Soudan et en Egypte, donc double-compté à l'échelle internationale).

1.2 QUELQUES ORDRES DE GRANDEURS

- ▶ **Eau utilisée au droit des habitations pour l'usage domestique** : 137 litre/jour/habitant ¹ soit 50 m³/an/habitant. Considérant un rendement de réseau de 70%, il faut prélever 195 litres pour satisfaire ce besoin, soit 71 m³/an/habitant. Environ 75 % de cette eau retourne au milieu naturel.
- ▶ **Eau utilisée pour irriguer les cultures**
Les besoins en eau d'irrigation des plantes sont très variables. Voilà les besoins annuels (concentrés en pratique entre mai et septembre) pour différentes cultures en année quinquennale sèche (une année sur cinq le besoin est supérieur, une année sur cinq il est inférieur) :
 - blé dur en Languedoc-Roussillon : environ 600 m³/ha,
 - vigne en Languedoc-Roussillon : environ 800 m³/ha (nb : irrigation facultative),
 - maïs dans le sud-ouest : environ 2 400 m³/ha,
 - verger de pêcher dans la plaine du Roussillon : environ 5 000 m³/ha.

¹ Les services d'eau et d'assainissement en France – données économiques sociales et environnementales – BIPE/FP2E –

1.3 L'ÉNERGIE EST LE PLUS GROS PRÉLEVEUR, L'IRRIGATION LE PLUS GROS CONSOMMATEUR

RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU PAR USAGE

Les chiffres 2009 des prélèvements d'eau déclarés aux Agences de l'eau en France métropolitaine sont parus en février 2012. Ils indiquent que **33,4 milliards de m³ d'eau ont été prélevés au cours de l'année 2009** en France métropolitaine pour satisfaire les besoins en eau de l'ensemble des usages : alimentation en eau potable (AEP), irrigation, production d'électricité et industrie (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

Les chiffres indiquent que la répartition des volumes prélevés entre les différents usages est très inégale. En effet, **64% des prélèvements (soit 21,4 milliards de m³) sont destinés à la production d'électricité**, pour le refroidissement des centrales thermiques et nucléaires. La production d'électricité représente ainsi le plus gros préleveur, loin devant l'AEP (17%), l'industrie (10%) et l'irrigation (9%).

Toutefois, comme indiqué précédemment, les volumes d'eau prélevés n'étant pas égaux aux volumes consommés, afin d'évaluer la pression sur la ressource exercée par chaque secteur, il convient de s'intéresser aux consommations. **En 2009, les volumes d'eau consommés par l'ensemble des usages se sont élevés à 6 milliards de m³.**

On estime qu'au moins **90% des prélèvements destinés à la production d'électricité sont restitués** au milieu naturel à proximité du point de pompage. La production d'électricité consomme ainsi *in fine* 1,32 milliards de m³, soit 22% du total des volumes consommés.

A l'inverse, une part importante de l'eau prélevée pour l'irrigation est consommée : en 2009, les chiffres globaux disponibles indiquent que cet usage a consommé 2,88 milliards de m³ sur les 3 milliards de m³ prélevés, ce qui représente près de la moitié des volumes consommés totaux (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

Ces chiffres doivent toutefois être considérés avec prudence. Certains systèmes gravitaires du sud de la France prélèvent des quantités d'eaux très supérieures aux besoins des plantes. Sur la seule vallée de la Têt, fleuve côtier des Pyrénées-Orientales, où environ 10 000 ha sont irrigués, il est prélevé environ 275 Mm³ par de très nombreux canaux gravitaires pour une consommation nette finale de l'ordre de 75 Mm³, soit une différence de 200 Mm³ (0,2 milliards de m³) supérieure à la différence entre 3 et 2,88 milliards indiqués plus haut. Ces volumes d'eau retournent au cours d'eau ou dans sa nappe alluviale.

Plus généralement, même si sous la contrainte réglementaire, les comptages se sont généralisés, la connaissance des volumes respectivement prélevés et consommés reste imparfaite pour certains systèmes hydroagricoles, en particulier les systèmes gravitaires.

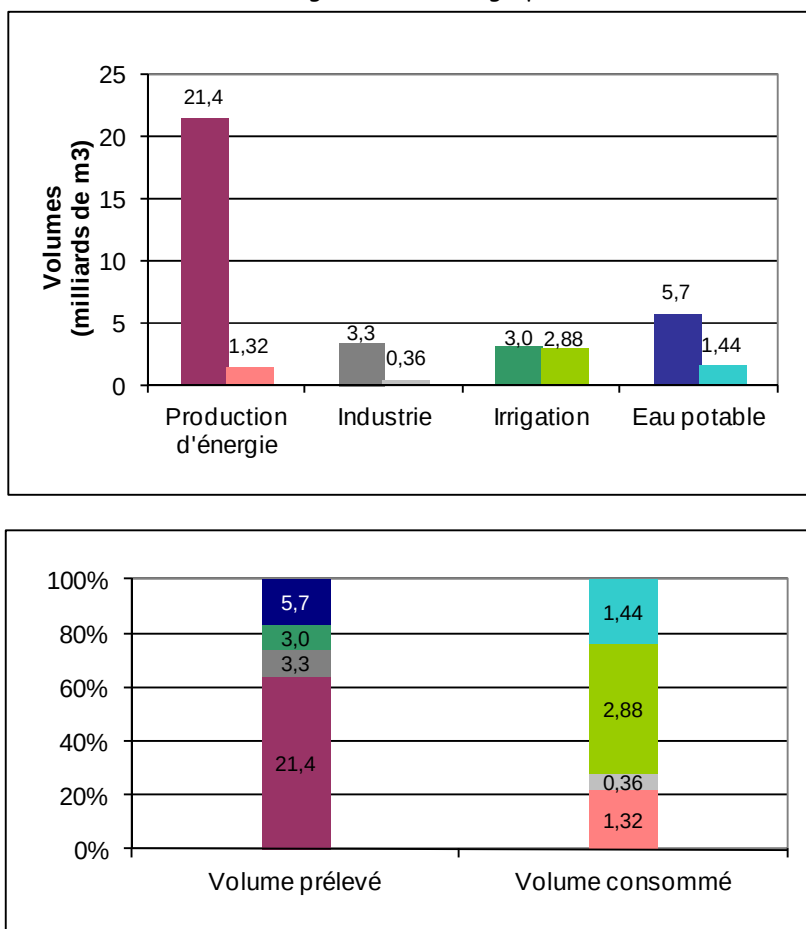
Le tableau et la figure ci-dessous récapitulent les volumes prélevés et consommés par les différents secteurs.

Tableau 1 : Prélèvements et consommations d'eau par usage en 2009 (Source : Agences de l'eau)

Usage	Volume prélevé		Volume consommé	
	milliards m3	%	milliards m3	%
Production d'énergie	21,4	64%	1,32	22%
Industrie	3,3	10%	0,36	6%
Irrigation	3,0	9%	2,88	48%
Eau potable	5,7	17%	1,44	24%
Total	33,4	100%	6,00	100%

Figure 1 : Prélèvements et consommations d'eau par usage en France en 2009

(Source : Agences de l'eau, graphes BRLi)

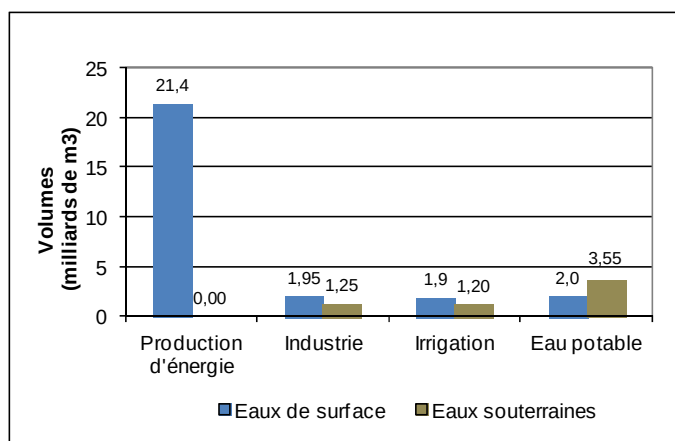


RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU PAR RESSOURCE

Les données de 2009 indiquent que la **majorité (82%) des prélèvements a lieu dans les eaux de surface** (cours d'eau, retenues, canaux), contre 18% dans les eaux souterraines. Cette répartition diffère selon les besoins de chaque secteur et la disponibilité de la ressource.

La production d'électricité utilise pour le refroidissement des centrales exclusivement des eaux de surface. L'irrigation et l'industrie prélèvent majoritairement dans des ressources superficielles. L'eau potable est le seul usage qui exploite à majorité les eaux souterraines (64%). En effet, ces dernières sont en général de meilleure qualité et nécessitent moins de traitement (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

Figure 2 : Répartition des prélèvements 2009 par ressource et par secteur (Source : Agences de l'eau, graphes BRLi)

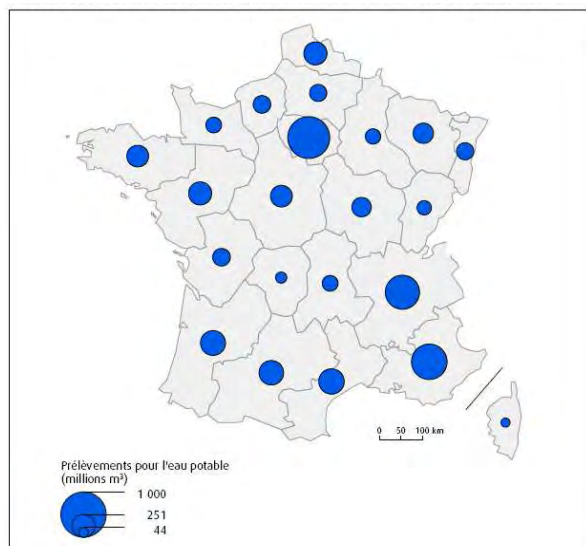


RÉPARTITION DANS L'ESPACE

Les prélèvements d'eau ne sont pas répartis uniformément sur le territoire.

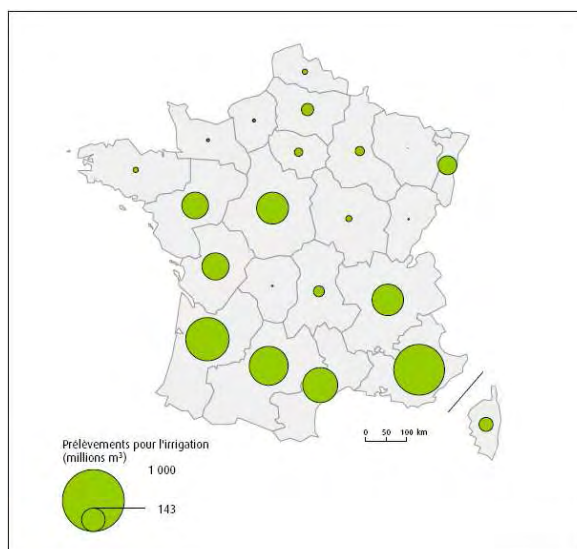
Figure 3 : Répartition des prélèvements d'eau par région et par usage en 2009

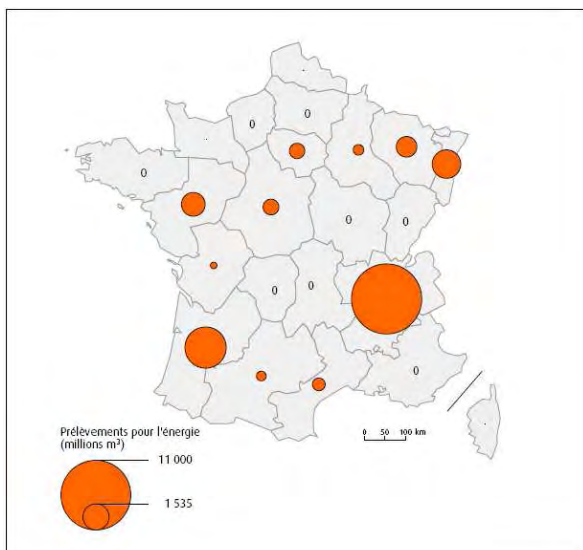
(Source : Agences de l'eau/SOeS, graphes BRLi)



En ce qui concerne les **prélèvements pour l'eau potable**, les régions les plus peuplées (Île-de-France, Provence Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes), prélèvent les volumes les plus importants. Le volume prélevé par habitant suit un gradient croissant nord-sud, compris entre 66 m³/habitant en Nord-Pas-de-Calais et 145 m³/habitant en Corse. Ce ratio par habitant est toutefois influencé par les éventuels transferts d'eau entre régions. Par exemple, 20 % de l'eau prélevée pour l'eau potable en Bourgogne et en Picardie est en fait destinée à la ville de Paris. Leurs volumes prélevés par habitant sont donc plus bas. Ces transferts entre régions restent assez limités, l'eau utilisée pour la production d'eau potable étant le plus souvent pompée à proximité de son lieu de consommation. Certaines villes vont toutefois capter des ressources parfois éloignées : cas par exemple de la ville de Marseille détournant les eaux de la Durance par un canal dédié.

Les **volumes prélevés pour l'irrigation** dépendent de la nature des cultures, de l'importance des activités agricoles, du climat et du mode d'irrigation. Ainsi, les plus grands volumes sont mobilisés dans le sud de la France (avec certaines régions qui pratiquent l'irrigation gravitaire, plus préleveuse) même si plus au nord, les prélèvements sont également importants dans certaines régions de grandes cultures (Poitou-Charentes, Centre). Dans le nord de la France, malgré une activité agricole assez forte, les précipitations en moyenne plus importantes rendent les besoins en eau moindres. Les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Corse prélèvent les volumes les plus élevés par hectare irrigué.

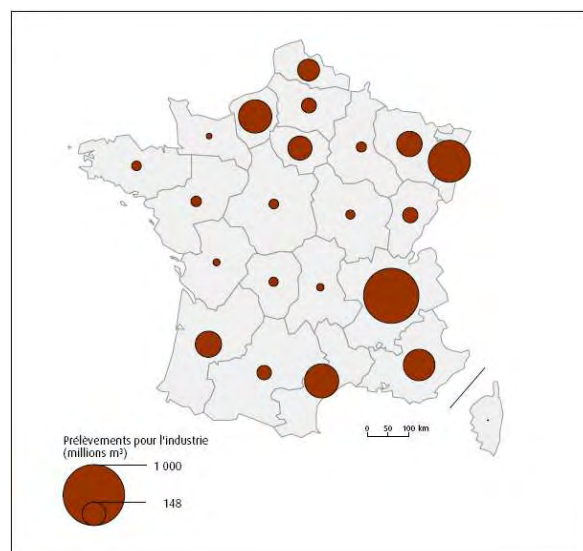




La répartition géographique des **prélèvements liés à la production d'énergie** suit celle des centrales, notamment nucléaires. Les régions Aquitaine, Centre, Pays de la Loire, Alsace et surtout Rhône-Alpes présentent ainsi les volumes les plus importants. Les prélèvements en Île-de-France, Pays de la Loire, Lorraine et Languedoc-Roussillon sont liés à des centrales thermiques. Le site du Tricastin, site nucléaire le plus important de France, occasionne le plus de prélèvements (près de 5 milliards de m³ en 2009). Puis, par ordre décroissant, les centrales nucléaires du Blayais, de Saint-Alban, de Bugey, de Fessenheim et la centrale thermique de Cordemais dépassent également le milliard de m³ prélevés en 2009.

Les **prélèvements pour l'industrie** sont plus importants dans les régions les plus industrialisées : l'Est et le Nord de la France, la vallée du Rhône, le Sud-ouest (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

NB : Une représentation de la répartition des prélèvements par grand bassin hydrographique aurait été pertinente. Cependant, en raison des différentes méthodes de comptage des prélèvements entre les six Agences de bassins, la réalisation d'une telle carte n'a pas été possible. Toutefois, cette répartition peut aisément se deviner globalement à partir de celle par régions.



LA POINTE DES PRÉLÈVEMENTS A LIEU PENDANT LE CREUX DES RESSOURCES

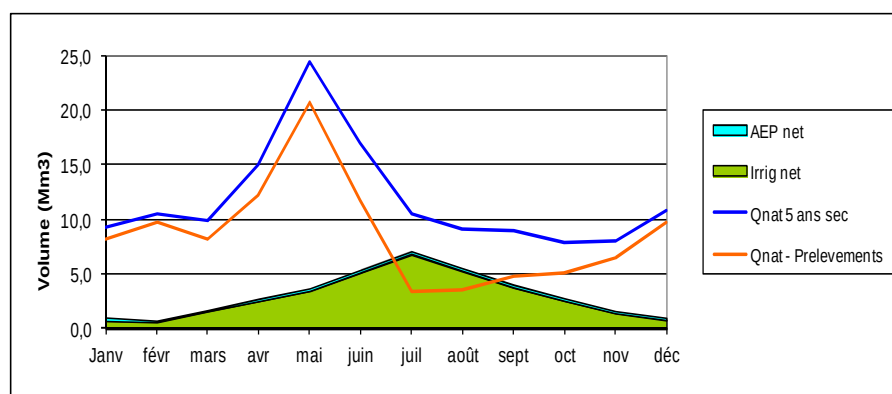
Les prélèvements - et les consommations - d'eau sont répartis de manière inégale au cours de l'année.

En effet, l'irrigation, qui représente l'usage le plus consommateur, se concentre essentiellement sur les mois de mai à septembre. Or, cette période correspond, en général, à la période d'étiage des cours d'eau et de décroissance des niveaux piézométriques des nappes (Hormis pour les cours d'eau caractérisés par un régime hydrologique glaciaire ou nival, c'est-à-dire dont les écoulements sont très importants en été du fait de la fonte des glaces, tels que certains cours d'eau de haute montagne).

La majorité des cours d'eau français connaissent en effet leur période de basses eaux en été, à la période de plus forts besoins en eau : stade de développement maximal des cultures, afflux de populations touristiques, comportements plus consommateurs (arrosage des jardins, piscines, douches plus fréquentes)...

La figure ci-dessous illustre cette situation sur le sous-bassin versant de la Têt entre Serdinya et Prades (Pyrénées-Orientales). Le bilan besoins/ressources a été établi par BRLi dans le cadre de l'étude de détermination des volumes prélevables : il met en parallèle les débits mensuels naturels reconstitués (débits qu'auraient le cours d'eau sans l'influence des prélèvements) et influencés en année quinquennale sèche avec les besoins des usages préleveurs (irrigation et AEP).

Figure 4 : Comparaison besoins/ressources en eau au cours de l'année sur le sous-bassin versant de la Têt entre Serdinya et Prades (66) (Source : BRLi)



La tension entre les besoins et les ressources en eau est donc accrue durant les mois d'été, et doit faire l'objet d'une attention particulière dans les plans de gestion quantitative de la ressource en eau.

Ainsi, malgré une situation nationale relativement favorable, des risques importants de pénurie d'eau existent de manière locale et saisonnière, conduisant chaque année les préfets à prendre des arrêtés de restriction d'usages dans un département sur deux en moyenne.

1.4 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 1

A l'échelle nationale, le secteur de **l'énergie** concentre la **majeure partie des prélèvements d'eau**.

En revanche, en termes de part du prélèvement non restituée au milieu naturel, c'est **l'irrigation** qui est responsable de la **majorité des consommations d'eau**. Toutefois, il est important de souligner que ces chiffres masquent des **niveaux de pression très variables, à préciser localement**. En effet, les très gros préleveurs sont concentrés sur quelques masses d'eau importantes (Rhône...).

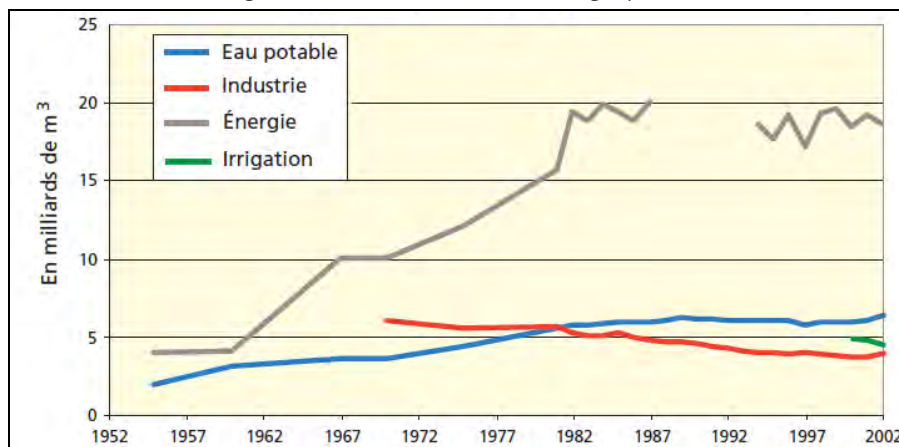
Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que les analyses à l'échelle annuelle masquent d'importants **risques saisonniers**. En particulier, la concomitance, pendant les mois d'été et parfois de début d'automne, des plus fortes demandes en eau (pic de développement des cultures, afflux de populations touristiques, comportements plus consommateurs avec l'arrosage des jardins, le remplissage des piscines, les douches plus fréquentes, etc.) avec la période d'étiage de la plupart des cours d'eau et de plus faibles niveaux piézométriques de beaucoup d'aquifères, fait régulièrement apparaître de vives tensions sur la ressource. Ainsi, malgré une situation nationale relativement favorable, **des risques importants de pénurie d'eau existent de manière locale et saisonnière**, conduisant chaque année les préfets à prendre des arrêtés de restriction d'usages dans un département sur deux en moyenne.

2. COMMENT POURRAIENT ÉVOLUER LES DEMANDES EN EAU À L'HORIZON 2030 ?

Depuis les années 1950, les volumes prélevés à destination des différents usages ont suivi des évolutions diverses, comme l'illustre la figure ci-dessous.

Figure 5 : Evolution des volumes d'eau prélevés par usage entre 1955 et 2002

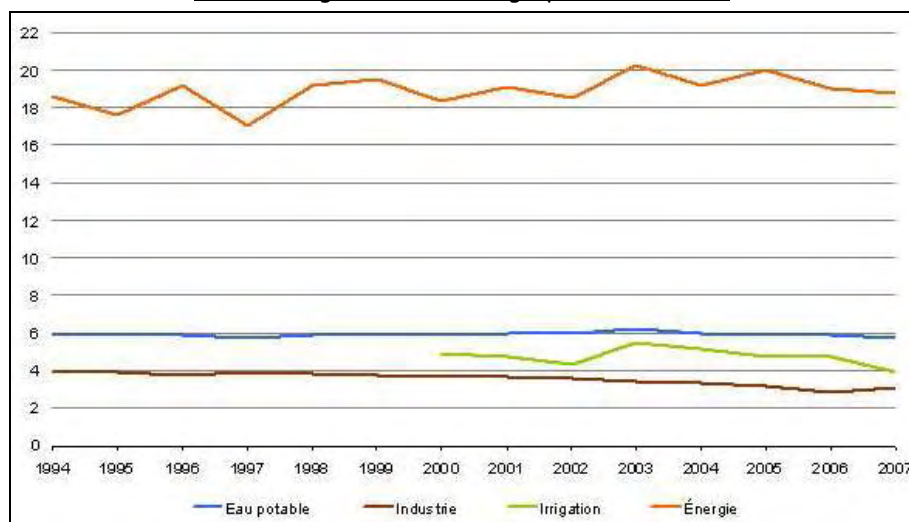
(Sources : Agences de l'eau, Medd, BRGM ; graphe IFEN 2005)



Ces dix dernières années, la tendance des prélèvements pour les quatre usages est plutôt à la baisse (Commissariat Général au Développement Durable, 2012), comme l'illustre la figure ci-dessous.

Figure 6 : Evolution des volumes d'eau prélevés par usage entre 1994 et 2007

(Source : Agences de l'Eau ; graphe SOeS 2010)



En ce qui concerne les **évolutions futures des prélèvements en eau**, un travail de prospective socio-économique et démographique a été effectué par le BIPE dans le cadre du projet Explore 2070 « Eau et changement climatique : quelles stratégies d'adaptation possibles ».

Des projections de prélèvements en eau par les différents acteurs économiques (les ménages et assimilés, l'énergie nucléaire, l'industrie et l'agriculture) ont été établies selon **deux scénarios tendanciels à stabilité climatique : un scénario de densification de l'habitat, et un scénario d'étalement de l'habitat** (BIPE, 2011). Les résultats finaux concernent l'horizon 2070, mais des résultats intermédiaires ayant été calculés selon un pas de temps de 10 ans, l'analyse des résultats est ici effectuée à l'horizon 2030-2040.

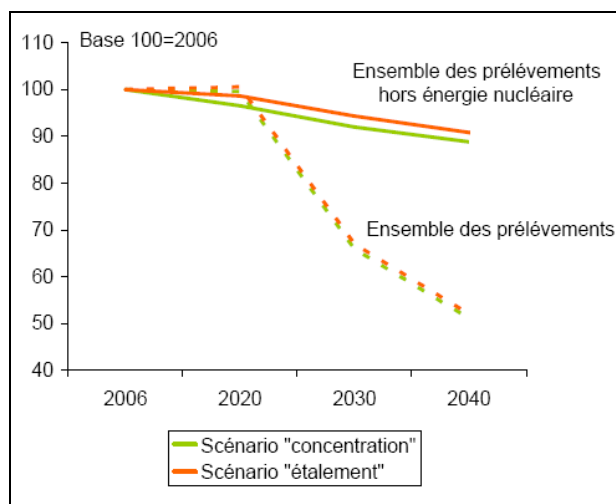
La figure ci-contre présente l'évolution prospective de l'ensemble des prélèvements d'eau à l'horizon 2040 selon les deux scénarios.

Selon cette prospective, les prélèvements (hors énergie) diminueront de l'ordre de 9% selon le scénario « étalement » et de 10% selon le scénario « concentration » à l'horizon 2040.

Le détail de ces évolutions prospectives par usage est présenté dans les parties suivantes.

Figure 7 : Evolution prospective des prélèvements (extrait à l'horizon 2040)

(Source : projet Explore 2070, BIPE, Meedtl, 2012)



2.1 LES DEMANDES EN EAU POTABLE POURRAIENT AUGMENTER MOINS VITE QUE LA POPULATION

$$\text{Prélèvements} = \text{Population} \times \text{Ratio de consommation} / \text{Rendements des réseaux}$$

2.1.1 Rétrospective : après une croissance continue des prélèvements, on assiste à une baisse récente des consommations individuelles

Le champ AEP englobe l'ensemble des prélèvements et des consommations réalisés par les collectivités locales pour **l'approvisionnement en eau potable des ménages et des activités de production assimilées domestiques** (APAD, aussi appelés « gros consommateurs »).

Ces activités assimilées correspondent aux commerces, activités tertiaires (immeubles de bureaux, services), et aux activités de production de type industriel (artisans : travail des métaux, mécanique,...) intégrées dans le tissu urbain. Les consommations de ces acteurs économiques représentent des quantités individuelles faibles, en dessous du seuil qui les ferait passer dans la catégorie « industries » (le seuil varie d'une Agence de l'eau à l'autre).

Les services AEP desservent en moyenne à hauteur de 80-85% les ménages et à hauteur de 15-20% des activités économiques présentes sur leur territoire.

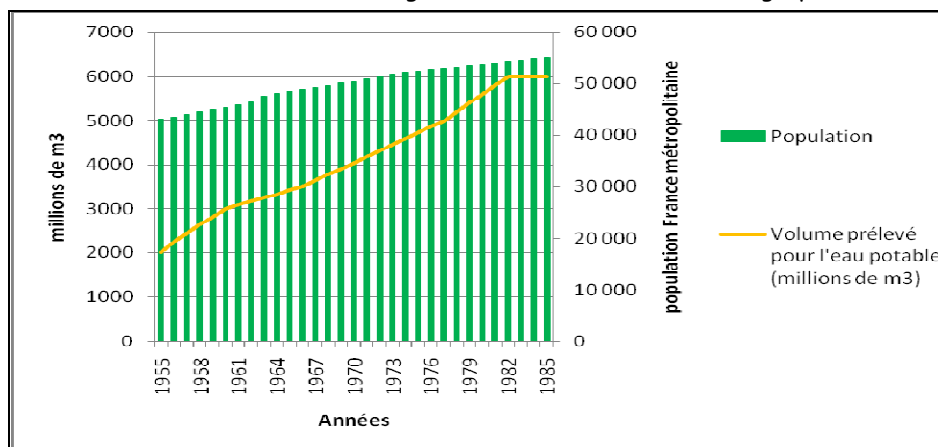
DE 1950 AUX ANNÉES 1980, UNE AUGMENTATION RÉGULIÈRE DES PRÉLÈVEMENTS

Les données disponibles concernant les volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable montrent **une augmentation régulière** des quantités d'eau mobilisées depuis les années 1950 jusqu'au milieu des années 1980, comme l'illustre la figure ci-dessous.

L'augmentation de la population et l'amélioration du confort des ménages avec la croissance économique expliquent cette tendance (IFEN, 2005).

Figure 8 : Evolution des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable entre 1955 et 1985

(Source des données INSEE, Agences de l'Eau, MEDD, BRGM : graphe BRLi)



DEPUIS LES ANNÉES 1980, UNE STABILISATION PUIS UNE RÉDUCTION DES PRÉLÈVEMENTS

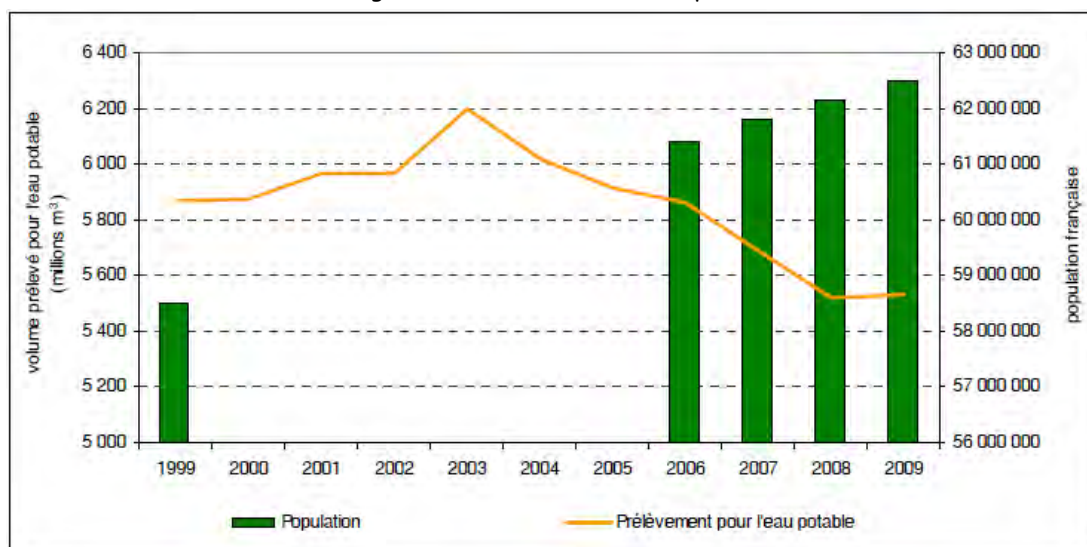
Entre 1985 et le milieu des années 2000, **les volumes d'eau prélevés à destination de l'eau potable sont restés relativement stables** (autour de 6 milliards de m³/an) (IFEN, 2005).

Cette stabilisation est intervenue sous l'effet conjugué d'une stabilisation de la consommation des maisons individuelles, d'une légère réduction de celles des habitations collectives et d'une diminution plus substantielle de celle des activités économiques et des services publics et collectifs raccordés au réseau (IFEN, 2005).

Depuis 2005, une nouvelle tendance est observable, à la baisse cette fois-ci : **les prélèvements pour la production d'eau potable ont baissé** de 6% entre 2005 et 2009, tandis que la population a continué d'augmenter de 7% entre 1999 et 2009. Les conditions climatiques peuvent toutefois avoir une influence, à l'image du pic de 2003, comme l'illustre la figure ci-dessous (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

Figure 9 : Prélèvements pour l'eau potable entre 1999 et 2009

(Sources : Agences de l'Eau, INSEE ; Graphe SOeS 2012)



Plusieurs hypothèses explicatives sont avancées concernant cette baisse des prélèvements :

- ▶ l'amélioration des rendements des réseaux ;
- ▶ la réduction des consommations d'eau des appareils électroménagers (lave-linge, lave-vaisselle, etc.) ;
- ▶ la hausse des prix de l'eau pouvant avoir un effet incitatif sur les consommations individuelles (notamment en termes d'arrosage des jardins, lavage des voitures, etc.), éventuellement conjuguée aux conséquences de la crise économique ;
- ▶ l'émergence de prises de consciences écologiques, sous l'impulsion des campagnes de sensibilisation aux économies d'eau ;
- ▶ le comptage, depuis une dizaine d'années, des utilisations municipales (stades, espaces verts municipaux, ronds-points, etc.).

Il est délicat de quantifier l'impact réel de chacun de ces facteurs sur les volumes d'eau prélevés et consommés, notamment du fait que l'impact varie selon les communes (Nauges C, Thomas A, 2000).

Cependant, plusieurs travaux de recherche ont été menés sur les facteurs explicatifs de la baisse des prélèvements pour l'eau potable et ont abouti aux conclusions suivantes.

Ainsi, l'avis du Conseil Economique, Social et Environnemental sur les usages domestiques de l'eau (Conseil Economique, Social et Environnemental, 2009) avance trois principaux facteurs. En premier lieu, cette baisse s'expliquerait par la **tertiarisation de l'économie**, autrement dit la désindustrialisation. La diminution des volumes d'eau prélevés pour l'industrie, du fait de la disparition ou de la délocalisation de beaucoup d'industries lourdes telles que la sidérurgie représenterait la partie la plus importante de la baisse des consommations. Par ailleurs, **l'optimisation des processus industriels**, dans l'industrie papetière et automobile notamment, y ont également contribué. Enfin, les **innovations technologiques** limitant la consommation d'eau dans les habitats (appareils électroménagers plus économes en eau, etc.) constituent le troisième facteur explicatif.

Trois autres facteurs sont également à prendre en compte : la hausse du **prix de l'eau**, dans une certaine mesure les **conditions météorologiques**, et les **campagnes de sensibilisation** des usagers à la rareté de la ressource.

Le prix de l'eau a fortement augmenté au début des années 1990, en raison de l'augmentation des coûts du service de l'eau, et notamment du traitement des eaux usées, du fait de la dégradation de la qualité des ressources en eau, et des charges croissantes du pompage dans des nappes phréatiques aux niveaux de plus en plus bas (Nauges C, Thomas A, 2000). Les études économétriques ont montré que la sensibilité des ménages au prix de l'eau était réelle mais relativement faible : elle est généralement comprise entre -0,3 et -0,6 dans les pays industrialisés (Nauges C, Whittington D). Les ménages réagissent légèrement à la hausse du prix de l'eau en diminuant leur consommation. Mais les études ont montré que la sensibilité sur le court-terme est modérée : la réaction intervient plutôt après quelques années d'augmentation de prix. En effet, la majeure partie de l'eau potable est utilisée via des appareils ou des équipements, qui ne sont pas renouvelés chaque année, mais qui peuvent être remplacés par des appareils moins consommateurs d'eau au bout de quelques années (Nauges C, Thomas A, 2000). Il a toutefois été montré que la hausse du prix de l'eau peut avoir des effets considérables sur les consommations domestiques, notamment pour l'arrosage des jardins (jusqu'à - 30% dans les régions du sud de la France).

D'autre part, la pluviométrie peut affecter la consommation de deux manières opposées : en année sèche, les consommations risquent d'augmenter pour l'arrosage des jardins et des pelouses. Mais en cas de sécheresse trop importante, des arrêtés préfectoraux imposant des restrictions peuvent être pris, et conduiront à une réduction des consommations, notamment pour les usages non essentiels (arrosage des pelouses, remplissage des piscines, lavage des voitures, etc.) (Nauges C, Thomas A, 2000).

Enfin, les recherches ont montré que les campagnes de sensibilisation des usagers à la rareté de la ressource peuvent influencer la consommation d'eau des ménages à certaines périodes. Ainsi, les nombreux épisodes de sécheresse des années 1990 ont été très médiatisés, et des efforts pour éviter le gaspillage de l'eau ont été observés dans les mois suivants. De même, les discussions des pouvoirs publics concernant les lois sur l'eau semblent avoir eu un effet sur les comportements de consommation des ménages. Contrairement aux facteurs prix de l'eau et pluviométrie, qui sont différents selon les zones géographiques, ces campagnes de sensibilisation peuvent toucher l'ensemble du territoire (Nauges C, Thomas A, 2000).

Il est intéressant de noter que **la baisse des volumes consommés ne se traduit pas par des diminutions du prix de l'eau**, notamment du fait que cette baisse n'impacte pas la part fixe de la facture d'eau, part majoritaire puisque les charges des opérateurs des services d'eau présentent plus de 80% de frais fixes (Conseil Economique, Social et Environnemental, 2009).

Par ailleurs, la baisse de la consommation d'eau peut générer des **problèmes d'hygiène** du fait d'une plus grande stagnation de l'eau dans les réseaux (Conseil Economique, Social et Environnemental, 2009).

ZOOMS À L'ÉCHELLE DÉPARTEMENTALE

Les deux graphiques ci-dessous illustrent les évolutions des prélèvements à l'échelle de deux départements exemples : les Pyrénées-Orientales (66) et la Gironde (33).

Figure 10 : Croissances comparées de la population et des prélèvements en eau de la Gironde entre 1975 et 2005 (Source : INSEE, BRGM, rapport annuel gestion des nappes 2008)

Le cas du département de la Gironde permet d'illustrer la croissance importante des prélèvements jusqu'aux années 1990. On observe que les prélèvements en eau ont progressé plus vite que la population, notamment sur la période 1975-1990. (NB : Ce graphique représente l'ensemble des prélèvements pour le département de la Gironde, toutefois les prélèvements à destination de l'eau potable représentant 80% des prélèvements de ce département, l'analyse reste valable.)

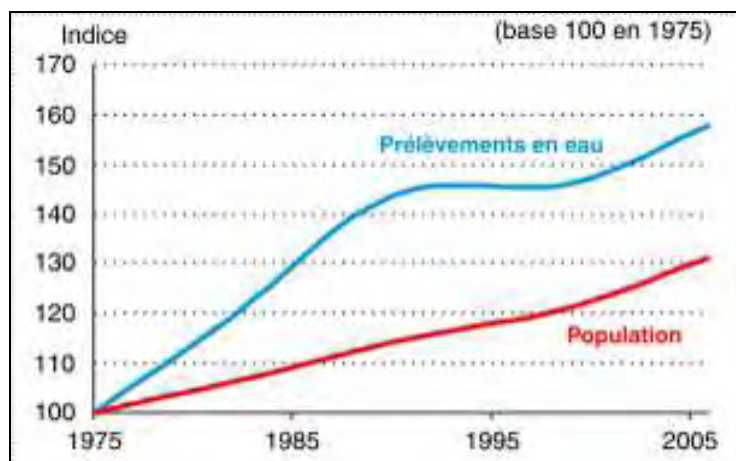
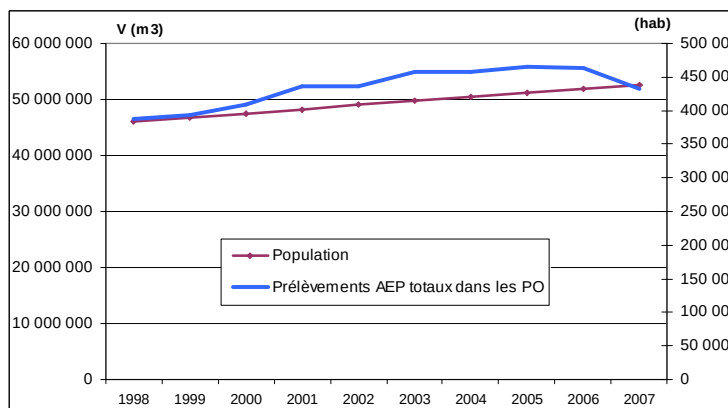


Figure 11 : Evolution des prélèvements pour l'eau potable entre 1998 et 2007 dans les Pyrénées-Orientales (Source : BRLi, projet Vulcain)

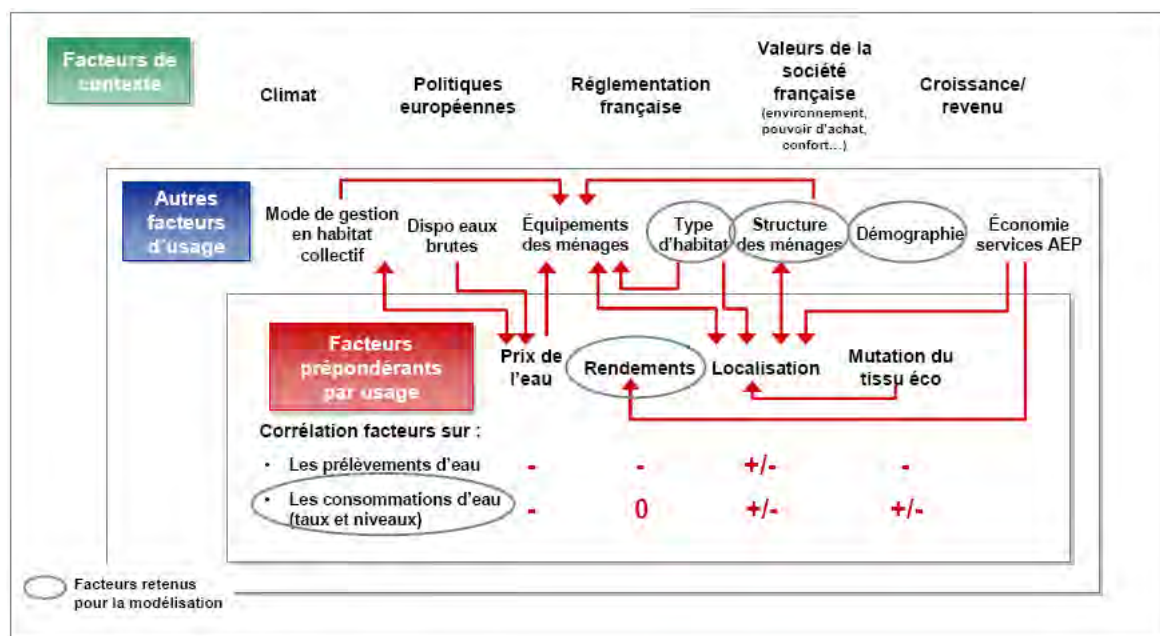
Le cas des Pyrénées-Orientales est représentatif des évolutions présentées précédemment à l'échelle nationale : stabilité ou légère augmentation des prélèvements entre 1998 et 2003, pic en 2003, amorçage d'une réduction à partir de 2006, en parallèle d'un accroissement démographique régulier.



2.1.2 Les questions structurantes pour la demande 2030

Il existe un certain nombre de **facteurs qui peuvent influencer la demande en eau potable** (démographie, type d'habitat, prix de l'eau, climat, etc.). La figure du « sous-système AEP » élaborée par le BIPE dans le cadre de la prospective Explore 2070 présente les relations entre ces facteurs et leur corrélation avec les niveaux de prélèvement et de consommation d'eau pour l'AEP.

Figure 12 : Facteurs et variables du sous-système AEP (Source : BIPE 2011 d'après AESN 2005)



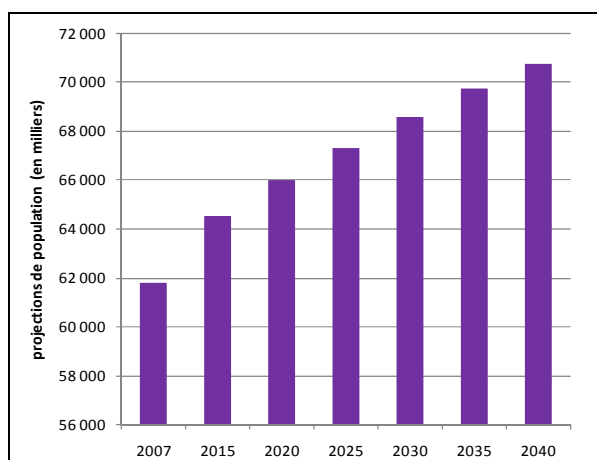
Certains facteurs constituent des **facteurs-clés** de par leur importance, leur niveau d'élasticité avec la consommation d'eau, et leur caractère quantifiable à long terme. Ces facteurs-clés sont :

- ▶ La démographie : 80-85% de l'eau potable sont destinés aux besoins de la population ;
- ▶ La structure des ménages : il n'y a pas de proportionnalité entre la taille des ménages et la consommation d'eau ;
- ▶ Le type d'habitat : les consommations d'eau sont plus élevées en habitat individuel ;
- ▶ Les niveaux de consommation par habitant : on observe qu'ils diminuent graduellement ;
- ▶ Les taux de consommation d'eau en proportion des quantités distribuées (et par différence la part restituée aux milieux) ;
- ▶ Le rendement des réseaux : il conditionne les niveaux de prélèvement.

La modélisation des besoins futurs en eau pour l'AEP, établie par le BIPE dans le cadre d'Explore 2070, a porté uniquement sur ces facteurs-clés, détaillés dans les paragraphes suivants.

LA POPULATION FRANÇAISE POURRAIT ATTEINDRE PLUS DE 68 MILLIONS D'HABITANTS EN 2030

Figure 13 : Projections d'évolution de la population en France métropolitaine d'ici à 2040 (Source : INSEE
scénario central² de projection ; graphe BRLi)



Selon les projections démographiques de l'INSEE, **la population en France métropolitaine atteindra 68,5 millions d'habitants en 2030** et près de 71 millions en 2040, soit un accroissement démographique de 10% et 15% respectivement par rapport à 2007, comme l'indique le graphe ci-contre. La population des régions d'outre-mer passera de 1,3 millions en 2007 à près de 2 millions en 2040 (INSEE, Léon O., pôle Emploi-Population, 2010).

Cet accroissement démographique influencera à la hausse la demande en eau potable.

Au niveau régional, en métropole, **les régions méridionales, celles de la façade atlantique et Rhône-Alpes, devraient connaître une croissance démographique soutenue d'ici 2040**, comprise entre 22% et 28% par rapport à 2007. Les écarts entre les différentes régions à croissance démographique élevée devraient être moins marqués qu'actuellement, comme l'illustrent les cartes de la figure ci-dessous. En effet, les rythmes d'accroissement démographique des régions de l'Ouest devraient rattraper ceux des régions du Sud. En particulier, le Languedoc-Roussillon ne conservera pas son rythme d'accroissement démographique deux fois plus rapide que celui des autres régions en forte croissance. En PACA et en Corse, la population s'accroîtrait désormais à un rythme proche de la moyenne nationale (INSEE, Léon O., pôle Emploi-Population, 2010).

Deux groupes de régions devraient connaître des accroissements de population compris entre 8% et 10% entre 2007 et 2040 : les régions rurales du centre de la France (Auvergne, Limousin) d'une part, qui sont redevenues, comme la plupart des espaces ruraux, largement attractives durant la dernière décennie, et l'Île-de-France, l'Alsace et la Franche-Comté d'autre part, dont la croissance démographique devrait fléchir, un phénomène amorcé en Île-de-France depuis les années 1980.

Quant aux régions du Nord et de l'Est telles le Nord - Pas-de-Calais, la Bourgogne, la Lorraine et la Champagne-Ardenne, le dynamisme démographique y sera moindre qu'ailleurs, se situant dans le prolongement des tendances passées. Selon le scénario central, la population progresserait dans toutes ces régions, à l'exception de Champagne-Ardenne, même si, après 2030, une phase de décroissance pourrait s'amorcer en Nord - Pas-de-Calais et en Lorraine.

Les projections confirmeraient donc les tendances récentes à la polarisation vers les régions de l'Ouest et du Sud, mais à un rythme désormais aussi important pour les premières que pour les secondes.

Dans les régions d'outre-mer, la croissance démographique devrait être très forte en Guyane et à la Réunion, et modérée en Guadeloupe et à la Martinique.

² Scénario central : scénario tendanciel prenant les hypothèses suivantes : fécondité 1,9 enfant par femme (maintien au niveau actuel), solde migratoire +100 000 personnes/an (maintien au niveau actuel), espérance de vie à la naissance chez les femmes de 89 ans en 2050 (en hausse). (Source : INSEE)

Figure 14 : Projections d'évolutions démographiques régionales entre 2007 et 2040 (milliers)

(Source : INSEE scénario central de projection ; graphe BRLi)

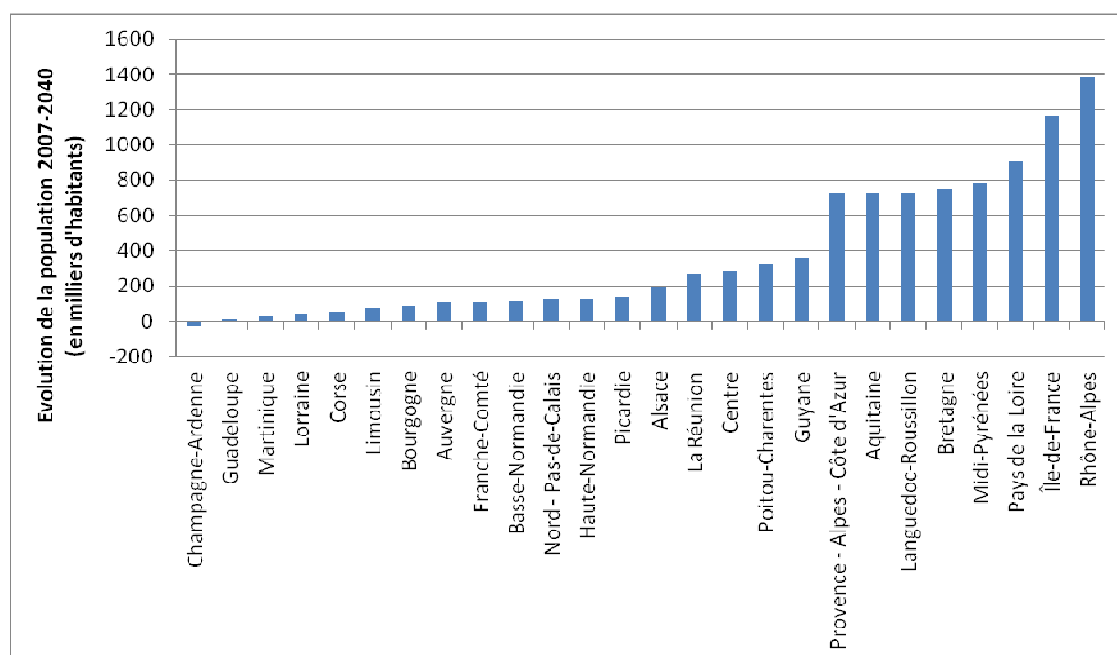
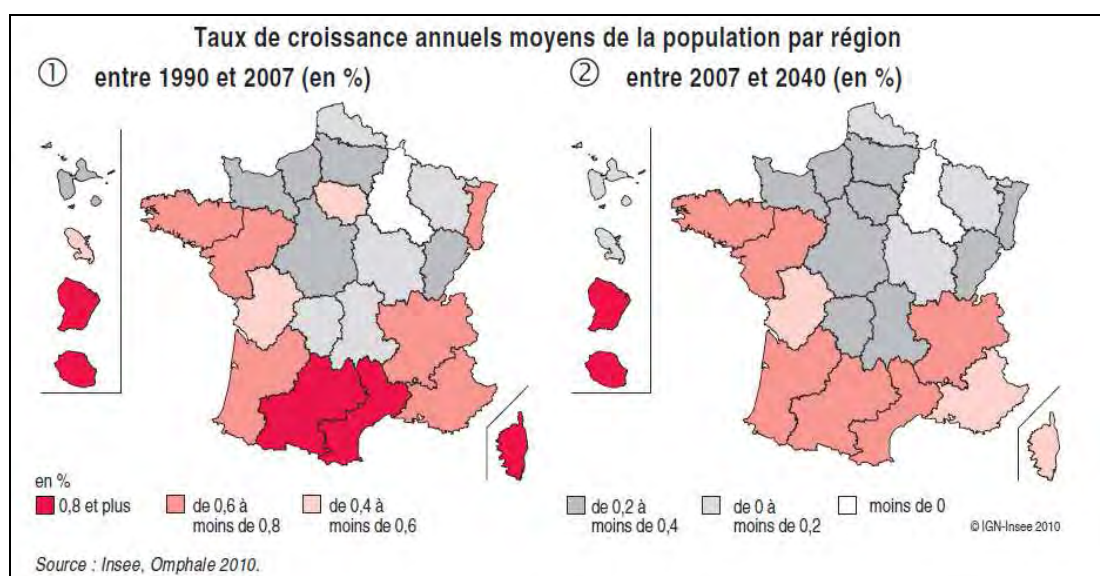


Figure 15 : Taux de croissance annuels moyens régionaux sur les périodes 1990-2007 et 2007-2040

(Source : INSEE, Omphale 2010)



Dans toutes les régions métropolitaines, le solde naturel contribuera moins à la croissance démographique qu'au cours des 30 dernières années, notamment du fait du vieillissement de la population. **D'avantage que le solde naturel, ce sont en effet les migrations entre régions qui deviendront le principal moteur de la croissance démographique.** En 2040, treize régions au lieu de deux actuellement ne devraient plus leur croissance qu'à leur solde migratoire, tandis que le nombre de régions dont la croissance n'est portée que par le solde naturel passerait de neuf actuellement à cinq (INSEE, Léon O., pôle Emploi-Population, 2010).

Les prélèvements d'eau potable évolueront à la hausse sous l'effet de la croissance de la population, mais cette progression sera contrebalancée par d'autres facteurs.

LES CONSOMMATIONS D'EAU PAR LES MÉNAGES DEVRAIENT CONTINUER DE DÉCROÎTRE À UN RYTHME DIFFÉRENCIÉ SELON LE TYPE D'HABITAT

Les consommations d'eau par les ménages sont influencées par :

- Les types d'habitats ;
- Les structures des ménages ;
- Les consommations individuelles.

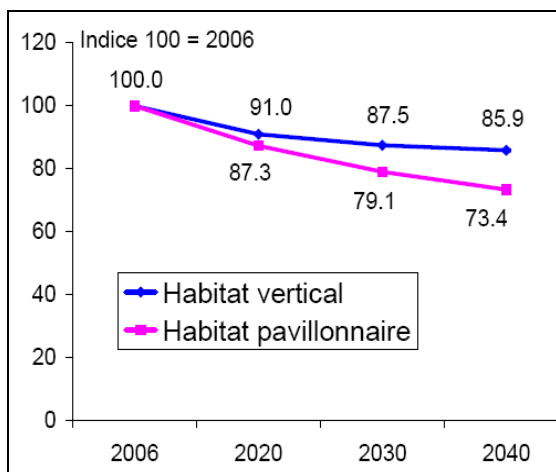
Influence du type d'habitat et des consommations individuelles

Les consommations d'eau sont plus élevées en habitat pavillonnaire qu'en habitat collectif (« vertical »), d'un facteur compris entre 1 et 1,5 (BIPE, 2011).

Dans les décennies à venir, les consommations d'eau par les ménages devraient continuer de décroître à un rythme différencié selon le type d'habitat. La réduction estimée sera de 0.4%/an en habitat vertical en moyenne et de 0.8%/an en habitat individuel sur la période 2006-2070, avec un ralentissement progressif de la décroissance à partir 2020, comme l'indique la figure ci-contre.

En habitat pavillonnaire, où les consommations d'eau actuelles sont les plus importantes, les réductions seront également les plus fortes. En effet les économies potentielles sont plus importantes en habitat pavillonnaire avec l'amélioration des comportements en matière d'utilisation de l'eau (arrosage jardin, nettoyage voitures, etc.), voire l'utilisation de ressources alternatives (eau de récupération, puits, etc.) pour l'approvisionnement en eau.

Figure 16 : Evolution prospective de la consommation d'eau par ménage à l'horizon 2030 selon le type d'habitat (Source : BIPE 2011)



Au-delà des comportements, influencés par les opérations de **sensibilisation aux économies d'eau**, la poursuite des **progrès technologiques** permettant la production d'appareils électroménagers moins gourmands en eau, et certaines **installations innovantes** telles que la mise en place de double-réseaux (récupération des eaux grises) dans les habitations, contribueront à réduire les consommations individuelles en eau potable.

Au total, à l'horizon 2030, sur une base de référence 100 pour l'année 2006, les consommations d'eau par ménage seront de 87,5 pour l'habitat vertical et de 79,1 pour l'habitat pavillonnaire, soit une réduction de consommation en eau de 12,5% dans le premier cas et de 21% dans le deuxième cas sur la période.

Influence de la structure des ménages

Dans la modélisation des besoins futurs en eau pour l'AEP, établie par le BIPE dans le cadre d'Explore 2070, les ménages ont été regroupés en 5 types différents selon leur composition. A chaque type de ménage, correspond un niveau moyen de consommation spécifique, déterminé grâce à une enquête réalisée par le BIPE auprès d'un panel de ménages en 2008. Le tableau ci-dessous présente ces niveaux de consommation spécifiques.

Tableau 2 : Consommations spécifiques selon la structure des ménages en 2008 (Source : BIPE)

m ³ /an par ménage	Habitat vertical	Habitat individuel
Ménages « solos »	55	55
Couples sans enfants	95	146
Ménages monoparentaux	119	145
Ménages « complexes » (colocations, ménages multi-générationnels etc.)	115	135
Couples avec enfants	168	214

A ces consommations spécifiques sont ensuite appliquées les évolutions attendues des consommations selon le type d'habitat, ainsi que la répartition attendue des structures de ménages par bassin hydrographique.

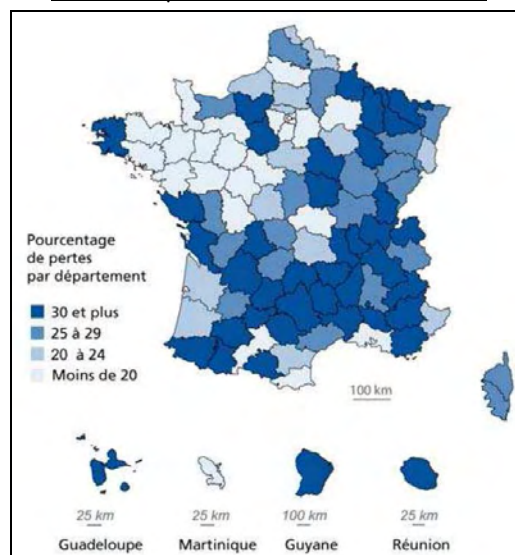
L'AMÉLIORATION DU RENDEMENT DES RÉSEAUX CONSTITUE UN IMPORTANT POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'EAU MAIS TRÈS ONÉREUX

Par ailleurs, d'après les prospectives, **les besoins de prélèvement vont également être réduits grâce à l'amélioration des rendements des réseaux.**

Les niveaux actuels de rendement des réseaux sont variables selon les départements, comme l'indique la carte ci-contre.

Plus un niveau de rendement est faible et plus sa progression à long terme sera élevée puisqu'il dispose d'un plus grand potentiel d'amélioration. Il faut également prendre en compte des seuils de rendement maximum qui ne peuvent être dépassés car ils sont trop chers à atteindre : 80% en milieu rural et 90% en milieu urbain (limites généralement admises, variables selon les contextes).

Figure 17 : Pourcentage des volumes perdus dans les réseaux AEP par département (Source : IFEN-Scees, Enquête eau 2004 ; carte BIPE)

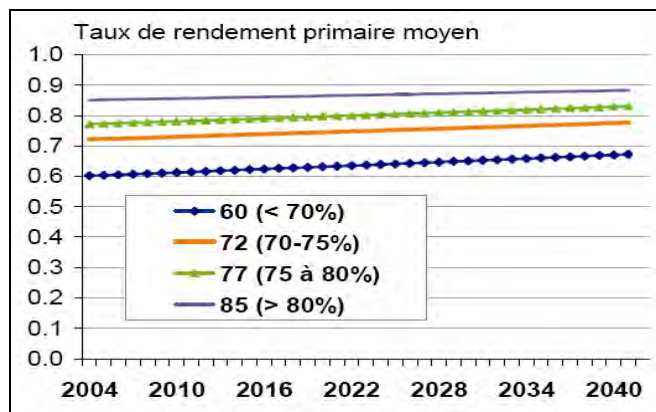


Le rendement des réseaux est probablement le domaine dans lequel le potentiel d'économie de prélèvement d'eau pour la production et la distribution d'eau potable est le plus important. Cependant, l'analyse de ce facteur est complexe. En effet, les efforts et les résultats en matière d'amélioration des réseaux dépendent de nombreux autres facteurs, qui obligent le plus souvent à effectuer des approches au niveau local : prix de l'eau (on sera d'autant moins enclin à tolérer un niveau de perte élevé que l'eau aura coûté cher à produire), modèle de récupération des coûts et d'amortissement des investissements, organisation du service des eaux (un syndicat de grande taille sera mieux armé pour faire face à ce problème), disponibilité de l'eau (le rendement peut être inversement proportionnel à la disponibilité en eau), état initial du réseau (longueur, âge, etc.), rapport coût/efficacité des mesures qui pourraient être mises en place etc. (BIPE, 2011).

Deux principaux facteurs vont inciter les collectivités locales à améliorer les rendements de leurs réseaux de distribution d'eau : les variations climatiques, notamment les périodes de sécheresse qui font prendre conscience de la rareté de l'eau, et **la réglementation** qui se renforce sur le sujet précis des rendements des réseaux. L'article 161 de la loi de Grenelle II devrait à terme imposer aux communes de réparer les fuites du réseau d'eau potable à partir d'un certain seuil, sous peine de doublement du taux de redevance à l'Agence de l'eau.

La figure ci-dessous montre les améliorations de rendements prospectives établies dans le cadre du projet Explore 2070 (BIPE, 2011) :

Figure 18 : Evolution prospective des taux de rendement des réseaux primaires AEP à l'horizon 2040 selon les performances initiales (Source : BIPE 2011)



Les progressions des rendements des réseaux AEP sont données selon leur niveau de performance initiale :

- Pour les réseaux dont le rendement en 2004 était <70% : progression annuelle du taux de rendement de +0,3% par an ;
- Pour les réseaux dont le rendement en 2004 était compris entre 70% et 80% : progression annuelle de rendement de +0,2% par an ;
- Pour les réseaux dont le rendement en 2004 était >80% : progression annuelle de rendement de +0,1% par an.

Il est à noter que l'amélioration des rendements des réseaux nécessite des investissements **extrêmement coûteux**, à étaler sur plusieurs décennies. Ainsi, en Languedoc-Roussillon, la prospective Aqua 2020 (BRLi, 2006) avait estimé que l'atteinte des objectifs de rendement des réseaux nécessiterait environ 600 millions d'euros d'investissements à l'échelle de toute la Région.

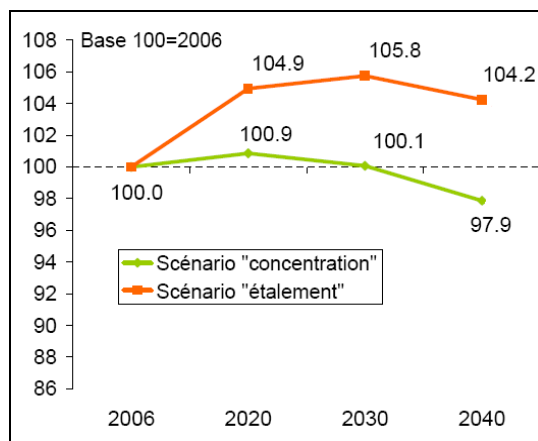
Cela soulève donc la question des financements nécessaires pour l'atteinte de tels objectifs.

2.1.3 Les demandes en eau potable possibles en 2030

A L'ÉCHELLE NATIONALE

Cette partie présente les résultats de la modélisation des besoins futurs en eau pour l'AEP, établie par le BIPE dans le cadre du projet Explore 2070, par combinaison des hypothèses en termes de consommations des ménages et d'amélioration des réseaux, avec les évolutions démographiques et les deux variantes d'implantation de l'habitat.

Figure 19 : Evolution prospective des prélèvements pour l'eau potable (extrait à l'horizon 2040) (Source : BIPE 2011)



On observe qu'à l'horizon 2030, les prélèvements en eau potable devraient être similaires aux niveaux actuels, voire légèrement supérieurs, selon les scénarios.

Il est à noter que l'horizon 2030 constitue visiblement un cap, au-delà duquel les prélèvements diminueront régulièrement pendant les décennies suivantes.

La baisse des prélèvements d'eau potable sera, à terme, plus rapide dans le scénario « concentration ». **Dans le cadre de ce scénario, les prélèvements devraient quasiment stagner jusqu'en 2030, puis baisser rapidement par la suite. Dans le scénario « étalement », les prélèvements augmentent jusqu'en 2030, pour revenir aux niveaux de 2006 vers 2050 et passer en dessous après cette date.**

Ces résultats s'expliquent par un **rythme de croissance du nombre de ménages plus rapide entre 2006 et 2030** qu'au cours de la période 2030-2070, et par la répartition entre habitat collectif et individuel qui diffère selon les deux scénarios. En effet, **l'évolution des prélèvements diffère selon le type d'habitat**, sous l'effet de deux facteurs :

- ▶ Les consommations d'eau sont plus élevées en habitat individuel qu'en habitat collectif (d'un facteur compris entre 1 et 1.5, qui s'explique par l'arrosage de jardins, le remplissage de piscines, le lavage de voiture, etc. en habitat individuel) ;
- ▶ A long terme, les consommations d'eau par les ménages devraient décroître plus rapidement en habitat individuel, majoritaire dans le scénario « étalement ». En effet, les marges de manœuvre sont plus grandes là où les consommations d'eau sont les plus importantes. Les économies d'eau seront donc plus fortes en habitat pavillonnaire, du fait de l'amélioration des comportements en matière d'utilisation de l'eau (arrosage jardin, nettoyage voitures, etc.) voire l'utilisation de ressources alternatives (eau de récupération, puits, etc.) pour l'approvisionnement en eau.

Par ailleurs, **l'évolution des prélèvements diffèrera selon les bassins versants**. La progression des prélèvements d'eau potable concernera essentiellement les bassins versants situés sur les façades atlantiques et méditerranéenne, en conformité avec les projections démographiques (BIPE, 2011).

A L'ÉCHELLE DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE OU DU DÉPARTEMENT

Exemple du bassin Seine-Normandie

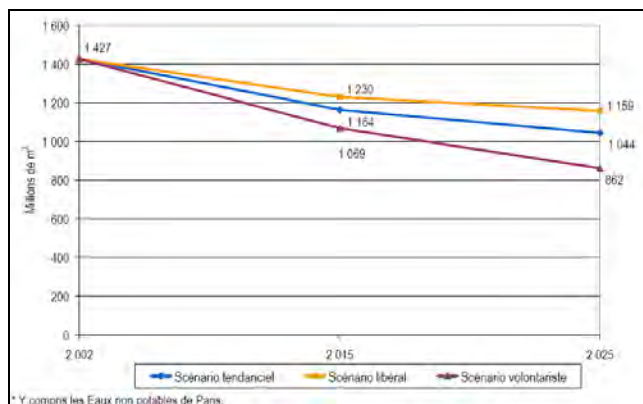
Une étude (Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005) conduite en 2005 à l'échelle du bassin hydrographique Seine-Normandie a élaboré trois scénarios d'évolution des prélèvements et des consommations à l'horizon 2025 :

- ▶ **Un scénario libéral** : « libéralisme et confiance dans le marché » ;
- ▶ **Un scénario volontariste** : « lutte contre l'effet de serre et politique soucieuse de l'environnement » ;
- ▶ **Un scénario tendanciel**.

Les facteurs suivants d'influence de la demande en eau potable ont été pris en compte : prix de l'eau, rendements des réseaux, démographie, taux d'équipement des ménages, type d'habitat, PIB/habitant, consommations individuelles (domestiques et APAD³). La figure suivante montre les évolutions des prélèvements à destination de l'AEP selon ces trois scénarios.

³ APAD (Activités de Production Assimilées Domestiques) : il s'agit des « gros consommateurs » d'eau potable (commerces, bureaux, artisans, etc.) intégrés dans le tissu urbain

Figure 20 : Evolution des prélèvements AEP en eaux de surface et nappes alluviales entre 2002 et 2025 sur le bassin Seine-Normandie selon les différents scénarios (Source : BIPE-GERPA-Hydratec 2002)



Les trois scénarios tablent sur une baisse des prélèvements à destination de l'AEP à l'horizon 2025 sur le bassin Seine-Normandie.

Dans le cadre du scénario tendanciel, les prélèvements sont orientés vers une baisse régulière sur la période.

Le scénario libéral se démarque du scénario tendanciel, principalement au travers de deux facteurs : l'évolution démographique qui est plus vigoureuse que celle du scénario tendanciel et l'amélioration des taux de rendement qui est comparativement plus lente. La combinaison de ces deux facteurs aboutit, certes à un recul des prélèvements, mais nettement moins prononcé que dans le cadre du scénario tendanciel.

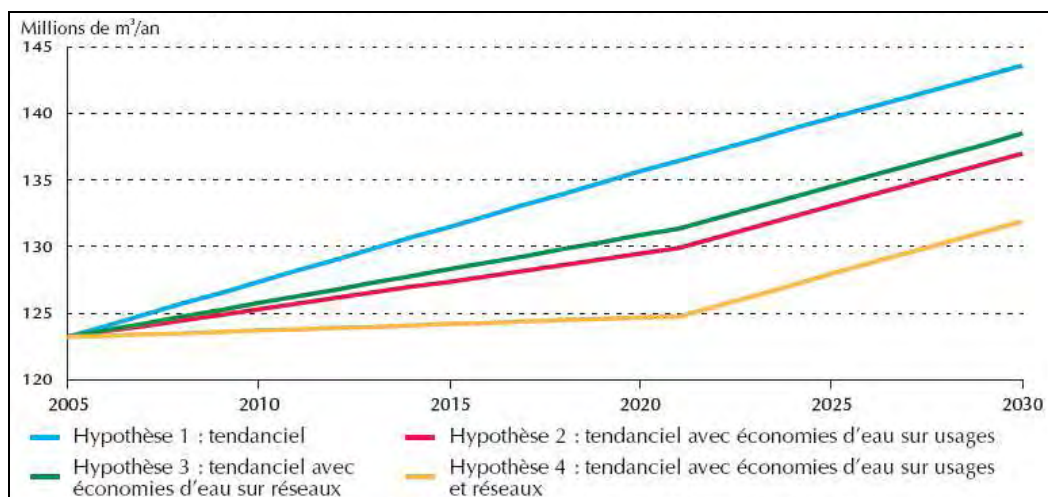
Dans le cadre du scénario volontariste, l'augmentation des taux de rendement est plus rapide que dans le scénario tendanciel, tandis que les activités de production assimilées domestiques (APAD) sont en recul dans le tissu urbain. La combinaison de ces deux facteurs se traduit par un recul très sensible des niveaux de prélèvements de la part des services AEP, ce qui suppose un effort environnemental très volontariste de la part des consommateurs (Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005).

Exemple du département de la Gironde

Une étude (Smegreg, 2010) réalisée par le Smegreg (Syndicat Mixte d'Etudes pour la Gestion de la Ressource en Eau du département de la Gironde) a établi une évaluation des besoins futurs pour l'AEP. Cette évaluation repose sur le nombre d'habitants futurs et leurs besoins unitaires, rapporté au rendement du réseau, en combinaison avec d'autres facteurs (politique d'économie d'eau, substitutions, prélèvements agricoles, industriels, climatologie, débit moyen de sources).

La figure ci-dessous présente les évolutions prospectives des prélèvements pour l'AEP du département selon quatre scénarios (INSEE Aquitaine, BRGM, Smegreg, 2011).

Figure 21 : Evolution des prélèvements AEP de la Gironde entre 2005 et 2030 selon différentes hypothèses (Source : Smegreg ; graphe INSEE)



Contrairement au bassin Seine-Normandie, on observe que **pour le département de la Gironde, les scénarios prospectifs prévoient une hausse des prélèvements pour l'AEP à l'horizon 2030**. En effet ces scénarios estiment que l'augmentation de population attendue dans le département (+300 000 personnes d'ici 2030, jusqu'à atteindre 1 700 000 habitants, soit une hausse de 21 % par rapport à 2006) sera le principal moteur d'évolution des prélèvements pour l'AEP.

2.2 LES DEMANDES EN EAU AGRICOLE TRADUIRONT LES POLITIQUES AGRICOLES ET ENVIRONNEMENTALES

$$\text{Prélèvements} = \text{Surfaces irriguées} \times \text{Ratio surfacique de consommation} / \text{Rendements des réseaux}$$

2.2.1 Rétrospective : des irrigations aux histoires très diverses

2.2.1.1 Distinction entre des irrigations multiséculaires et des irrigations très récentes

Il existe deux grandes zones d'irrigation en France : le Sud-est et le Grand Sud-ouest de la France.

Au-delà du zonage géographique, il est primordial de distinguer plusieurs grands ensembles de systèmes d'irrigation, qui diffèrent par leur histoire, la nature des cultures qu'ils irriguent, et les modes d'irrigation qu'ils utilisent. En simplifiant, on peut distinguer :

- **Les réseaux d'irrigation séculaires ou multiséculaires** tels qu'on on trouve dans les Alpes, les Pyrénées (exemple des canaux de la plaine du Roussillon, qui ont pour beaucoup plusieurs centaines d'années), en Provence, ... Liés à des systèmes d'agriculture très anciens, qui combinaient parfois également la maîtrise de la force hydraulique (moulins), ces réseaux de canaux gravitaires irriguent principalement des cultures maraîchères et fruitières, ou de la prairie (cas des réseaux de la Crau avec l'irrigation visant la production de foin AOC).



Figure 22 : L'aqueduc romain du canal d'Ansignan (Pyrénées-Orientales), un exemple de système d'irrigation gravitaire historique (Photo : BRLi)

- **Les systèmes d'irrigation développés après la Seconde Guerre mondiale** et pendant les trente glorieuses avec de grands aménagements hydrauliques : systèmes liés à la Durance (Canal de Provence), au Rhône (Canal Philippe Lamour), à la Neste (Coteaux de Gascogne).

Figure 23 : La construction du canal Philippe Lamour, qui a permis l'irrigation du Languedoc Roussillon avec l'eau du Rhône à partir de 1960
(Photo : Pervenchon, groupe BRL)



- **Les systèmes d'irrigation individuelle**, qui ont connu un développement très important avec certaines cultures, en particulier le maïs irrigué. Dans les zones de l'Ouest et du Sud-ouest de la France (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes), la culture du maïs irrigué (par aspersion) s'est étendue de manière spectaculaire dans les années 1980 et 1990 : les surfaces irriguées y ont triplé en dix ans (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006). Cette extension s'est faite dans des régions sans tradition d'irrigation, c'est-à-dire selon une logique d'augmentation du rendement, lié au départ à des politiques de soutien des prix.



Figure 24 : Irrigation de céréales par aspersion (Photo : BRL)

Les figures ci-dessous illustrent **l'évolution de l'irrigation en France depuis 1950**, avec entre autres, l'important développement de l'irrigation dans l'Ouest et le Sud-ouest de la France depuis les années 1980.

Figure 25 : Evolution de l'irrigation en France depuis 1955 (Source : Association Générale des Producteurs de Maïs 2006 ; graphe ESCo « Sécheresse et agriculture » INRA 2006)

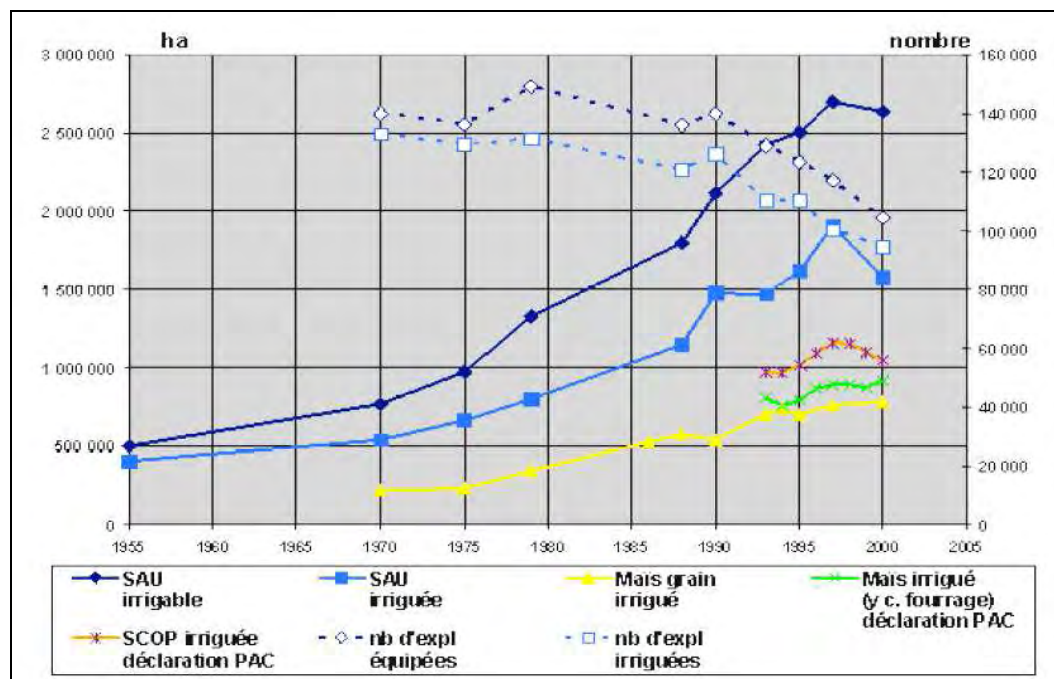
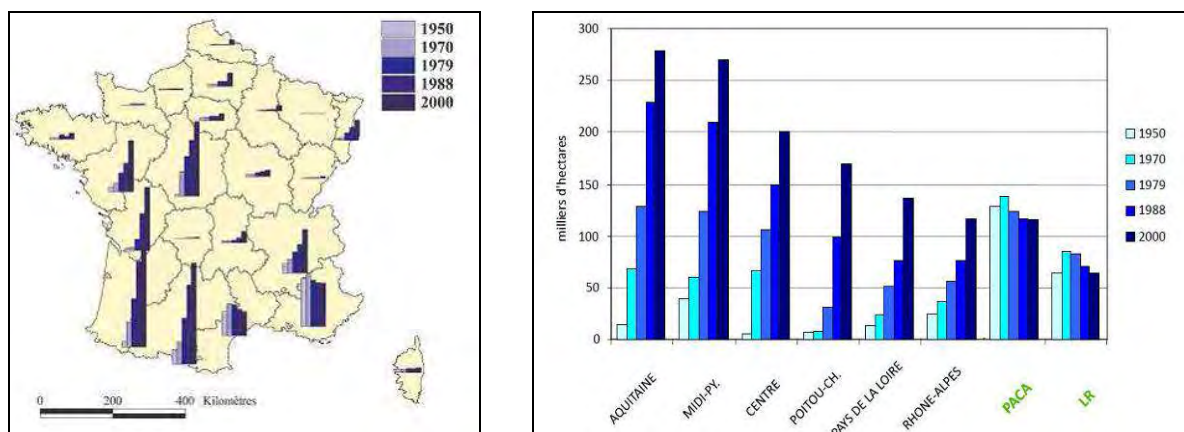


Figure 26 : Evolution des surfaces irriguées par région depuis 1950 (Source : RGA, graphe Chambre d'agriculture LR)



Comme l'illustrent les deux figures ci-dessus, dans les régions de l'Ouest et du Sud-ouest, qui ont aujourd'hui surfaces irriguées les plus importantes de France, les niveaux d'irrigation avant 1950 étaient traditionnellement nettement inférieurs à ceux des régions d'irrigation ancienne du Sud-est.

Sur la période 1988-2000, la moitié de l'accroissement de la surface irriguée totale en France est associée au développement du maïs irrigué (plus de 36% de progression sur la période) (Buisson G, 2005).

Plusieurs facteurs expliqueraient le fort développement du maïs irrigué dans le bassin de l'Adour (Barbut, L., Poux, X, 2000) :

- les facteurs pédoclimatiques : les risques de sécheresse sont élevés, et les sols sableux filtrants ont une faible capacité de rétention de l'eau, rendant donc l'irrigation prometteuse ;
- la facilité d'accès à la ressource en eau : existence d'une nappe à faible profondeur et absence de relief rendant le pompage aisé ;
- l'évolution des systèmes de production : les cultures "sous contrat" (maïs semence et maïs doux) ont une rémunération avantageuse, rendant l'irrigation très attractive, l'intégration très forte entre les producteurs et les acteurs de la transformation se traduisant par de fortes exigences en matière de qualité et de régularité des rendements. Mentionnons également l'importance du capital immobilisé dans les exploitations agricoles, ainsi que du taux d'endettement, qui incite à la "sécurisation" du rendement ;
- les politiques publiques de développement agricole : le développement de l'irrigation est ainsi clairement affiché comme un choix stratégique dès le milieu des années 1980, pour conserver notamment les marchés de cultures "sous-contrats" et pousser à l'intensification de certaines cultures.

2.2.1.2 Quelle est aujourd'hui la part de l'irrigation dans l'agriculture française ?

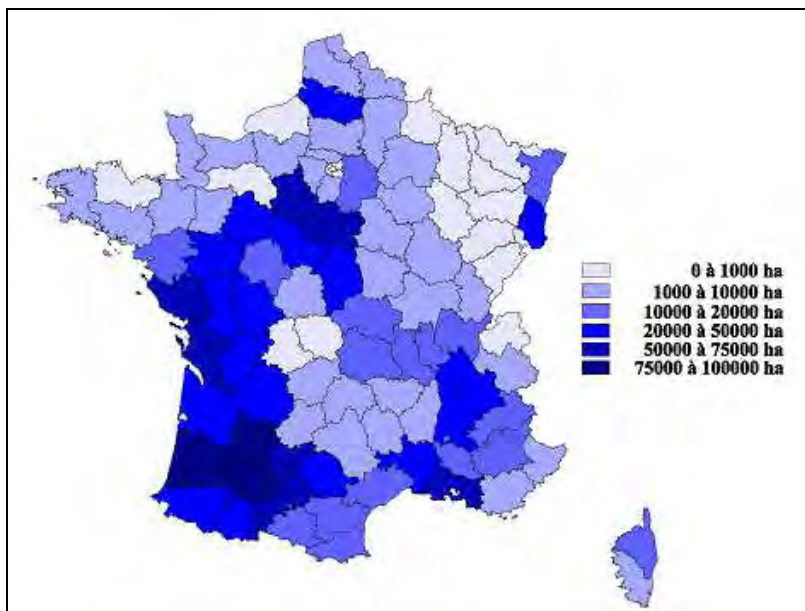
EN TERMES DE SURFACES

Les données disponibles pour l'analyse de l'irrigation datent malheureusement de 2000 : ce sont celles du dernier Recensement Général Agricole (RGA) disponible. Les données du RGA 2010 étaient en cours d'analyse et de publication au moment de la rédaction du présent rapport, mais celles concernant l'irrigation n'étaient pas encore parues.

Figure 27 : Superficies irriguées par département en 2000

(Source : RGA 2000 ; graphe : Isiimm/Chambre d'Agriculture du Roussillon)

En 2000, les surfaces irriguées représentaient 1,6 millions d'hectares, soit 6% de la superficie agricole, majoritairement irriguées par aspersion. Les surfaces irrigables s'élevaient à environ 2,6 millions d'hectares.



Concernant la nature des cultures irriguées, **le maïs (grain et semence) représentait en 2000, avec 780 000 ha, la moitié des surfaces irriguées** en France, suivi de l'horticulture (maraîchage, arboriculture,...) (18%) et des oléagineux (10%) (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

Les deux-tiers des surfaces en maïs irrigué se trouvaient dans le Sud-ouest (régions Aquitaine, puis Midi-Pyrénées et Poitou-Charentes), tandis qu'environ 60% des vergers irrigués se situaient dans les régions PACA, Languedoc-Roussillon et Rhône-Alpes (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

Figure 28 : Répartition des cultures irriguées en surface en 2000
(Source : RGA 2000 ; graphe ESCo « Sécheresse et agriculture INRA 2006)

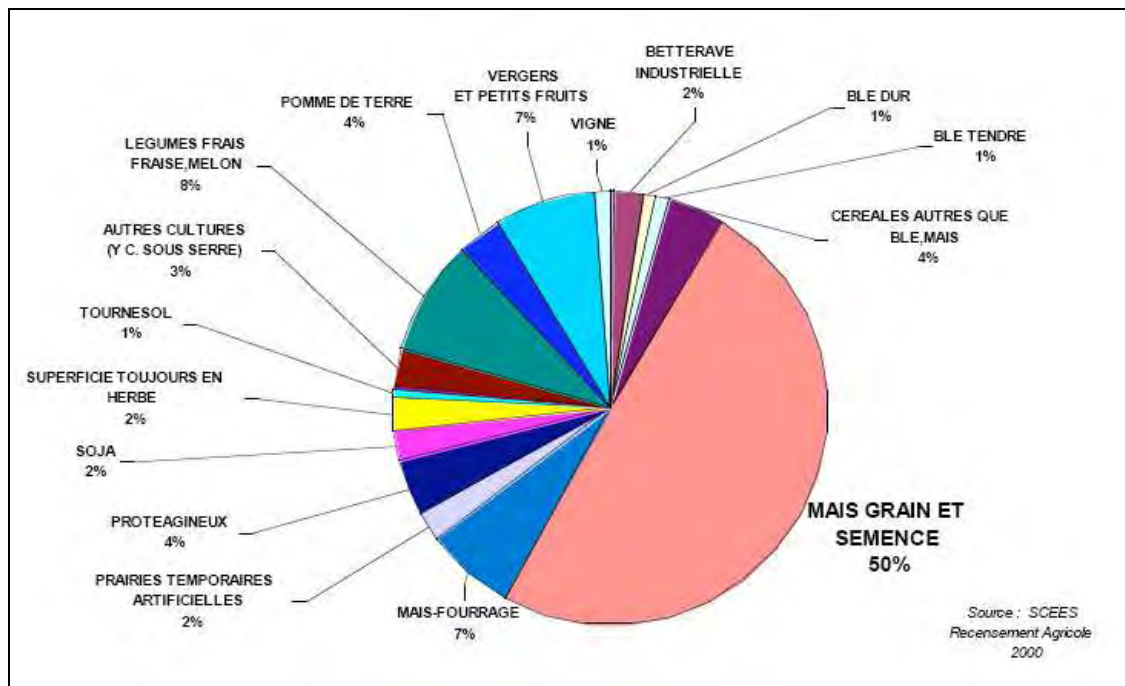


Figure 29 : Principales cultures irriguées en 2000 (milliers d'hectares) (Source : RGA 2000 ; graphe Agreste 2007)

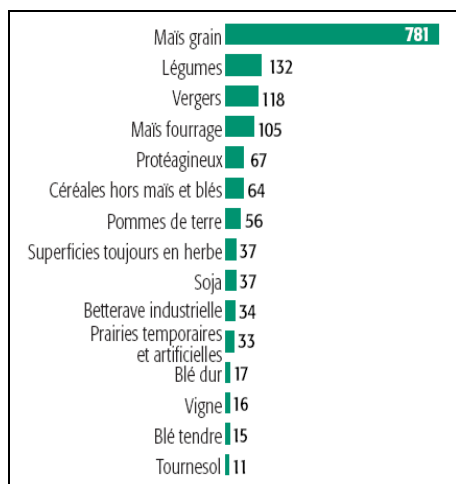
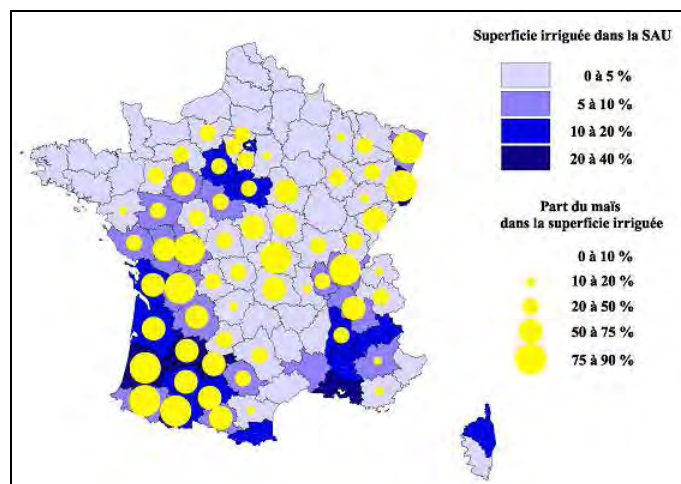


Figure 30 : Importance de l'irrigation et du maïs irrigué par département (Sources : RGA 2000 ; graphe Isiimm/Chambre d'Agriculture du Roussillon)



Le tableau ci-dessous donne les statistiques de superficies irriguées, de volumes d'eau consommés et de la part d'irrigation dans la consommation totale, pour les régions françaises dans lesquelles cette part dépasse 70% (Buisson G, 2005).

On observe encore une fois la prépondérance du maïs dans le Sud-ouest, et que la consommation en eau d'irrigation par hectare est beaucoup plus importante dans les régions où l'horticulture est prépondérante (PACA et Languedoc-Roussillon), que dans celles où la maïsiculture domine (Poitou-Charentes, Aquitaine et Midi-Pyrénées) (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006). Ceci est dû aux différences climatiques (demande en eau plus forte dans le sud), aux cultures pratiquées et aux techniques d'irrigation utilisées (l'irrigation gravitaire pratiquée en arboriculture et horticulture consomme plus d'eau car elle est moins efficace que l'irrigation par aspersion pratiquée sur le maïs).

Tableau 3 : Données sur l'irrigation pour les régions françaises où la part de l'irrigation dans la consommation d'eau totale dépasse 70% (Source : Buisson 2005 à partir de IFEN 2003 et RGA 2000)

Région	Part de l'irrigation dans la consommation d'eau totale (%)	Superficies irriguées (ha)	Part du maïs dans les surfaces irriguées (%)	Part des vergers et de l'horticulture dans les surfaces irriguées (%)	Volumes consommés pour l'irrigation (millions de m ³)	Volume consommé par hectare irrigué (m ³ /ha)
Poitou-Charentes	79	169 020	79	3	235	1 388
PACA	77	114 950	6	33	617	5 366
Aquitaine	77	278 690	74	17	409	1 467
Midi-Pyrénées	71	269 260	70	8	362	1 349
Languedoc-Roussillon	71	67 760	8	44 (hors vigne)	239 ⁴	3 687

Attention toutefois à une analyse trop rapide de ce tableau, en particulier en termes de volume consommé par hectare irrigué. Il présente des chiffres globaux et une analyse plus fine à l'échelle intrarégionale révélerait de forts contrastes entre différents systèmes d'irrigation et différentes cultures.

Après une forte croissance au début des années 1990, **les superficies irriguées se sont stabilisées depuis la réforme de la politique agricole commune de 1993**. Celle-ci a notamment fixé un plafond de surfaces irriguées à ne pas dépasser pour bénéficier de l'intégralité de l'aide pour le maïs irrigué. L'irrigation a toutefois porté sur 1,9 million d'hectares en 2003, une année de grande sécheresse où de nombreuses cultures de blé ont été irriguées. En 2005, on dénombrait 1,7 million d'hectares agricoles irrigués. Ils demeuraient pour l'essentiel localisés dans le Sud-ouest, la Beauce, la Provence et l'Alsace (Agreste, 2007).

Au cours de la dernière décennie, **l'irrigation a vraisemblablement subi de profondes transformations**, grâce d'une part à l'optimisation des techniques d'apport (réduction des volumes d'eau par hectare), d'autre part avec les modifications d'assolement intervenues au cours de la dernière décennie, notamment sous l'effet des restrictions d'usage liées aux sécheresses intervenues et aux évolutions réglementaires (BIPE, 2011).

⁴ Selon l'étude Aqua 2020, les volumes consommés en Languedoc-Roussillon s'élèvent à 303 millions de m³.

EN TERMES ÉCONOMIQUE ET SOCIAL

L'accès à l'eau constitue une plus-value importante dans les territoires desservis. En effet, l'irrigation génère une plus-value en termes de création d'emplois et de gain de chiffre d'affaires. L'irrigation contribue à diversifier les productions (notamment vers des cultures à plus forte valeur ajoutée), augmenter et sécuriser les revenus.

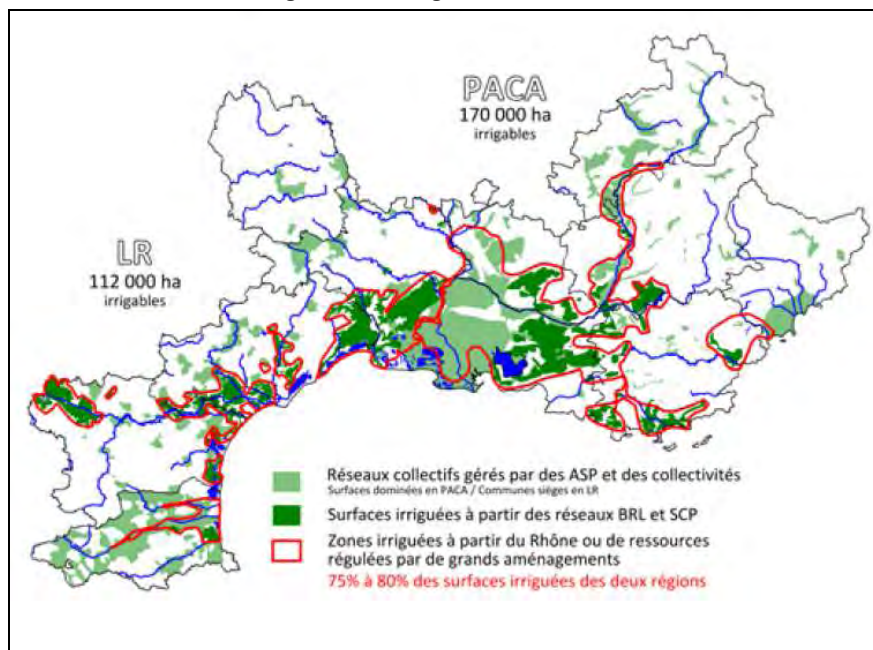
Une étude de l'AIRMF (Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises) a analysé le poids économique et social et environnemental dans les régions méditerranéennes françaises (Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises, 2009).

Sous le climat méditerranéen, l'eau s'avère indispensable à la quasi-totalité des cultures à haute valeur ajoutée. Avec environ 40% de la production française du verger (6 espèces) et des positions de leaders dans de grandes productions maraîchères, les régions méditerranéennes françaises sont un **bassin de production de fruits et légumes de première importance aux niveaux national et européen**. En 2005, les régions méditerranéennes produisaient par exemple le tiers des pommes françaises (10% à l'échelle de la zone euro), la quasi-totalité des pêches et des abricots français (respectivement 10% et 30% de la production en zone euro), 60% des courgettes, près de la moitié des tomates et environ 40% des salades et des melons.

Les cultures irriguées à haute valeur ajoutée occupent moins de **8% de la SAU**, mais génèrent un produit brut de 2,4 milliards d'euros sur les exploitations des deux régions, soit **40% du produit brut végétal en Languedoc-Roussillon et 71% en Provence-Alpes-Côte d'Azur**.

De plus, 35 000 hectares de vigne de cuve et 12 000 hectares de blé dur sont irrigués (régulation des rendements, de la qualité, valeur d'assurance...), ainsi que 40 000 hectares de prairies et fourrages (augmentation du nombre de coupes, sécurité fourragère, lien avec l'élevage...).

Figure 31 : Réseaux collectifs d'irrigation en Languedoc-Roussillon et PACA (Source : AIRMF 2009)



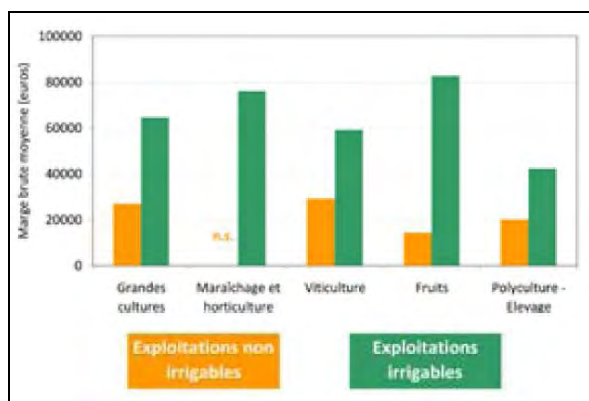
L'irrigation a des **retombées importantes en termes d'emploi**, car une part considérable des emplois agricoles est concentrée sur les productions irriguées, qui requièrent d'importants besoins en main d'œuvre. Ainsi, sur les deux régions, **les vergers et les productions légumières occupaient en 2000 environ 5% de la SAU mais 40% des emplois agricoles**.

L'étude de l'AIRMF a conclu que **100 hectares mis à l'irrigation en région méditerranéenne, équivalaient à une création nette de 22 emplois** directs et indirects (13 emplois supplémentaires sur les exploitations, auxquels s'ajoutent 9 emplois en amont et en aval dans les filières). A cela, il faut ajouter des impacts indirects dans de nombreux secteurs économiques liés, et des implications en termes d'aménagement de l'espace.

La comparaison des exploitations, à l'échelle des petites régions agricoles, suivant qu'elles ont ou non accès à l'eau, a permis d'évaluer la **plus-value générée par l'irrigation** en termes de création d'emplois et de gain de chiffre d'affaires.

L'accès à l'eau favorise la **diversification des systèmes de production** méditerranéens vers le maraîchage, l'arboriculture, ou les grandes cultures. L'irrigation contribue à diversifier, augmenter et sécuriser les revenus, aussi bien pour les exploitations viticoles qui traversent une période de crise structurelle, que pour les exploitations d'élevage situées dans des zones difficiles.

Figure 32 : Marge brute moyenne des exploitations agricoles en Languedoc-Roussillon et PACA selon l'orientation technico-économique et l'accès à l'eau (Source : SRSA DRAF-PACA ; graphe AIRMF)



La figure ci-contre illustre les résultats d'une étude visant à comparer les marges brutes moyennes (en euros) des exploitations agricoles irrigantes (en vert) et non-irrigantes (en jaune) en Languedoc-Roussillon et PACA.

On observe que **quelle que soit l'orientation technico-économique considérée, les marges brutes dégagées par les exploitations irrigables sont au moins deux fois supérieures aux exploitations en sec** (Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises, 2009).

D'après l'étude de l'AIMRF, à l'échelle des deux régions, **un hectare irrigué correspond en moyenne à un gain de 8500 € de chiffre d'affaires et de 4500 € de marge brute**.

Face à une forte concurrence internationale, l'accès à la ressource en eau est un enjeu fort pour la compétitivité et la réactivité des exploitations fruitières et maraîchères. C'est aussi une condition nécessaire pour la diversification et l'adaptabilité des systèmes de production, tout particulièrement dans le contexte de crise structurelle que connaît la viticulture. Enfin, en sécurisant une partie de l'alimentation fourragère des animaux, les prairies irriguées contribuent au maintien d'exploitations d'élevage qui entretiennent l'espace par le pâturage dans des zones difficiles.

L'exemple du réseau du Bas-Rhône Languedoc

Une étude de l'impact économique de l'irrigation par le réseau du Bas-Rhône Languedoc, intitulée « *Evaluation ex-post du programme d'aménagement hydroagricole du Bas-Rhône Languedoc. Le cas du périmètre Est de la concession d'Etat* », a été réalisée entre 1995 et 1998 par Isabelle Carrière dans le cadre d'une thèse en Sciences économiques. Le résumé des conclusions de cette étude sont disponibles dans une note annexe.

L'irrigation comme facteur d'assurance

Dans les régions qui connaissent un déficit structurel en eau, c'est à dire où, pendant la période de végétation, l'eau mobilisable par la plante, compte tenu, d'une part, des précipitations et, d'autre part, des réserves en eau du sol ne sont pas suffisantes pour assurer les besoins de la plante (régions méditerranéennes, Alsace du sud et une partie du sud-ouest), le recours à l'irrigation y est strictement indispensable.

En tous endroits **l'irrigation peut être facteur assurantiel en permettant de rendre l'agriculture moins vulnérable aux aléas climatiques**. Elle peut être également facteur de diversification agricole et contribuer à un accroissement de la valeur ajoutée et rendre ainsi l'économie agricole moins dépendante des cycles des marchés (CGGREF, irrigation durable).

2.2.1.3 Evolution rétrospective des prélèvements d'eau destinés à l'irrigation

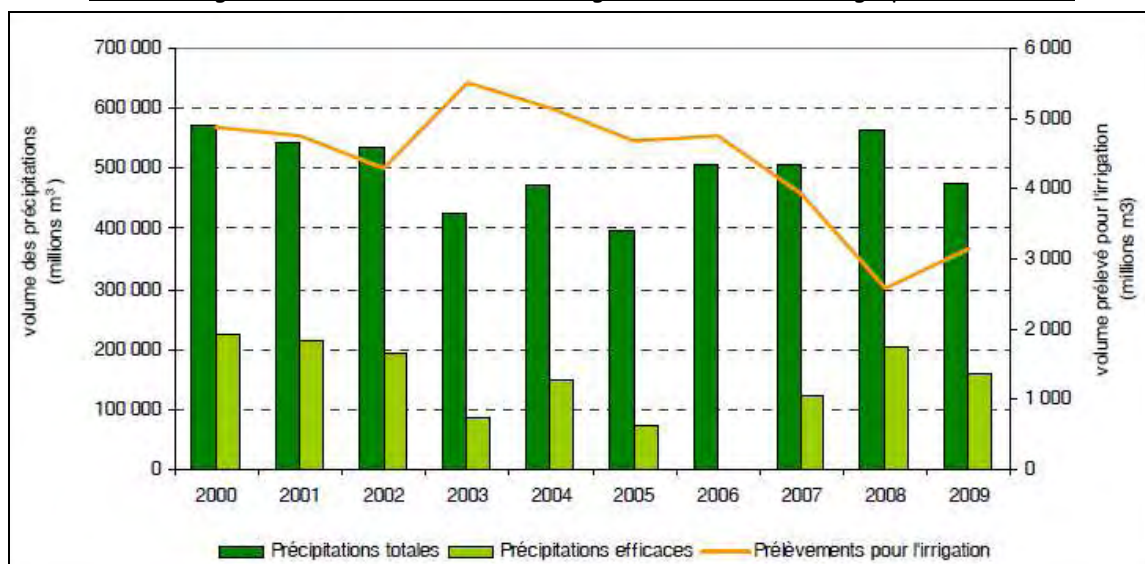
Il est difficile d'apprécier l'évolution rétrospective des volumes prélevés pour l'irrigation car des évaluations fiables des volumes réellement prélevés ne sont disponibles que depuis 2000. Les données du recensement agricole sur l'évolution des surfaces irriguées permettent cependant d'estimer **une augmentation régulière de ces volumes de 1955 à 1988**. Cette tendance s'explique par la **conjonction d'épisodes climatiques particulièrement secs (1976, 1989)** et par une **politique agricole commune incitant à augmenter les surfaces irriguées**.

A partir de 1992 et jusqu'au milieu des années 2000, ces dernières se sont **stabilisées**, ce qui laisse à penser que les volumes prélevés sont restés relativement constants sur cette période (IFEN, 2005).

Après 2006, les prélèvements pour l'irrigation ont décliné, avant d'enregistrer une nouvelle hausse en 2009, sans atteindre toutefois le niveau du début des années 2000, comme l'illustre la figure ci-dessous. Cette baisse a surtout été observée en eau de surface, les prélèvements n'ayant pas diminué dans les nappes.

Figure 33 : Evolution des prélèvements pour l'irrigation entre 2000 et 2009

(Source : Agences de l'Eau, ministère en charge de l'environnement ; graphe SOeS 2012)



Soulignons que les volumes prélevés sont fortement liés à la pluviométrie et à l'évapotranspiration. A surface irriguée constante, les prélèvements peuvent ainsi être très variables d'une année sur l'autre, en particulier dans les régions où les précipitations estivales peuvent être importantes.

2.2.2 Les questions structurantes pour la demande 2030

QUEL TYPE D'AGRICULTURE EN FRANCE EN 2030 ?

Réforme de la PAC en 2013, contexte économique international de crise et d'instabilité des prix des matières premières et de l'énergie, contraintes environnementales et/ou de santé publique grandissantes, changement climatique, évolutions des territoires ruraux,... : l'agriculture française va devoir faire face à de nombreux défis dans les décennies à venir.

De nombreux travaux prospectifs à l'échelle nationale se penchent sur cette question et élaborent des scénarios concernant les futurs possibles de l'agriculture en France aux horizons 2020-2030. Quelques scénarios présentés concernent l'horizon 2050.

Certains de ces travaux adoptent une approche dans laquelle l'agriculture constitue l'élément central de la réflexion. D'autres étudient l'agriculture au sein d'un système intégré et influencé par d'autres facteurs (prix de l'énergie, organisation de l'espace rural, réforme de la PAC etc.). Certains exercices comprennent une estimation des futures surfaces agricoles irriguées selon chacun des scénarios qu'ils proposent.

Les différents travaux de prospective analysés

Les travaux prospectifs qui ont été analysés sont listés ci-après. Une description synthétique de leurs objectifs et de leurs hypothèses respectifs sont présentés en annexe 1.

- **Agriculture et environnement : 4 scénarios à l'horizon 2025** (Poux X., Narcy J-B et Chenat V, 2005) (Groupe de la Bussière)
Cet exercice est le seul qui a estimé les surfaces irriguées à l'horizon 2025 selon chacun des quatre scénarios proposés. Celles-ci sont comprises entre 1 million et 3,5 millions d'hectares selon les scénarios.
- **Prospective Agriculture Energie 2030** (Vert J., Portet F., (coord.), 2010)
- **Perspectives pour l'agriculture française et la PAC** (COPEIAA) (Conseil de prospective européenne et internationale pour l'agriculture et l'alimentation, sous la présidence de Christian de Boissieu, 2007)
- **Les nouvelles ruralités en France à l'horizon 2030** (Mora O., (dir.), Aubert F., Frémont A., Gauvrit A., Heurgon E., Hubert B., Riba G., Torre A, 2008)
- **Garonne 2050** : fiche variable « PAC et politique agricole mondiale » (Amen JF, 2011)
- **Afterres 2050** (Solagro, 2011)
- « **Quelle agriculture demain pour la France ?** » et **Prospective PAC 2020** (CGAAER) (Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux, 2010)
- **Prospective Aqua 2030** (Mission prospective (CGDD) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie), étude non encore publiée.

Conclusion des prospectives agricoles à l'horizon 2030

L'analyse des différentes prospectives montre la **multitude de scénarios possibles pour l'agriculture française à l'horizon 2030**.

Celle-ci sera dépendante de différents facteurs, en particulier :

- La **politique agricole** (PAC post 2013) ;
- Une **contrainte environnementale forte**, notamment concernant les ressources en eau. Par conséquent, l'irrigation constituera une variable d'ajustement des volumes prélevables autorisés.

QUELLE PLACE POUR L'AGRICULTURE FACE À LA CROISSANCE URBAINE ?

L'évolution des territoires se fait aux dépens des terres agricoles

En 2009, les sols cultivés occupaient 35% du territoire, suivi par les sols boisés (31%) et les surfaces toujours en herbe (17%) (qui sont à plus de 98% affectées à l'élevage). Les espaces artificialisés (sols bâtis, sols revêtus ou stabilisés et autres sols artificialisés) représentaient quant à eux 9% (Agreste, 2010).

Les analyses des changements d'occupation du sol entre 2000 et 2006, puis entre 2006 et 2009 montrent notamment une **artificialisation croissante des espaces**, c'est-à-dire le développement de zones urbanisées, industrielles ou commerciales, réseaux de communication, mines, décharges, chantiers, espaces verts urbains, etc. (Commissariat Général au Développement Durable, 2011).

Selon l'inventaire d'usage des sols « Teruti Lucas », sur la période 2006-2009, ce sont 86 000 hectares qui se sont artificialisés chaque année, soit 36 hectares par jour ce qui correspond à la superficie d'un département moyen tous les 7 ans (Agreste, 2010).

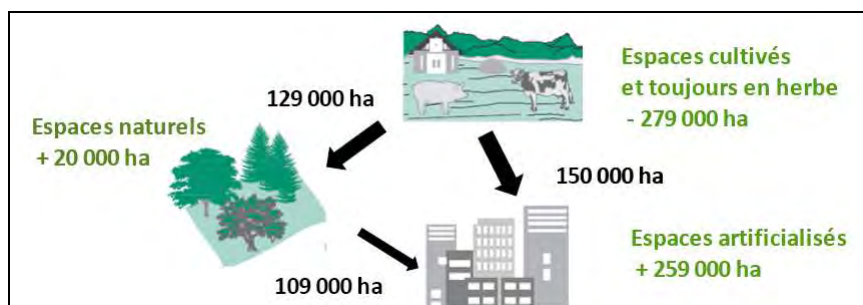
Entre 2000 et 2006, ce sont principalement des terres arables (44%), des zones agricoles hétérogènes regroupant surtout des mosaïques agricoles (31%) qui ont été artificialisées, et dans une moindre mesure des prairies (18 %), soit au total **plus de 90% d'artificialisation au dépens d'espaces agricoles** (74 500 ha) (Commissariat Général au Développement Durable, 2011).

Les espaces agricoles sont donc les grands perdants de ces changements d'usage au détriment notamment des espaces artificialisés, ce qui peut s'expliquer en partie par l'implantation historique des villes près des zones de production (Vibert C, 2011).

Mieux valorisés par les citoyens pour leurs fonctions récréatives et écologiques, les espaces naturels et forestiers résistent en effet mieux à l'artificialisation et gagnent sur les terres agricoles (Balny P., Beth O., Verlhac C., 2009).

Il est à noter que la consommation des espaces agricoles ne se limite alors pas au seul phénomène d'artificialisation, mais également à la progression des espaces naturels et forestiers, dans une moindre mesure, comme l'illustre la figure ci-contre (Vibert C, 2011)

Figure 34 : Les changements d'usages des sols en France entre 2006 et 2009
(Source : Agreste 2010)



Entre 2000 et 2006, ce sont les régions déjà très urbanisées comme l'Alsace, l'Île-de-France et le Nord-Pas-de-Calais, qui ont connu les mouvements de disparition des terres agricoles les plus élevés, ainsi que les Pays de la Loire, Rhône-Alpes et le littoral méditerranéen (Languedoc-Roussillon, PACA).

L'artificialisation peut prendre différentes formes. Dans les régions déjà fortement urbanisées, comme l'Île-de-France ou Rhône-Alpes, les agglomérations poursuivent leur extension. Dans d'autres régions, l'importance de l'artificialisation s'explique davantage par la nature de l'urbanisation : discontinue (Bretagne, Pays de la Loire) ou se concentrant le long des axes de transport (Midi-Pyrénées) (Commissariat Général au Développement Durable, 2011).

Parmi les nombreuses conséquences environnementales qui résultent de l'artificialisation, l'imperméabilisation des sols compromet, souvent définitivement, leur utilisation à des fins de production agricole (alimentaire ou non alimentaire). Dans environ la moitié des régions françaises, les sols qui ont les meilleures potentialités agronomiques sont les plus touchés. À l'échelon national, ils représentent plus d'un tiers (34,8%) des surfaces agricoles artificialisées entre 2000 et 2006 (Commissariat Général au Développement Durable, 2011).

L'avancée des sols artificialisés semble s'accélérer sur les dernières années. **La préservation des meilleurs sols agricoles est un enjeu fort de l'aménagement du territoire, notamment en milieu périurbain, où la pression sur les sols est considérable** (Agreste, 2010).

Mais la proximité des villes où émerge une demande forte en produits locaux permet des débouchés intéressants

Cependant, la proximité des villes constitue un atout pour l'agriculture périurbaine, de par la présence d'un **important marché urbain de proximité**.

Les circuits alimentaires de proximité sont aujourd'hui en phase avec des **demandes sociales nouvelles** (modification des habitudes de consommation avec l'émergence des préoccupations environnementales et de sécurité alimentaire : demande en produits alimentaires locaux et de qualité, nécessité de recréer du lien social entre ville et campagne, etc.)

Du côté de l'offre, des initiatives d'agriculteurs ne voulant plus ou rencontrant des difficultés pour s'insérer dans les marchés conventionnels ont progressivement réactivé des modes de mises en marché tels que les marchés et la vente directe ou inventé de nouvelles modalités (paniers, vente en ligne, etc.).

Face à ces tendances lourdes, des initiatives individuelles ou collectives (groupement d'achats, de paniers, etc.) proposent une **alternative novatrice et en pleine expansion**, en dehors ou au sein des filières traditionnelles. Ces systèmes contribuent au décloisonnement nécessaire entre agriculture et consommation et conduisent à une meilleure insertion de l'agriculture dans l'économie locale (AFIP, CFPPA Montmorot).

En France, les circuits courts sont assez largement répandus et en croissance, notamment dans le Sud-est et dans le Nord. **En 2005, 88 600 exploitations agricoles réalisaient de la vente directe, soit 16,3% des exploitations agricoles** dont 47% qui transforment les produits. Ces exploitations représentent une part importante de l'emploi agricole avec 26,1% du total des UTA (Unité de Travail Agricole). Les marchés de producteurs représentaient en 2007 plus de 1000 exploitations et 100 000 consommateurs (MAP, 2009).

De manière générale, les agglomérations ayant une forte tradition maraîchère et fruitière sont celles où les circuits courts sont les plus développés (par exemple à Aubagne, Lyon et Grenoble), et dans une moindre mesure, les territoires où l'élevage et la viticulture dominent (Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône, 2006).

Dans les territoires les plus en avance sur ces thématiques, les actions envisagées majoritairement dans le futur sont basées sur des projets collectifs de commercialisation, l'approvisionnement de la restauration collective, le développement de la promotion et de la communication autour des circuits courts (Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône, 2006).

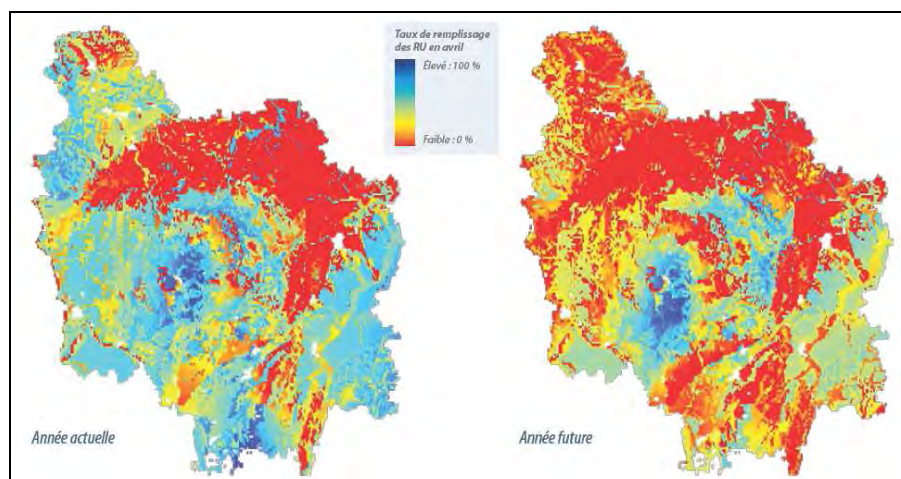
QUELS SERONT LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DEMANDE EN EAU ?

Les évolutions des températures et des précipitations accroîtront les besoins en eau d'irrigation

Les résultats des projections climatiques en termes de températures, de précipitations et de ressources en eau seront présentés dans la partie 3. Toutefois, on souligne ici que **le changement climatique pourrait influencer de diverses manières la demande en eau pour l'agriculture** :

- ▶ La hausse des températures entraînera une hausse de l'évapotranspiration ;
- ▶ La hausse des températures et la baisse des précipitations pourraient entraîner un assèchement des sols notamment superficiels plus tôt au printemps (Cf. cartes ci-dessous) et une diminution du potentiel de recharge des nappes ;
- ▶ La fréquence des sécheresses estivales pourrait s'accroître.

Figure 35 : Taux de remplissage des réserves utiles des sols de Bourgogne en avril sous climat actuel et sous climat futur (Source : Alterre Bourgogne 2010)



Globalement, les besoins en eau d'irrigation, c'est-à-dire la part du besoin unitaire des plantes⁵ ni satisfaite par l'eau présente dans le sol ni par l'eau apportée par la pluie, augmenteront sous l'effet du changement climatique, et la disponibilité en eau sera plus irrégulière.

A surfaces cultivées égales et assolement inchangé, la demande en eau agricole augmentera donc en conséquence.

Le tableau ci-contre présente les besoins d'irrigation moyen et quinquennal haut, sous climat actuel et futur du pêcher dans les Pyrénées-Orientales, calculés par l'étude BRLi dans le cadre du projet Vulcain (BRGM, BRLi, HSM, Météo France, 2010).

Tableau 4 : Besoins actuels et futurs (scénario climatique A1B) en eau d'irrigation d'1 ha de pêcher dans les Pyrénées-Orientales (m3/ha) (Source : Projet Vulcain, BRLi 2010)

m3/ha	référence	2020-2040	2040-2060
moyenne	4 470	4 750	5 400
4/5	4 980	5 550	6 140

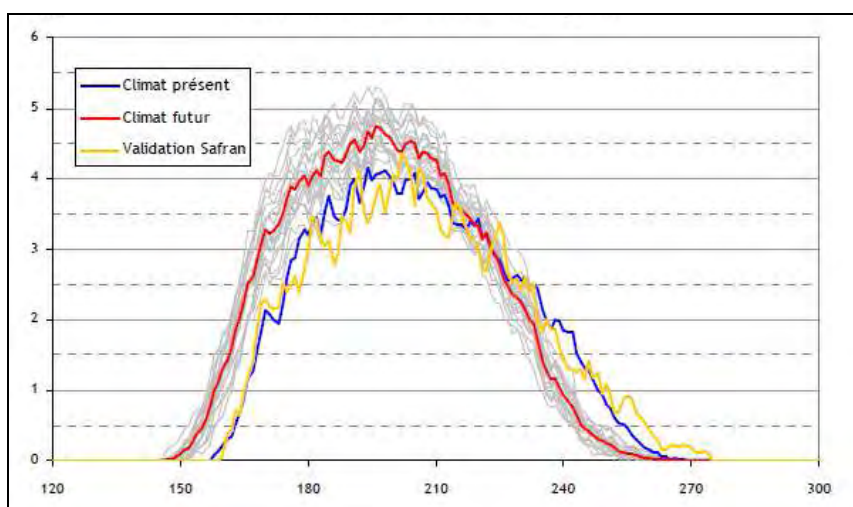
indice		2020-2040	2040-2060
moyenne	100	106	121
4/5	100	111	123

Dans le cadre du projet **Imagine 2030** (Irstea, EDF, 2009), des scénarios climatiques ont été élaborés pour appréhender les forçages climatiques du XXI^{ème} siècle sur le bassin de la Garonne, et leurs conséquences sur certains usages, notamment l'irrigation ont été estimées. (Les autres facteurs comme l'évolution des surfaces irriguées ou la nature des cultures n'ont pas été modélisés.)

Un modèle de bilan hydrique à un horizon a été développé pour analyser l'incidence des scénarios de changement climatique (évolution des températures et des précipitations) sur le besoin en eau théorique des cultures. La figure ci-dessous représente les évolutions des besoins des plantes (ici le maïs) au cours du XXI^{ème} siècle par rapport à la situation de référence (sous climat actuel).

⁵ Le besoin en eau unitaire d'une culture correspond à la quantité d'eau perdue par évapotranspiration de la culture en conditions standards. Cette quantité, appelée évapotranspiration maximale (ETM), est estimée à partir du pouvoir d'évaporation de l'air, ou évapotranspiration de référence (ET0), et du coefficient cultural de la culture kc, qui varie selon le stade de développement de la plante.

Figure 36 : Besoins en eau du maïs (mm/jour) sur le bassin de Lamagistère (moyenne 2015-2045) en fonction du jour de l'année (Source : Projet Imagine 2030, Irstea 2009)



Les résultats suggèrent une hausse de la demande en eau sous scénario A1B, en moyenne de plus de 10% à l'horizon 2030, tous scénarios confondus (+20% sur la pointe entre climat présent et climat futur). Une évolution similaire est identifiée sous scénario A2 jusqu'en 2045 (Irstea, EDF, 2009).

Cependant, l'augmentation de la demande évaporative avec le changement climatique reste un point discuté. En effet, celle-ci dépend probablement davantage de la différence entre températures minimales et températures maximales que des températures maximales uniquement, or les températures minimales devraient augmenter également avec le changement climatique.

Des phénomènes de rupture sont également à attendre

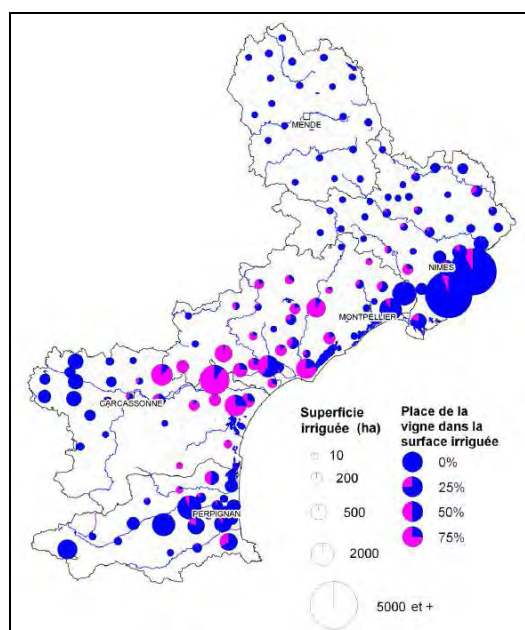
En-dehors des évolutions régulières liées à la hausse des besoins en eau des plantes, des phénomènes de rupture dans le domaine de l'irrigation pourraient avoir lieu dans les années à venir, notamment en réponse aux évolutions climatiques.

Ainsi, en Languedoc-Roussillon, on assiste, parallèlement au recul du vignoble, à **l'émergence de demandes croissantes d'irrigation de la vigne, en vue de sécuriser les rendements et de piloter au plus près la qualité du vin.**

Actuellement, le vignoble régional compte 20 000 à 25 000 ha irrigués (soit 10% du vignoble), constituant la première culture irriguée en surface de la région (Cf. carte ci-contre).

La multiplication actuelle des projets portés par les caves viticoles ou les Chambres d'Agriculture porte à la fois sur la mobilisation de ressources en eau existantes (réseaux ou retenues existantes) et sur la mobilisation de nouvelles ressources (extensions de réseaux, création de retenues collinaires, forages, etc.). Parmi les secteurs où émergent des projets d'irrigation de la vigne, citons ceux de l'Hérault (Biterrois, Piscénois, Faugérois, Moyenne Vallée de l'Hérault, Saint-Chinianais), du Gard (Costières, Sommiérois, Vallée du Rhône), de l'Aude (Corbières-Minervois), des Pyrénées-Orientales (Vallées Agly, Têt) (Balsan S, Chambre d'Agriculture Languedoc-Roussillon, 2011).

Figure 37 : Localisation des vignobles irrigués en Languedoc-Roussillon (Source : Chambre d'agriculture LR)



2.2.3 Les demandes possibles en eau agricole en 2030

A L'ÉCHELLE NATIONALE

Dans le cadre du projet Explore 2070, le BIPE a modélisé les demandes futures en eau agricole.

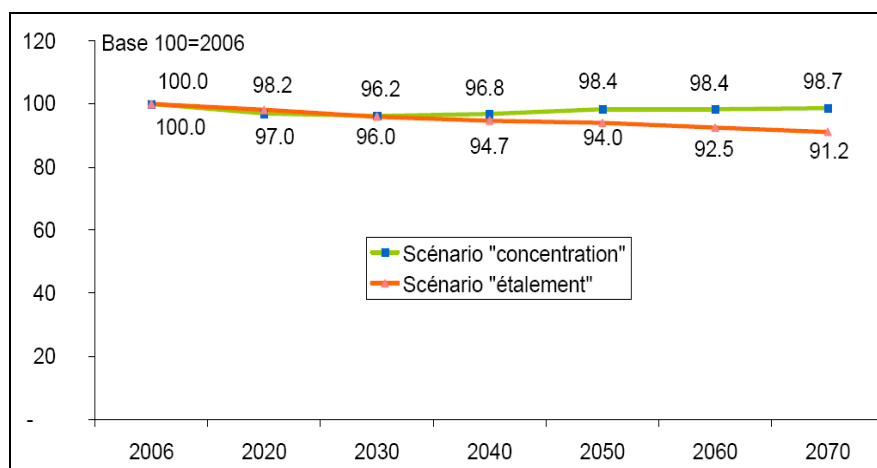
Pour chacun des deux scénarios d'habitat présentés plus haut (« concentration » et « étalement »), les prélèvements en eau futurs sont calculés à partir d'hypothèses en termes de surfaces irriguées, elles-mêmes basées sur des hypothèses en termes de surfaces agricoles, et liées aux scénarios d'habitat.

Par ailleurs, l'exercice a posé comme hypothèse le maintien des surfaces irriguées pour les cultures sous contrat et les cultures pérennes d'une part (prioritaires du fait de leur forte valeur ajoutée), et les surfaces fourragères irriguées d'autre part (dans la perspective d'accroissement des productions animales).

Les volumes unitaires par culture sont maintenus au niveau de 2006 (pas d'hypothèses de restrictions de volumes d'eau pour l'irrigation) (BIPE, 2011).

La figure ci-dessous représente les évolutions prospectives des prélèvements d'eau pour l'irrigation à l'horizon 2070 selon les deux scénarios d'habitat.

Figure 38 : Evolution prospective des prélèvements d'eau pour l'irrigation à l'horizon 2070 selon deux scénarios d'habitat (Source : BIPE 2011)



A l'horizon 2030, la prospective aboutit à des résultats similaires selon les deux scénarios : une réduction des prélèvements d'eau agricole de l'ordre de 4% par rapport à 2006.

En revanche, à l'horizon 2070, l'écart se creuse entre les deux scénarios : les prélèvements d'eau de l'agriculture devraient diminuer de 1,3% dans le scénario « concentration » et de 8,8% dans scénario « étalement ».

Dans le scénario « concentration », après une diminution légèrement plus marquée (de l'ordre de 4 à 5% par rapport à 2006) dans les années 2030-2040, les prélèvements d'eau agricole devraient se stabiliser à un niveau 1 à 2% inférieur au niveau actuel.

Dans le scénario « étalement », la baisse des prélèvements s'accélère à partir de 2040, sous l'effet de l'artificialisation croissante de l'espace liée à l'extension de l'habitat individuel. Dans ce scénario, ce sont les régions agricoles comme l'Aquitaine, le Languedoc, PACA et Rhône- Isère-Saône qui connaissent les plus fortes baisses des prélèvements d'eau pour l'irrigation. En termes de cultures irriguées, ce sont le blé dur irrigué, les autres céréales irriguées, les légumes frais, fraise et melon irrigués, la vigne irriguée et vergers et petits fruits (hors agrumes) irrigués qui subissent les plus fortes contractions de prélèvements d'eau (BIPE, 2011).

La pertinence de ces résultats est très discutable. Comme vu précédemment, il existe une grande diversité de scénarios possibles concernant l'agriculture et les surfaces irriguées à l'horizon 2030. Par conséquent, il apparaît délicat de chiffrer les surfaces irriguées et les prélèvements en eau agricole à l'horizon 2030. L'analyse de ces conclusions requiert donc un certain recul et une mise en perspective avec les résultats des autres études.

SUR LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE SEINE-NORMANDIE : DEUX TRAVAUX DE PROSPECTIVE BASÉS SUR L'ÉVOLUTION DES INVESTISSEMENTS DANS LE DOMAINE DE L'IRRIGATION

Deux travaux de prospective ont étudié l'évolution des besoins en eau d'irrigation sur le bassin Seine-Normandie :

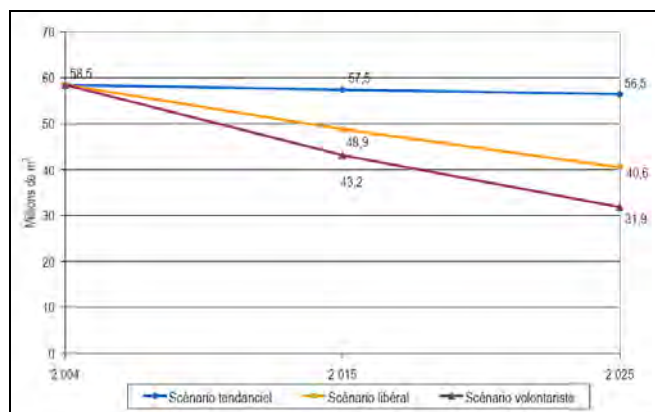
- ▶ L'étude « Elaboration de scénarios d'évolution des besoins en eau à comparer avec la disponibilité des eaux superficielles du bassin Seine-Normandie » (AESN, Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005), qui comporte trois scénarios d'évolution des prélèvements et des consommations de l'ensemble des usages à l'horizon 2025.
- ▶ L'étude « L'irrigation sur le bassin Seine-Normandie. Etat des lieux et prospective. » (AESN, AND International-Irstea, 2006), qui comporte deux scénarios économiques d'évolution de l'irrigation à l'horizon 2015.

Les résultats des deux études ne sont pas directement comparables, notamment du fait de leurs hypothèses de départ différentes. L'étude de l'ensemble des usages à l'horizon 2025 ne prend en compte, pour les prélèvements d'eau agricole, que les sous-bassins « gros préleveurs » (plaine de Beauce, Champagne-Ardenne, Picardie). Les autres régions, moins importantes en termes de volumes totaux prélevés ne sont pas étudiées dans cette prospective.

Etude de l'ensemble des usages à l'horizon 2025

La figure ci-dessous illustre les résultats de la prospective élaborée par BIPE-GERPA à l'horizon 2025 :

Figure 39 : Evolution prospective des prélèvements en surface et en nappes alluviales pour l'irrigation sur la période 2004-2025 selon les différents scénarios (Source : BIPE-GERPA 2005)



Dans le cadre du scénario tendanciel, l'évolution des prélèvements serait orientée vers une baisse limitée : les augmentations de surfaces sont compensées par des baisses de consommations d'eau par hectare pour l'irrigation. Au total la baisse tendancielle serait de -0,17%/an presque imperceptible, notamment en termes de volumes, puisqu'on passerait de 12 millions de m³ en 2004 à 11,6 en 2025 pour les prélèvements en eaux de surface et de 58,5 millions de m³ en 2004 à 56,5 millions de m³ en 2025 eaux de surface et nappes alluviales comprises.

Dans le cadre du scénario libéral, la baisse combinée des surfaces et des volumes d'eau par surface irriguée (au même rythme que dans le scénario tendanciel) a un effet plus important sur les besoins en eau pour l'irrigation à long terme. Les volumes d'eau baisseraient de 31% sur la période (-1,8%/an en moyenne).

Le scénario volontariste qui anticipe à la fois une diminution forte des surfaces (-23% à -40% selon les zones) et une gestion quantitative de l'eau nettement plus contraignante (-20% à -23%) aboutit à une réduction de près de moitié des demandes en eau pour l'irrigation d'ici 20 ans (-45%).

Etude de l'irrigation à l'horizon 2015

La prospective élaborée par AND et Irstea à l'horizon 2015 a élaboré deux scénarios économiques :

- Le premier est construit sur l'hypothèse d'une augmentation limitée du coût de l'énergie, avec un développement modéré des biocarburants et un maintien, voire une légère progression des cultures industrielles (hypothèse 1) ;
- Le second est construit sur l'hypothèse d'une énergie beaucoup plus coûteuse, avec un développement maximum des biocarburants, en défaveur des cultures industrielles et des céréales (hypothèse 2).

Les figures ci-dessous illustrent respectivement les évolutions prospectives des surfaces irriguées et des prélèvements d'eau agricole à l'horizon 2015 selon les deux scénarios.

Figure 40 : Hypothèses sur l'évolution des surfaces irriguées de 1970 à 2015 sur le bassin Seine-Normandie
(Sources : RGA, AESN, AND-Irstea 2006)

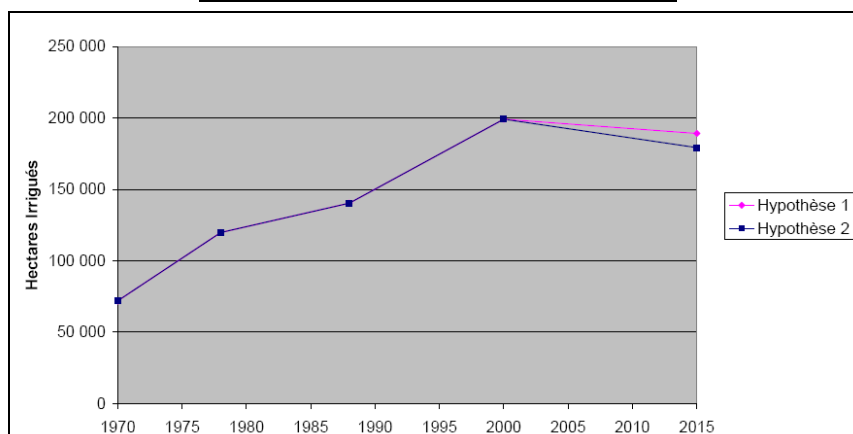
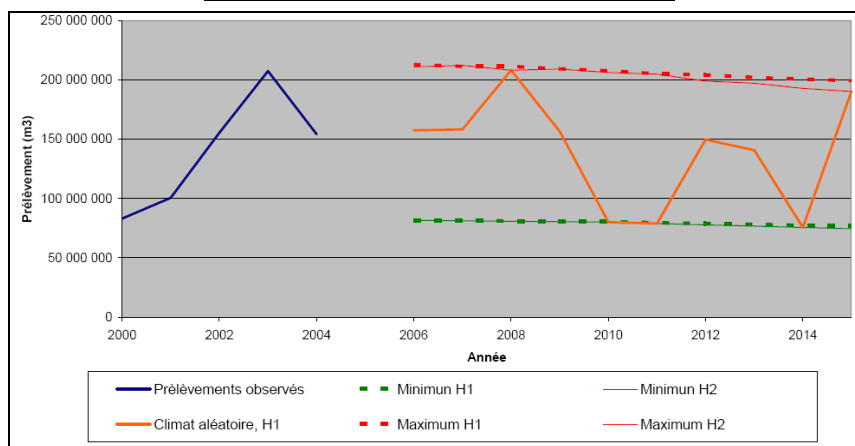


Figure 41 : Evolution des prélèvements pour l'irrigation sur le bassin Seine-Normandie : prélèvements mesurés pour 2000-2004 et fourchette de prélèvement selon les deux scénarios prospectifs pour 2004-2015. (Source : AESN, AND-Irstea 2006)



La courbe « climat aléatoire H1 » illustre la chronologie de prélèvement que l'on pourrait avoir avec un tirage aléatoire des années climatiques.

Selon l'hypothèse 1, le prélèvement maximum diminuera de 8% à l'horizon 2015. Selon l'hypothèse 2, le prélèvement maximum diminuera de 12% à l'horizon 2015.

Les deux scénarios économiques de la prospective ont été construits sur l'hypothèse qu'il n'y aura pas d'investissement dans l'irrigation et que les variétés seront les mêmes qu'aujourd'hui. L'hypothèse sur l'investissement est en rupture avec la tendance des dernières décennies, mais elle est basée sur l'observation : l'investissement, hors renouvellement, a effectivement cessé dans la région de la Beauce depuis 1995, et en Champagne depuis 2000. Lors des réflexions avec le groupe de travail, aucun élément de rupture suffisamment puissant n'a été mis à jour pouvant suggérer une reprise de l'investissement en irrigation avant 2013. Les deux scénarios aboutissent donc à une baisse des surfaces irriguées sur le bassin, de l'ordre de -5% pour la première hypothèse et -10% pour la seconde.

Par conséquent, les deux hypothèses convergent vers une tendance des prélèvements en eau à la baisse. La courbe « climat aléatoire » illustre clairement le rôle prépondérant que joue le climat annuel sur le prélèvement. Sur la décennie à venir, c'est donc la succession des années climatiques qui va définir l'importance des enjeux liés à l'irrigation.

Un autre résultat de la prospective est qu'en année sèche les prélèvements seront 3 fois plus importants qu'en une année humide. Cette variabilité exacerbera les enjeux : les prélèvements risquent d'une part d'être les plus forts lors des années où les étiages sont les plus sévères, d'autre part le climat annuel et les successions climatiques seront plus imprévisibles. L'ensemble rendra donc plus complexe la bonne gestion des prélèvements pour l'irrigation.

Les deux études prospectives à l'échelle du bassin Seine-Normandie tablent sur une diminution, plus ou moins marquée, des surfaces irriguées et donc des prélèvements d'eau à destination de l'irrigation dans les années à venir.

SUR LE BASSIN DE LA GARONNE

Les conséquences du changement climatique sur l'irrigation, étudiées dans le cadre du projet Imagine 2030⁶, ont montré un accroissement de la demande en eau de 10% (Cf. 2.2.2).

Si ces besoins devaient être satisfaits par irrigation, les prélèvements devraient être augmentés d'autant. Cela fournit un ordre de grandeur de la pression supplémentaire liée au changement climatique sur la ressource en période estivale, à économie constante (Irstea, EDF, 2009).

La demande en eau agricole à l'horizon 2030 sera influencée par plusieurs facteurs, dont les principaux sont la hausse des besoins en eau d'irrigation notamment liée au changement climatique, et les contraintes environnementales et énergétiques croissantes. Les influences respectives de ces divers facteurs seront différentes selon les régions.

Malgré l'incertitude forte qui caractérise l'agriculture irriguée à l'horizon 2030, on peut émettre quelques hypothèses à ce sujet :

- ▶ **Dans les régions fortement équipées en réseaux d'irrigation alimentés par des ressources abondantes et/ou régulées (par exemple en PACA ou Languedoc-Roussillon), on peut penser qu'il y aura une légère érosion des surfaces irriguées (entamée depuis plusieurs dizaines d'années) puis une reprise possible aux alentours de l'horizon 2020-2030 ;**
- ▶ **Dans les régions où la contrainte environnementale sur les ressources en eau est forte, celle-ci sera alors déterminante (en particulier dans le grand Sud-Ouest) et l'avenir de l'irrigation se décidera en fonction des autres contraintes et des décisions d'investissements (barrages, transferts...). Ces décisions dépendront de facteurs réglementaires d'une part, et politiques d'autre part, qui s'exprimeront par le biais politiques régionales d'investissement.**

⁶ IMAGINE 2030 : Climat et aménagements de la Garonne : quelles incertitudes sur la ressource en eau en 2030 ?, MEEDM, Agence de l'Eau Adour-Garonne, Irstea, EDF, 2009

2.3 LES DEMANDES EN EAU POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE DÉPENDRONT DU MIX ÉNERGÉTIQUE ET DES CHOIX DE FILIÈRE DE REFROIDISSEMENT

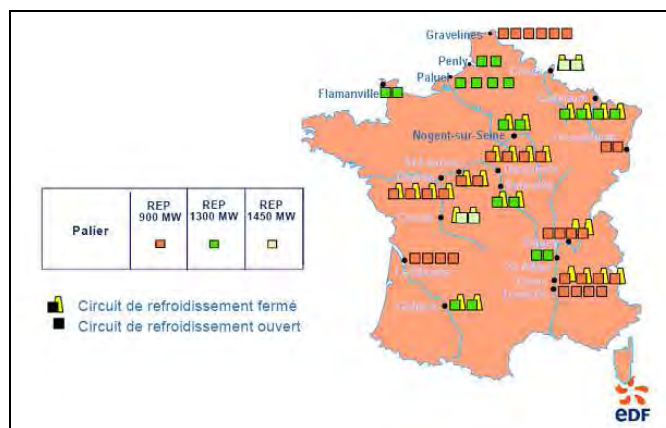
2.3.1 Rétrospective : le développement du refroidissement le long des fleuves

On compte actuellement en France 19 centrales nucléaires, qui totalisent 58 tranches de fonctionnement.

Leurs localisations sont présentées sur la carte ci-contre : 4 sont en bord de mer (Manche et mer du Nord) et 15 en bord de fleuve ou de rivière (IFP Energies nouvelles, 2011).

Ces sites en activité ont des besoins en eau liés aux procédés de refroidissement en circuit fermé avec utilisation d'aéro-réfrigérants, ou en circuit ouvert.

Figure 42 : Localisation des 19 centrales nucléaires françaises (Source : EDF)



Les quantités d'eau prélevées pour le refroidissement des centrales nucléaires ont représenté 16 milliards de m³ en 2006 et 21,5 milliards de m³ en 2009 (Cf. 1.3). **La majeure partie de l'eau employée dans les centrales sert au refroidissement des équipements.** Les autres consommations d'eau sont des eaux pour la production de vapeur et les « eaux vannes ».

Concernant le refroidissement des équipements, on distingue plusieurs types de centrales :

- **les centrales nucléaires qui utilisent l'eau de mer** comme vecteur de transfert de chaleur. Ces centrales, au nombre de 5 - dont la centrale du Blayais, située dans l'estuaire de la Garonne - sont de fait, situées en bord de mer. Elles représentaient 5,1 millions de m³ d'eau prélevée en 2006.
- **les centrales nucléaires qui utilisent de l'eau douce** pour le refroidissement. Situées en bord de rivière ou de fleuve, on distingue :
 - celles qui mettent en œuvre un **circuit de refroidissement ouvert** (14,7 milliards de m³ prélevés en 2006) : comme pour les centrales qui utilisent de l'eau de mer, l'eau de refroidissement est simplement captée en amont de la centrale puis renvoyée réchauffée de quelques degrés dans le milieu naturel ;
 - celles qui emploient un **circuit de refroidissement fermé** (1,6 milliards de m³ prélevés en 2006) : l'eau de refroidissement est stockée dans un circuit de refroidissement où elle est partiellement évaporée lors de son passage dans des tours aéro-réfrigérantes (IFP Energies nouvelles, 2011).

Les centrales les plus récemment construites disposent d'un circuit fermé. Les centrales les plus anciennes et situées en bord de fleuve à grand débit (Rhône et Rhin) disposent d'un circuit ouvert (hors Cruas) (BIPE, 2011). Sur les 58 tranches, 30 sont à circuit de refroidissement fermé, et 28 à circuit ouvert (EDF Division Production Nucléaire, Vicaud A, 2007).

Le tableau ci-dessous présente le parc en 2006 avec les sources de prélèvement, les types de circuit de refroidissement et les volumes correspondants.

Tableau 5 : Caractéristiques et prélèvements en eau (milliers de m³) du parc de centrales nucléaires en France en 2006 (Sources : SOeS, Agences de l'Eau, EDF ; Tableau : BIPE)

	2002	2003	2004	2005	2006	Ressource principale en eau	source d'eau douce	Moyenne prélèvements s 2002-2006	Type de circuit	Capacité de tranche (MW)	nombre de tranches (MW)	Année (moyenne) de construction
Golfch	217 900	221 607	212 710	218 370	217 560	Douce	Garonne	217629	Fermé	1300	2	1991
Belleville-sur-Loire	211 945	232 891	221 138	236 925	207 708	Douce	Loire	222121	Fermé	1300	2	1300
Chinon	171 571	157 158	148 520	187 613	163 497	Douce	Loire	165672	Fermé	900	4	1984
Saint-Laurent-Nouan	102 572	96 577	101 049	94 238	93 165	Douce	Loire	97520	Fermé	900	2	1983
Dampierre-en-Burly	169 738	185 111	188 180	198 158	204 258	Douce	Loire	189089	Fermé	900	4	1980
Chooz	129 857	200 025	200 025	200 026	200 026	Douce	Meuse	185992	Fermé	1500	2	1995
Cattenom	277 516	277 517	241 196	265 368	265 193	Douce	Moselle	265358	Fermé	1300	4	1987
Nogent-sur-Seine	140 450	150 141	137 129	124 769	123 791	Douce	Seine	135256	Fermé	1300	2	1988
Civaux	103 754	103 487	113 246	101 168	108 080	Douce	Vienne	105947	Fermé	1500	2	1997
Blayais	29	24	16	24	24	Mer	hs	23	Ouvert	900	4	1983
Gravelines	1478	1 469	1694	3 617	2 893	mer	hs	2230	Ouvert	900	6	1981
Les Pieux	-	496	412	418	368	Mer	hs	339	Ouvert	1300	2	1986
Neuville-les-Dieppe	-	378	422	409	384	Mer	hs	319	Ouvert	1300	2	1990
Paluel	-	3 780	5 128	1 197	923	Mer	hs	2205	Ouvert	1300	4	1985
Fessenheim	2 199 225	2 700 042	2 193 588	2 391 596	2 030 799	Douce	Rhin	2303050	Ouvert	900	2	1978
Cruas	536 400	536 184	513 158	536 260	510 860	Douce	Rhône	526572	Fermé	900	4	1984
Saint-Vulbas (Bugey)	2 492 635	2 960 994	3 104 058	2 951 157	3 043 745	Douce	Rhône	2910518	2 tranches circuit ouvert et 2 tranches fermé	900	4	1979
Saint Paul Trois Châteaux	5 042 734	5 110 000	5 000 000	5 190 000	5 194 500	Douce	Rhône	5107447	Ouvert	900	4	1980
Saint-Maurice l'Exil	3 873 540	4 003 525	4 081 269	3 865 158	3 589 942	Douce	Rhône	3882687	Ouvert	1300	2	1986
Total	15 671 345	16 941 405	16 462 937	16 566 471	15 957 715							

LES VOLUMES D'EAU PRÉLEVÉS ET CONSOMMÉS PAR LES CENTRALES NUCLÉAIRES VARIENT SELON LE TYPE DE CIRCUIT DE REFOUILLISSEMENT

Tableau 6 : Niveaux de prélèvement et de consommation d'eau des centrales nucléaires selon le type de circuit de refroidissement (Source : EDF 2007)

Les niveaux de prélèvements et consommation d'eau sont différents selon que l'on met en œuvre des circuits de refroidissement ouverts ou fermés, comme le montre le tableau ci-contre.

Centrale nucléaire	Eau prélevée [Litres/kWh]	Eau évaporée [Litres/kWh]
Circuit ouvert 	160	0
Circuit fermé 	6	2

En circuit ouvert, il y a des pertes en eau, mais minimales par rapport aux prélèvements (entre 0 et 0,07%). Le ratio consommation/prélèvement est proche de 0%.

En circuit fermé, les échanges entre l'air ambiant à l'intérieur des réfrigérants atmosphériques permettent de refroidir l'eau en sortie de condenseurs. Entre 20 et 25% de l'énergie est dissipée par convection (réchauffement de l'air atmosphérique) et de 75 à 80 % par transfert de masse. L'évaporation d'eau dans l'air atmosphérique ainsi que dans les purges réalisées pour limiter la concentration en sels minéraux et en matières organiques qui risqueraient d'entartrer les aéro-réfrigérants induisent une perte d'eau dans le circuit de refroidissement qui nécessite des apports d'eau réguliers.

Pour un réacteur de 1 300 MWh en fonctionnement nominal, le débit d'appoint (débit prélevé dans le milieu) est de l'ordre de 2 m³/s. Celui-ci se décompose en un débit de purge de 1,25 m³/s et un débit d'eau évaporé (donc consommé) de 0.75 m²/s. Le ratio consommation/prélèvement est estimé entre 33 et 37,5% selon les sources.

La mise en place de circuits fermés permet donc de réduire significativement les prélèvements d'eau mais pas les consommations d'eau qui, par contre, augmentent.

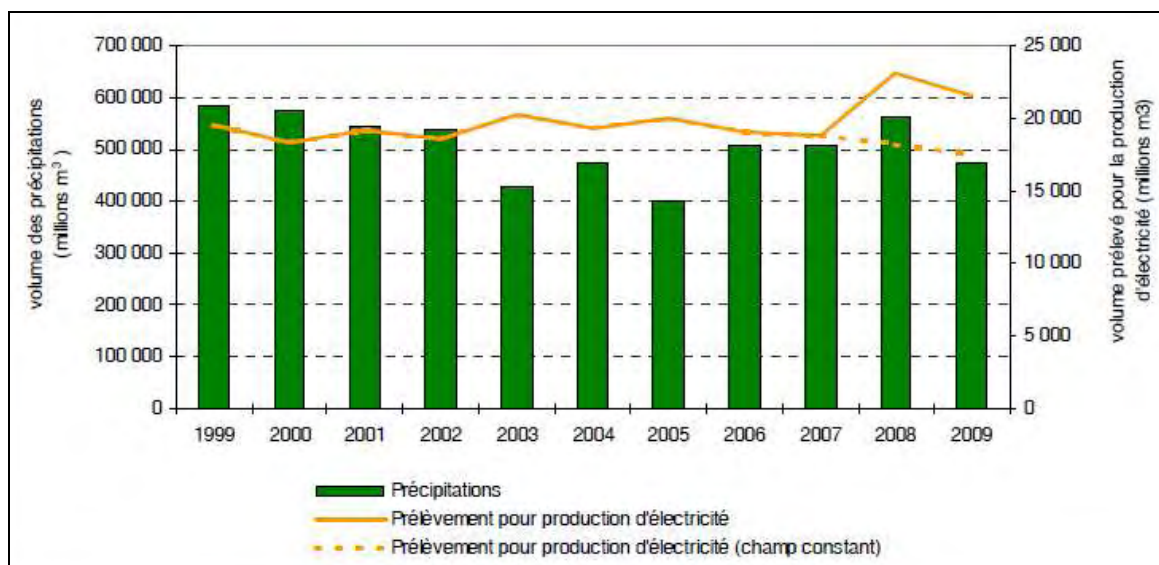
EVOLUTION RÉTROSPECTIVE DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU DESTINÉS À L'ÉNERGIE

D'après les données disponibles, **les volumes prélevés pour la production d'énergie ont été marqués par une très forte augmentation dès la fin des années 1960. Cette tendance a été accentuée dans les années 1970** lorsqu'à la suite du choc pétrolier, le recours aux centrales thermiques pour la production d'énergie s'est développé.

Depuis le début des années 1990, les prélèvements semblent relativement stables. Le passage d'un grand nombre de centrales fonctionnant en « circuit ouvert » à un fonctionnement en « circuit fermé » a permis de réduire les besoins en eau du secteur dans les années 1990 à 2000 (IFEN, 2005).

Figure 43 : Evolution des prélèvements pour la production d'électricité entre 1999 et 2009

(Source : Agences de l'eau, ministère en charge de l'environnement ; graphe SOeS 2012)



Depuis les années 2000, à champ constant de centrales prises en compte, les prélèvements liés à leur refroidissement sont plutôt stables. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 a conduit à intégrer à partir de 2008 les prélèvements de la centrale nucléaire du Blayais dans l'estuaire de la Gironde, qui n'étaient jusque là pas pris en compte. Ceci explique la rupture constatée en 2008, observable sur la figure ci-dessous.

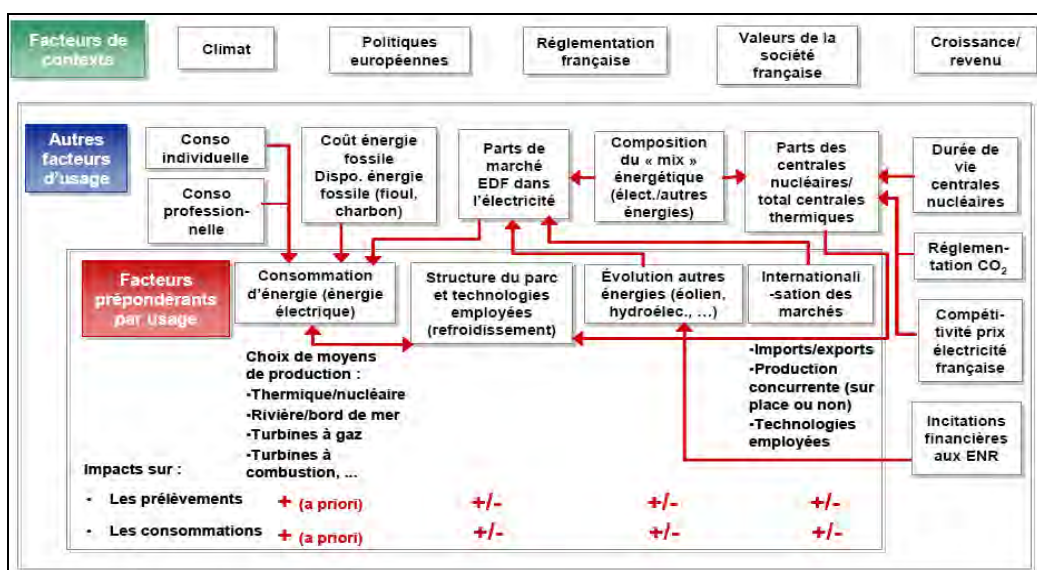
Les prélèvements opérés pour le refroidissement des centrales sont liés aux contraintes d'exploitation, mais aussi aux conditions climatiques. Ainsi, les épisodes de sécheresse et de forte chaleur des années 2003 et 2005 ont conduit à augmenter les prélèvements pour maintenir la production (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

2.3.2 Les questions structurantes pour la demande 2030

De nombreux facteurs peuvent influencer la demande en eau liée à la production d'énergie. Ces facteurs sont d'une part liés aux politiques énergétiques et au choix de certains mode de production d'électricité, aux consommations d'électricité, et d'autre part aux niveaux de prélèvement et de consommation d'eau associés au fonctionnement des centrales (en particulier le type de circuit de refroidissement employé).

La figure ci-dessous du « sous-système énergie » élaborée par le BIPE présente les relations entre ces facteurs et leur corrélation avec les niveaux de prélèvement et de consommation d'eau pour l'énergie.

Figure 44 : Facteurs et variables du sous-système énergie (Source : BIPE-GERPA 2005)



Par exemple, l'exercice de prospective conduit à l'échelle du bassin Seine-Normandie en 2005 a utilisé les facteurs suivants (Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005) :

- ▶ Les consommations d'électricité : les prélèvements d'eau par les centrales, principalement utilisées pour le refroidissement, sont proportionnels aux quantités d'électricité produite ;
- ▶ Les technologies de refroidissement employées sur les centrales (circuit ouvert/circuit fermé) : les niveaux de prélèvements et de consommation d'eau ne sont pas les mêmes dans les deux cas, compte tenu des rendements énergétiques des installations. En matière de circuits de refroidissement, la réglementation fixe le cadre pour les nouvelles installations ; les sites existants sont gérés compte tenu de leur technologie.
- ▶ Le mix de production qui évolue en fonction de plusieurs facteurs :
 - l'évolution de la part des autres énergies (UIOM⁷, Energies Renouvelables, hydraulique, etc.) dans la production d'électricité permet, par différence avec la consommation totale, de déduire à long terme la part assurée par les centrales thermiques (nucléaires et classiques) ;
 - La structure du parc de centrales thermiques : dans un premier temps, il faut répartir la production d'électricité entre celle provenant des centrales nucléaires et celle issue des centrales thermiques classiques. Dans un deuxième temps, il faut localiser les augmentations de production et, le cas échéant, les augmentations de capacités ou les constructions nouvelles de centrales.
 - L'ouverture des marchés qui se traduit par plusieurs phénomènes : les échanges longue distance (internationalisation) mais aussi l'apparition possible de producteurs locaux : le mix énergétique doit donc être reconstruit à partir du parc EDF et du parc des autres producteurs.

⁷ Unité d'Incineration des Ordures Ménagères

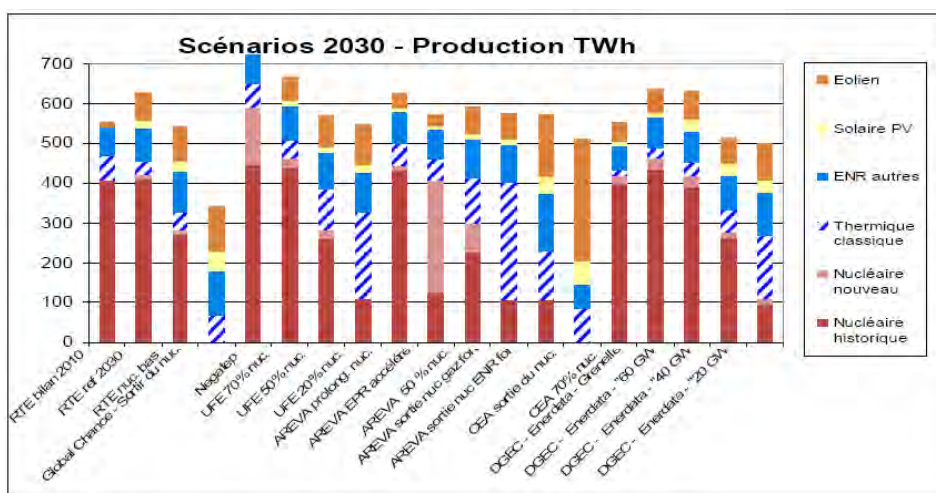
MIX ÉNERGÉTIQUE : DIFFÉRENTS SCÉNARIOS SONT ENVISAGEABLES

Dans le rapport « *Energies 2050* » (Percebois J. (prés.), Mandil C. (vice-prés), 2012), récemment publié par le CAS, différents scénarios de prospective énergétique relatifs à la France ont été analysés. Certains scénarios ont été élaborés par des ONG ou des associations (NégaWatt, Global Chance, Négatep), d'autres par des acteurs du secteur (Enerdata/DGEC, RTE, Union française de l'électricité, Areva, CEA).

Les scénarios utilisent diverses hypothèses et méthodologies, et décrivent une large gamme de mix électriques envisageables à l'horizon 2030, qui diffèrent en particulier selon les hypothèses sur la place du nucléaire dans le mix électrique futur.

Le graphique ci-dessous représente les productions installées en 2030 pour chaque scénario. Il est à noter que les productions sont à distinguer des capacités installées, en raison des durées de fonctionnement des différents modes de production (Percebois J. (prés.), Mandil C. (vice-prés), 2012).

Figure 45 : Comparaison des parcs de production installés en 2030 dans les différents scénarios (TWh)
(Source : CAS 2012)

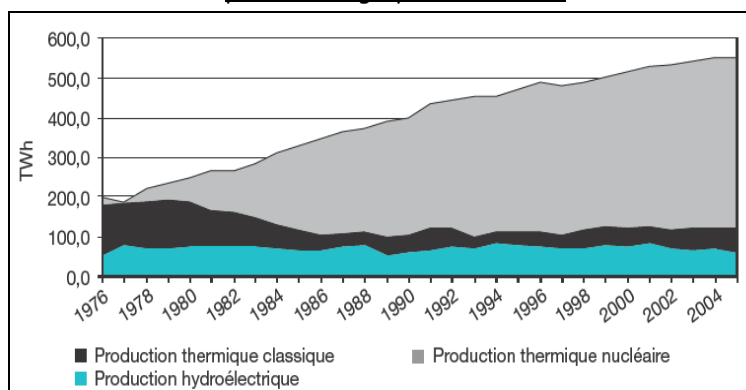


LA PART DU NUCLÉAIRE DANS LE MIX ÉNERGÉTIQUE EST TRÈS VARIABLE SELON LES SCÉNARIOS

Le nucléaire représente depuis les années 1980 une part croissante et majoritaire dans la production d'électricité en France, comme l'illustre la figure ci-contre.

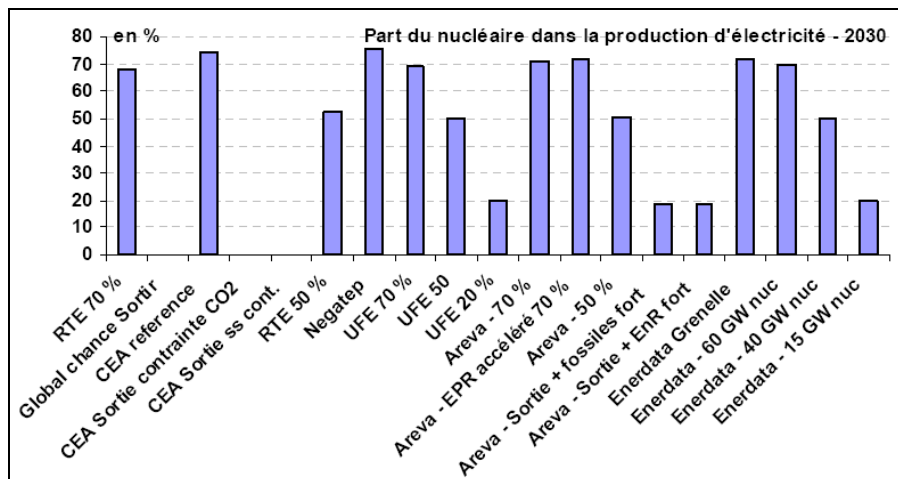
En raison du poids du nucléaire dans le mix électrique actuel et des débats qui entourent son avenir, la plupart des scénarios étudiés considère des options très contrastées sur la place du nucléaire dans le mix électrique futur.

Figure 46 : Production d'électricité en France entre 1976 et 2006
(Source : DGEMP/ Observatoire de l'énergie et des matières premières ; graphe CAS 2007)



La figure ci-dessous compare la part du nucléaire dans le mix énergétique à l'horizon 2030 selon les différents scénarios analysés par le rapport « Energies 2050 ».

Figure 47 : Place du nucléaire dans la production d'électricité en 2030 selon les différents scénarios
(Source : CAS 2012)



Sur ce point, les scénarios se répartissent en trois catégories :

- Ceux qui tablent sur un maintien de la part du nucléaire à hauteur de 70%, en considérant la prolongation du parc actuel à 58 ans ;
- Ceux qui tablent sur une baisse de la part du nucléaire à 50% ;
- Ceux qui tablent sur une réduction plus importante de la part du nucléaire à 20% ou sur une sortie totale du nucléaire.

En cas d'abandon ou de diminution de la part du nucléaire, son remplacement prend des formes variées, généralement des CCG (Cycles Combinés Gaz), des énergies renouvelables (généralement éolien et/ou solaire PV), ou un mix des deux. La biomasse est en général insuffisamment prise en compte, y compris la biomasse à usage de chaleur. Le recours au charbon est rare (Percebois J. (prés.), Mandil C. (vice-prés), 2012).

Par ailleurs, certains travaux de prospective ne prennent pas en compte les hypothèses concernant le mix énergétique dans les quantifications des demandes en eau pour l'énergie. **Ils reposent sur l'hypothèse forte du maintien d'une production d'électricité majoritairement basée sur l'énergie nucléaire**, avec une capacité des centrales nucléaires inchangée par rapport à la situation actuelle. C'est le cas de la prospective élaborée par le BIPE dans le cadre du projet Explore 2070.

La question de la fermeture de certaines centrales nucléaires reste une question éminemment politique, que certains travaux prospectifs choisissent de ne pas prendre en compte.

LA PLUPART DES SCÉNARIOS PROSPECTIFS S'ACCORDENT SUR LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ À L'HORIZON 2030

La demande en énergie est corrélée à la croissance économique et démographique. Le rapport « Energies 2050 » a fait le constat que **la demande d'électricité répond à des impulsions contraires : d'une part les efforts d'efficacité énergétique tendent à la réduire (aux « effets rebonds » près), tandis que d'autre part, la plus grande électrification des usages et le développement des usages captifs la tirent à la hausse**. Au final, en fonction de l'importance donnée à la maîtrise de la demande d'énergie par rapport à l'électricité comme vecteur énergétique, des hypothèses d'une baisse ou d'une hausse de la demande d'électricité à l'horizon 2030 peuvent être faites par les scénarios.

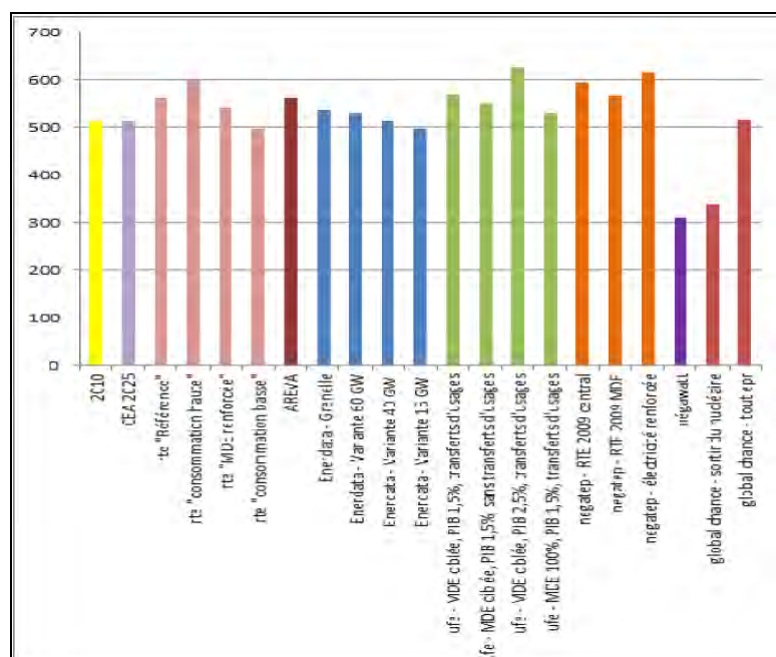
En France, les objectifs européens prévoient une amélioration de l'efficacité énergétique de 20% à l'horizon 2020, et le Grenelle une réduction de la consommation énergétique des bâtiments existants de 38% à l'horizon 2020, mais le cadre réglementaire ne comporte pas encore d'indications de réduction de la demande en énergie à horizon plus lointain.

De ce fait, la plupart des scénarios analysent les évolutions de la demande à l'horizon 2030. Pour cela, ils considèrent en général un point de passage en 2020, avec une hypothèse sur le caractère réaliste ou non de l'atteinte des objectifs du Grenelle, et poursuivent la tendance à l'horizon 2030.

Au-delà de 2030, la nature de la demande d'énergie dépend de la capacité à prévoir la structure de l'économie toute entière, les ruptures technologiques, les nouveaux usages, et les évolutions sociétales en termes de modes de vie ou de déplacement. Quelques scénarios (Négawatt, Négatep) font des hypothèses sur ces considérables, avec des scénarios volontaristes. Ces scénarios reposent davantage sur des choix de société que sur une feuille de route pour y arriver ou sur une modélisation rigoureuse de l'équilibre offre-demande (l'un visant une réduction de la consommation et l'autre une réduction de la consommation d'énergies fossiles).

A l'horizon 2030, l'évolution de la demande d'électricité est peu contrastée selon les scénarios, comme l'illustre la figure ci-dessous. La plupart des scénarios prévoient une stabilité ou une hausse de la demande d'électricité (Percebois J. (prés.), Mandil C. (vice-prés), 2012).

Figure 48 : Niveau de la demande d'électricité en 2030 dans les différents scénarios analysés (TWh)
(Source : CAS 2012)



2.3.3 Les demandes en eau pour l'énergie possibles en 2030

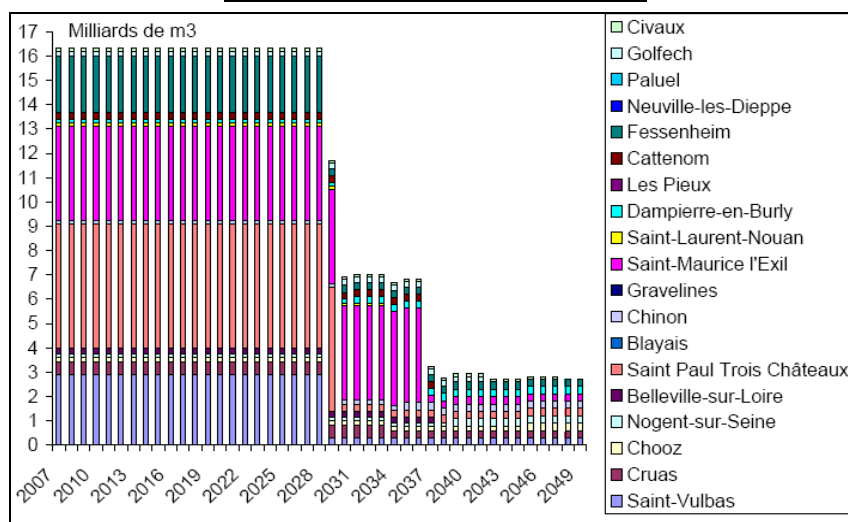
A CAPACITÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES INCHANGÉE, LES PRÉLÈVEMENTS D'EAU DIMINUERONT ET LES CONSOMMATIONS D'EAU SE STABILISERONT

Cette partie présente les résultats de la modélisation des besoins futurs en eau pour l'énergie, établie par le BIPE dans le cadre du projet Explore 2070. L'hypothèse majeure de cet exercice est le maintien, dans ce scénario tendanciel, d'une **production d'électricité majoritairement basée sur l'énergie nucléaire** : en 2070, la capacité des centrales nucléaires sera la même que celle de 2006. La projection s'appuie sur un échéancier de renouvellement des centrales actuellement existantes, sur la base d'une durée de fonctionnement de 50 ans par rapport à leur année de démarrage.

L'exercice de prospective a ainsi abouti aux résultats suivants.

Les prélèvements d'eau par les centrales nucléaires seront de 2,4 milliards de m³ à l'horizon 2070 (contre 21,4 milliards en 2006). Ces prélèvements se maintiendront autour du niveau actuel jusqu'en 2028, pour passer progressivement avec le renouvellement des centrales à 7 milliards de m³ à partir de 2030 et à moins de 3 milliards de m³ à partir de 2038 (BIPE, 2011). **En 2030, les prélèvements par les centrales nucléaires se situeront donc autour de 7 milliards de m³**, comme l'illustre la figure ci-dessous.

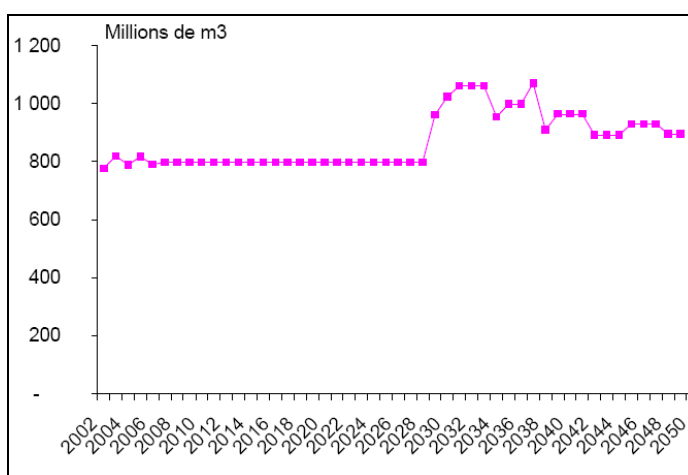
Figure 49 : Evolution prospective des volumes d'eau annuels prélevés par les centrales nucléaires (extrait à 2050) (Source : BIPE 2011)



Quant aux consommations d'eau, elles devraient se maintenir autour de 800 millions de m³ jusqu'en 2028. Elles devraient augmenter par la suite pour atteindre 1100 millions de m³ et revenir à 900 millions de m³ à partir de 2040. Ce profil s'explique par la généralisation de l'utilisation de circuits de refroidissement fermés, plus consommateurs en eau (BIPE, 2011).

En 2030, les consommations d'eau par les centrales nucléaires pourraient donc se situer autour de 800 millions de m³, puis augmenter, comme l'illustre la figure ci-dessous.

Figure 50 : Evolution prospective des volumes d'eau consommés par les centrales nucléaires (extrait à 2050) (Source : BIPE 2011)



QUANTIFICATION DES PRÉLÈVEMENTS FUTURS LIÉS À L'ÉNERGIE SELON LES AUTRES SCÉNARIOS

Comme vu précédemment, il existe de nombreux scénarios énergétiques pour les décennies à venir. A ces différents scénarios peuvent donc correspondre des niveaux de prélèvements d'eau très variables. La prospective du BIPE dans le cadre d'Explore 2070 est donc à considérer comme l'un des futurs possibles concernant les prélèvements d'eau à destination de l'énergie.

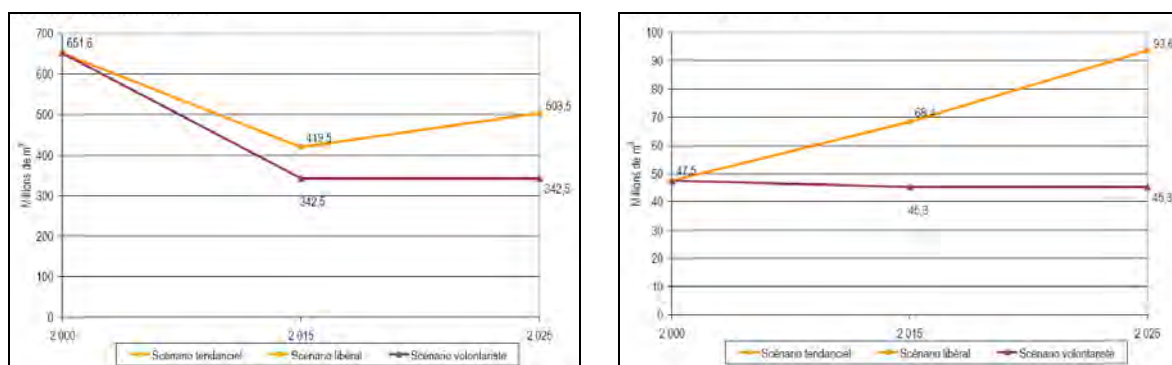
SELON DES SCÉNARIOS VOLONTARISTES, LES PRÉLÈVEMENTS POURRAIENT DIMINUER JUSQU'EN 2015 SUR LE BASSIN SEINE-NORMANDIE

Le grand bassin hydrographique Seine-Normandie compte quatre centrales nucléaires qui génèrent près de 87% de l'électricité produite sur le bassin (Source : AESN). Trois d'entre elles (Flamanville, Paluel, Penly) sont situées sur le littoral et les eaux prélevées pour le refroidissement proviennent de la mer. La quatrième, la centrale de Nogent, située sur le bord de Seine, fonctionne avec un circuit de refroidissement fermé.

L'exercice de prospective conduit à l'échelle du bassin Seine-Normandie en 2005⁸, en posant des hypothèses concernant le mix énergétique, a abouti à des résultats sensiblement différents, représentés sur les figures ci-dessous.

Selon le scénario volontariste, les prélèvements diminueront jusqu'en 2015 puis se stabiliseront. Quant aux consommations, elles resteront stables autour des niveaux actuels (Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005).

Figure 51 : Evolution prospective des prélèvements et consommations d'eau pour l'énergie sur le bassin Seine-Normandie à l'horizon 2025 selon les différents scénarios (Source : AESN, BIPE-GERPA 2005)



SUR LE BASSIN DE LA GARONNE, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE POURRAIT IMPLIQUER UNE MODIFICATION DES RÈGLES DE GESTION FUTURES POUR LA PRODUCTION D'HYDROÉLECTRICITÉ

Dans le cadre du projet Imagine 2030 (Irstea, EDF, 2009), des scénarios climatiques ont été élaborés pour appréhender les forçages climatiques du XXI^{ème} siècle sur le bassin de la Garonne et leurs conséquences notamment sur l'hydroélectricité sur le bassin de l'Ariège à Foix.

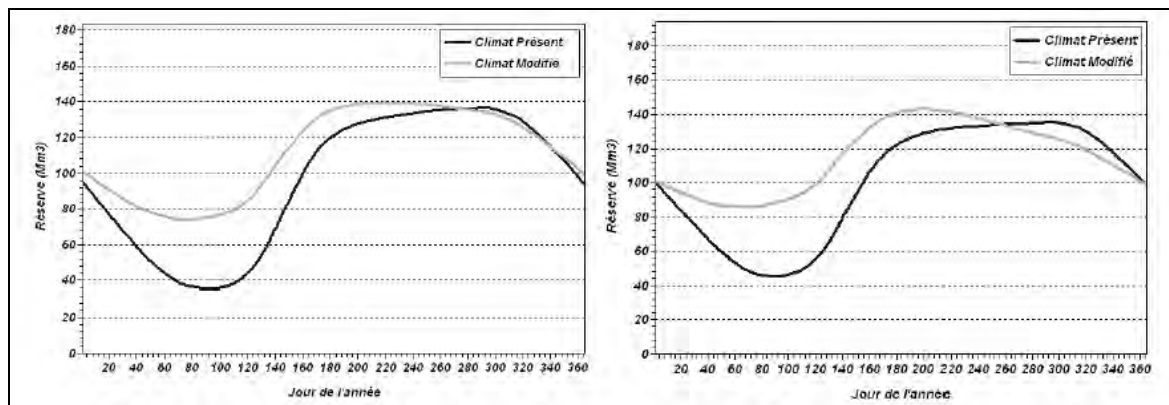
Un module de gestion simplifiée de l'hydroélectricité a été développé pour modéliser l'influence des aménagements sur le régime naturel, en reproduisant la stratégie de l'hydroélectricien recherchant à valoriser au mieux sa réserve hydraulique vis-à-vis des besoins en électricité et de son espérance d'apport futur d'eau. Ce module s'appuie sur un vecteur « intérêt à turbiner » dépendant de la température moyenne de l'air en France qui vise à tenir compte de la sensibilité de la consommation électrique au chauffage (consommation d'autant plus grande que la température est sous les 15°C) et par conséquent de l'intérêt à placer dans ces moments de pointe l'énergie hydraulique. Une contrainte de respect d'un débit environnemental en aval a également été intégrée.

Les scénarios climatiques futurs ont ensuite été exploités. Les modèles hydrologiques CEQUEAU et GR4J fournissent les débits naturels sous changement climatique. Les débits influencés sont ensuite obtenus à partir du modèle de gestion avec une chronique de température journalière France entière simulée au même horizon et cohérente avec la situation météorologique du jour sur le bassin de la Garonne.

⁸ Elaboration de scénarios d'évolution des besoins en eau à comparer avec la disponibilité des eaux superficielles du bassin Seine-Normandie, AESN, Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005

Les résultats montrent une diminution du pic de fonte en juin et un écart aux débits naturels moindre que dans la situation actuelle. La figure ci-dessous représente l'évolution du volume de remplissage de la réserve agrégée.

Figure 52 : Trajectoires de la macro réserve en amont de Foix sur la période 2021-2040 et sous climat présent selon les modèles hydrologiques CEQUEAU et GR4J (Source : Imagine 2030, Irstea 2009)



Les trajectoires varient selon le scénario climatique envisagé. **Les résultats suggèrent la nécessité d'un remplissage printanier plus précoce de la réserve pour assurer des débits estivaux suffisants tout en permettant de disposer d'un stock énergétique en entrée d'hiver.** L'amplitude des variations en hiver plus faible à l'horizon 2030 qu'actuellement laisse entendre une moindre valorisation énergétique, double conséquence de la baisse du débit annuel et de sollicitations estivales accrues.

Le changement climatique dans les décennies à venir influencera vraisemblablement la production d'hydroélectricité, ce qui pourrait faire varier le mix énergétique français, et supposément par conséquent les prélèvements d'eau liés aux autres modes de production électrique.

CENTRALES ÉLECTRIQUES ET TEMPÉRATURES DES COURS D'EAU

La majeure partie de l'eau prélevée pour le fonctionnement des centrales électriques est restituée dans le milieu naturel, mais elle peut cependant le perturber par sa température plus élevée.

En effet, les rejets d'eau dans le milieu naturel des centrales thermiques fonctionnant en circuit ouvert sont plus chauds que sur le lieu de leur captage. Le réchauffement d'un cours d'eau utilisé par une centrale électrique en circuit ouvert est limité au cas par cas en France par arrêté préfectoral, à une dizaine de degrés.

En été, quand les débits des cours d'eau peuvent être limités et variables et où les températures ambiantes sont élevées, la gestion de ces contraintes thermiques impose parfois des réductions de puissance, ou nécessite des dérogations exceptionnelles de dépassement des maxima légaux, de 1 à 3 °C, entre l'amont et l'aval de la centrale. Dans le cas de Gravelines par exemple, où la source froide est la mer, l'eau prélevée à moins de 20°C à l'entrée de la centrale atteint 30°C en sortie ; l'arrêté de rejet fixe le maximum à 35°C (IFP Energies nouvelles, 2011).

A l'inverse, le changement climatique va entraîner une hausse des températures des fleuves et une baisse de leur débit. Par conséquent, un allongement des périodes critiques pour le refroidissement des centrales est à prévoir (Cf. 4.4).

2.4 LES DEMANDES EN EAU POUR LA PRODUCTION INDUSTRIELLE DÉPENDRONT DES PROCESS ET CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT

2.4.1 Rétrospective : une baisse continue des prélèvements industriels depuis 1970

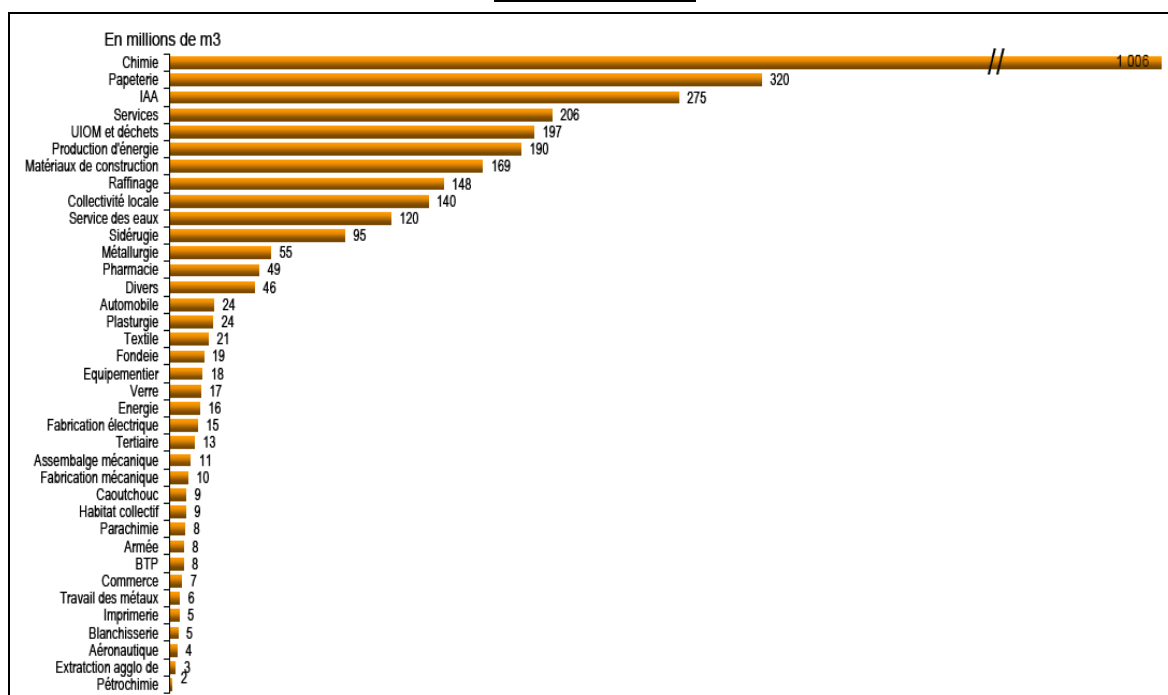
Outre les prélèvements industriels au sens propre, les prélèvements référencés dans le champ Industrie incluent également des prélèvements liés à d'autres activités : grande distribution, certains services et centres de recherche, des activités du BTP, certaines activités agricoles ou agro-alimentaires de première transformation, des collectivités locales pour les eaux d'arrosage ou la neige de synthèse, etc.

Au total, sur les environ 3 milliards de m³ prélevés chaque année pour usage industriel, plus de 80% sont destinés aux activités industrielles au sens propre (industries lourdes et manufacturières), et entre 15 et 20% à des activités assimilées (BIPE, 2011).

L'industrie est par ailleurs également raccordée au réseau AEP pour les « eaux vannes » (sanitaires, douches, cantines ...).

Quatre secteurs industriels totalisent environ 65% des prélèvements : la chimie, la papeterie, les industries agro-alimentaires, et les usines d'incinération des ordures ménagères. La figure ci-dessous classe les différentes industries selon leur niveau de prélèvement d'eau.

Figure 53 : Prélèvements d'eau pour les usages industriels par secteur d'activité (chiffres 2006) (Source : BIPE, SOeS 2011)



Les usages industriels de l'eau sont multiples et dépendent des secteurs. L'eau employée dans l'usine entre plus ou moins en contact direct avec l'outil de production ou avec le produit. On peut distinguer trois grandes familles d'usages :

- En amont du process : lavage ou transport de la matière première ;
- Utilisation de l'eau dans le process lui-même : agent de fabrication, lavage du produit ;
- Indirectement dans le process, production d'utilités : soit pour le chauffage des produits, voire des équipements (vapeur, eaux chauffées), soit pour le refroidissement des équipements (eau de refroidissement, eau glacée, etc.).

Les prélèvements les plus importants en volume sont destinés au refroidissement. Ils sont effectués majoritairement en rivière pour être rejetés sur place, quasiment au point de prélèvement. Les circuits de refroidissement peuvent être ouverts, fermés, ou mixtes (Cf. 2.3.1).

Par ailleurs, les sites qui prélèvent en circuit ouvert, donc avec les niveaux de prélèvements les plus importants, sont situés près des plus grands fleuves : Seine, Rhin et Rhône.

Le ratio consommation/prélèvement varie selon les secteurs, les procédés, et la nature des circuits de refroidissement. Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes des ratios par secteur.

Tableau 7 : Ratios des consommations d'eau par grand secteur d'activité industrielle (Source : BIPE)

Activité		Ratio des consommations d'eau
Industrie agro-alimentaire	Industrie de la viande	27%
	Industrie agroalimentaire de première transformation	7%
	Industrie du lait	10%
	Fabrication de sucre	0
Papier-Carton		3%
Raffinage pétrole		2%
Chimie		10,6%
Autres secteurs		7%
Mécanique-travail métaux-automobile	Travail des métaux	1%
	Traitement de surface	1%
	Assemblage d'équipements mécaniques et électriques	4%
	Automobile	4%
UIOM		31,6%

EVOLUTION RÉTROSPECTIVE DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU DESTINÉS À L'INDUSTRIE

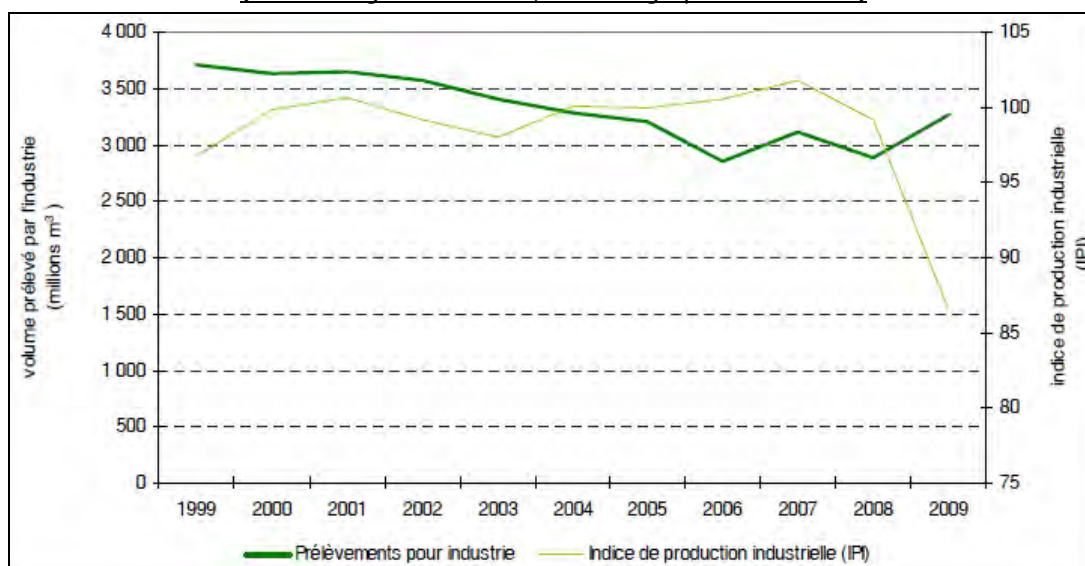
Le secteur industriel est le seul qui présente une diminution régulière et significative des volumes prélevés depuis 1970 : une baisse des prélèvements de plus de 30% a été observée entre 1970 et 2005, et de 20% entre 1999 et 2009.

Le ralentissement de certaines activités industrielles, l'amélioration des process et le recours croissant aux circuits fermés ont permis d'obtenir de tels résultats (IFEN, 2005).

Après une baisse régulière des prélèvements de 1999 à 2006, l'évolution est plus irrégulière ces dernières années, comme le montre la figure ci-dessous. Elle ne semble par ailleurs pas liée à l'Indice de Production Industrielle (IPI), publié par l'INSEE, qui traduit le niveau de production industrielle (Commissariat Général au Développement Durable, 2012).

Figure 54 : Evolution des prélèvements pour l'industrie entre 1999 et 2009

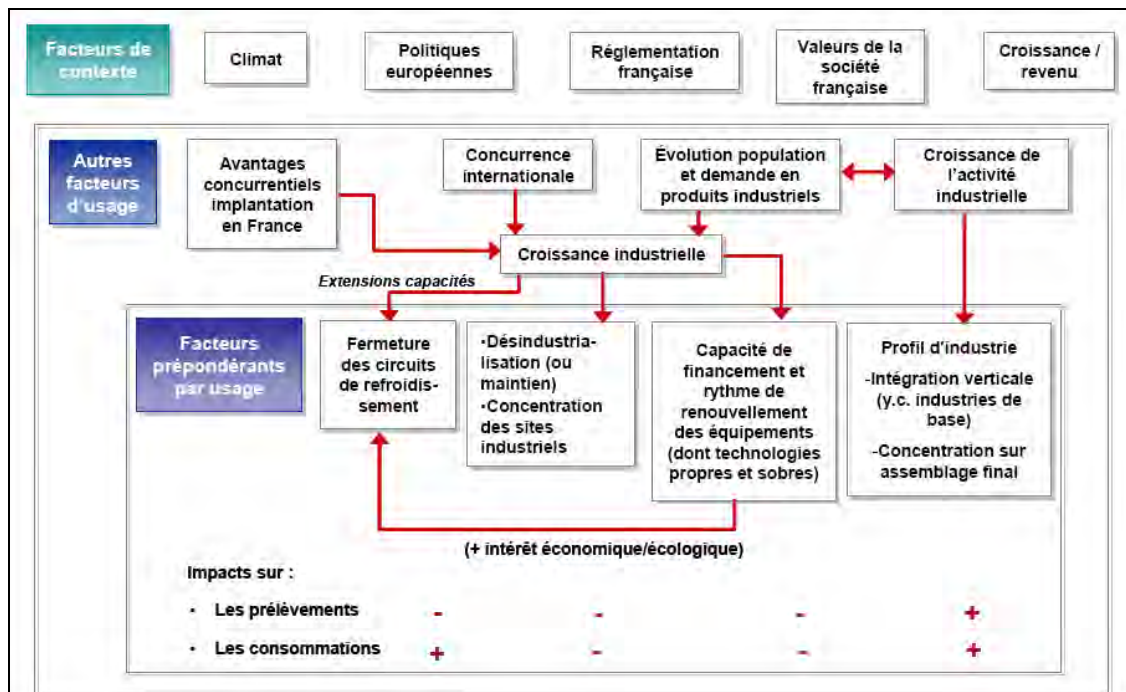
(Source : Agences de l'eau, INSEE ; graphe SOeS 2012)



2.4.2 Les questions structurantes pour la demande 2030

Le sous-système industrie inclut divers facteurs, illustrés par la figure ci-dessous.

Figure 55 : Facteurs et variables du sous-système industrie (Source : BIPE-GERPA 2005)



Selon l'exercice prospectif mené par le BIPE dans le cadre du projet Explore 2070, les trois principaux facteurs sont :

- **L'activité économique** et les perspectives de production en volume, calculée sur la base d'un taux de croissance spécifique à chaque secteur. Les prélèvements pour la production (eaux de process) sont considérés comme proportionnels à la production en volume.
- **La capacité à améliorer les procédés pour diminuer les prélèvements d'eau.** La prospective BIPE considère une diminution moyenne des prélèvements, résultant de l'amélioration continue des procédés, à un rythme annuel commun à tous les secteurs.
- **La nature des circuits de refroidissement** : circuits fermés ou circuits ouverts. Le potentiel de réduction des prélèvements dépend de la catégorie de circuit de refroidissement (ouvert, fermé ou mixte).

L'étude considère que le potentiel de réduction des prélèvements est plus important pour les eaux de refroidissement que pour les eaux de process (sauf dans certains secteurs, comme dans l'agro-alimentaire), et donc :

- Qu'à l'échelle des secteurs, certains secteurs présentent un potentiel à long terme de réduction des volumes prélevés plus important que d'autres, notamment les secteurs des industries de production de biens intermédiaires (industries lourdes) que pour les industries d'assemblages ou manufacturières.
- Qu'à l'échelle des sites industriels, le potentiel de réduction est plus important pour une usine dont le refroidissement des équipements est effectué en circuit ouvert par rapport à un site du même secteur avec une production (et un process) comparable qui utilise un refroidissement en circuit fermé (BIPE, 2011).

2.4.3 Les demandes en eau pour l'industrie possibles en 2030

A L'ÉCHELLE NATIONALE

Cette partie présente les résultats de la modélisation des besoins futurs en eau pour l'industrie, établie par le BIPE dans le cadre du projet Explore 2070.

Le scénario retenu repose sur une amélioration continue des procédés de fabrication de manière à les rendre plus économes en eau (baisse moyenne de -2,5% par an des eaux prélevées pour les activités de process), et sur la poursuite de la fermeture des circuits de refroidissement (baisse de -1,4% par an pour les eaux de refroidissement), soit au total, une diminution cumulée potentielle de -4% par an. Cette diminution est ensuite contrebalancée par l'augmentation de production en volume qui génère elle-même une demande supplémentaire en eau.

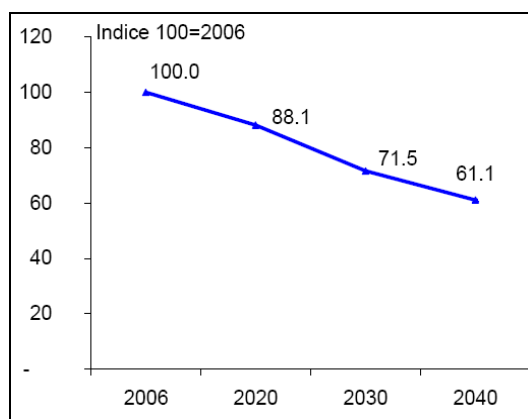
Le scénario tendanciel n'intègre ni de ruptures technologiques majeures, ni de mutation profonde de l'industrie dans sa structure et ses productions.

Cette modélisation aboutit à une évolution significative de la structure des prélèvements d'eaux industrielles selon leur usage dans les usines : **à long terme, le poids des eaux de process devrait augmenter très fortement en proportion dans le total des volumes prélevés, tandis que les eaux de refroidissement devraient sensiblement diminuer.** Une inversion de proportion pourrait se produire dans certains secteurs. Ce phénomène s'est déjà produit dans des secteurs tels que la laiterie où les eaux de process représentent désormais plus de volumes d'eau que les eaux de refroidissement. **Les taux de consommation d'eau devraient progresser sensiblement** car, dans l'hypothèse de la fermeture de tous les circuits d'eau, les pertes par évaporation devront être compensées par des appoints d'eau (BIPE, 2011).

La réduction des niveaux de prélèvements résulte de la combinaison des évolutions de prélèvements selon les secteurs, leurs profils d'usages, leur dynamique de production à long terme et du potentiel estimé de réduction des prélèvements à long terme.

La croissance attendue de la production industrielle dans les décennies à venir aura un effet d'accroissement sur les prélèvements en eau, notamment pour les sites industriels « mixtes », sans pour autant compenser les effets de réduction des prélèvements d'eau liés aux gains réalisés par de meilleures exploitations de procédés et de fermetures des circuits de refroidissement.

Figure 56 : Evolution prospective des prélèvements d'eau pour l'industrie (extrait à l'horizon 2040) (Source : BIPE 2011)



Le cheminement de baisse des prélèvements d'eau dans l'industrie suit l'évolution de l'investissement des entreprises.

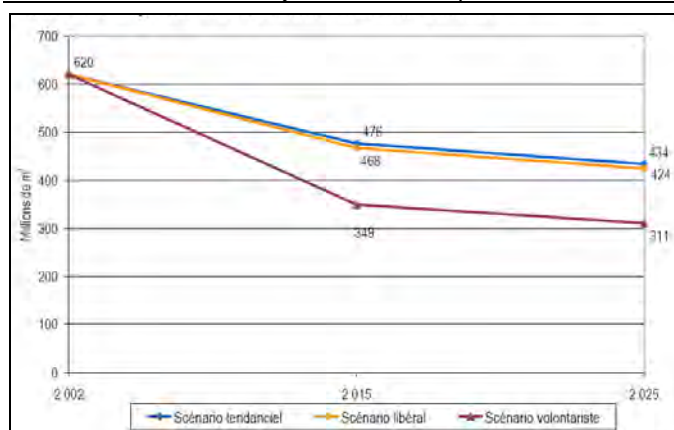
Comme l'illustre la figure ci-contre, **les prélèvements d'eau dans l'industrie devraient connaître une accélération de leur rythme de décroissance entre 2020 et 2040, période où les investissements des entreprises seront soutenus** (BIPE, 2011).

A L'ÉCHELLE DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE SEINE-NORMANDIE

Dans l'étude conduite en 2005 à l'échelle du bassin hydrographique Seine-Normandie à l'horizon 2025 (Hydratec-BIPE-Gerpa, 2005), les facteurs suivants d'influence de la demande en eau pour l'industrie ont été pris en compte : fermeture des circuits de refroidissement, prévisions de production industrielle, structure de l'industrie à long terme (désindustrialisation et restructurations), capacité de financement des entreprises pour les investissements environnement, type d'énergie produite dans les UIOM.

La figure suivante montre les évolutions des prélèvements à destination de l'industrie selon ces trois scénarios.

Figure 57 : Evolution prospective des prélèvements d'eau pour l'industrie sur le bassin Seine-Normandie à l'horizon 2025 selon les différents scénarios (Source : AESN, BIPE-GERPA 2005)



La prospective à l'échelle du bassin Seine-Normandie table sur une réduction des prélèvements d'eau à destination de l'industrie en deux temps.

Jusqu'en 2015, le taux de réduction annuel sera fort, puis entre 2015 et 2025, les prélèvements devraient continuer de baisser mais moins rapidement, et tendront vers stabilisation. La réduction des prélèvements sera davantage marquée dans le scénario volontariste. Les niveaux de consommation d'eau devraient suivre des évolutions similaires.

2.5 LES DEMANDES EN EAU POUR L'ENVIRONNEMENT

2.5.1 La prise en compte du besoin des milieux aquatiques s'est progressivement affirmée dans le cadre réglementaire

DÉBITS MINIMUMS À RESPECTER AU DROIT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

L'obligation de respecter un débit pour la préservation des milieux aquatiques a été introduite dans la loi dite « pêche » de 1984/ Elle fixait un débit réservé à maintenir au droit des ouvrages en rivière au 1/10^e du module (débit moyen interannuel), avec une tolérance à 1/40^e pour les ouvrages existants à la date de parution de la loi.

La LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques) de 2006 a revu à la hausse les valeurs et impose de respecter (Article L214-18 du code de l'Environnement créé par Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 - art. 6 JORF 31 décembre 2006, article commenté en détail plus bas) désormais au droit de chaque ouvrage un débit égal au 1/10 du module en prévoyant toutefois la possibilité de moduler le débit minimum au long de l'année mais sans pouvoir passer sous le 1/20 du module. La loi prévoit une tolérance (valeurs pouvant être inférieures) pour les seuls cours d'eau possédant un fonctionnement dit atypique (en pratique essentiellement les cours d'eau dans les contextes karstiques).

DÉBITS MINIMUMS POUR GARANTIR LE BON ÉTAT ÉCOLOGIQUE

La DCE (Directive Cadre Européenne sur l'Eau) de 2000 impose de parvenir à un **bon état** des masses d'eau souterraines et superficielles d'ici à 2015. Elle prévoit que les **état écologique** (qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés) et **chimique** (concentration de polluants en-deçà des seuils) soient au moins "**bons**". Les masses d'eau en très bon état doivent le rester.

L'application de la directive s'est traduite par de nombreuses mesures qui visent à atteindre le "bon état" des masses d'eau.

Pour les cours d'eau, sur les aspects quantitatifs, cette volonté se traduit par la définition de débits minimums à respecter au droit de points clés (dits points de référence) particulièrement en étiage. L'idée est que les pressions sur les milieux s'accroissent en étiage :

- ▶ Les faibles débits réduisent les habitats utilisables par les différents compartiments ;
- ▶ Plus le débit se réduit, plus la dilution des pollutions diminue, et l'impact sur le milieu récepteur s'aggrave, soulignant ainsi le lien entre état quantitatif et état qualitatif ;
- ▶ Les faibles débits accentuent également les augmentations de température.

Les méthodes employées pour déterminer ces débits varient d'un bassin hydrographique à un autre.

2.5.2 Des histoires différentes d'un grand bassin à l'autre : cas des bassins RM&C et Adour-Garonne

La prise en compte des milieux aquatiques et le respect de débits réservés a pu faire l'objet d'approches différentes selon les comités de bassin.

Historiquement, le comité de bassin Adour-Garonne a été le premier à s'intéresser à la question. En effet, dès 1996, il a approuvé la mise en place d'un débit minimum d'étiage, appelé « débit objectif d'étiage » (DOE), sur chacun des cours d'eau et la mise en œuvre de plans d'action permettant de les respecter. Ces valeurs de DOE ont été inscrites dans le SDAGE de 1996. Ce point est repris plus bas (§ 4.6.2)

Les DOE constituent des seuils en dessous desquels le comité de bassin considère que l'état de la ressource en eau est problématique parce que les usages et la vie aquatique sont impactés. Aujourd'hui, les réponses permettant de maintenir les DOE sont des accords de lâchés d'eau par les barrages hydroélectriques, la construction de nouveaux barrages et des économies d'eau permises par des améliorations techniques dans chaque secteur.

Sur le bassin Rhône Méditerranée, en revanche, la démarche a émergé plus tardivement, mais s'est basée sur un raisonnement centré sur la vie des milieux aquatiques (Cf. 4.5.1). Ainsi, dans le cadre des études volumes prélevables sur le bassin RMC, le volet de détermination des débits biologiques met en œuvre, en général, une méthode combinant :

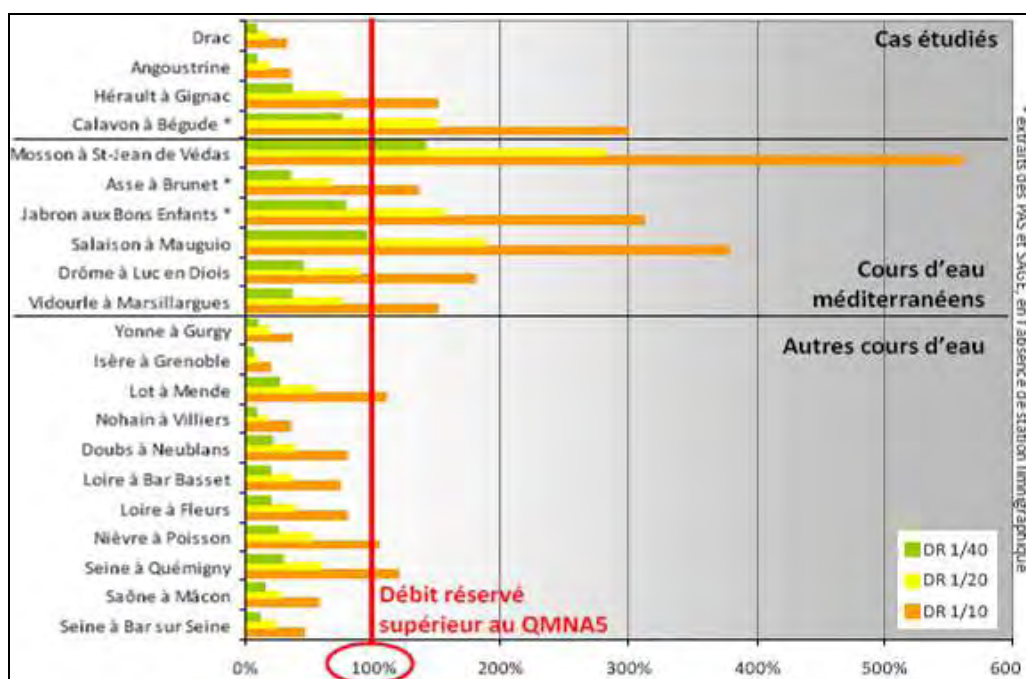
- ▶ une approche hydraulique, basée sur l'évolution du périmètre mouillé en fonction du débit ;
- ▶ une approche de modélisation des habitats en fonction du débit, qui tient compte des préférences de groupes de poissons (ESTIMHAB).

Les résultats fournis par cette méthode combinée sont ensuite intégrés à une analyse multicritères prenant également en compte d'autres paramètres comme par exemple la disponibilité des zones refuge et l'ombrage exercé par la végétation des bords de cours d'eau.

2.5.3 Une réglementation parfois en décalage avec l'hydrologie naturelle des cours d'eau

Dans le cas de certains cours d'eau Méditerranéens, le mode de calcul des débits réservés rend leur **application contradictoire avec le maintien des prélèvements en étiage** tels qu'ils existent aujourd'hui. La figure ci-dessous compare les débits d'étiage (QMNA5) de certains cours d'eau avec les seuils de débit réservé : anciennement, ces seuils correspondaient au 1/40° ou au 1/20° du débit moyen du cours d'eau, aujourd'hui, il s'agit du 1/10°, avec un assouplissement possible jusqu'au 1/20°.

Figure 58 : Comparaison des débits d'étiage (QMNA5) et des seuils de débit réservé pour plusieurs cours d'eau (Source : AIRMF 2009)



En effet, la valeur retenue dans l'article L. 214-18 pour le débit réservé est par défaut le 1/10° du module, mais cet article introduit un **assouplissement de cette limite**. « En effet, **le 1/10° du module n'est pas une valeur partout adaptée** compte tenu des différents régimes hydrologiques des cours d'eau. L'intérêt environnemental et également énergétique est de pouvoir moduler sur certains cours d'eau la valeur de ce débit dans l'année, le 1/10° devant dans ce cas être respecté en moyenne annuelle. Ainsi à la notion de « débit réservé » pourrait être substituée celle de « régime réservé ». Cette modification permettrait de disposer de plus d'eau dans le cours d'eau à certaines périodes sensibles sans perte énergétique supplémentaire par rapport à la situation actuelle. » (Source : LEMA, exposé des motifs). La LEMA indique néanmoins un plancher : le débit réservé ne doit pas descendre en-dessous du 1/20° du module en étiage, mais le débit s'écoulant sur l'année doit en moyenne être supérieur au 1/10° du module.

Cet article introduit également des exceptions :

- Le Rhin et les autres cours d'eau internationaux (notamment le Rhône), pour des raisons officielles de souveraineté nationale ;
- Les cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ou pour les ouvrages qui produisent de l'électricité en période de pointe (liste est fixée par décret en Conseil d'Etat) : le débit minimal ne doit pas être inférieur au 1/20° du module ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur ;

- Les cours d'eau présentant un **fonctionnement atypique**, dont la définition est précisée dans l'article R. 214-111 du code de l'environnement (Décret n° 2007-1760 du 14 décembre 2007, article 6). Est considéré comme atypique un cours d'eau caractérisé de la façon suivante :
 - 1° Son lit mineur présente des caractéristiques géologiques qui sont à l'origine de la disparition d'une part importante des écoulements naturels à certaines périodes de l'année ;
 - 2° Son aval immédiat, issu d'un barrage de classe A ou à usage hydroélectrique d'une puissance supérieure à vingt mégawatts, est noyé par le remous du plan d'eau d'un autre barrage de même nature ;
 - 3° Les espèces énumérées à l'article R. 214-108 (différents compartiments aquatiques) en sont absentes (à condition que cela ne détériore pas l'état du cours d'eau non atypique situé immédiatement à l'aval) ;
- Les **étiages naturels exceptionnels**, au cours desquels l'autorité administrative peut fixer des débits temporaires inférieurs. L'article R. 214-111-2 du code de l'environnement (Décret n° 2007-1760 du 14 décembre 2007, article 6) précise que le préfet du département peut fixer des débits minimaux temporaires pour une période d'étiage naturel exceptionnel (a priori de type décennal). Aussi, cet alinéa ne semble pas pouvoir être utilisé pour des étiages forts récurrents.

Par ailleurs, la modélisation hydro-climatique d'Explore 2070 montre que **des baisses significatives des débits d'étiage sont à attendre sous l'effet du changement climatique**. La combinaison de ces deux facteurs laisse présager dans certaines régions telles que les Cévennes, des situations de tensions ou de conflits d'usages (ou entre usagers et protection de l'environnement) où le maintien des prélèvements tels qu'ils sont pratiqués pourrait être difficile.

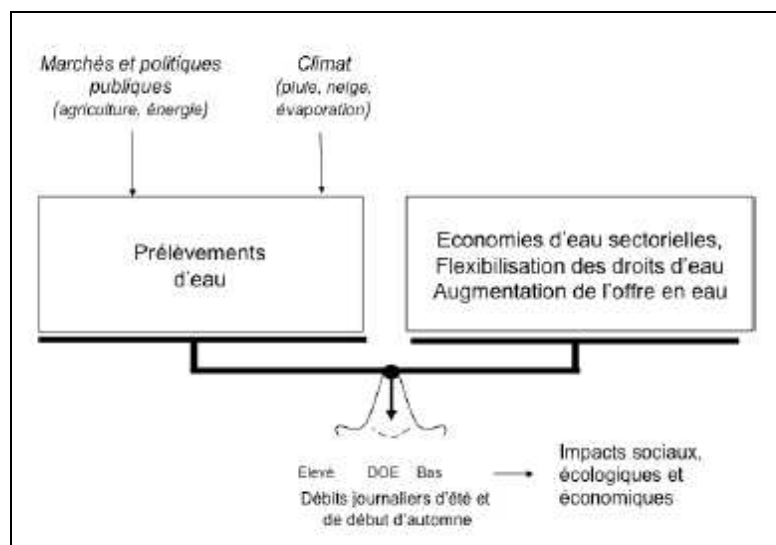
2.5.4 Le regard des sciences sociales sur les indicateurs en gestion quantitative

Une publication récente (Fernandez S, Bouleau G, Treyer S, 2011) a soulevé la question de la construction de la demande environnementale, et souligné, à partir de l'exemple de la Garonne, les influences politiques et sociales dans l'élaboration de tels indicateurs.

L'article explique que, bien que les systèmes environnementaux n'évoluent pas de manière purement déterministe, les modèles déterministes ont été élaborés pour mieux appréhender leur comportement biophysique. Ainsi, des scénarios environnementaux ont été utilisés pour traduire des modèles d'évaluation en diverses options de politiques publiques. Ces scénarios sont des récits qui identifient des tendances socio-économiques conduisant à des changements biophysiques. Les scientifiques les utilisent pour coupler le système bio-géophysique à une réalité sociale et économique (Fernandez S, Bouleau G, Treyer S, 2011).

L'article est en particulier centré sur l'analyse du modèle « Forces motrices – Pressions – Etat – Impact – Réponses » (DPSIR), élaboré par l'OCDE et l'Agence Européenne de l'Environnement. Le modèle DPSIR fournit une représentation simplifiée de la réalité, pour la faire partager, notamment par l'ensemble des participants dans les évaluations environnementales (scientifiques, gestionnaires, décideurs, etc.). Comme l'illustre la figure ci-dessous, il utilise l'analogie de l'action de la gravité sur une balance à deux plateaux.

Figure 59 : Le modèle DSPIR avec l'exemple des DOE de la Garonne (Source : Fernandez et al, 2011)



Le modèle transpose ainsi au monde social un modèle physique de causalités (Trottier, 2006). Dans le modèle DPSIR, les facteurs sociaux et politiques sont représentés comme si ils avaient un effet déterministe, créant automatiquement des pressions (Fernandez S, Bouleau G, Treyer S, 2011). Ceci produit aussi une division du travail entre disciplines scientifiques : alors que le cœur du modèle décrit le monde physique (pression-état-réponse), les facteurs sociaux sont considérés comme des modules périphériques qui n'interviennent que comme entrées dans le modèle (forces motrices) ou comme sorties (impacts). Pourtant les facteurs sociaux influencent souvent la façon dont on modélise un problème, mais la construction sociale de la définition du problème n'est pas abordée dans le modèle DPSIR (Fernandez S, Bouleau G, Treyer S, 2011).

L'article détaille ensuite plusieurs représentations conceptuelles de la gestion de l'eau dans le bassin de la Garonne, selon les visions des différents acteurs concernés.

L'article aboutit à la conclusion que « **notre compréhension de l'environnement est façonnée par des modèles et des indicateurs** ». Pour prendre du recul par rapport à la situation présente, les auteurs considèrent que « **nous devons apprendre comment des représentations dominantes ont été produites et promues dans des situations situées spatialement et historiquement. C'est ce qui ouvre la pensée à des visions du futur ainsi qu'à des stratégies d'adaptation qui soient plurielles** » (Fernandez S, Bouleau G, Treyer S, 2011).

2.6 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 2

A l'horizon 2030, sous l'influence de différents moteurs d'évolution, les **usages de l'eau** risquent d'accroître ponctuellement et localement les pressions sur la ressource ou d'exacerber certains conflits entre usages.

Sous le double effet, de l'augmentation démographique et de la baisse des consommations individuelles, les prélèvements totaux destinés à **l'eau potable** devraient légèrement augmenter puis diminuer pour atteindre à nouveau leur niveau actuel (2010) vers 2030. Après 2030, ils devraient continuer de décroître. **Les flux migratoires interrégionaux devraient toutefois conduire à des hausses de la demande en eau potable pour certaines régions** (PACA, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, ...).

En ce qui concerne la demande en **eau agricole**, l'analyse est beaucoup plus délicate. En effet, il existe une **multitude de scénarios prospectifs différents** concernant l'agriculture française à l'horizon 2030. Celle-ci sera dépendante de différents facteurs, parmi lesquels la **PAC** et les **contraintes environnementales**, notamment concernant les ressources en eau, constitueront des déterminants majeurs.

L'irrigation constituera vraisemblablement une variable d'ajustement des prélèvements au regard des volumes prélevables autorisés. La demande en eau agricole à l'horizon 2030 sera donc influencée par le visage de l'agriculture française en 2030, ainsi que par la hausse des besoins en eau d'irrigation des plantes liée au **changement climatique**, et par les **contraintes environnementales et énergétiques croissantes**. Les influences respectives de ces divers facteurs seront différentes selon les régions. Malgré ces incertitudes, on peut penser que, dans les régions fortement équipées en réseaux d'irrigation alimentés par des ressources abondantes et/ou régulées (par exemple en PACA ou Languedoc-Roussillon), il y aura une légère érosion des surfaces irriguées (entamée depuis plusieurs dizaines d'années) puis une reprise possible aux alentours de l'horizon 2020-2030. Dans les régions où la contrainte environnementale sur les ressources en eau est forte, celle-ci sera alors déterminante (en particulier dans le grand Sud-Ouest) et l'avenir de l'irrigation se décidera plutôt en fonction des autres contraintes et des décisions d'investissements (barrages, transferts...).

Les prélèvements d'eau à destination de **l'industrie** devraient diminuer à l'horizon 2030 sous l'effet de la poursuite de l'amélioration des procédés et de la fermeture des circuits de refroidissement.

L'évolution des prélèvements et consommations d'eau liés à la **production d'énergie** dépend fortement du mix énergétique futur, et notamment de la part de l'énergie nucléaire dans celui-ci. En prenant l'hypothèse d'une part de nucléaire inchangée par rapport à aujourd'hui, les prélèvements devraient fortement diminuer à partir de 2040, du fait du passage des centrales en circuit fermé lors de leur renouvellement, et les consommations légèrement augmenter. Par ailleurs, la production d'énergie va être confrontée à un double défi. Sous le double effet de la **diminution du débit des fleuves** et de la **montée des températures** des eaux de surface, les centrales thermiques risquent de devoir être arrêtées pendant les jours d'été les plus chauds.

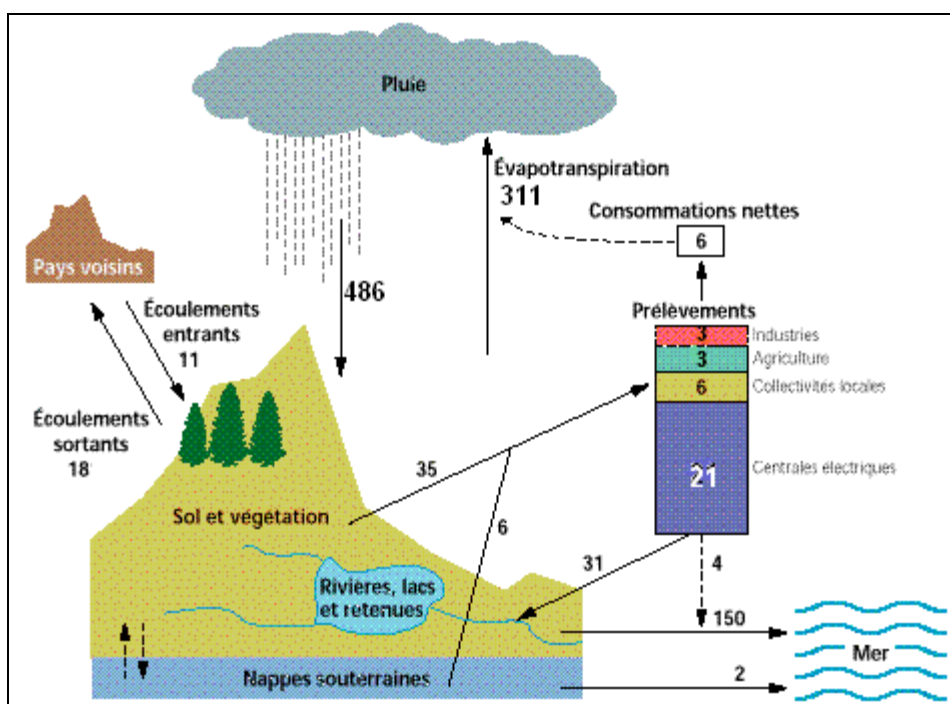
3. COMMENT POURRAIENT ÉVOLUER LES RESSOURCES EN EAU À L'HORIZON 2030 ?

NB : Il convient de préciser quelque peu la notion de disponibilité des ressources en eau. En effet, tout le ruissellement n'est pas utilisable. La disponibilité physique, qui désigne les écoulements de surface et souterrains, est à distinguer de la disponibilité « socio-économique », effectivement utilisable.

3.1 VUE D'ENSEMBLE DU CYCLE DE L'EAU À L'ÉCHELLE NATIONALE

Le schéma ci-dessous présente une vue d'ensemble du cycle de l'eau à l'échelle métropolitaine.

Figure 60 : Ressources et prélèvements annuels en France métropolitaine en milliards de m³ par an
(Sources : IFEN, BRGM, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, modifié)



Le territoire français métropolitain bénéficie en moyenne de **486 milliards de m³ de précipitations par an**, soit une **hauteur d'eau d'environ 890mm** (pluviométrie moyenne annuelle depuis 50 ans). Sur ce volume, 311 milliards de m³ (un peu moins des deux tiers) rejoignent l'atmosphère par évapotranspiration (chiffres Météo France). Seuls **175 milliards de m³ de précipitations efficaces** alimentent réellement les ressources en eau continentale : **75 milliards s'écoulent en surface et 100 milliards s'infiltrent en eau souterraine**. Pour réaliser un bilan hydrique national, il convient également de tenir compte de l'eau provenant des pays voisins par les fleuves transfrontaliers (11 milliards de m³, Rhin non compris) et de l'eau s'écoulant de la France vers ces pays (18 milliards de m³) (chiffres Irstea).

Le bilan annuel moyen total des ressources en eau s'élève ainsi à 170 milliards de m³ pour la France métropolitaine répartis dans les cours d'eau et les nappes souterraines (Expertise Interministérielle, 2010). Cela correspond à environ **2 800 m³ d'eau par habitant et par an**.

Par ailleurs, **le stock des eaux souterraines est estimé à environ 2000 milliards de m³**, et celui des **eaux de surface stockées** (lacs naturels, grands barrages et étangs) à environ **108 milliards de m³**.

Comme vu au chapitre précédent, les activités humaines prélèvent en moyenne 33 milliards et consomment en moyenne 6 milliards de m³ d'eau pour satisfaire les besoins de l'industrie, de l'agriculture, de production d'eau potable et d'électricité. **Les prélèvements pour l'ensemble des besoins représentent 20 % de la ressource en eau moyenne et la consommation nette 3,5 % de cette ressource.**

Cependant, **au sein de cette situation globale, les ressources en eaux françaises présentent de très fortes disparités dans le temps et dans l'espace : elles sont inégalement réparties et varient selon les saisons**, ce qui explique que certaines régions peuvent connaître des difficultés en période de sécheresse.

En effet, **la moitié de l'écoulement total concerne moins du quart du territoire**. En outre, les prélèvements et la qualité des eaux varient selon les régions. Ainsi, en Bretagne, la proximité du socle granitique limite la capacité de stockage souterrain et rend les eaux de surface vulnérables aux effluents d'élevage, ce qui complique leur traitement en vue de les rendre potables. La région méditerranéenne, quant à elle, subit un climat sec une grande partie de l'année. Le grand Sud-Ouest connaît un risque non négligeable de sécheresse. Enfin, en région parisienne, la demande en eau et la pollution dépassent les capacités naturelles de la Seine : plusieurs barrages-réservoirs ont été mis en place pour relever le débit d'étiage, et une partie de l'eau est prélevée en aval de Paris (vers l'amont de l'Eure), ainsi que dans une nappe commune avec le bassin versant de la Loire, contigu au bassin Seine-Normandie.

3.2 LES RESSOURCES EN EAU SONT TRÈS HÉTÉROGÈNES SELON LES TERRITOIRES

LA RESSOURCE EN EAU EST TRÈS VARIABLE DANS L'ESPACE

Il existe en premier lieu **une forte hétérogénéité des précipitations**, illustrée par les deux cartes suivantes. (NB : 1 mm sur un m² représente un volume précipité de 1 litre).

Figure 61 : Précipitations moyennes annuelles sur la France métropolitaine -période 1971-2000 (mm)

(Source : Météo France)

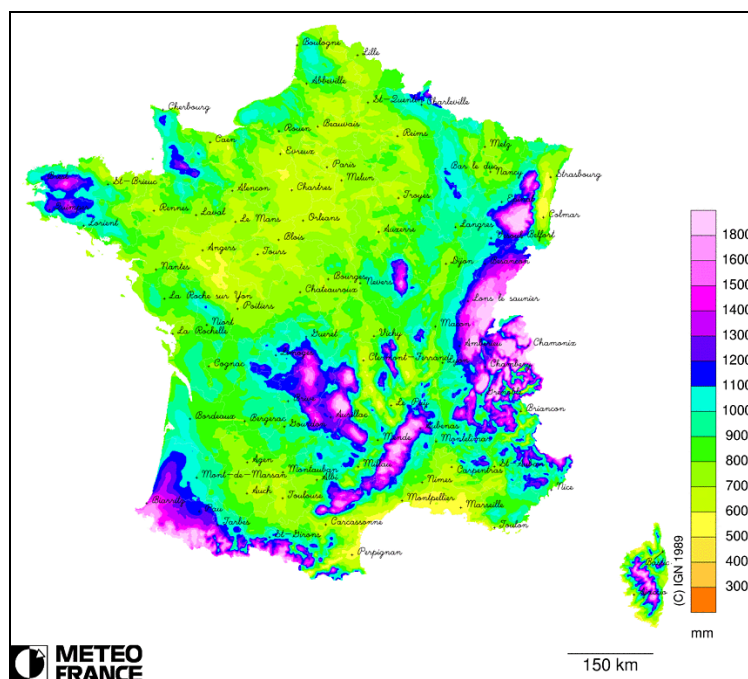
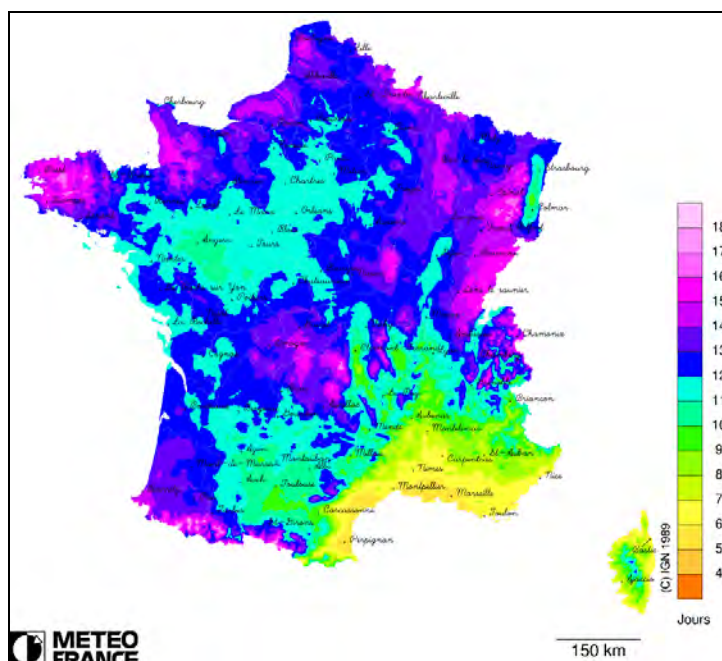


Figure 62 : Nombre moyen annuel de jours de précipitations- période 1971-2000 (Source : Météo France)



Les précipitations varient de moins de 600 mm en quelques régions (côte méditerranéenne, Beauce...) à plus de 2 000 mm en d'autres régions (Mont-Aigoual par exemple). Le nombre de jour de pluie s'étend de moins de 70 jours sur la côte méditerranéenne à plus de 150 jours par exemple en Bretagne ou dans le pays basque. Des régions avec la même lame d'eau précipitée moyenne peuvent connaître des nombres de jours de pluie très différents. Cas par exemple des 600 à 700 mm précipités sur le pourtour méditerranéen en 60 ou 70 jours, alors que la même hauteur dans d'autres zones correspond à 120 jours de pluie.

En termes d'écoulements superficiels et de ressources souterraines, on observe également une très forte hétérogénéité, qui ne colle toutefois pas avec celle des précipitations, du fait du jeu complexe de leur transformation en débits (cours d'eau) et recharges de nappes, avec parfois des parcours se faisant sur plusieurs centaines de km voire un millier de km (cas du bassin versant de la Loire par exemple).

A quelques kilomètres de distance, on peut trouver des territoires en situation d'abondance (par exemple le débit du Rhône ne descend que très rarement, près de son embouchure, sous 600 m³/s) et des territoires en situation de très faibles ressources (assez proche de l'embouchure du Rhône, on trouvera par exemple de très vastes zones calcaires sans ressources en eau ou avec des ressources souterraines difficilement exploitables).

La ressource superficielle à l'échelle métropolitaine se structure en 6 grands bassins versants représentés sur la carte suivante.

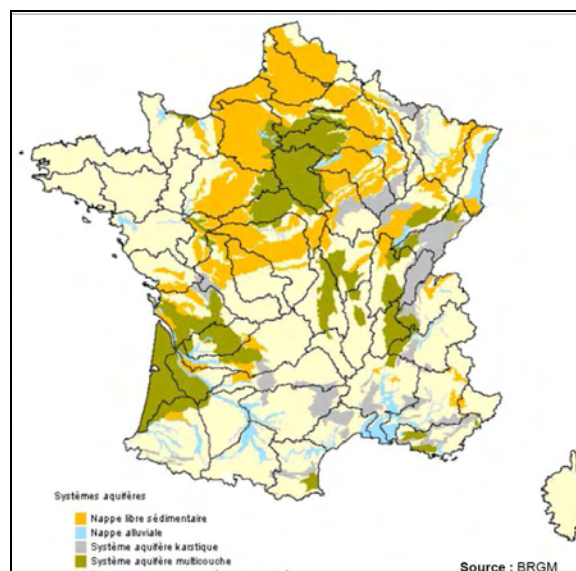
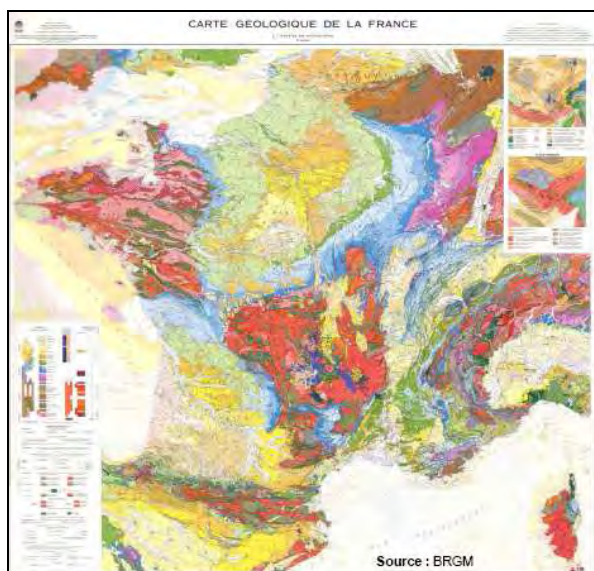
Figure 63 : Les six grands bassins hydrographiques de métropole



Chacun de ces 6 grands ensemble comporte un ou deux exutoires correspondant aux grands cours d'eau mais possède également de nombreux exutoires de fleuves de plus petites dimensions : les nombreux fleuves côtiers bretons et normands, les fleuves côtiers du Languedoc et du Roussillon, ...

Les ressources souterraines sont quant à elles structurées par la géologie. La carte suivante représente l'étendue des principaux aquifères. On compte en métropole environ 1500 aquifères de plus de 10 km² dont 200 ayant une dimension régionale avec des étendues de 100 à 100 000 km².

Figure 64 : La géologie et les principaux aquifères de la métropole



La carte de droite met en évidence les grands types d'aquifères :

- aquifères multicouches, et/ou sédimentaires avec nappe libre, des grands bassins sédimentaires : bassin parisien, bassin aquitain, ... ou de zones de sédimentation de taille plus réduite : nappe du Roussillon dans les Pyrénées-Orientales, nappe astienne dans l'Hérault, ...
- nappes alluviales : nappe d'Alsace, nappes associées à la Garonne, au Rhône, ...
- aquifères karstiques (contenus dans des roches calcaires) : Jura, Causses, Corbières, ...

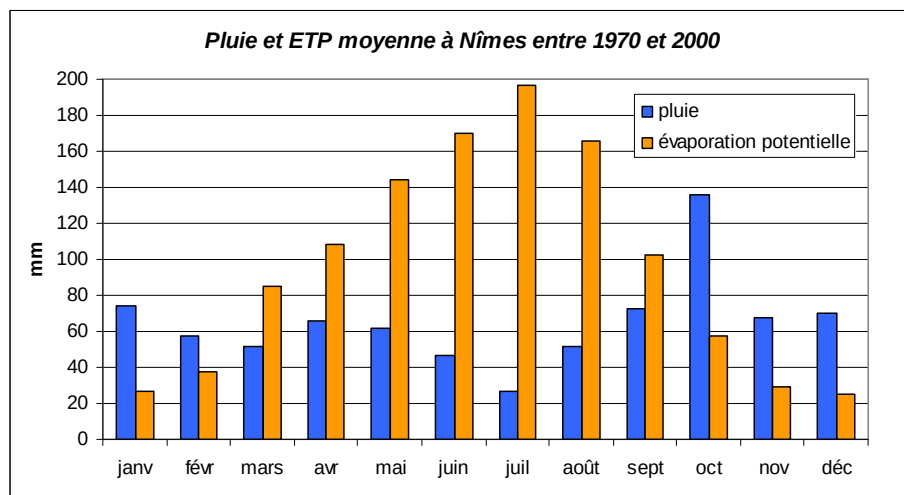
La carte ne mentionne pas de très nombreux aquifères locaux de taille très modeste mais qui peuvent jouer des rôles déterminants pour l'alimentation en eau potable. Citons par exemple les nappes contenues dans les arènes granitiques des massifs anciens (aquifères de socle), qui sont souvent très locales et modestes, mais qui alimentent de très nombreux hameaux ou villages dans des zones rurales, par exemple en Lozère.

Les aquifères sont caractérisés à la fois par un stock (la quantité d'eau contenue à un instant donné) et par un flux (la quantité d'eau qui les traverse dans un temps donné). Ces valeurs sont très différentes d'un aquifère à l'autre, en fonction des roches aquifères, de la géométrie, de la valeur de la pluie efficace, Certains voient leur eau renouvelée très rapidement, à l'échelle de quelques jours ou même heures, pour d'autres le renouvellement se fait sur plusieurs milliers d'années.

LA RESSOURCE EST TRÈS VARIABLE DANS LE TEMPS, À L'INTÉRIEUR D'UNE ANNÉE

Les précipitations, mais également la demande évaporatoire liée au climat (évapotranspiration potentielle), **sont irrégulières dans l'année**. Ces deux facteurs conduisent à de fortes disparités des écoulements superficiels et des recharges de nappe au sein de l'année.

Figure 65 : Exemple de répartition annuelle des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle
(Source : données Météo France ; graphe BRLi)



En termes d'écoulement superficiel, on observe une grande variété de régimes hydrologiques (répartition des écoulements dans l'année en fonction des « moteurs » qui les déterminent) : régime pluvial, régime nival ou glaciaire ou nivo-glaciaire, ... Selon ces régimes, les plus hautes eaux n'auront pas lieu au même moment : en automne ou hiver pour les régimes pluviaux, au printemps pour les régimes déterminées par la fonte des neiges.

Un même fleuve peut connaître des régimes différents selon qu'on se situera à son amont ou son aval. Ainsi le système Saône -Rhône : dans son bassin amont le Rhône a un régime lié à la fonte des neiges et glaces, la Saône a quant à elle un régime pluvial ; après la traversée de Lyon et la confluence des deux cours d'eau, les deux régimes s'additionnent pour conduire à un hydrogramme (variation du débit au cours de l'année) plus plat au cours de l'année, à une saison donnée les hautes eaux de l'un compensant les basses eaux de l'autre.

Pour certains cours d'eau, tels les petits fleuves côtiers méditerranéens, les variations de débits peuvent être extrêmement rapides, les débits passant de quelques m^3/s à plusieurs centaines, voire milliers de m^3/s en quelques heures. Dans ce cas, une grande part de l'écoulement annuel se fait sur une période réduite, phénomène qui illustre une nouvelle fois la complexité masquée par les seuls chiffres de ressource à l'échelle annuelle.

Le graphe (présentant 12 régimes types) et la carte (représentant ces régimes en les regroupant au sein de 5 classes) ci-après illustrent la grande variété des régimes hydrologiques à l'échelle de la métropole.

Les quatre premiers régimes sont à tendance glaciaire ou nival plus ou moins dégradé. Les régimes 5 et 6 sont plutôt méditerranéens ou cévenols. Les autres régimes sont majoritaires sur les territoires et sont sous influence pluviale océanique avec des contributions souterraines faibles pour les régimes 7 et 8 et fortes pour les régimes 11 et 12 (incluant : aquifères puissants, karsts).

Figure 66 : Typologie définie par les douze séries de coefficients mensuels de débit, proposée par Sauquet et al. (2008)

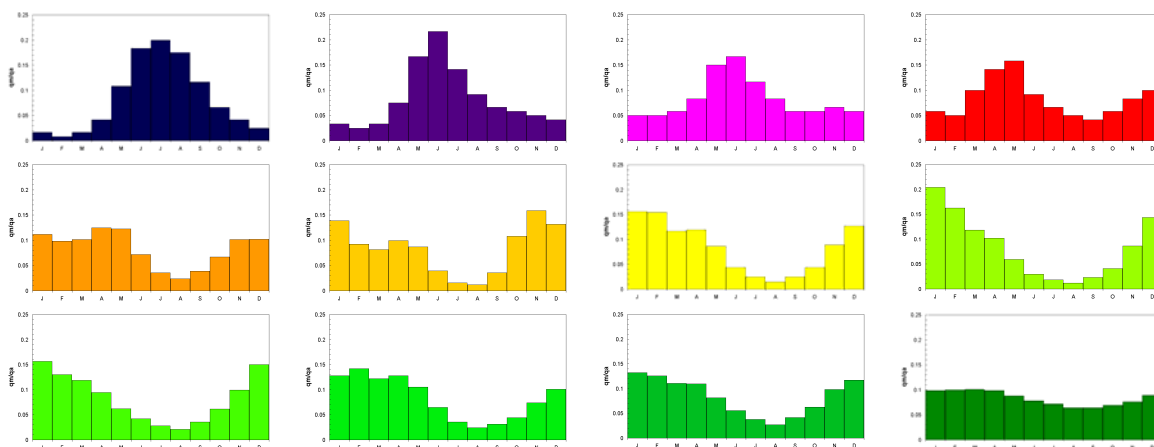
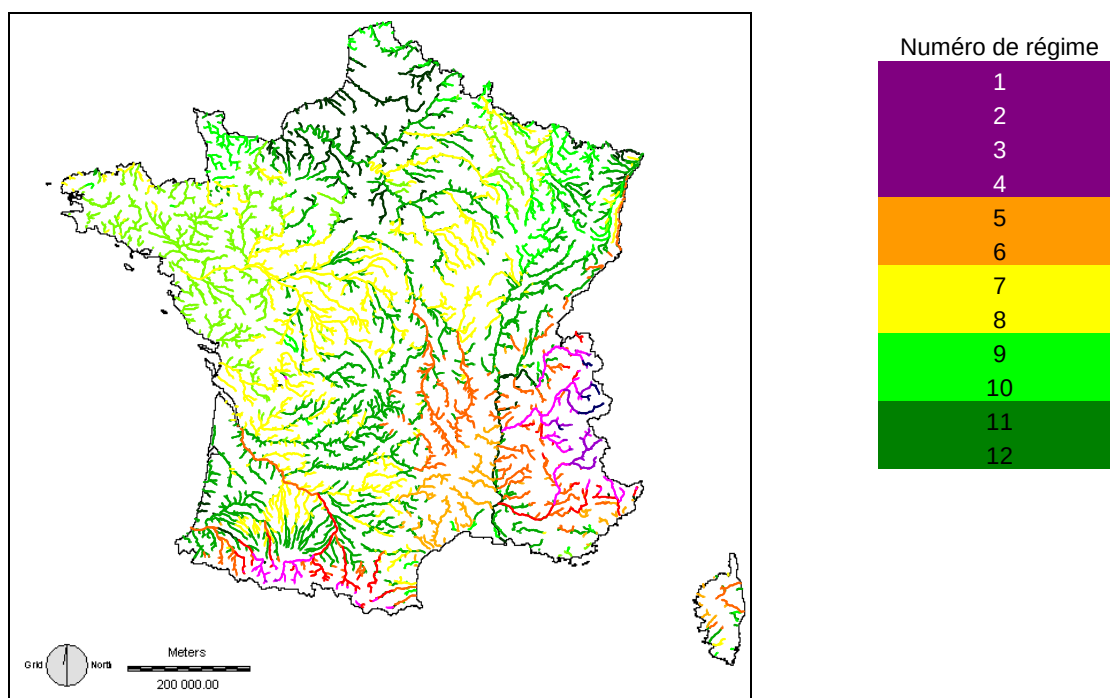


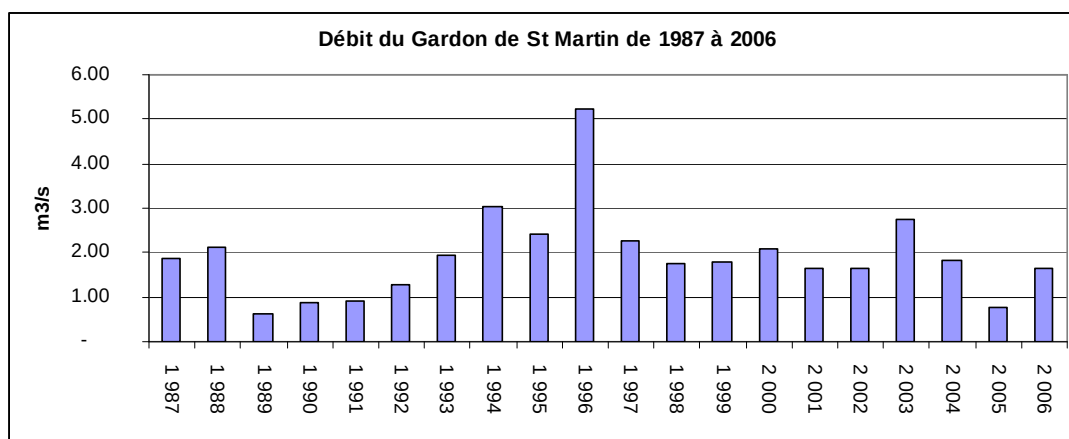
Figure 67 : Carte des régimes hydrologiques (établie par Sauquet dans le cadre d'Explore 2070 - Lot Hydrologie de Surface - BRLi - Irstea - Météo France)



LA RESSOURCE EST TRÈS VARIABLE DANS LE TEMPS, D'UNE ANNÉE SUR L'AUTRE

Le caractère très aléatoire du climat se traduit directement sur les ressources en eau qui sont donc très variables d'une année sur l'autre, en termes de débits superficiels et en termes de recharge de nappe.

Figure 68 : Exemple de variabilité interannuelle de la ressource en eau



CARACTÉRISATION DES ANNÉES SÈCHES : LES DIFFÉRENTS TYPES DE SÉCHERESSE

On a noté la variabilité interannuelle des précipitations, des écoulements et des recharges de nappe. Par rapport aux problématiques de bilans entre besoins en eau et ressources en eau, ces seuls phénomènes ne suffisent toutefois pas à appréhender les années dites « sèches ». La notion de sécheresse doit en effet être précisée en intégrant également le réservoir intermédiaire que constitue le sol.

Cette question est traitée au sous-chapitre suivant.

CERTAINES RÉGIONS BÉNÉFICIENT DE RESSOURCES EN EAU SÉCURISÉES

Face à ces situations de tensions sur la ressource en eau, il est devenu nécessaire dans certaines régions françaises de **sécuriser l'approvisionnement en eau**, tant pour les besoins domestiques et industriels qu'agricoles. La construction d'ouvrages pour sécuriser les ressources en eau a existé dès l'Antiquité et s'est fortement développée à la fin du XIX^{ème} siècle. C'est à cette époque qu'ont émergé les projets de barrages dans le Roussillon, sur la Durance et le Verdon, ainsi que le transfert de l'eau du Rhône vers la plaine Languedocienne, etc. Ces projets avaient été conçus dès l'origine dans une logique multi-usages : eau potable, irrigation, hydroélectricité.

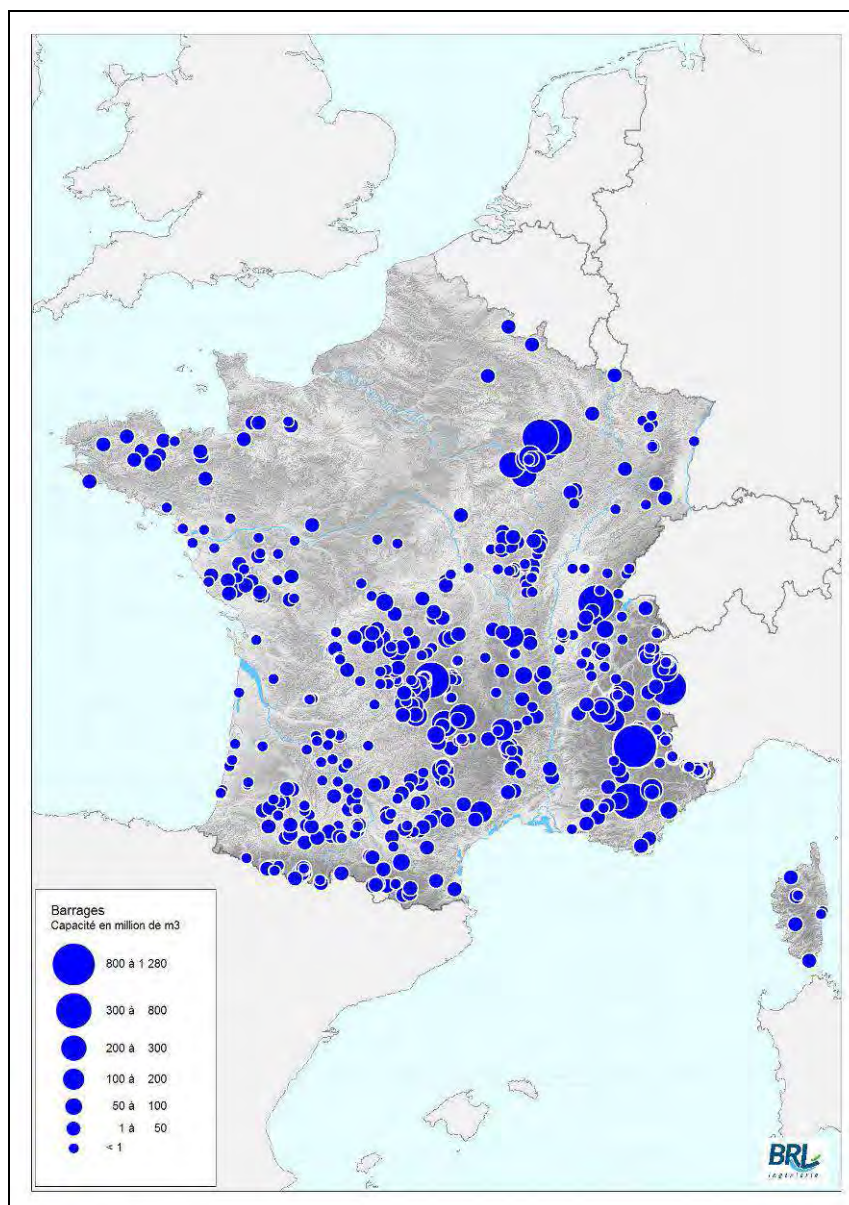
Parallèlement à cela, de gros efforts de modernisation ont été consentis sur les réseaux gravitaires (réfection, régulation, mise sous-pression...). La meilleure maîtrise des flux et l'optimisation des volumes prélevés ont permis de réaliser d'importantes économies d'eau, d'étendre certains périmètres irrigués, et de répondre à de nouvelles exigences techniques liées à l'irrigation sous-pression et à l'apparition de nouveaux usages domestiques sur ces périmètres.

Par ailleurs, dans les zones de montagne et de piémonts, secteurs difficiles ne bénéficiant pas de grands aménagements collectifs, le développement de l'accès à l'eau s'est avéré également nécessaire pour permettre le maintien et l'installation d'exploitations. Ceci a été fait grâce par le recours aux stockages : de nombreux **bassins de stockage et retenues collinaires** ont ainsi été réalisés. Leur principe général est simple : il s'agit de stocker l'eau entre l'automne et le printemps, alors qu'elle est abondante, pour l'utiliser en été pour l'irrigation, pendant la période la plus critique. Les bassins sont donc remplis à partir de prélèvements sur les cours d'eau, voire par simple ruissellement des eaux pluviales, à une période où la ressource est excédentaire, ce qui permet de limiter les prélèvements sur la ressource pendant l'étiage (Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises, 2009).

Dans les régions du pourtour méditerranéen (Languedoc-Roussillon et PACA), on estime que **75 à 80% des surfaces irriguées le sont collectivement à partir de ressources abondantes ou régulées par de grandes retenues**, grâce à cette intense et ambitieuse politique de sécurisation (Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises, 2009).

La carte ci-dessous présente les localisations et les capacités de stockage de l'ensemble des barrages de France métropolitaine.

Figure 69 : Localisation et capacité de l'ensemble des barrages de France métropolitaine
(Données : Irstea ; carte BRLi)



On observe l'existence de **grands systèmes régionaux régulés** : les barrages alpins (Serre-Ponçon, Verdon...), les Grands Lacs de Seine (Der-Chantecoq, lac-réservoir Seine, lac-réservoir Aube...), le système Neste dans le Sud-Ouest, le Bas-Rhône Languedoc, le Canal de Provence, etc.

La capacité totale de stockage des barrages de France métropolitaine s'élève à près de **12 milliards de m³** (données Irstea, ex-Cemagref).

A l'échelle de ces régions, c'est donc la gestion de ces ouvrages de régulation en fonction des contraintes hydrologiques, des besoins en eau et des autres usages, en particulier la demande environnementale, qui permettront l'adéquation entre besoins et ressources en eau.

3.3 RETOUR SUR LES SÉCHERESSES HISTORIQUES

La sécheresse peut être définie comme un **déficit en eau anormal dans une ou plusieurs parties du cycle hydrologique terrestre** (définition retenue dans le récent projet CLIMSEC sur l'impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol, 2011). On distinguera trois grands types de sécheresse qui peuvent coexister ou non :

- la **sécheresse météorologique** : déficit en termes de précipitation,
- la **sécheresse agricole (ou édaphique)** : déficit de quantité d'eau contenue dans le sol,
- la **sécheresse hydrologique** : déficit d'écoulement et/ou de recharge des nappes.

Le projet souligne qu'il n'existe pas d'indice universel de sécheresse et que la pertinence de l'indice à utiliser dépend du domaine socio-économique auquel on s'intéresse. Pour chacun de ces types de sécheresse, CLIMSEC a étudié un indice, respectivement :

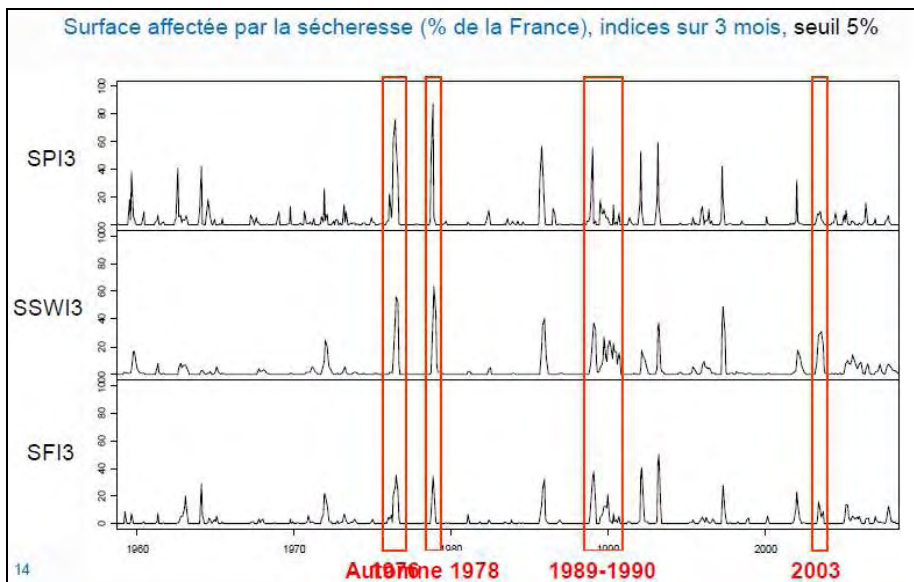
- le SPI : Standardized Precipitation Index,
- le SSWI (Standardized Soil Wetness Index) $SSWI = (\text{humidité du sol} - \text{point de flétrissement}) / (\text{capacité au champ} - \text{point de flétrissement})$,
- et le SFI : Standardized Flow Index,

dont la valeur par rapport à un seuil permet de définir si un territoire se trouve en état de sécheresse météorologique et/ou agricole et/ou hydrologique.

Dans un premier travail rétrospectif sur la période 1958-2008, le calcul de ces indices a permis de préciser les épisodes de sécheresse des 50 dernières années à l'échelle métropolitaine.

Le graphe suivant met en évidence les principales sécheresses récentes (1976, 1978, 1989, 1990, 2003) et montre que leur durée et la part du territoire national affectée sont variables selon les événements :

Figure 70 : Surface affectée par la sécheresse en France métropolitaine (source : projet CLIMSEC, 2011)

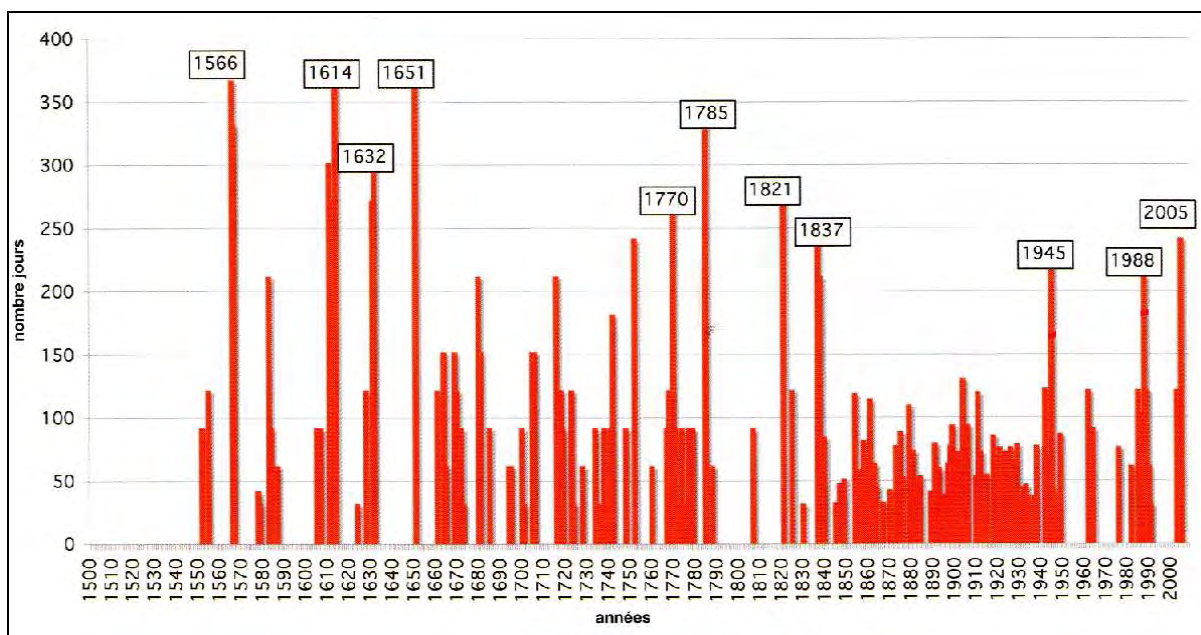


Il ressort que "si l'événement de sécheresse de 1976 reste majeur en France en termes de déficit de précipitation de 3 à 12 mois, l'événement de 1989 est prépondérant pour la sécheresse des sols à partir de la durée 6 mois et dépasse largement l'événement de 2003, de forte intensité mais de durée courte." (CLIMSEC, rapport final).

Notons que dans une volonté de disposer de séries d'indices climatiques hydrologiques homogénéisées ce projet s'est volontairement concentré sur la période 1958-2008. **Cette période restreinte pourrait toutefois masquer des événements encore plus rares.** L'historiographie s'intéresse à l'histoire du climat et plusieurs travaux permettent d'identifier des épisodes de sécheresse en considérant des périodes beaucoup plus longues.

Dans *“Les dérangements du temps – 500 ans de chaud et de froid en Europe (Plon, 2010)”* l'historien Emmanuel Garnier propose par exemple une rétrospective sur la durée des sécheresses en Languedoc-Roussillon de 1550 à 2005 :

Figure 71 : Durée des sécheresses en Languedoc-Roussillon de 1550 à 2005 (source : Les dérangements du temps - 500 ans de chaud et de froid en Europe, Emmanuel Garnier)



L'auteur souligne lui-même les limites de son approche se fondant sur des données *“majoritairement produites par les corps municipaux, les administrations (corps des Ponts et Chaussée, ingénieurs du canal du Midi), le clergé (processions) et des particuliers appartenant le plus souvent aux élites”*. Il indique que toutes ces sources *“sont par conséquent empreintes de subjectivité”*, que *“c’est la somme et le croisement incessants des ces différents gisements documentaires qui ont permis la réalisation d’une chronologie quantifiée en jour sans pluie”* et que *“ces valeurs sont donc pour parties relatives, faute de disposer de données instrumentales avant 1750.”*

Même si elles restent approximatives, soulignons que ces approches historiques qui ont montré tout leur intérêt dans l'étude des événements de crue extrêmes, ont tout intérêt à être valorisée également pour les sécheresses extrêmes.

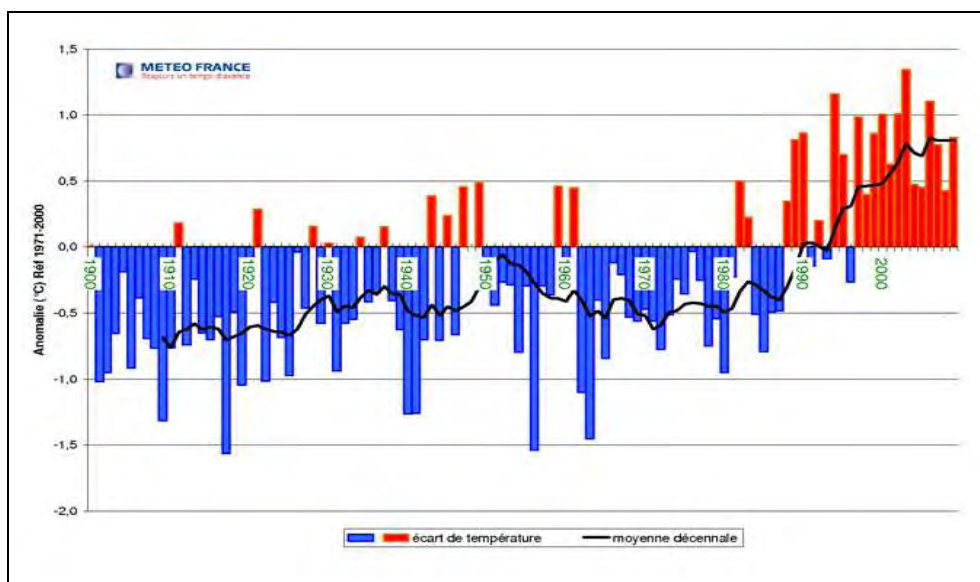
3.4 RÉTROSPECTIVE : QUELLE STATIONNARITÉ DES TEMPÉRATURES, PLUIES ET DÉBITS EN FRANCE ?

Il s'agira dans un premier temps de regarder en arrière pour s'interroger sur la stationnarité du climat et des ressources en eau en France depuis un siècle. Il s'agira ensuite de se projeter dans le futur, en s'interrogeant sur les perspectives de changement du climat en France et sur leurs conséquences possibles en termes de ressources en eau.

3.4.1 Des températures en hausse principalement depuis les années 1980

La non stationnarité des températures à l'échelle nationale sur les 30 dernières années est très clairement mise en évidence par les mesures de terrain. Sur le graphe ci-dessous, l'évolution de la température moyenne annuelle sur la France métropolitaine est représentée sous forme d'écart à la moyenne de la période 1971 à 2000.

Figure 72 : Evolution de l'indicateur de température moyenne annuelle en France métropolitaine sur la période 1900-2009 (source : Météo France - site de l'ONERC)

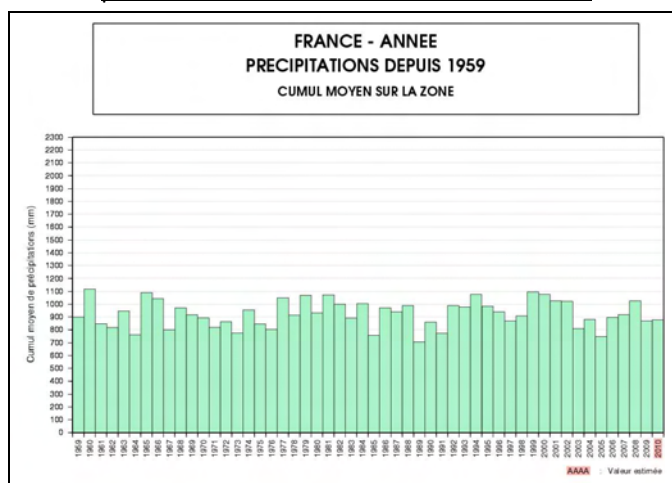


Cette tendance au réchauffement du climat s'observe en France comme à l'échelle planétaire ; le réchauffement observé pour la métropole française est supérieur au réchauffement moyen mondial.

3.4.2 Précipitations : Stationnarité à l'échelle annuelle mais des tendances à l'échelle saisonnière

A l'échelle des précipitations annuelles, on n'observe pas d'évolution : les précipitations apparaissent stationnaires à l'échelle de la période observée.

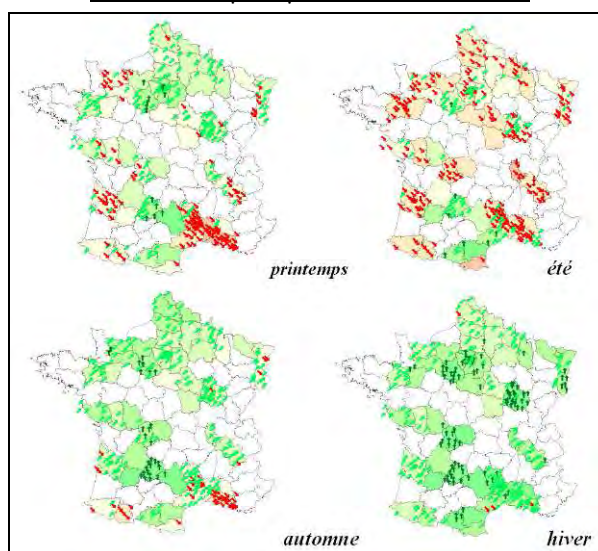
Figure 73 : Evolution de l'indicateur de cumul annuel moyen de précipitations en France métropolitaine sur la période 1959-2010 (Source : Météo France)



A une échelle infra-annuelle, cette analyse n'est plus aussi nette et des non-stationnarités apparaissent. Les cartes ci-dessous présentent ainsi les résultats d'un test statistique de détection de stationnarité avec une confiance à 95 % appliqué à des séries de précipitations sur le siècle dernier.

La légende ces cartes est la suivante : flèche verte verticale = hausse significative ; flèche verte inclinée = hausse non significative ; flèche rouge inclinée = baisse non significative ; flèche rouge verticale = baisse significative.

Figure 74 : Test de Spearman avec une confiance à 95 % appliqué aux séries séculaires homogénéisées de hauteurs de précipitations (1901-2000)



Ces résultats sont tirés de l'article « Les changements climatiques en France au XXe siècle - Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations » (Moisselin et al., La Météorologie n°38-2002). Une autre étude, menée par Ribes A, Azaïs J-M, Planton S (2009), « A method for regional climate change detection using smooth temporal patterns », conduit sensiblement aux mêmes résultats par une méthode statistique différente sur les évolutions des températures et des précipitations en France, et leur significativité, à partir de longues séries homogénéisées.

3.4.3 Analyse rétrospective des débits et niveaux de nappes

Il est très délicat d'isoler l'impact du seul facteur climatique dans ce type d'analyse, les débits et le niveau des nappes étant également fortement influencés par les prélèvements en eau et la mise en place d'ouvrages hydrauliques (transferts et barrages).

Quelques travaux ont toutefois cherché à détecter des ruptures dans les chroniques. A l'échelle métropolitaine, mentionnons la thèse de Renard (2006) qui prend un recul de 40 années (période 1960-2002). En région alpine, ces travaux soulignent des étages hivernaux moins sévères et des écoulements d'origine glaciaire en hausse dans les Alpes du Nord ; dans le Sud Ouest, une diminution des débits d'étiage et dans une moindre mesure une diminution des débits moyens annuels ; dans le Nord Est une tendance à une légère aggravation des crues.

3.5 COMMENT LE CHANGEMENT CLIMATIQUE POURRAIT-IL INFLUENCER LES RESSOURCES EN EAU ?

Les ressources en eau sont le résultat de la transformation de signaux climatiques (pluie, neige, température) par des processus complexes, non linéaires, qui conduisent à des écoulements superficiels, des recharges de nappe et des retours vers l'atmosphère d'une part de l'eau précipitée par évaporation depuis le sol ou évapotranspiration à travers les stomates des végétaux.

Les changements rapides des signaux climatiques auxquels on assiste en ce moment devraient donc conduire à des modifications des ressources en eau.

3.5.1 Evolutions futures possibles des pluies et des températures

Ce sujet complexe est traité par la **modélisation climatique**.

Le climat est défini par l'Organisation Mondiale de la Météorologie comme « *la description statistique, en termes de moyenne et de variabilité, des quantités pertinentes (précipitations, températures...) sur une période de temps* ».

PEUT-ON MODÉLISER LE CLIMAT ?

Une large part de la communauté scientifique s'accorde sur le fait que, si la météorologie a une forte nature chaotique, une part des processus en jeu restent toutefois déterministes et qu'il est donc possible de modéliser les évolutions du climat sous contraintes.

Du fait de la dimension chaotique de la circulation atmosphérique (lié au fait qu'un très faible écart des conditions initiales conduit rapidement à des résultats très différents), on ne sait pas prévoir le temps qu'il fera au-delà de 10-15 jours mais on sait décrire, par exemple, l'influence de l'inclinaison du plan de rotation de la terre et de sa circulation autour du soleil : le fait que la température moyenne est plus chaude en été qu'en hiver a ainsi un caractère déterministe. Pour une large part des chercheurs, l'argument « *comment pourrait-on prévoir le climat dans 30 ans quand on ne sait pas dire le temps qu'il fera dans 15 jours ?* » n'est donc pas recevable.

Dans cette logique, les climatologues ont construit des modèles afin de décrire comment l'évolution de certains déterminants du climat pourrait le faire évoluer, en particulier, comment l'évolution de la composition de l'atmosphère en gaz à effet de serre pourrait conduire à un réchauffement et à une modification du régime des précipitations.

Notons que quelques scientifiques réfutent le caractère modélisable des évolutions climatiques de long terme, position défendue par exemple par Benoît Rittaud dans l'ouvrage « *Le mythe climatique* », Seuil, 2010.

3.5.1.1 Les outils de modélisation du climat

LES MODÈLES CLIMATIQUES GLOBAUX

Le caractère global des phénomènes en jeu oblige à construire des modèles à l'échelle du globe. Les simulations climatiques sont ainsi produites par des "modèles de circulation générale (MCG)" développés depuis quelques dizaines d'années et qui connaissent des progrès constants. Il s'agit de modèles couplés océan-atmosphère qui modélisent la partie organisée des écoulements atmosphériques et océaniques, responsable du climat.

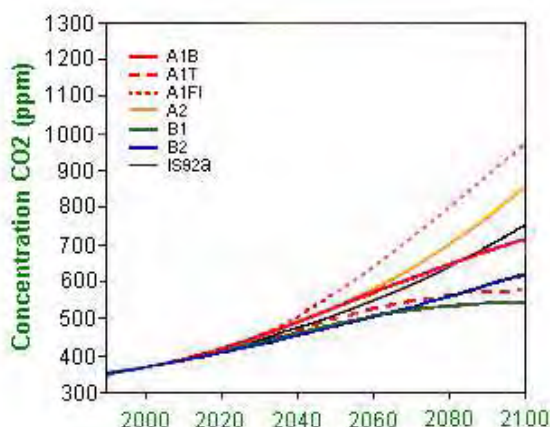
Ils demandent des puissances de calcul très importantes, et seules quelques équipes à l'échelle mondiale ont développés de tels outils. Le quatrième rapport du GIEC (Bates et al, 2008) est ainsi basé sur les résultats d'une vingtaine de modèles globaux.

En entrée de ces modèles, on fait varier les concentrations de gaz à effet serre (GES) et aérosols selon un scénario Gaz à Effet de Serre choisi.

LES SCÉNARIOS DE GAZ À EFFET DE SERRE

On ne sait pas comment vont évoluer les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Plusieurs scénarios, très contrastés, ont été construits. Dans le 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC (IPCC AR4), quatre familles de scénarios d'émissions de GES sont ainsi utilisées.

Figure 75 : Evolutions des concentrations de CO₂ pour les différents scénarii utilisés par le GIEC
(source : <http://www.ipcc-data.org>)



LA DESCENTE D'ÉCHELLE

On obtient en sortie de la modélisation climatique globale des simulations climatiques à une résolution spatiale de l'ordre de plusieurs centaines de km.

Il alors est nécessaire de mettre en œuvre des méthodes dites de descente d'échelle qui visent à désagréger ces données à une échelle adaptée à des approches plus fines (comme par exemple celles qui consistent à modéliser l'impact du changement climatique sur les ressources en eau).

Plusieurs approches existent : l'approche statistique, qui repose sur la recherche d'une relation entre les variables locales et les prédictors modèles, l'approche dynamique, qui consiste à résoudre explicitement la physique et la dynamique du système climatique régional. Elle utilise une modélisation localisée, avec comme conditions aux limites les résultats des modélisations conduites à l'échelle du globe.

UNE FORTE INCERTITUDE ENTOURE LES PROJECTIONS CLIMATIQUES

Cette incertitude est liée à de nombreux éléments : méconnaissance des concentrations futures de GES, limite de la modélisation et de la descente d'échelle (les mêmes paramètres d'entrée vont donner des résultats différents d'un modèle à l'autre et d'une méthode de descente d'échelle à une autre), ...

Au final, en utilisant plusieurs scénarios de gaz à effet de serre, plusieurs modèles, plusieurs techniques de descente d'échelle, on cerne une part de cette incertitude sous forme de "fourchettes des possibles".

3.5.1.2 Exemples de résultats de projections climatiques à l'échelle nationale

PROJECTIONS CLIMATIQUES À L'HORIZON 2050 POUR LES SCÉNARIOS A2 ET B2

Le site de l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) présente des cartes d'évolution possible des températures métropolitaines à l'horizon 2050. Les évolutions possibles sont les suivantes :

	scénario GES	
	A2	B2
Evolution possible des T° max	1,4 à 2,1°C	1,35 à 1,85°C
Evolution possible des T° min	1,4 à 2°C	1,4 à 1,6°C

PROJECTIONS CLIMATIQUES À L'HORIZON 2050 POUR LE SCÉNARIO A1B

On présente ci-après en exemple les résultats détaillés d'un exercice récent conduit à l'échelle nationale par Météo France et le CERFACS. Il s'agit des résultats de projections climatiques à l'échelle nationale qui utilisent les éléments suivants :

- ▶ une hypothèse de scénario de gaz à effet de serre : scénario A1B,
- ▶ sept modèles climatiques globaux (sélectionnés parmi la vingtaine existante),
- ▶ une méthode de descente d'échelle de type statistique
- ▶ soit au final $1 \times 7 \times 1 = 7$ projections.

Les cartes et graphes des pages suivantes rendent compte des résultats en termes d'anomalies de précipitations et de températures, et illustrent, à travers la disparité importante des résultats donnés par les différents modèles, la forte incertitude qui demeure sur ces éléments.

Cet exemple a été retenu ici car il s'agit des projections climatiques qui ont été cartographiées et utilisées dans l'exercice récent "Explore 2070" conduit par le MEDDTL et dont des résultats en termes d'hydrologie sont présentés plus bas.

L'exemple illustre bien les **fortes incertitudes qui demeurent particulièrement sur l'évolution des précipitations**.

Il est à noter que la plupart des résultats présentés ici concernent l'horizon 2046-2065. Ils ont été choisis car ils sont issus de matériel d'étude récent et précis.

Concernant les températures, il ressort que **“tous les modèles vont dans le sens d'un réchauffement compris entre 1,4 et 3°C en moyenne annuelle**. L'écart de température en juin-juillet-août est un peu plus élevé que sur les autres périodes (2,2 à 2,5°C). En hiver, les écarts les plus forts sont dans le Nord-Est et s'affaiblissent en allant vers le Sud-Ouest. La répartition est plus homogène en été. A l'automne, l'Est présente des écarts un peu plus forts que l'Ouest.”

Concernant les précipitations (on cite ici les commentaires apportés dans Explore 2070): *“Une tendance à la baisse apparaît sur la moyenne multi-modèle, hormis en hiver où aucune tendance ne se dessine. Au printemps la baisse apparaît peu significative à l'échelle du territoire. **C'est en été que les précipitations semblent le plus déficitaires avec des baisses de 23% à 16% de la valeur moyenne de référence**. Pour mémoire, le rapport « Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii SCRATCH08 » (Pagé, Terray, Boé, 2008) mentionnait les résultats suivants :*

- *Au niveau des précipitations, les résultats de la moyenne multi-modèles de la désagrégation montrent, en hiver, une augmentation des précipitations sur le relief méditerranéen, le Massif Central ainsi que sur les Pyrénées orientales, et un assèchement sur le pays Basque et la pointe bretonne.*
- *La période estivale montre un tout autre portrait, soit une diminution des précipitations sur pratiquement tout le territoire, et de façon plus marquée sur le relief des Alpes, du Massif Central, et des Pyrénées. On remarquera également la dépendance forte par rapport à la topographie.*

Pour leur majeure partie, l'analyse des cartes aboutit sensiblement aux mêmes conclusions, bien que ne traitant qu'un sous-ensemble de 7 de ces modèles.

Une grande disparité apparaît entre les modèles dans la répartition géographique des ratios de précipitations. L'extrême Sud-Ouest est déficitaire dans la majorité des cas.”

Figure 76 : Evolutions possibles (°C) des températures annuelles et saisonnières en France entre 1961-90 et 2046-65, résultats issus de sept modèles de circulation générale utilisés pour Explore 2070.

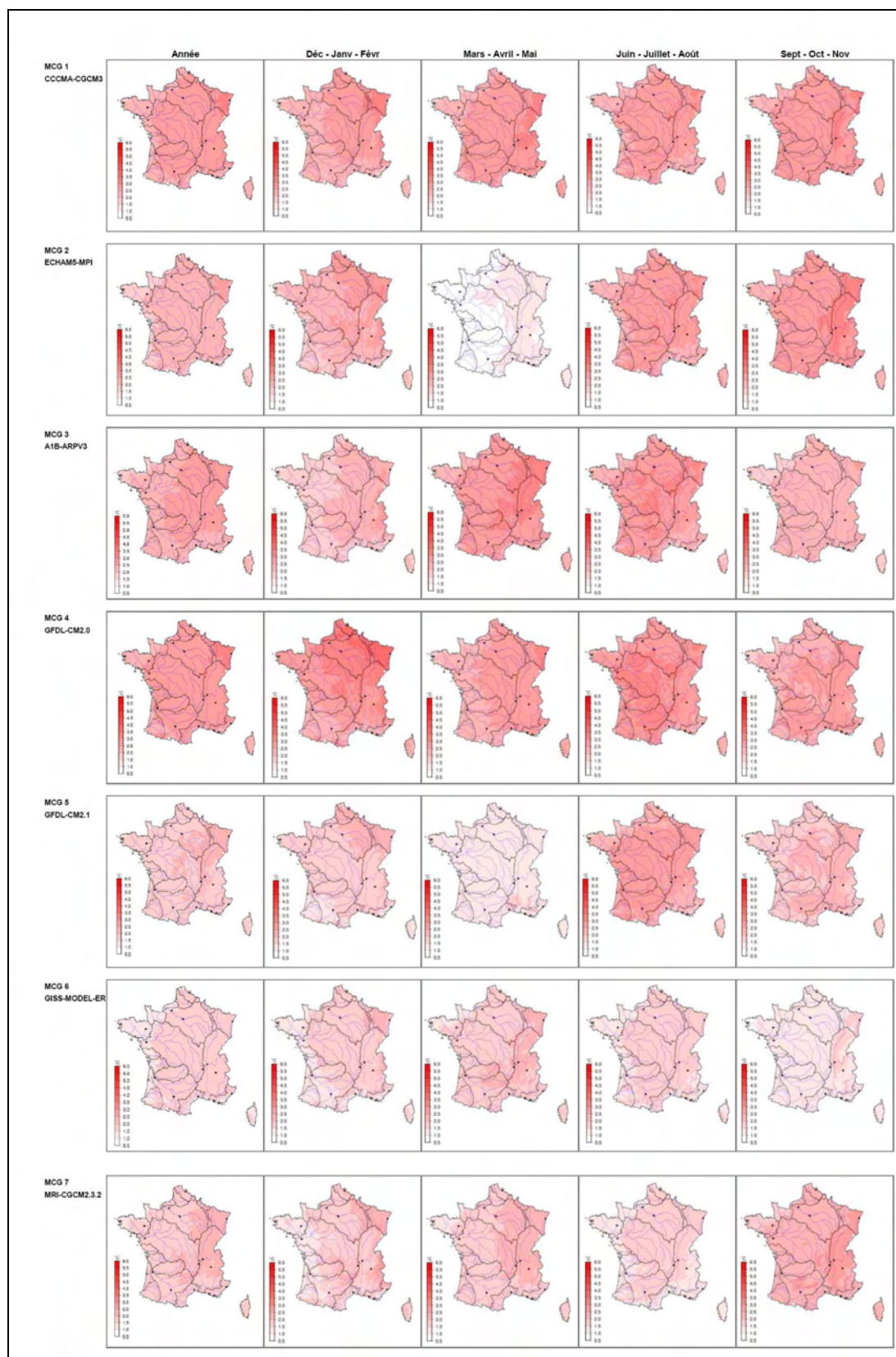


Figure 77: Evolutions possibles (en%) des cumuls de précipitations annuelles et saisonnières en France entre 1961-90 et 2046-65 : résultats issus des 7 modèles de circulation générale utilisés pour Explore 2070

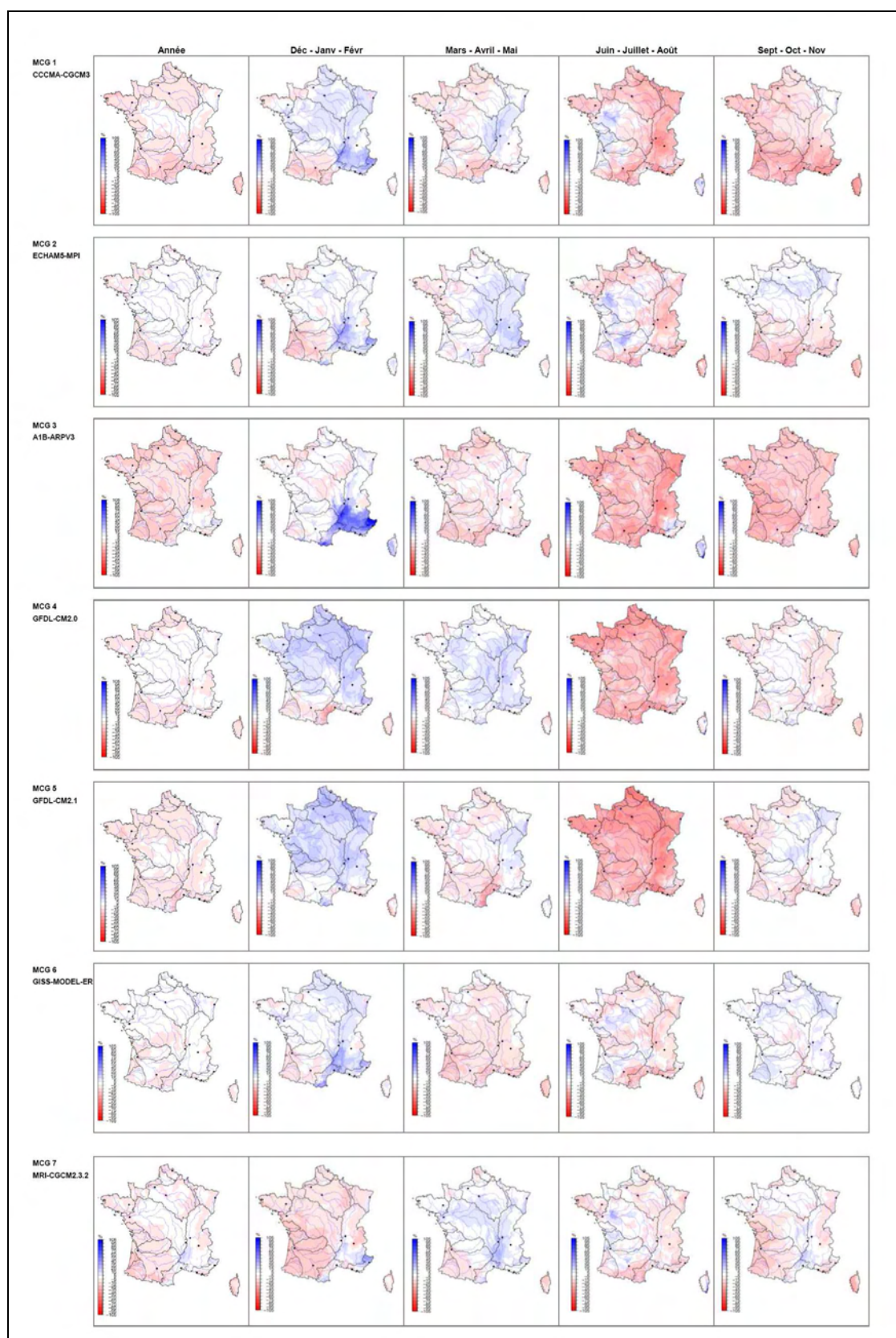
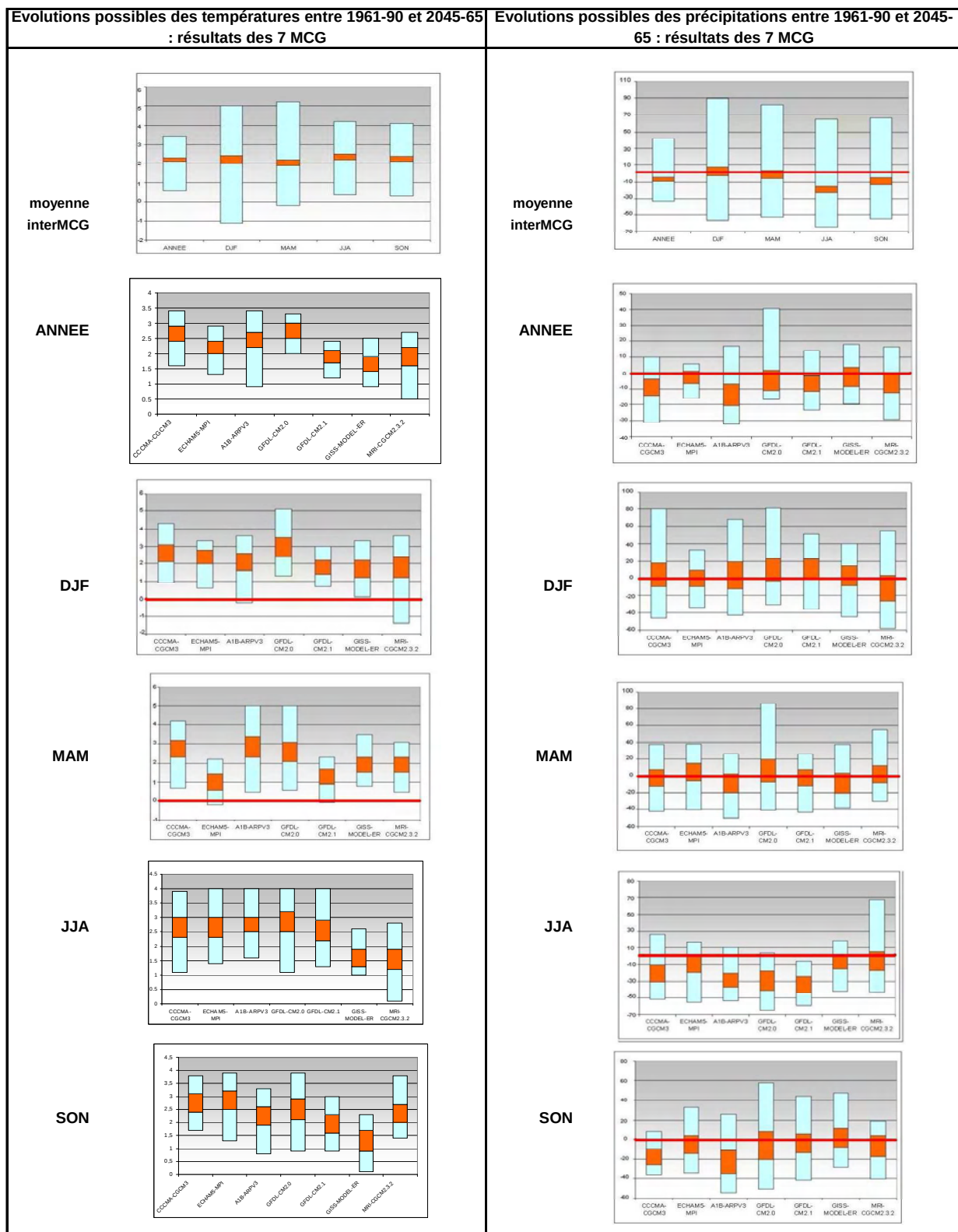


Figure 78 : Ecarts de valeur moyenne des températures (en °C) et précipitations (en %) quotidiennes Safran simulées pour la France métropolitaine entre simulations 2046-2065 et référence 1961-1990 pour l'année et les quatre saisons. Intervalle de confiance et valeurs extrêmes. Pour l'ensemble des 7 simulations-scénario A1B.



3.5.2 Conséquences possibles en termes de ressources superficielles

Pour répondre à la question des conséquences possibles du changement climatique sur les ressources en eau, les hydrologues utilisent des modélisations.

Dans un premier temps, il s'agit de reproduire, par des modèles, la transformation des précipitations et températures en débits (ou recharges de nappe) en travaillant sur des chroniques observées, ceci afin de « caler les modèles ». Dans un deuxième temps, ils utilisent ces mêmes modèles, calés, avec en entrée les pluies et températures futures possibles afin de disposer de projection de débits (ou recharge de nappe) futurs possibles.

Une hypothèse forte recouvre ces travaux : celle de l'invariance du fonctionnement hydrologique et des caractéristiques des bassins versants sous climat futur, alors qu'il est probable que les évolutions climatiques modifient ces éléments.

Comme pour la modélisation climatique, de fortes incertitudes restent associées à ces calculs. Afin d'en cerner une partie, les hydrologues confrontent les résultats obtenus avec plusieurs types de modèles hydrologiques.

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, a conduit, en 2010-2012, un projet (Explore 2070, déjà cité plus haut) qui a consisté, entre autres, à modéliser les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau du territoire national.

On a présenté plus haut les projections climatiques utilisées dans Explore 2070. Ces projections ont été injectées dans des modèles de simulation des écoulements superficiels ou des modèles de nappe.

Pour la simulation des écoulements superficiels en métropole, un travail systématique spécifique au droit d'environ 1500 points de calcul (situés le réseau hydrographique) a été conduit à l'horizon 2046-2065 (référence Explore 2070 – Lot Hydrologie de Surface – BRLi – Irstea - Météo France). Il a utilisé deux types de modèle hydrologique, soit donc au final, pour les différents points de calcul où les deux modèles ont pu être utilisés, le calcul de 7 projections climatiques (voir plus haut) x 2 modélisations hydrologiques = 14 projections hydrologiques.

On présente ci-dessous les principales conclusions concernant les eaux superficielles. (Explore 2070, rapport final du lot Hydrologie de Surface – 2012 – BRLi – Irstea – Météo France).

En termes de ressource annuelle :

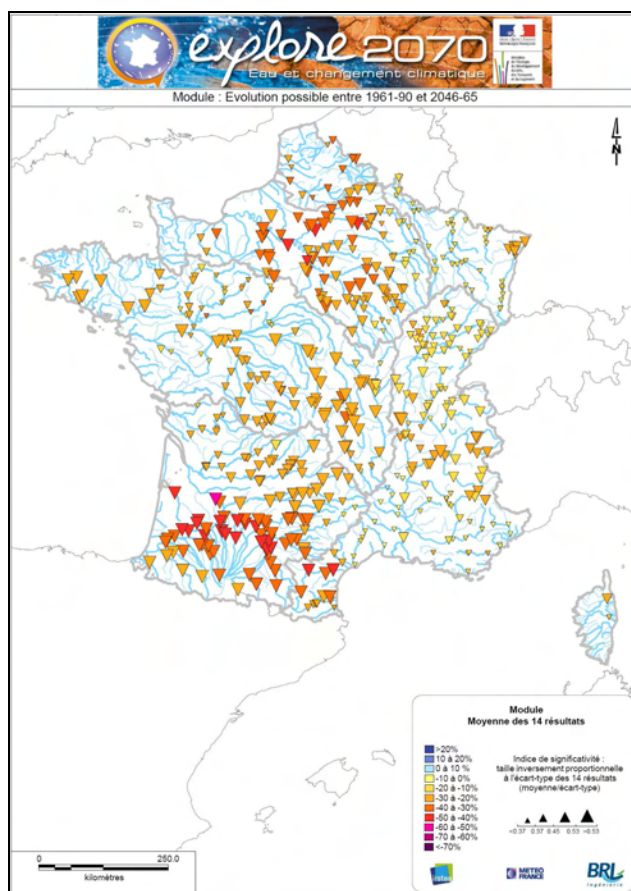
NB : le module désigne le débit moyen annuel (quantité d'eau moyenne s'écoulant en une année en un point donné)

Les résultats, donnés sous forme d'anomalies calculées entre les simulations futures (2046-65) et les simulations passées (1961-90), indiquent une **baisse globale du débit moyen annuel des cours d'eau sur pratiquement toute la métropole**. Cette baisse pourrait atteindre entre 10 et 40 %. Ces conclusions soulignent que cette baisse s'explique principalement par l'**augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle**. Cette hausse, couplée à une diminution des précipitations annuelles, induit une hausse de l'aridité des bassins versants et une baisse générale de leur productivité.

Les conclusions du projet soulignent la **nécessité de rester extrêmement prudent sur les possibilités de régionaliser de tels résultats** et rappellent les très fortes incertitudes qui demeurent. Les modélisations conduites conduisent toutefois à distinguer des zones plus impactées que d'autres. Ainsi une baisse particulièrement marquée est notée pour les cours d'eau des contreforts pyrénéens et ceux du bassin Seine-Normandie (avec toutefois des écarts, dans les deux cas, qui restent importants selon les projections).

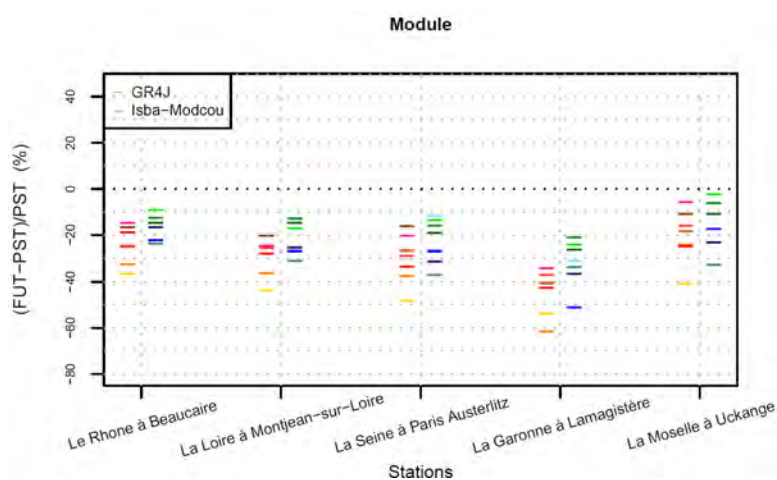
Les graphes et cartes suivantes illustrent ces conclusions.

Figure 79 : Evolutions relatives possibles (en %) du débit moyen annuel entre 1961-90 et 2046-65 : résultats moyens établis sur les 14 simulations (2 modèles hydrologiques x 7 MCG)



Lecture de la carte : La couleur des points est fonction de l'intensité du changement et la taille des points est liée à la convergence des 14 simulations.

Figure 80: Evolutions relatives possibles (en %) du débit moyen annuel entre 1961-90 et 2046-65 : Résultats des 14 projections pour cinq grands bassins versants



Lecture du graphique :

Pour 5 grands bassins versants, on présente les résultats issus des 14 simulations, en termes de baisse possible du module. L'écart entre les 14 valeurs permet d'avoir un aperçu de la dispersion entre les résultats. Elle varie de 30 à 60 points.

Pour la majorité des exutoires des grands bassins (voir Figure 80), on peut s'attendre à une baisse de l'ordre de 10 à 40% du débit moyen annuel, à l'exception du bassin de la Garonne pour lequel cette baisse pourrait atteindre 20 à 60%.

En termes de débits d'étiage :

Les résultats d'Explore s'accordent sur une **baisse générale des débits d'étiage pour la majorité des bassins de la métropole**. Les conclusions précisent que **cette baisse serait plus importante que celle des débits moyens annuels**. Les résultats indiquent des baisses de 5% à 65% des débits mensuel minimaux quinquennaux secs et des baisses, pour une majorité de bassins de régime pluvial-océanique, de 10 à 70 % des débits des mois d'août et septembre. Dans le cas des bassins de montagne, les projections s'accordent sur les étiages plus sévères en été et divergent pour ce qui concerne les étiages en hiver. La dispersion des résultats apparaît plus forte que pour les ressources moyennes annuelles.

3.5.3 Conséquences possibles en termes de ressources souterraines

Les modifications attendues du climat devrait aussi avoir des conséquences importantes sur la recharge et le niveau des aquifères.

Des travaux ont été conduits à l'échelle nationale sur ce sujet dans le cadre du projet Explore 2070 par l'utilisation de modèles de nappe déjà disponibles où ont été injectés les mêmes projections climatiques que pour l'étude des ressources superficielles.

Les résultats conduisent à des baisses de recharges et de niveaux piézométriques de la plupart des aquifères simulés (nappe alluviale du Rhin, nappes du bassin de la Seine, nappes du bassin aquitain, ...).

3.5.4 Conséquences possibles en termes de sécheresse

On a mentionné plus haut les résultats du projet CLIMSEC en termes de rétrospective sur les sécheresses. Ce projet a également conduit des projections pour dessiner des futurs possibles sur ce sujet. Les mêmes données de projection climatique que celles utilisées dans le projet Explore 2070, et déjà exposées plus haut (période 2045-2065, scénario A1B, descente d'échelle par méthode statistique), ont été utilisées.

Le rapport final du projet (Soubeyroux et al, CLIMSEC, rapport final du projet, 2011) indique des **changements peu marqués pour le premier tiers du siècle** (années 2020) **même si la probabilité de sécheresse agricole semble s'accroître, notamment pour les sécheresses longues**.

Des changements importants interviennent en milieu de siècle (années 2050), bien que les précipitations aient encore peu évolué. L'ensemble des projections climatiques conduisent en effet à des sécheresses inhabituelles en termes d'expansion spatiale ou d'intensité. Ces projections indiquent également que *"certaines régions, et notamment les zones montagneuses, du fait de probables modifications du régime nival, pourraient connaître les évolutions les plus marquées en matière d'assèchement des sols"*.

Il faut attendre la **fin du siècle** (années 2080) pour noter l'**apparition de sécheresses météorologiques plus fortes**, notamment en été. Le rapport indique que *"les sécheresses du sol pourraient [alors] devenir extrêmes (par comparaison au climat actuel) sur la majeure partie du territoire."* et que *"la durée de ces sécheresses extrêmes (plusieurs années ou décennies) relève de typologie de phénomène totalement inconnu dans le climat actuel."*

Le rapport souligne que **les changements les plus forts par rapport au climat actuel concerneront les régions qui connaissent les sols les plus humides en moyenne aujourd'hui** (Nord et Nord Est notamment).

Le rapport souligne l'importance de ne pas considérer les seules évolutions pluviométriques mais également la hausse de la demande évaporatoire " (...) la prise en compte des précipitations comme seule variable explicative des sécheresses s'avère tout à fait inadaptée pour décrire l'évolution des déficits hydriques, passés (voir année 2003) et bien sûr à venir. Il est particulièrement notable que l'assèchement des sols sous l'effet de la hausse de l'évaporation sera un élément essentiel de l'évolution du cycle hydrologique au cours du XXI^e siècle."

Le rapport indique enfin le caractère non linéaire des changements à venir et une hausse de la variabilité : " (...) Le caractère non-linéaire des changements attendus au cours du siècle et l'accentuation rapide des sécheresses dans la seconde moitié du XXI^e siècle est un élément à prendre à compte pour la préparation des mesures d'adaptation D'autant que cette non-linéarité est également combinée à une augmentation de la variabilité (différences d'intensité entre périodes sèches et humides) des sécheresses futures."

3.6 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 3

Le territoire métropolitain français est globalement bien pourvu en ressources en eau, avec un volume moyen annuel issu du bilan entrées (précipitations, entrées depuis d'autres pays) moins pertes (évapotranspiration, départ vers d'autres pays) **d'environ 170 milliards de m³ par an, soit 2800 m³ par habitant et par an.** Ce volume correspond aux écoulements de surface (environ 70 milliards de m³) et au renouvellement du stock des eaux souterraines (environ 100 milliards de m³).

Ce volume d'eau est cependant à distinguer de la ressource effectivement utilisable, qui lui est inférieure, du fait des réalités techniques de mobilisation et de la nécessité de laisser de l'eau dans les milieux aquatiques pour garantir leur bon état. Cette ressource effectivement mobilisable, très complexe à déterminer, n'a pas été approchée dans le cadre de la présente démarche.

Si elle est globalement abondante à l'échelle annuelle, la ressource en eau reste toutefois très hétérogène dans le temps et l'espace, avec des territoires et des périodes de l'année qui peuvent connaître d'importantes tensions.

Des sécheresses peuvent survenir, qu'elles soient météorologiques (déficit de précipitations, agricoles (déficit d'eau dans le sol) ou hydrologiques (déficit d'écoulement). Les événements des années 1976, 1978, 1989, 1990, 2003 ont par exemple affecté une part souvent importante du territoire métropolitain, donné lieu à des restrictions sévères des prélèvements en eau pour l'agriculture et les autres usages et au final conduit à des conséquences économiques importantes en particulier pour la production agricole.

Le changement climatique rapide noté depuis plusieurs dizaines d'années à l'échelle planétaire s'observe aussi à l'échelle nationale. L'évolution des températures est notable : la température moyenne métropolitaine de pratiquement chacune des années de 1990 à 2012 est supérieure de 0.5 à 1 °C à la température moyenne 1971-2000. On ne note par contre pas d'évolution des précipitations moyennes annuelles. Des tendances significatives (hausse ou baisse) apparaissent cependant à l'échelle saisonnière.

Il est quasi certain que le réchauffement se poursuive. La hausse des températures à l'horizon 2050 pourrait atteindre 1,4 à 2°C selon les scénarios d'émission de gaz à effet de serre considérés (fourchette données pour les scénarios A2 et B2). **Les incertitudes restent plus fortes sur les évolutions possibles des précipitations.** La quasi totalité des projections disponibles indiquent une baisse des précipitations moyennes annuelles mais son importance possible reste très incertaine, ainsi que la répartition des évolutions dans l'année et dans l'espace.

En conséquence, **il est quasi certain que ces évolutions climatiques conduisent à des diminutions des ressources en eau disponibles**. Les incertitudes restent cependant très fortes sur les baisses effectives à attendre. A l'horizon 2050 (période 2045-2065), elles pourraient par exemple atteindre de 10 à 40 % pour les débits moyens annuels. Les évolutions ne seront pas forcément linéaires et il est délicat de dessiner à partir de ces seuls chiffres une évolution à l'horizon 2030.

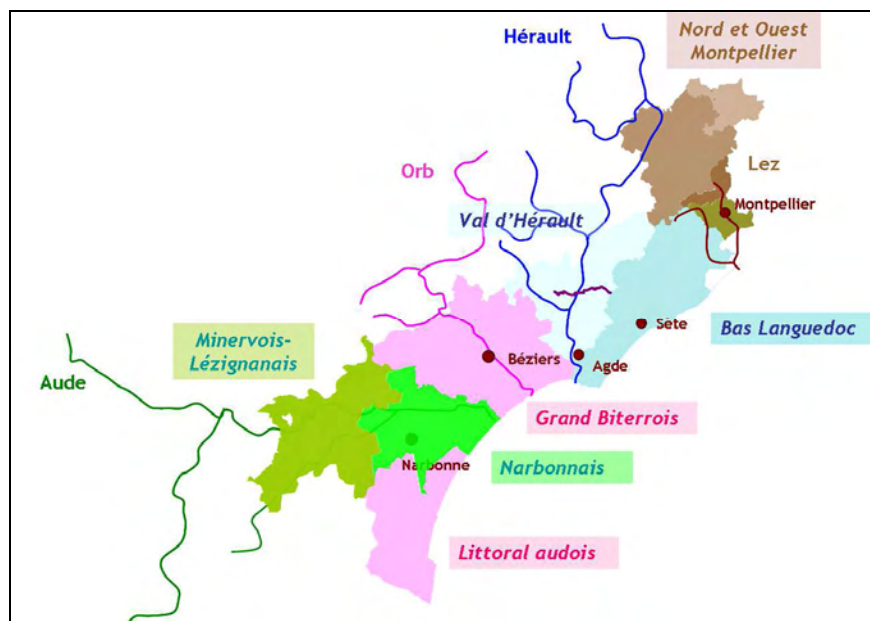
Il est également quasi certain que les épisodes de sécheresse deviennent plus intenses, plus longs et plus étendus spatialement.

4. LE BILAN BESOINS / RESSOURCES À L'HORIZON 2030 PRESENTE-IL DES RISQUES STRATÉGIQUES ?

4.1 UNE QUESTION TRANSTERRITORIALE ET FRACTALE

La question du bilan besoins / ressources se pose localement, à l'échelle de « territoires de l'eau », croisements entre des « territoires d'offres » (les nappes souterraines et les bassins versants, mis éventuellement en lien par des transferts), des « territoires de demande en prélèvement » (qui incluent des habitants, des surfaces irriguées, des centrales à refroidir, ...) et des limites fixées pour répondre à une demande de bon état écologique et d'éventuels autres usages non préleveurs (navigation, baignade, pêche, ...). A ces territoires techniques se superposent également des aires territoriales de décision politique, qui peuvent leur correspondre, ou pas.

Les exercices de bilan besoins / ressources sont ainsi toujours difficiles et délicats du fait de cette superposition. Considérons par exemple le cas de la bordure languedocienne dans ses parties audoise et héraultaise. La carte suivante, par un jeu de couleur, montre quel territoire est desservi par l'eau de quel bassin versant parmi les quatre fleuves côtiers Aude, Orb, Hérault et Lez (pour les usages eau potable ou irrigation). On note d'emblée une absence de liens simples. Les territoires de demande débordent des bassins versants, voire s'en trouvent très éloignés du fait de l'existence de transferts, par exemple depuis le fleuve Orb vers les stations littorales développées dans les années 1960-1970 (mission Racine), ou depuis le fleuve Hérault vers toute la zone du Bas-Languedoc. D'où la nécessité de considérer des espaces croisant offre et demande pour parvenir à une vision opérationnelle (notons que la carte ne figure pas un aquifère multicouche – la nappe astienne - qui intervient également en desserte du territoire situé autour de Béziers et Agde).



Les ressources de tous les territoires métropolitains ne peuvent être mises en lien hydraulique simplement (coût prohibitif, opportunité très discutable techniquement et écologiquement). **La question de base « y-aura-t-il assez d'eau pour satisfaire les demandes en eau à l'horizon 2030 ? » ne peut donc s'envisager simplement à l'échelle de toute la métropole.** On peut mettre en parallèle des chiffres globaux comme ceux présentés au paragraphe 3.1, en comparant offre et demande. Cela donne une idée globale de l'état général de la « pression » sur les ressources à l'échelle nationale et peut déboucher sur des comparaisons avec des pays moins bien ou mieux servis.

Mais cette approche ne dit rien de l'état de tension effectif que connaîtront éventuellement les différents territoires et rien non plus de l'occurrence de cette tension aux différentes périodes de l'année. **Seules des approches plus locales sont à même de répondre à ces enjeux techniques, et, surtout, seules de telles approches sont susceptibles de traiter ce sujet en impliquant fortement les acteurs des territoires concernés et en comprenant les enjeux économiques et sociaux sous-jacents.**

La question de la bonne échelle reste posée. Il n'existe pas de réponse unique. Au caractère éminemment fractal des objets concernés (les bassins versants, les nappes mais aussi les territoires de demande) peuvent répondre des approches également fractales et on constate souvent l'existence d'exercices gigognes en termes de perspectives et/ou de bilan besoins/ressources.

Il existe ainsi des approches à l'échelle d'entité hydrologique réduite (cas des études conduites pour les SAGE, cas des études volumes prélevables, ...), des exercices à l'échelle de régions où l'hydraulique a des frontières qui font sens régionalement (citons par exemple les exercices de prospective « AQUA 2020 » conduit en Languedoc-Roussillon en 2006 par la Région et ses cinq départements ou l'exercice « SOURCE » en cours conduit par la région Provence-Alpes-Côte d'Azur), des exercices à l'échelle des grands bassins hydrographiques comme les états des lieux dressés pour l'établissement des SDAGE ou l'exercice de prospective « GARONNE 2050 » porté par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Citons enfin l'exercice en cours Explore 2070, déjà mentionné, conduit par le MEDDTL. Tous n'ont pas le même sens politique, selon qu'ils sont portés par des collectivités, par des Comités de bassin, des Agences de l'Eau ou par l'Etat mais on peut cependant noter leur emboîtement géographique.

Même si la question du bilan besoins / ressources se pose essentiellement à l'échelle locale, des questions stratégiques sur ce sujet font cependant sens à l'échelle nationale.

Dans la présente synthèse, on se propose, dans un premier temps, de synthétiser les grands termes du bilan à l'échelle nationale, puis de balayer des questions stratégiques qui semblent se poser à l'échelle nationale. Dans un dernier sous-chapitre, sans entrer dans le détail des enjeux locaux, on dressera un portrait très rapide des principales questions plus spécifiques qui se posent au sein de plusieurs des grands ensembles hydrographiques français.

4.2 LA PRODUCTION AGRICOLE EST-ELLE MENACÉE PAR LA POSSIBILITÉ DE SÉCHERESSES PLUS RÉCURRENTES ?

4.2.1 De nombreux projets de recherche et expertises s'intéressent aux impacts de la sécheresse et du changement climatique sur l'agriculture et aux pistes d'adaptation

Comme déjà indiqué plus haut, la France connaît régulièrement des épisodes de sécheresse qui peuvent toucher une vaste partie de son territoire (1976, 1989, 1996, et plus récemment 2003, 2005, 2011).

L'augmentation de la fréquence du phénomène (2003, 2004, 2005, 2011), combinée aux prévisions de changement climatique, ont conduit les pouvoirs publics à **se préoccuper de la capacité de l'agriculture à s'adapter à une situation où les sécheresses deviendraient plus récurrentes**. Les pouvoirs publics s'interrogent, tant pour des raisons de coût économique que de tensions potentielles entre utilisateurs de l'eau, sur les moyens de limiter la vulnérabilité de l'agriculture aux manques d'eau et d'élaborer une politique de gestion de la ressource en eau à moyen terme.

Dans ce cadre, de nombreux projets de recherche ont étudié les impacts de la sécheresse et/ou du changement climatique sur l'agriculture française ainsi que les pistes d'adaptations envisageables.

Les analyses présentées ici sont principalement issues des grands projets de recherche suivants :

- ▶ **L'Expertise Scientifique Collective (ESCO) INRA** « Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau » (INRA, 2005-2006) : synthèse bibliographique de publications académiques internationales visant à étudier l'incidence de l'agriculture sur la ressource en eau, et le maintien et le développement d'une agriculture confrontée à la sécheresse.
- ▶ **Le Projet Climator** (ANR-INRA-ADEME, 2007-2010) : exercice de modélisation à vocation prospective ayant étudié l'impact du changement climatique sur des systèmes cultivés variés, à l'échelle de la parcelle, et dans des climats contrastés français.
- ▶ **Le Projet Climfourrel** (PSDR, 2007-2011) « Accompagner l'adaptation des systèmes d'élevage périméditerranéens aux changements et aléas climatiques » : projet d'analyse du climat méditerranéen futur et de ses conséquences sur la production fourragère, et élaboration de pistes d'action individuelles et collectives pour sécuriser les systèmes d'élevage.
- ▶ **Le Projet DROPS** (Drought-tolerant yielding plants) (projet européen, 2010-2015) : développement de variétés de plantes plus résistantes à la sécheresse et/ou qui valorisent mieux l'eau d'irrigation ou des pluies.

Une description synthétique des objectifs, des hypothèses et de la mise en œuvre de chacun de ces projets sont présentées en annexe 2.

4.2.2 Effets de la sécheresse sur la production agricole

La synthèse du panel des effets possibles de la sécheresse sur les cultures (sur le développement des plantes, sur le rendement, sur le revenu agricole, sur les choix de cultures et les niveaux d'irrigation) a été réalisée dans le cadre de l'expertise sécheresse de l'INRA (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006). Les principaux éléments en sont repris ici.

CONSÉQUENCES SUR LA CROISSANCE ET LE DÉVELOPPEMENT DES CULTURES

La sécheresse a des effets directs sur le développement des plantes, qu'il s'agisse de cultures annuelles ou pérennes. De plus, la sécheresse peut également affecter la culture suivante en raison de la non reconstitution de la réserve en eau.

Sur les **grandes cultures**, la sécheresse peut entraîner une levée retardée, incomplète, ou irrégulière, qui crée un peuplement défectueux et hétérogène jusqu'à la récolte, une implantation racinaire médiocre et superficielle (couverture du sol retardée, carences précoces, sensibilité à la sécheresse de fin de cycle), une mauvaise utilisation des engrais azotés, une réduction du développement foliaire puis du nombre de grains, une sénescence accélérée et un défaut de remplissage du grain. Les conséquences sont diverses pour le sol et le peuplement selon la période d'occurrence de la sécheresse.

Pour les **cultures pérennes fruitières** (vigne, vergers), la période de sécheresse a des conséquences différentes selon les saisons. Au printemps, elle affecte la mise en place des organes végétatifs et l'élaboration du nombre de fruits. En été, elle peut perturber la croissance des fruits et l'élaboration de leur qualité, ainsi que l'induction florale qui détermine la fructification de l'année suivante. Enfin, à l'automne, après récolte, elle peut affecter l'activité de l'appareil végétatif et donc la reconstitution des réserves carbonées et azotées utiles au démarrage du cycle végétatif suivant.

Les **prairies permanentes** peuvent être très fortement affectées par la sécheresse. Les baisses de rendements dues à la sécheresse peuvent atteindre jusqu'à 50%. Par ailleurs, aux effets directs peuvent s'ajouter des effets sur la pérennité des prairies. Dans certains cas, notamment lorsque la période sèche est précédée par un surpâturage, la reprise de la végétation est hétérogène, avec des « trous » de sol nu, qui laissent la place à des espèces invasives indésirables. La qualité des prairies et même leur pérennité peuvent alors être fortement compromises, et dans de nombreux cas, ces dégradations prolongent l'effet sécheresse jusqu'au printemps suivant (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

D'autre part, la sécheresse peut avoir des **effets sur les graines et les fruits**. Ceux-ci sont variables selon les situations : réduction de la taille, perturbation de la composition (baisse des teneurs en amidon et en huile des graines, une augmentation des teneurs en protéines).

La sécheresse a également des **effets indirects sur les cultures car elle affecte les cycles de reproduction et le développement des ravageurs** (insectes, maladies, adventices). Des températures élevées accélèrent les cycles de développement de nombreux insectes ravageurs des cultures : cycles supplémentaires, apparition de nouveaux ravageurs. Des alternances de petites pluies et de périodes sèches peuvent favoriser certains pathogènes (oidium des céréales, mildiou de la vigne). A l'inverse, les conditions sèches peuvent être défavorables, en compromettant la survie des œufs et des jeunes larves. En ce qui concerne l'impact des adventices sur les cultures, il serait plus marqué en conditions de sécheresse en raison de la forte compétition pour l'eau, notamment pour les cultures d'été. Une sécheresse précoce peut réduire la levée des adventices, mais aussi la capacité du peuplement cultivé à les concurrencer, ou l'efficacité de certains herbicides de pré-levée (faible migration en profondeur). Les plantes affaiblies par la sécheresse pourraient aussi être plus sensibles aux attaques de pathogènes ou de certains insectes.

CONSÉQUENCES SUR LES RENDEMENTS

La sensibilité des cultures à la sécheresse dépend de leur sensibilité intrinsèque (phases sensibles et critiques, capacités d'extraction d'eau, processus d'ajustement, etc.) mais aussi des conditions de culture qui leur sont appliquées (période de semis, fertilisation, irrigation) et des choix variétaux opérés. **Une perte de rendement résulte du stade où survient le déficit hydrique.**

Dans le cadre de l'Expertise sécheresse, une estimation des baisses de rendements lors des sécheresses de 1976, 2003 et 2005 a été réalisée à partir de données régionales disponibles sur la période 1970-2005. Les baisses de rendement ont été évaluées par rapport à un rendement de référence moyen, qui augmente avec le temps, étant donnés le progrès génétique, l'amélioration des techniques culturales et l'évolution climatique (hausse des températures)⁹.

Les analyses statistiques ont abouti aux résultats suivants :

- ▶ les pertes de rendement liées à la sécheresse ont été générales sur le territoire métropolitain en 1976, 2003 et 2005 ;
- ▶ les autres épisodes de sécheresse (1982, 1986, 1989, 1990, 1997 et 2004) ont davantage touché le Sud-ouest (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

⁹ Cette progression moyenne est de 1,5% par an pour les céréales, betterave et pomme de terre (soit +30 à 50q/ha), et de 1% pour le tournesol et autre oléagineux (soit +5 à 15 q/ha).

Tableau 8 : Conséquences des sécheresses de 1976, 2003 et 2005 sur les rendements des cultures
(Source : Expertise sécheresse INRA 2006)

	blé	maïs	tournesol	sorgho	soja	colza, pdt, betterave
1976	-10% à -30%	-10% à -55%	-40% à -70%	-14% à -37%		
2003			-5% à -20%	-14% à -37%		
2005	-6,5%	-9%	< -2%	-10%	-6%	< -2%

Ce travail a également permis de **classer les cultures selon leur sensibilité à la sécheresse**, en tenant compte des systèmes de culture pratiqués.

Le colza et le tournesol apparaissent peu sensibles, le blé moyennement sensible, le sorgho (pluvial) et le maïs (pluvial et irrigué) assez sensibles. Le sorgho est plus sensible si la sécheresse se manifeste tôt car l'implantation est alors pénalisée. En revanche, le sorgho tolère bien une sécheresse au cours du remplissage des graines. Le sorgho et le tournesol sont souvent cultivés sur des sols plus superficiels que le maïs, ce qui explique certaines baisses de rendements plus marquées.

La sensibilité à la sécheresse évolue avec le déplacement des cultures vers certains sols ou avec l'adoption de l'irrigation. Ainsi, entre 1976 et 2003 les sensibilités du colza (8%), du blé (17%), et du maïs (21%) restent comparables, tandis que celles de la pomme de terre et de la betterave ont été nettement réduites par le développement de l'irrigation. Quant au sorgho et au tournesol, les résultats sont contrastés : en effet, sur ces cultures « jeunes », l'amélioration génétique a beaucoup progressé au cours de la période (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

CONSÉQUENCES SUR LES REVENUS AGRICOLES

L'Expertise sécheresse s'est également attachée à estimer l'impact économique des sécheresses de 1976, 1989-1990, 2003, et 2005 sur l'agriculture française. Les résultats montrent que **l'impact économique des sécheresses dépend beaucoup des politiques agricoles, de la situation sur les marchés des produits et sur ceux des consommations intermédiaires**. La conjoncture joue un rôle majeur : les années caractérisées par « l'effet de ciseau » (faible augmentation des prix agricoles et forte hausse du prix des consommations intermédiaires) sont particulièrement propices à une diminution importante du revenu agricole.

En 1976, la sécheresse, survenue dans un contexte déjà très tendu (hausse des prix de l'énergie et des intrants, endettement), a entraîné une diminution du revenu agricole d'environ 9%. Une aide sécheresse exceptionnelle de 6 milliards de francs (soit 915 millions d'euros 1976) a été accordée aux agriculteurs. En 2005, la situation était comparable (hausse du prix du pétrole, stagnation prix de vente en raison de très bonnes récoltes en Argentine et au Brésil). Les baisses de rendements en maïs ont été d'environ 9%. Les revenus par actif non salarié (RNEA) ont baissé de 22% par rapport à 2004 et de 6% par rapport à 2003. Les régions Poitou-Charentes, Aquitaine et Midi-Pyrénées ont été les plus touchées.

En 2003 au contraire, de fortes hausses des prix de vente (+16%) ont presque compensé la baisse des volumes récoltés, excepté pour le vin.

Au total, les agriculteurs ont perçu 368 millions d'euros au travers du FNGCA en 2004 pour la sécheresse de 2003. Par ailleurs l'OFIVAL, au titre de 2003 et 2004, a reçu 86 000 demandes représentant l'achat de 3,8 millions de tonnes de fourrages. L'aide moyenne versée s'est élevée à 15 euros par tonne. Ces aides aux fourrages ont représenté 19,5 millions d'euros en 2003 et 38,6 millions d'euros en 2004. A ces montants doivent être ajoutés des prêts à taux réduits (1,5%) de l'ordre de 553 millions d'euros pour la sécheresse 2003 et 99 millions d'euros supplémentaires d'aménagement de dettes (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

L'Expertise sécheresse souligne le fait qu'à **chaque sécheresse majeure, les exploitations les plus touchées sont les élevages**, qui reçoivent donc la plus grande part des indemnités versées au titre des calamités agricoles.

CONSÉQUENCES SUR LES CHOIX DE CULTURE ET LES NIVEAUX DE PRÉLÈVEMENT D'IRRIGATION

Augmentation des superficies irriguées

Malgré le manque de données précises concernant l'irrigation, l'Expertise sécheresse a analysé les conséquences de la sécheresse de 2003 sur les surfaces irriguées et les volumes d'eau utilisés.

La comparaison entre 2000, année plutôt humide, où 1,6 Mha ont été irrigués et 2003, année de la sécheresse, où 1,9 Mha ont été irrigués, confirment un **recours accru à l'irrigation en année sèche**.

Les analyses par culture ont montré en 2003 :

- une baisse des surfaces en maïs grain due à la conversion d'une partie des surfaces semées en ressources fourragères ;
- la multiplication par 3,7 de l'irrigation sur les céréales autres que le maïs (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

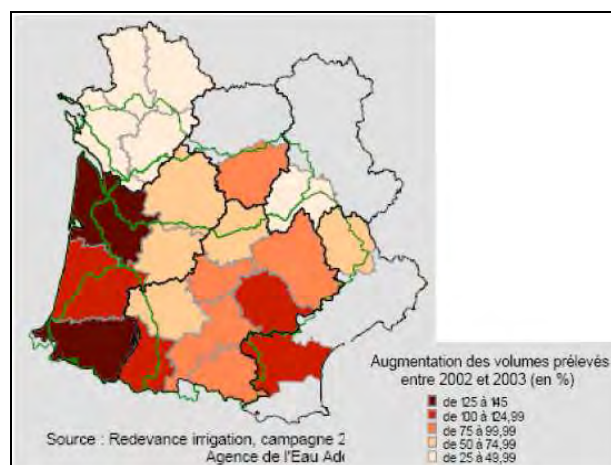
Tableau 9 : Superficies irriguées en 2000 et 2003 en milliers d'hectares (Sources : RGA 2000 ; SCEES 2003 ; tableau : Expertise sécheresse INRA 2006)

	Mais	Autres céréales	Oléagineux, protéagineux	Légumes frais	Fourrages	Autres Cultures	Cultures permanentes	STH	Total cultures irriguées
2000	734	91	107	126	134	135	138	30	1 495
2003	701	336	127	142	175	170	148	28	1 827

Augmentation des volumes prélevés

En ce qui concerne les niveaux de prélèvements, **dans le bassin Adour-Garonne, la hausse des volumes prélevés lors de la sécheresse de 2003 s'est élevée à +85% par rapport à 2002, soit plus de 1 milliard de m³ supplémentaires**. Comme l'illustre la carte ci-contre, cette augmentation a notamment été très marquée en région Aquitaine, où les prélèvements ont presque doublé (+145% pour la Gironde, +112% pour les Landes et +138% pour les Pyrénées atlantiques). Les plus fortes augmentations correspondent aux prélèvements individuels dans les nappes profondes. En Midi-Pyrénées, les volumes d'irrigation moyens sur maïs ont été de 220 mm/ha en 2003 contre 100mm/ha en 2002 et 140mm/ha en 2001. En Poitou-Charentes, en raison des restrictions de pompage, la progression des prélèvements a été plus faible (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

Figure 81 : Effets de la sécheresse de 2003 sur les prélèvements d'eau dans le bassin Adour-Garonne (Sources : AEAG ; Expertise sécheresse INRA)



Toutefois, il est important de souligner que **la valeur ajoutée attendue d'une culture affecte également les niveaux de prélèvements d'eau**. Ainsi, le maïs est davantage irrigué que le tournesol et le sorgho parce qu'il est plus sensible, mais aussi parce qu'on en attend plus de marge que le tournesol et plus de retour sur investissement de l'irrigation (Source : Arvalis). Le maïs semence est plus irrigué que le maïs grain pour la même raison : la société qui contracte les semences fixe des objectifs de qualité pour ses semences, si bien que l'agriculteur ne peut pas prendre de risque. Ces aspects sont importants à prendre en compte notamment pour comprendre la comparaison entre l'irrigation en grandes cultures et en horticulture.

4.2.3 Impacts du changement climatique sur les cultures

Les modèles météorologiques montrent qu'en France métropolitaine, le changement climatique rimera avec une augmentation de la température moyenne et une baisse quasi-générale de la pluviométrie estivale (Météo France). Les sécheresses, aggravées par des vagues de chaleur, risquent donc d'être plus fréquentes à l'avenir, mais resteront difficiles à prévoir et donc à anticiper. Comme l'a indiqué l'Expertise sécheresse, il convient de les considérer comme un risque structurel à intégrer dans les pratiques.

Par ailleurs, le changement climatique aura d'autres impacts sur les cultures et les forêts.

Le projet Climator (Brisson N., Levrault F., éditeurs, 2010) a modélisé l'impact du changement climatique sur les cultures dans un futur proche (2020-2049), et un futur lointain (2070-2099) en référence à une période de passé récent (1970-1999). Les principaux résultats obtenus concernant les effets, qu'ils soient bénéfiques ou néfastes, du changement climatique sur l'agriculture et les forêts, sont repris ici.

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DU PROJET CLIMATOR

Le changement climatique, tel que prévu par les modèles climatiques, ne provoquera ni dégradation ni amélioration générale des possibilités de culture. Il faut plutôt s'attendre à ce qu'un ensemble de facteurs, dont dépendent ces possibilités, soit modifié.

Par l'action de ses différentes composantes (température, rayonnement, pluies) et par l'effet de l'augmentation du CO₂ atmosphérique, le changement climatique affectera la croissance et le développement des espèces cultivées. On distingue :

- ▶ **Les effets favorables aux productions végétales : rendements accrus, intrants réduits, travaux facilités, choix de rotations culturales élargis, etc. ;**
- ▶ **Les effets défavorables : stress hydrique, diminution des rendements ou augmentation de leur variabilité, etc.**

Ces effets positifs et négatifs reposent sur un certain nombre de **mécanismes d'action du changement climatique** :

- ▶ la disponibilité thermique et la phénologie ;
- ▶ les températures hautes et basses et les accidents physiologiques ;
- ▶ la demande climatique en eau et les besoins en irrigation des cultures d'été ;
- ▶ les précipitations et les jours disponibles pour les travaux des champs ;
- ▶ la qualité des produits ;
- ▶ le CO₂, le stress hydrique et les niveaux de production ;
- ▶ la variabilité interannuelle du climat et de la production.

Ces mécanismes d'action, provoqués par la hausse des températures, la diminution des précipitations, ou une combinaison de ces deux causes, auront les principaux effets suivants sur les cultures et les forêts :

- ▶ baisse de la recharge des nappes phréatiques ;
- ▶ diminution des épisodes de gel à l'automne ;
- ▶ augmentation de l'aire de culture possible d'espèces estivales, tant en latitude qu'en altitude ;
- ▶ accélération des rythmes de croissance des plantes ;
- ▶ légère augmentation des rendements du blé et des prairies ;
- ▶ diminution des rendements des cultures irriguées ;
- ▶ augmentation de la vulnérabilité des forêts au dépérissement.

Il est à noter que le projet Climator a abouti à des différences de résultats importantes entre sites étudiés. **Il n'est donc pas possible de définir une évolution globale des systèmes sous l'effet du changement climatique.** Par ailleurs, la grande variabilité interannuelle du climat entraînera une **variation de l'impact du changement climatique** sur les systèmes agraires. Cependant, le projet a obtenu que les incertitudes concernant les évolutions sociales, économiques et démographiques ne se font sentir que pour les scénarios du futur lointain. **Une adaptation des systèmes agricoles est donc d'ores et déjà possible.**

Le tableau ci-dessous récapitule les principales évolutions pressenties du changement climatique sur les cultures, issues des simulations climatiques du projet Climator.

Tableau 10 : Les principales évolutions favorables et défavorables modélisées dans le cadre du projet Climator du changement climatique sur les cultures

Cause	Augmentation des températures		Baisse de la pluviométrie	
Mécanisme	Accélération des rythmes phénologiques		Moindre humidité des sols à l'automne	
Effets Positifs (atouts) Négatifs (vulnérabilités)	Opportunités de nouvelles cultures notamment cultures d'été dans le nord de la France et en moyenne montagne	Augmentation de la durée d'interculture en monoculture, qui accroîtra les risques de lessivage et d'érosion	Davantage de jours disponibles pour les travaux d'automne	
	Esquive partielle des stress hydriques accrus et des jours échaudants de printemps et d'été	Augmentation du nombre de jours échaudants au printemps, dont l'effet sera partiellement réduit par l'avancement des calendriers culturels		
	Réduction des accidents liés au gel automnal pour les cultures d'hiver	Risque de dégradation de la qualité du raisin en raison de l'anticipation de la période de maturation		
	Effets combinés (température et pluviométrie)			
	Augmentation des rendements dans les cas où les stress hydriques sont évités ou compensés par une croissance à des périodes hors stress : cultures d'hiver, prairie et cultures pérennes		Diminution des rendements dans les cas où les stress hydriques aggravés ne sont pas évités : vigne non irriguée, tournesol non irrigué	
			Augmentation des besoins en eau d'irrigation des cultures d'été	
			Augmentation de la variabilité interannuelle des cultures d'été non irriguées (tournesol en particulier)	

Le détail des différents effets du changement climatique simulés par le projet Climator est présenté en annexe 3.

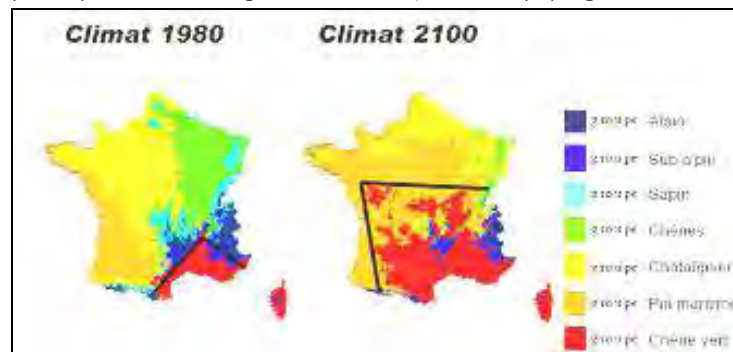
4.2.4 Impact des sécheresses sur les systèmes fourragers : zoom sur l'arc périméditerranéen (projet Climfourel)

Le projet Climfourel a comporté un volet d'analyses climatologiques, qui constitue un complément des évolutions climatiques présentées dans la partie 3.

Sur l'arc périméditerranéen, le climat a beaucoup évolué depuis 1980. Les températures ont augmenté en moyenne entre $+1.6^{\circ}\text{C}$ et l'ETP de $+215\text{ mm}$. Le changement est très marqué pour les mois de mai à août : $+2.2^{\circ}\text{C}$ et $+132\text{ mm}$ ($+153\text{ mm}$ en plaine et $+100\text{ mm}$ sur les plateaux). Les lignes isothermes et iso-ETP ont avancé vers le nord et le nord-ouest de 300-350 km en été. Aucun changement significatif n'est établi pour la pluviométrie qui reste le principal facteur de résistance au changement. **La limite du climat méditerranéen a progressé de 60 à 100 km.** L'arc périméditerranéen historique a maintenant un climat franchement méditerranéen : Toulouse, Millau-Larzac et Montélimar sont devenues méditerranéennes, tandis que Albi, Valence et Lyon sont pré-méditerranéens (en transition de tempérés vers méditerranéens) (Moulin CH, 2011).

Cette progression devrait se poursuivre dans les décennies à venir, comme l'illustre la figure ci-dessous : à la fin du 21^e siècle, le climat méditerranéen devrait occuper près de la moitié du territoire français.

Figure 82 : Les impacts prévus du changement climatique sur le paysage national (Source : Climfourel)



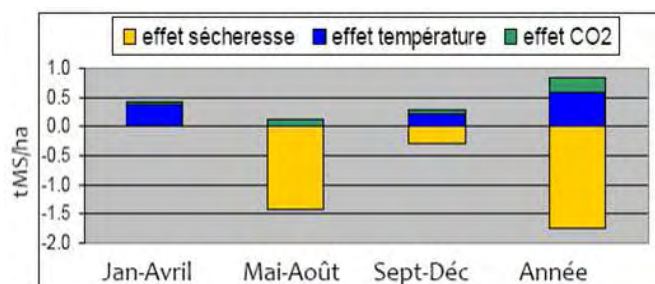
Les changements climatiques observés depuis 30 ans ont entraîné une **baisse de la production fourragère sur l'arc périméditerranéen**. Les analyses climatologiques menées dans le cadre du projet Climfourel ont montré que les répétitions de sécheresses sévères observées depuis dix ans dans la zone étudiée ont un caractère structurel, lié à un nouveau climat qui impose :

- ▶ une tendance à la baisse de la production annuelle ;
- ▶ une irrégularité de plus en plus forte de la production d'été et d'automne (caractère le plus fortement perçu sur le terrain).

Une modélisation de la production fourragère pour une prairie cultivée a montré les différents effets du changement climatique :

- ▶ L'augmentation de la température permet une pousse un peu plus forte au printemps.
- ▶ L'effet sécheresse entraîne une **forte baisse de la production estivale**.
- ▶ À l'automne, les effets de la sécheresse sont compensés par les effets de l'augmentation du CO_2 et de la température.

Figure 83 : Tendances de la production d'une prairie moyenne périméditerranéenne de 1980 à 2008 (Source : Climfourel)

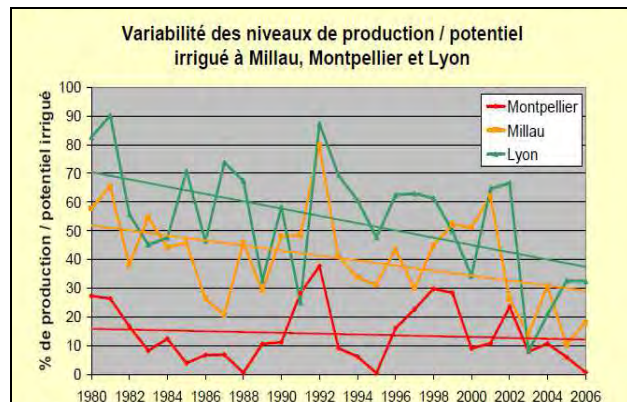


La figure ci-contre représente l'évolution de l'indice de production fourragère entre 1980 et 2006 pour trois stations : Lyon, Millau et Montpellier.

A Montpellier, le niveau de production fourragère était faible dès 1980 (climat méditerranéen). En revanche, sur la période 1980-2006, on observe une baisse de 30% à Lyon, et 20% à Millau, soit une convergence des niveaux de production de ces deux stations vers celui de Montpellier. Par ailleurs, on observe une forte variabilité des niveaux de production.

Globalement sur l'année, une baisse de production de 11% a été enregistrée entre 1980 et 2008.

Figure 84 : Indice de production fourragère 15 mai-15 septembre entre 1980 et 2006 (modèle STICS) à Lyon, Millau et Montpellier (Source : Climfourrel)



4.2.5 Effets des sécheresses et du changement climatique sur les forêts

Les arbres s'alimentent en eau grâce à leur enracinement, plus ou moins profond selon les espèces. Leur fonctionnement repose en grande partie sur la circulation interne de l'eau, dont le phénomène principal est l'évapotranspiration qui survient au niveau des feuilles. **Quand la réserve en eau du sol diminue**, l'arbre régule sa consommation en eau par la fermeture de ses stomates. La croissance de l'arbre s'arrête alors, mais peut reprendre si la sécheresse cesse, grâce à la réouverture des stomates. Néanmoins, si le stress hydrique s'intensifie, la tension de la sève dans les vaisseaux devient trop forte, et des bulles d'air apparaissent dans le système conducteur des pétioles et des petits rameaux. Ce mécanisme, appelé embolisme, peut conduire au dessèchement et à la chute des feuilles.

Les conséquences définitives d'une sécheresse sur une forêt dépendent ensuite fortement du climat de l'automne et de l'hiver suivants. En effet, les arbres déjà affaiblis par des stress passés seront plus vulnérables que les autres face aux maladies, aux insectes et aux champignons.

Outre les facteurs climatiques, **la mortalité des arbres dépend de multiples facteurs interdépendants, tels que les maladies ou les attaques de nuisibles**. Or, les changements climatiques affecteront les dynamiques spatiales et temporelles de ceux-ci. Les relations de coévolution entre les espèces hôtes et les espèces nuisibles seront probablement perturbées : les espèces hôtes pourront être en contact avec de nouveaux pathogènes et herbivores, et des changements dans la composition en espèces des communautés sont attendus.

En plus des variations climatiques moyennes, les **événements climatiques extrêmes**, tels que des vagues de chaleur prolongées, des tempêtes ou des inondations, qui devraient augmenter en fréquence et en intensité, pourraient aggraver le dépérissement des forêts (Allen C.D, 2009). L'augmentation des sécheresses, en zone méditerranéenne notamment, s'accompagnera d'un accroissement du risque d'incendie.

D'après des recherches de l'INRA, il semble hautement probable que des dépérissements touchant les peuplements de sapins dans des massifs du sud de la France (Vésubie, Ventoux, Aude) soient les signes annonciateurs des impacts du changement climatique sur certaines espèces forestières.

Les jeunes plantations, en particulier, supportent très mal les aléas climatiques, et les effets sont souvent irréparables et conduisent à la mort du plant. Pour les peuplements adultes, les conséquences sont généralement nettement moins importantes, elles varient selon l'essence et la station sur laquelle on se trouve.

La mortalité des forêts par la sécheresse peut provoquer des changements rapides des écosystèmes sur de grandes étendues, entraînant de nombreuses conséquences écologiques, et sociales profondes et persistantes (Allen C.D, 2009). Selon l'INRA, les travaux de recherche ayant suivi la sécheresse de 1976 ont montré que ses conséquences ont porté sur une dizaine d'années.

De plus, **les forêts sont des puits de carbone indispensables** et participent activement à la lutte contre le réchauffement climatique.

4.3 LA SÉCURISATION DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE N'EST PAS MENACÉE MAIS POURRA NÉCESSITER DES INVESTISSEMENTS IMPORTANTS

Le projet Climsec a montré que les ruptures climatiques importantes devraient survenir à un horizon temporel plus lointain que 2030.

Pour assurer la couverture des besoins en eau potable, la plupart des régions à forte croissance démographique ont d'ores et déjà pris les devants en conduisant des études prospectives pour l'évaluation des besoins à venir et l'identification des zones à risques (ex : SOURCE en PACA, AQUA 2020 en Languedoc-Roussillon).

L'alimentation en eau potable constitue un besoin qui restera **prioritaire** et pour lequel il existe des marges de **manœuvre comportementales et technologiques** (Cf. 5.3). En cas de situation de déséquilibre marqué, l'agriculture constituera vraisemblablement la variable d'ajustement.

La réduction des consommations en eau potable soulève des **questions économiques**. Elle nécessite d'intégrer les coûts des politiques de long terme (renouvellement des réseaux), et pose la question du « juste partage » avec les autres usages dans l'équation économique. Par exemple, des investissements dans le secteur de l'agriculture peuvent parfois permettre de libérer de la ressource sur certaines zones (Cf. 5.7).

En outre, les régions pourront faire le choix de soutenir ou non le développement territorial (et donc l'accroissement des besoins), par exemple via des conventions avec EDF ou des constructions d'ouvrages.

4.4 LES HAUSSES DE TEMPÉRATURES ET LES BAISSSES DE DÉBITS ATTENDUES QUESTIONNENT LES POSSIBILITÉS DE REFROIDISSEMENT DE CERTAINES CENTRALES

Les centrales nucléaires et thermiques utilisent les cours d'eau comme sources froides pour le refroidissement de leurs équipements, opération indispensable à la production d'énergie électrique.

Bien que la part essentielle des volumes prélevés correspond à des circuits ouverts, dans lesquels l'eau prélevée en amont des sites de production est rejetée immédiatement en aval après échauffement dans les condenseurs, et que seule une infime part de l'eau prélevée pour le refroidissement est finalement consommée, les centrales présentent en revanche **des contraintes fortes en termes d'échauffement de l'eau rejetée**.

Etant donnée l'importance des volumes transitant par les circuits de refroidissement des centrales, et les **limites de température réglementaire** que celles-ci doivent respecter, les effets du changement climatique sur les températures des cours d'eau mettent en question le fonctionnement des centrales dans les décennies à venir.

Ce questionnement est ici illustré dans le cas du Rhône, fleuve sur lequel est concentrée la majeure part de la production nucléaire et thermique française.

4.4.1 Importance des contraintes hydrologiques et thermiques pour le fonctionnement des centrales

LES CENTRALES NUCLÉAIRES SUR LE RHÔNE

A l'heure actuelle, l'énergie annuelle productible avec le nucléaire sur le Rhône s'élève à 83 000 GWh environ.

Tableau 11 : Equipements disponibles pour la production d'énergie hydroélectrique et nucléaire sur le bassin Rhône Méditerranée (source : Plan Rhône)

	Hydroélectricité		Thermie et nucléaire		TOTAL	
	Puissance MW	Productible GWh	Puissance MW	Productible GWh	Puissance MW	Productible GWh
EDF	10 600	24 200	14 800	82 900	25 400	113 400
CNR	3 000	16 000			3 000	16 000
Autres producteurs	400	1 500			400	1 500
TOTAL	14 000	41 700	14 800	82 900	28 800	130 900

Tableau 12 : Prélèvements bruts en eau opérés par les centres nucléaires (source : EDF)

Unités de production	Nombre de tranches en circuit fermé (aéroréfrigérant)	Nombre de tranches en circuit ouvert	Volume annuel brut prélevé (Mm3)
EDF-CNPE Bugey	2	2	3 100
EDF-CNPE St Alban		2	4 100
EDF-CNPE Cruas	4		500
EDF-CNPE Tricastin		4	5 000
EDF-CPT Aramon		2	90
Total	6	10	12 790

Le volume d'eau du Rhône détourné par ces activités énergétiques hors hydroélectricité s'élève à environ 12,8 milliards de m³, ce qui représente la part la plus importante des prélèvements d'eau dans le Rhône. Globalement, la restitution des prélèvements énergétiques est de l'ordre de 99%.

Si le prélèvement net perdu pour le milieu est faible par rapport au prélèvement brut détourné, les activités énergétiques représentent en revanche une contrainte importante en termes d'échauffement de l'eau rejetée.

La contribution des rejets thermiques à l'augmentation des températures du Rhône est de l'ordre de 0,5 à 1,5 °C en moyenne selon la distance au rejet amont. En période estivale, des limites de température réglementaires et contraignantes sont fixées pour autoriser le fonctionnement de chaque centrale nucléaire ou thermique. Celles-ci ne peuvent être dépassées que pour assurer la sécurité du réseau électrique, en application d'arrêtés dérogatoires.

PÉRIODES HISTORIQUES DE TENSIONS SUR LE RHÔNE

Au cours de ces dernières années, des épisodes particuliers ont été marqués par des étiages sévères généralisés à la plupart des affluents directs du Rhône. **Les canicules de 2003 et 2006** ont conduit à une limitation voire une interdiction des prélèvements sur les affluents les plus sensibles pour cause de manque de débit, et **ont également conduit à une augmentation de la température du fleuve limitant en conséquence la production des centrales nucléaires.**

Parallèlement, **les centrales sont également contraintes par l'hydraulicité du fleuve.** En mai 2011, le Rhône a atteint son niveau d'étiage le plus bas, cette tendance ayant été constatée dès le mois de mai puis s'étant maintenue durant tout l'été. Les raisons de cet étiage sur le Rhône sont associées aux faibles débits écoulés depuis le Léman cette année, mais aussi depuis les affluents principaux (Isère et Durance).

CONTRAINTES HYDROLOGIQUES ET THERMIQUES POUR LES CENTRALES

Ces récents épisodes d'étiage ont soulevé des questionnements liés aux deux types de contraintes qui se dessinent pour le fonctionnement des centrales :

- ▶ **l'influence du débit dans le processus de refroidissement des centrales** : la capacité du fleuve Rhône à assurer son rôle de refroidissement des centrales nucléaires est mise en question pour les situations de faibles débits ;
- ▶ **l'importance considérable de la température du fleuve** : les eaux rejetées issues du processus de refroidissement étant soumises à des seuils de température réglementaires, les situations de températures élevées peuvent limiter les capacités de production des centrales.

4.4.2 Analyse des contraintes futures

QUESTIONS SOUS-TENDUES PAR LE FONCTIONNEMENT FUTUR DES CENTRALES

La gestion des centrales, et plus généralement la gestion intégrée des ressources et des usages sur le fleuve Rhône dans les décennies à venir devra donc prendre en compte ces contraintes liées à l'hydraulicité et la thermie du fleuve.

Les gestionnaires devront pouvoir disposer de données et d'outils permettant de répondre aux questions suivantes :

- ▶ A partir de quelles valeurs de débits l'usage refroidissement pour la sûreté des installations est-il contraint ?
- ▶ Quels sont les différents niveaux de contraintes acceptables ?
- ▶ Pendant combien de temps l'usage refroidissement peut-il être contraint et à quel niveau de contrainte ?

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DES EAUX SUPERFICIELLES

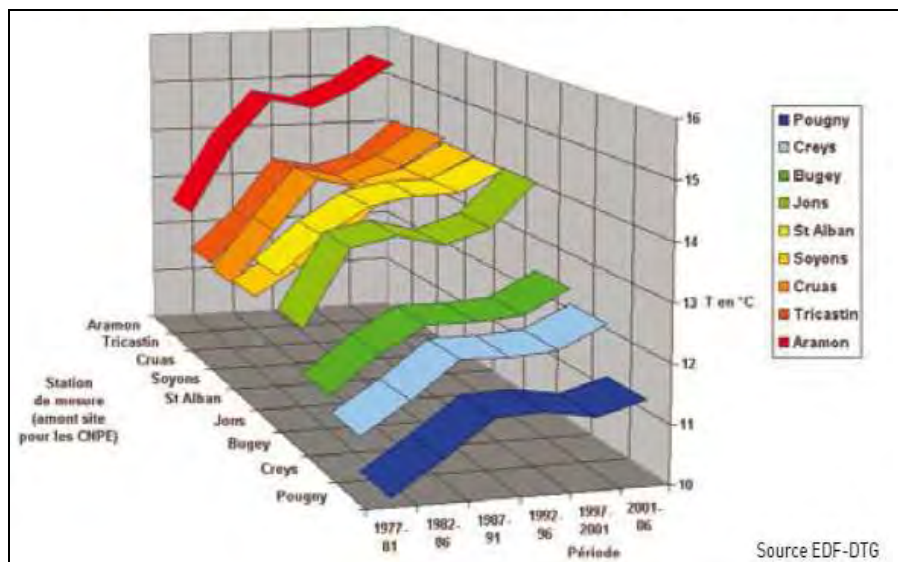
Les éléments de réponse à ces questions dépendront en grande partie des projections concernant l'hydrologie du fleuve (Cf. 3) et les températures futures.

Le graphique suivant réalisé par EDF-DTG illustre l'évolution des températures moyennes de l'eau par périodes de cinq années depuis 1977 dans dix stations de mesure réparties sur le Rhône entre le Léman et la Méditerranée. **On constate que l'augmentation des températures est très sensible.**

Sur les affluents, notamment l'Ain, la Saône et l'Isère, les évolutions sont similaires et correspondent assez bien aux modifications des températures de l'air constatées depuis plus de 30 ans. Ces hausses sont beaucoup plus importantes au printemps et en été. Par exemple, une augmentation dépassant 2 °C pour le mois le plus chaud a été observée sur l'Ain et le Rhône aval (Mahona B et al, 2008).

Figure 85 : Evolution des températures moyennes de l'eau du Rhône par périodes de 5 ans

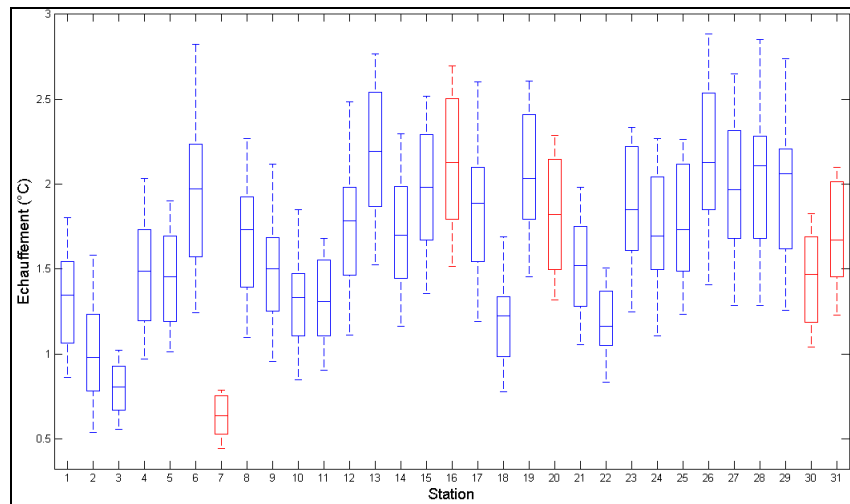
(Source : EDF-DTG)



Dans le cadre du projet Explore 2070, BRLi a réalisé une simulation de l'impact du changement climatique sur une large gamme de cours d'eau français, en 31 points. Après avoir effectué un état de l'art de la recherche dans le domaine de la modélisation thermique des cours d'eau, BRLi a pu développer deux modèles empiriques simples utilisant comme variables explicatives la température de l'air et le débit.

Des simulations de futurs possibles ont été réalisées sous forçage climatique avec 7 modèles de climat, 2 modèles pluie-débit, et les deux modèles thermiques. Les diverses combinaisons de modèles ont calculé des **augmentations moyennes de température comprises entre 1,09 et 2,16°C**, avec une **moyenne de 1,64 °C** entre la période de référence et la période 2046-2065.

Figure 86 : Augmentations moyennes de température et incertitude pour chaque station
(Source : Explore 2070 MEDDTL, BRLi-Météo France-Irstea)



Un projet de recherche (Van Vliet et al., 2012) piloté par l'Université de Wageningen (Pays-Bas) a montré que la production d'électricité en Europe et aux Etats-Unis est vulnérable au changement climatique, du fait des impacts combinés des températures estivales en hausse et des débits d'étiage en baisse. A l'horizon 2031-2060, la modélisation combinée de la production d'électricité, de l'hydrologie et des températures de l'eau a montré une **diminution moyenne en été de la capacité des centrales comprise entre 6,3% et 19% en Europe** (Van Vliet et al., 2012), selon le type de système de refroidissement et le scénario climatique choisi. Les probabilités de réductions extrêmes de la production d'électricité augmenteront en moyenne d'un facteur trois (Van Vliet et al., 2012). Le sud et le sud-est de l'Europe, notamment la France, font partie des régions les plus affectées dans les modélisations.

4.4.3 Prise en compte de la température de l'eau dans la gestion des centrales

Afin de prendre en compte les contraintes futures liées au changement climatique, les gestionnaires des centrales devront disposer d'éléments quantifiés tels que des seuils de débits en-deçà desquels des contraintes de gestion particulières pourront être spécifiées.

Des études seront nécessaires pour déterminer des valeurs seuils de débit et de température permettant la satisfaction des usages prioritaires. Ces études devront **traduire la contrainte supplémentaire que constitue une augmentation de température de l'eau en termes de débit minimum**.

Dans cette optique, plusieurs méthodes sont envisageables :

- La fourniture de débits minimums représentant la situation où la température de l'eau resterait en dessous des seuils réglementaires ;
- La fourniture de valeurs de débits minimum correspondant à un scénario de dépassement de ces seuils de température.

Dans ce cas, l'échauffement des eaux du Rhône induirait une efficacité moindre pour le refroidissement des centrales et donc la nécessité d'utiliser des volumes plus importants pour assurer la sécurité des installations. Sous ces conditions, le débit minimum à fournir serait plus important que dans la situation « classique » (en dessous des seuils de contrainte thermique).

Par ailleurs, des plages de débits minimums affectés par une élévation de la température de l'eau devront être calculées pour prendre en compte les besoins des milieux aquatiques.

4.5 PANORAMA PARTIEL ET PARTIAL D'ENJEUX DE GESTION DE L'EAU QUANTITATIVE À L'ÉCHELLE DE TROIS GRANDS BASSINS HYDROGRAPHIQUES À L'HORIZON 2030

La loi sur l'eau de 1964 a consacré une forte autonomie aux six Agences de Bassins.

Les problématiques sont très différentes d'un bassin à l'autre, du fait de contextes contrastés en termes de climat, d'hydrographie, de socio-économie, d'histoire du développement des usages de l'eau, de pouvoir des différents groupes agissant dans le domaine de l'eau..

La politique de bassin française a conduit à des gestions, des arbitrages et des orientations spécifiques selon les régions. On observe ainsi aujourd'hui des situations très différentes en termes de gestion quantitative entre les six bassins mais aussi des variations d'approches importantes pour résoudre les problèmes qui s'y posent.

On a choisi ici d'exposer les cas de trois des six bassins. Le bassin Seine-Normandie représente le cas d'un bassin avec une très forte dominante urbaine et industrielle tandis que Adour-Garonne et Rhône-Méditerranée illustrent les cas de bassins plus ruraux, soumis à de fortes croissances démographiques, avec chacun des histoires agricoles très différentes et au final des approches de la gestion quantitative assez contrastées même si au fond les choix à faire restent assez proches : gestion par la demande en la limitant aux ressources disponibles et en cherchant les économies d'eau les plus grandes possibles et/ou gestion par l'offre en développant les transferts et les régulations intersaisonnières.

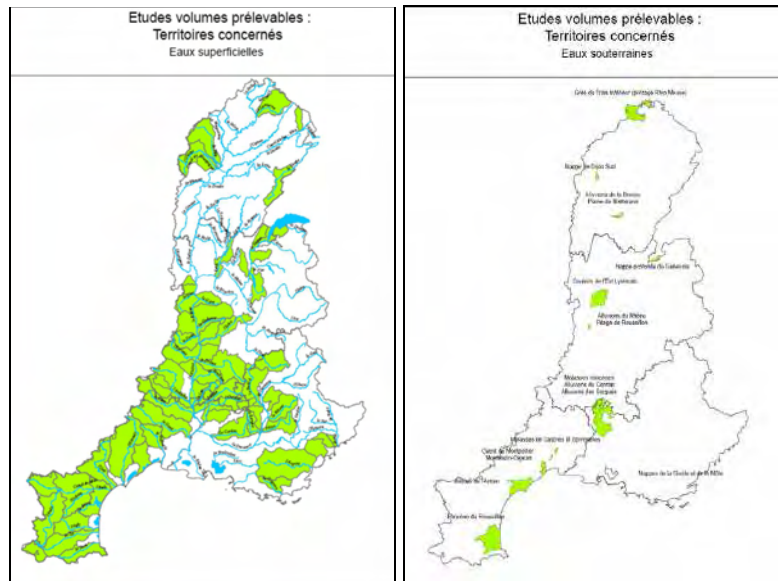
4.5.1 Rhône Méditerranée

CONTEXTE

Il peut s'appréhender par les idées clés suivantes :

- ▶ une forte mobilisation globale autour des questions de gestion quantitative des ressources en eau, mobilisation qui s'est principalement structurée depuis la dernière révision du SDAGE ;
- ▶ le choix (en cours) de référentiels biologiques pour l'établissement du terme "quantité d'eau à laisser dans les milieux aquatiques" pour l'établissement des bilans besoins / ressources : détermination, par expertise, de régimes environnementaux (succession de débits biologiques déterminée au pas de temps mensuel, en particulier pendant les périodes d'étiage) en des points clés (dits points de référence) des bassins versants, en s'appuyant sur des correspondances entre habitats disponibles pour les poissons et débits dans le cours d'eau, correspondances déterminées par des méthodes dites "habitat" développée par l'Irstea ;
- ▶ la réalisation, en cours, d'« études volumes prélevables » sur 75 bassins versants et sur 20 nappes. Ces études vont préciser les débits biologiques et les niveaux piézométriques minimums ainsi que les lignes rouges associées à ne pas dépasser en termes de prélèvements. Leurs conclusions doivent permettre une mise en cohérence des autorisations de prélèvements et de volumes disponibles, d'ici fin 2014, afin de réduire les situations de crise à au plus une fois tous les 5 ans ;

Figure 87 : Territoires concernés par des études des volumes prélevables dans le bassin Rhône-Méditerranée (Source : Agence de l'Eau RM&C)



- ▶ une forte croissance démographique en PACA (+ 430 000 habitants), Languedoc-Roussillon (+ 420 000 habitants), et Rhône Alpes (+ 810 000 habitants) (ordre de grandeur de la croissance en habitants attendue de 2010 à 2030) ;
- ▶ une irrigation implantée depuis longtemps, parfois depuis des temps historiques, avec un fort gradient des besoins en eau des plantes, du nord vers le sud. Les surfaces sont globalement stationnaires avec même une régression sur certaines régions du fait d'une érosion globale des terres agricoles.
- ▶ l'émergence de demandes en eau, dans le sud du bassin, pour irriguer la vigne, culture jusque là peu ou pas irriguée, avec une multiplication des demandes d'accès à l'eau. Les surfaces en jeu sont très importantes, plusieurs milliers d'hectares, mais les volumes restent réduits du fait de besoin surfaciques limités, inférieurs à 1000 m³/ha dans le cas des années les plus sèches ;
- ▶ l'existence de deux grandes catégories de territoires (pour simplifier) :
 - ceux desservis par des systèmes régulés et/ou puisant dans des ressources pour l'instant abondantes (le Rhône ou la Durance en particulier) : ville de Marseille, système SCP, système BRL, barrages alpins, barrages pyrénéens, ...
 - des territoires sans système de régulation et qui devront faire avec leurs propres ressources : certains territoires alimentés par des fleuves côtiers, de nombreux affluents de la Saône et surtout du Rhône (Ardèche, Cèze, Gardons, Canche, Deume, Yzeron, Gardon, ...).

Certains de ces territoires possèdent d'importants réservoirs souterrains (nombreux karsts en particulier) mais qui ne sont pas toujours facilement utilisables et pour lesquels la recherche d'eau est complexe (difficulté à tomber sur une veine).

QUESTIONS POUR L'AVENIR DE L'EAU EN RHÔNE MÉDITERRANÉE

- ▶ La nécessité de poursuivre les efforts d'économie d'eau.

Des territoires ont déjà intégré la nécessité de promulguer une culture de la demande et pas seulement de l'offre. Cf plus haut par exemple la référence à la Charte d'engagement des collectivités locales ayant suivi la démarche Aqua 2020.

Exemple en Languedoc-Roussillon : le progrès sur les rendements, associé à des économies d'eau potable de 10 %, pourrait absorber la moitié de la croissance des besoins nouveaux en eau potable liés à la croissance démographique (+ 30 Mm³ au lieu de + 60 Mm³) (source: AQUA 2020 – BRLi – 2006).

Des efforts très importants restent à faire. Ils auront un coût très élevé. Le cas se pose pour des réseaux d'eau potable mais également pour de nombreux réseaux d'irrigation gravitaire. Avec toutefois, dans ce dernier cas, des questions complexes à résoudre : la réduction totale des fuites n'est en effet pas toujours optimale. Cf. par exemple le cas des canaux de la plaine de la Crau, dont les pertes représentent une part très importante de l'alimentation de la nappe souterraine utilisée pour de la desserte en eau potable de villes situées plus en aval.

- Sur les territoires desservis par des ressources régulés, la satisfaction des besoins en eau ne devrait pas poser de problème à l'horizon 2030.

Les perspectives de réduction de la ressource restent acceptables à cet horizon. Des études sont en cours qui montrent le surdimensionnement historique des ouvrages et leur capacité à absorber de nouvelles demandes. Des renforcements sont parfois déjà en cours (projets Aqua Domitia, Verdon St Cassien, ...). Ces renforcements vont permettre de sécuriser des zones mono-ressources et de desservir des zones agricoles aujourd'hui non desservies.

Des questions stratégiques de partage de l'eau se posent toutefois, par exemple dans le cas de la Durance avec des systèmes gravitaires très gourmands en eau et une dépendance du mode de gestion du barrage de Serre-Ponçon.

- Sur les territoires non desservis par des ressources régulées, la situation pourra être largement plus tendue :

- Cas des zones isolées : les Causses, les bassins amont sur des zones métamorphiques ou magmatiques pourraient voir par exemple leur desserte en eau potable menacée du fait d'étés plus chauds.
- Techniquement, il sera possible de faire face, mais avec des coûts parfois importants. Des renforcements pour l'eau potables sont par exemple à l'étude avec un recours à de l'eau éloignée. La ville d'Alès envisage par exemple de faire appel de l'eau du Rhône à moyen terme ! Des programmes de réserves intersaisonnières réservées à de l'eau potable sont à l'étude en Lozère. Des communes du Vercors viennent de lancer une étude pour sécuriser l'abreuvement en eau du cheptel.
- La variable d'ajustement sera souvent l'irrigation. Des restrictions importantes sont à attendre dans certains bassins suite aux conclusions des études volumes prélevables. Cas par exemple du bassin du Tech dans les Pyrénées Orientales où des réductions des prélèvements sont à prévoir par l'amélioration de l'efficacité des canaux gravitaires. Des diminutions structurelles des surfaces irriguées devront parfois être pratiquées et/ou la recherche de ressources alternatives (création de retenues intersaisonnières, recours à des eaux souterraines, ...).
- A noter qu'il reste des ressources inexploitées, dans les ressources souterraines profondes, en particulier dans les grands massifs karstiques de l'ère secondaire. Ces ressources seront toutefois réservées le plus souvent à des usages en eau potable.

- Des questions restent posées sur les valeurs à retenir pour les débits minimums. La loi sur l'eau est elle adaptée au contexte méditerranéen ?

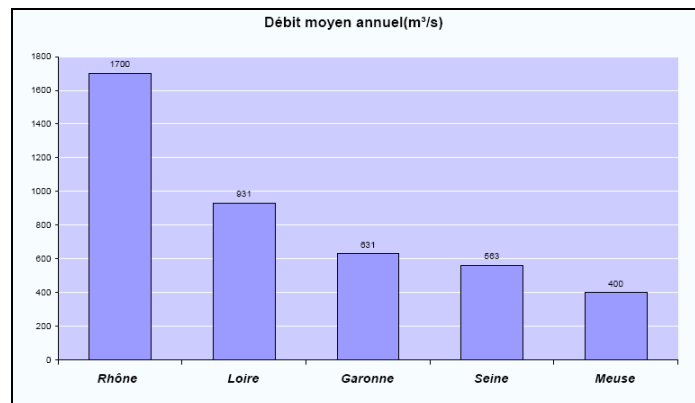
Des débats parfois virulents ont lieu à l'occasion des études volumes prélevables entre les services de l'état, l'agence de l'eau, l'ONEMA d'un côté et des syndicats de bassin de l'autre. Les premiers soulignent l'universalité de la loi quand les derniers expliquent comment son application trop stricte conduirait à menacer les activités socio-économiques des territoires, y compris des activités ancestrales comme l'élevage ou l'agriculture.

- A plus long terme, un enjeu émergent : le fleuve Rhône :

Avec une longueur de 810 km et un bassin versant d'une superficie de 96 500 km², le Rhône fait partie des grands fleuves européens.

Par son module interannuel (débit moyen de 1 700 m³/s à l'embouchure), le Rhône est le fleuve français le plus puissant. **Le Rhône a pendant longtemps été considéré comme une ressource abondante**, presque inépuisable dans l'esprit de certains.

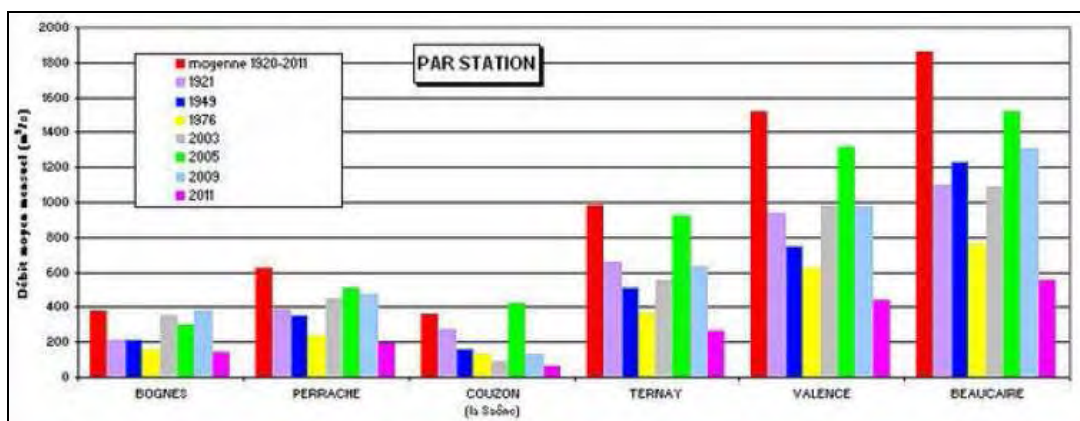
Figure 88 : Débit moyen annuel des fleuves français (Source : Agence de l'Eau RM&C)



Il constitue une ressource indispensable pour de multiples usages : navigation, production d'énergie (nucléaire et hydroélectricité : 20% de la production électrique française), irrigation, industries, eau potable.

Son niveau de sollicitation de la ressource par ces différents usages pourrait augmenter et devrait continuer d'augmenter dans les décennies à venir. **Or, le Rhône n'est pas une ressource inépuisable** et il peut connaître des étiages sévères.

Figure 89 : Débits moyens mensuels comparés aux étiages historiques sur le bassin du Rhône (Source : SIE Rhône Méditerranée) (en rouge, la moyenne 1970-2011)

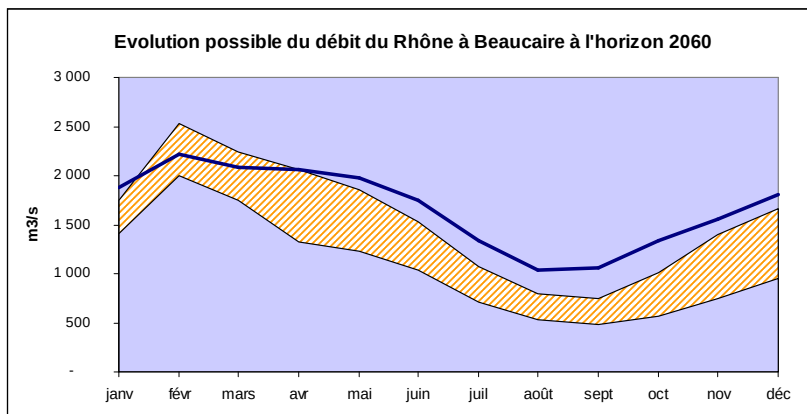


Sur le plan énergétique, quelques épisodes récents d'étiage, marqués par une faible hydrologie tels que l'été 2011, ont soulevé des **questionnements quant à la capacité du fleuve à assurer son rôle de refroidissement des centrales nucléaires**. A l'influence du débit dans ce processus de refroidissement, il faut ajouter l'importance de la température du fleuve. Là encore certaines années récentes se sont illustrées par des températures importantes (2003 et 2006), limitant les capacités de production des CNPE pour que les eaux rejetées issues du processus de refroidissement ne dépassent les seuils de température réglementaires.

Parallèlement, on assiste à une **multiplication des usages préleveurs sur le Rhône et ses affluents**, auxquels il faut aussi ajouter les nombreux projets de substitution pour amener de l'eau du fleuve (eau superficielle ou nappe) vers des bassins voisins ne disposant pas des ressources suffisantes pour satisfaire à leurs besoins (AEP, agricole, industriel).

Face à ces prélèvements croissants, les **impacts du changement climatique** font peser la menace d'une diminution de la ressource disponible sur l'eau du Rhône. Les résultats du projet Explore 2070 montrent ainsi que son débit moyen annuel à son embouchure pourrait diminuer de **14 à 36 %**. Il pourrait passer de **53 milliards de m³/an** (débit moyen annuel sur la période 1970-2005) à un débit de **33 à 45 milliards de m³/an**. (scénario A1B, fourchette issue de 14 projections : 7 projections climatiques x 2 modèles hydrologiques).

Figure 90 : Evolution possible du débit du Rhône à l'horizon 2046-2065
(source : Explore 2070 - BRLi, Irstea, Météo France, graphe BRLi)



Le fonctionnement hydrologique du Rhône fait apparaître une large diversité de modes d'alimentation dont il faut prévoir la réponse dans le cadre d'un climat en évolution. En outre, la reconstitution de la ressource naturelle disponible, en situation actuelle ou future, est rendue complexe du fait des nombreux ouvrages de régulation aménagés le long du fleuve, mais aussi des stockages en zone de montagne, notamment dans la partie alpine.

Les acteurs locaux, en particulier l'Agence de l'Eau RM&C se pose actuellement **la question de la capacité du fleuve Rhône à répondre à l'ensemble des usages actuels et à venir tout en assurant le fonctionnement des milieux aquatiques**. Dans l'objectif de répondre à cette question, une **étude de la gestion quantitative et des débits du Rhône en période de basses eaux** est en cours de démarrage. Un des objectifs de l'étude consistera à déterminer les volumes effectivement prélevables, les débits objectifs d'étiage (DOE) et les débits de crise renforcée (DCR) qui alimenteront le SDAGE Rhône Méditerranée 2016-2021. Ces débits incluront les demandes environnementales, les contraintes de maintien de nappes alluviales suffisamment élevées pour les captages en eau potable, le maintien d'un biseau salé suffisamment en retrait et les débits nécessaires au fonctionnement des centrales nucléaires.

4.5.2 Adour Garonne

CONTEXTE

En termes de contexte, on peut noter les idées clés suivantes :

- Un bassin qui a connu un développement de ses surfaces irriguées à partir des années 1960 et particulièrement rapide dans les années 1970-1980. La croissance s'est ralentie dans les années 1990 et la tendance semble s'inverser depuis 2005 ;
- Le poids socio-économique de l'agriculture est conséquent et l'agriculture irriguée représente un poids politique important au sein du Comité de bassin ;



- La gestion quantitative en Adour-Garonne est une politique déjà ancienne au regard des autres grands bassins.

L'inégale répartition des ressources en eau est un problème majeur du bassin Adour-Garonne. Le bassin se caractérise par des eaux plutôt abondantes en montagne et sur le littoral, mais moins présentes dans les plaines fluviales, densément peuplées.

Historiquement, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne fut la première à se pencher sur la question de la gestion quantitative des ressources en eau. Dès les années 1970, la question du risque de raréfaction des ressources en eau est soulevée par les pouvoirs publics et l'Agence de bassin Adour-Garonne. **La maîtrise quantitative de l'eau est devenue, au fil du temps, un objectif majeur de la politique de l'eau du bassin Adour-Garonne.** A partir des années 1980, la gestion quantitative devient cruciale, face à l'augmentation régulière des demandes en eau agricole soulignée ci-avant. Depuis les années 2000, les experts élargissent également leurs réflexions aux impacts potentiels du réchauffement climatique.

Le soutien d'étiage et la protection des eaux souterraines sont les deux orientations majeures des actions de lutte contre l'inégale répartition des ressources en eau ;

- Historiquement, un choix de référentiels hydrologiques pour l'établissement des bilans besoins / ressources.

Dès le SDAGE 1996 on voit apparaître la notion de Débit Objectif d'Etiage (DOE). Ces débits sont issus d'analyses qui croisent l'analyse statistique et la nécessité d'avoir des débits capables de diluer certains effluents de station d'épuration (NB : il est en fait difficile de retrouver le mode de calcul de ces DOE, calculs qui ne sont pas véritablement tracés dans les documents cadre). Cette approche conduit à des débits objectifs constants tout au long de la période mai à septembre et qui peuvent être supérieurs, particulièrement en fin d'étiage, aux débits qu'on observerait naturellement dans les cours d'eau.

Le respect de ces DOE devient l'objectif qui guide la gestion quantitative du bassin. Des économies d'eau sont recherchées, mais les marges de manœuvre sont réduites du fait de systèmes d'irrigation essentiellement aspersionnels qui possèdent une bonne efficacité. En parallèle une importante politique d'offre est mise en place.

Des Plans de Gestion d'Etiage (PGE) sont mis en place. Ils détaillent les mesures à mettre en place (limitation de la demande mais aussi développement de l'offre) pour que les DOE soient respectées au moins 8 années sur 10.

- Un appui important est apporté au développement de l'offre.

Une importante politique d'aménagement de barrages-réservoirs et de retenues collinaires a ainsi été encouragée dès les années 1970. A partir des années 1990, l'utilisation de l'eau stockée dans les réservoirs hydroélectriques a fait l'objet d'accords avec les producteurs d'énergie.

Quant à l'usage des eaux souterraines, il doit être réservé en priorité à l'alimentation en eau potable et effectué dans des limites acceptables pour préserver l'équilibre des aquifères, couches de terrain ou roches qui permettent la constitution de ces nappes.

- Des actions sont également conduites dans la gestion de la demande.

Par ailleurs, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a mis en place des politiques de sensibilisation (initiation aux gestes économes en eau, actions pédagogiques avec le jeune public) et d'incitation aux économies d'eau (généralisation des compteurs d'eau, tarification de l'usage de l'eau via des redevances, aides techniques et financières aux économies d'eau et à la mise en place de plans concertés d'économies d'eau à l'échelle locale).

- Un bassin toujours en déficit.

Globalement, le grand bassin Adour-Garonne, avec les surfaces qui continuent à être irriguées et les débits objectifs fixés, connaît toujours un déficit important. Notons bien que le déficit se définit par l'écart entre les débits influencés par la demande en eau actuelle et les seuils de débit objectifs à respecter. Il s'agit donc d'une notion relative, définie par rapport à un objectif de débit. C'est une notion délicate, car les objectifs eux-mêmes (DOE) sont parfois contestés.

Le déficit global reste de **250 millions de m³ au niveau de l'ensemble du bassin Adour-Garonne**.

La révision des plans de gestion d'étiage (PGE) sur Garonne-Ariège et Neste-Rivières de Gascogne sont en cours sous maîtrise d'ouvrage SMEAG (Syndicat Mixte d'Etude et d'Aménagement de la Garonne) et CACG (Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne). La révision des PGE Garonne-Ariège et Neste-Rivières de Gascogne a notamment conduit à ré-estimer les déficits quantitatifs à résorber sur les deux bassins pour le respect des débits objectifs d'étiage : **Ces déficits s'élèvent à 50 à 110 Mm³ sur la Garonne et de l'ordre de 14 à 20 Mm³ sur la Neste**.

- Toutes choses égales par ailleurs, le déficit devrait fortement se creuser sous l'effet du changement climatique.

Les modèles de projection climatiques prévoient dans le sud-ouest des étés plus chauds et plus secs, une évapotranspiration potentielle accrue, et une influence réduite de la neige sur l'hydrologie, le tout dans un contexte de forte croissance démographique (+1 million d'habitants d'ici 2050).

Selon les simulations hydrologiques, la Garonne devrait voir son débit diminuer de 20 à 40 %, notamment en période d'étiage (source : Explore 2070).

QUESTIONS POUR L'AVENIR DE L'EAU EN ADOUR GARONNE (ASPECTS QUANTITATIFS)

Un exercice prospectif animé par l'Agence de l'Eau Adour Garonne, Garonne 2050, est en cours.

- Capacité du fleuve à refroidir la centrale nucléaire de Golfech ?
- Poursuite d'un soutien par l'offre ou réduction de l'utilisation agricole de l'eau ?

Les possibilités de soutien par l'offre sont diverses et peuvent se compléter. Par exemple sur la Garonne :

- Construction du barrage de Charlas (évoqué plus en détail dans le chapitre 5). Ouvrage de 110 Mm³ construit en dérivation ou Construction de retenues alternatives à Charlas (études en cours)
- Utilisation de stocks d'eau initialement destinés à la production hydroélectrique. Cette eau est "achetée" au producteur d'énergie à travers des conventions de déstockages qui doivent permettre au producteur d'électricité une compensation de son manque à gagner du fait du moindre report du productible vers la saison de forte consommation (usage de l'eau l'été plutôt que l'hiver).

La réduction de l'utilisation agricole de l'eau vient remettre en question les modèles agro-économiques développés depuis 50 ans.

- Reconquête du bon état des milieux aquatiques

4.5.3 Seine - Normandie

CONTEXTE

Sur le bassin Seine-Normandie, à l'exception de la nappe de Beauce, **l'enjeu de gestion qualitative de la ressource en eau a longtemps primé par rapport aux aspects quantitatifs**, étant données la relative abondance de la ressource et, à l'inverse, les graves problèmes de qualité des cours d'eau.

Cependant, depuis quelques années la problématique quantitative semble émerger, sous l'effet de deux facteurs principaux :

- ▶ Les projections des effets du **changement climatique**, qui prévoient d'importantes baisses des débits et hausses de températures dans les décennies à venir ;
- ▶ Les **interactions entre niveau de ressource en eau et qualité de l'eau**, notamment pour les cours d'eau alimentés par des nappes alluviales.

Le bassin Seine-Normandie comprend déjà, à l'heure actuelle, des zones présentant un déséquilibre besoins/ressources. Il s'agit notamment de **l'Ile-de-France**, dont les prélèvements à destination de l'eau potable sont très importants, et de **la Beauce**, où les prélèvements d'eau agricole grèvent le bilan.

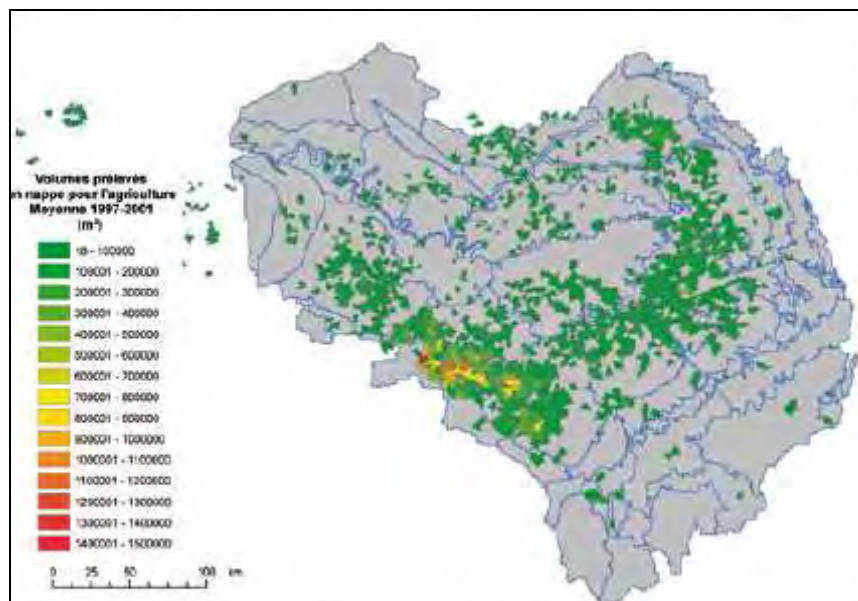
De plus, les projections climatiques, modélisées par le projet RExHySS, montrent que le changement climatique va aggraver ces déséquilibres dans les décennies à venir.

Zoom sur la nappe de Beauce

Traditionnellement appelée le « grenier à blé de la France », la plaine de la Beauce est toujours une vaste étendue de cultures céréalières, oléagineuses et protéagineuses.

Sur le bassin Seine-Normandie, **la majorité des prélèvements d'eau agricole ont lieu dans la plaine de Beauce**, comme l'indique la figure ci-dessous. Il se pourrait que les niveaux de prélèvements soient sous-estimés dans les autres régions, du fait de dispositifs de comptage manquants. Toutefois, sur ces zones, ce sont les prélèvements industriels et pour l'eau potable qui sont prédominants.

Figure 91 : Moyenne annuelle des prélèvements agricoles en nappe par commune sur le bassin Seine-Normandie entre 1997 et 2001 (Source : DIREN Ile-de-France ; Carte : PIREN-Seine)



Dans les années 1990, sous la pression de nombreux forages individuels agricoles, le niveau de la nappe de Beauce a fortement décliné. Un **plan de gestion strict avec des allocations de volumes et des systèmes de surveillance** a alors été mis en œuvre.

Le SDAGE Seine-Normandie rappelle ces principes de gestion des prélèvements d'eau dans la nappe de Beauce :

- *Une gestion de la nappe par secteurs.* La gestion des volumes prélevés dans la nappe de Beauce distingue quatre secteurs géographiques : la Beauce centrale, le Montargois, le bassin du Fusain et la Beauce blésoise (bassin entièrement situé dans le district Loire-Bretagne). Pour chacun de ces secteurs géographiques, un indicateur de niveau de la nappe, un seuil piézométrique d'alerte (PSA) et un niveau piézométrique de crise (PCR) sont définis.
- *Un suivi des volumes prélevables dans la nappe.* Compte tenu du fonctionnement pluriannuel de la nappe, le volume annuel prélevable pour l'irrigation est défini chaque année en fonction du niveau de la nappe à la sortie de l'hiver. En se fondant sur les résultats de la modélisation de la nappe, il est, pour l'ensemble de la nappe, en année moyenne de 250 Mm³ et au maximum de 420 Mm³ dans les conditions les plus favorables.

Ces valeurs s'entendent avec les règles de répartition des volumes établies en 1999 : le volume annuel prélevable pour l'alimentation en eau potable est de 125 Mm³, celui pour les usages industriels de 40 Mm³. À partir de la répartition établie par le dispositif de gestion volumétrique mis en place en 1999, toute modification de la répartition des volumes maximums prélevables pour l'irrigation ne devra pas entraîner une augmentation notable du volume maximum prélevable dans les bassins d'alimentation des rivières faisant l'objet d'une pression de prélèvement supérieure à la moyenne.

- *La gestion des cours d'eau associés à la nappe.* Des points nodaux et des débits de crise sont définis pour les cours d'eau alimentés par la nappe de Beauce.

Les règles de gestion des prélèvements en eau sont déclinées et complétées par le SAGE de la nappe de Beauce et des milieux aquatiques associés. Un système d'évaluation est mis en place par la Commission Locale de l'Eau pour vérifier l'impact positif des règles de gestion sur le fonctionnement global de la nappe et ses milieux aquatiques associés (Comité de bassin Seine-Normandie, 2009).

Grâce à ce système de suivi et de règles de gestion, le niveau de la nappe est ainsi retourné à l'équilibre. Cependant, **il est aujourd'hui à nouveau mis en péril par le changement climatique.**

Une étude a récemment étudié **l'influence d'une augmentation de l'ensemble des prélèvements en nappes (agricoles, industriels et AEP) sur le fonctionnement hydrodynamique du bassin**, à l'aide du modèle hydrogéologique MODCOU. L'objectif n'était pas de modéliser une évolution probable des différents prélèvements dans les prochaines années, mais de chiffrer l'impact que pourrait avoir une modification sensible et généralisée des prélèvements liés aux activités humaines, notamment sous l'effet du changement climatique, sur l'ensemble du bassin et définir ainsi les zones à risque (Viennot P. (dir.), 2009).

En effet, si des variations piézométriques de faible ampleur peuvent avoir des conséquences limitées en termes de débit des grands cours d'eau à l'échelle du bassin du fait du rôle intégrateur de ce dernier, leurs influences peuvent être non négligeables sur le débit des petits cours d'eau amont, notamment en période d'étiage. Les résultats de cette étude montrent que certaines zones du bassin sont très sensibles à des variations piézométriques, même limitées, liées à une intensification des prélèvements en nappe et dont la première conséquence est la limitation des débits de base des petits cours d'eau amont du bassin. Cela soulève d'importantes questions en termes de gestion de la ressource en eau.

QUESTIONS POUR L'AVENIR DE L'EAU EN SEINE NORMANDIE (ASPECTS QUANTITATIFS)

► Capacité des ressources en eau à satisfaire la demande en eau potable ?

Près de 50% de l'eau potable de l'agglomération de Paris est issue de ressources extérieures et gérée grâce au **soutien d'étiage assuré par les Grands Lacs de Seine**. Cet enjeu, jusque là maîtrisé, est mis en péril par les projections climatiques futures, qui soulèvent la question de la gestion à long terme des lacs-réservoirs.

Le **projet de recherche européen Climaware¹⁰** (en cours, 2010-2013, piloté par l'Université de Kassel, impliquant des équipes d'Irstea), vise à définir des stratégies d'adaptation au changement climatique sur trois cas d'étude, dont la gestion des barrages des Grands Lacs de Seine. Ce cas d'étude présente des forts enjeux, liés en particulier à la demande en eau et aux risques d'inondations en région parisienne (Dorchies et al., 2012). **Le projet Climaware a pour objectif, sur le bassin de la Seine, de définir des stratégies d'adaptation de la gestion des barrages-réservoirs (et potentiellement la modification des capacités de stockage) pour continuer à répondre à la demande en eau dans ce contexte non stationnaire.** Cela représente une préoccupation majeure pour l'EPTB Seine Grands Lacs, chargé de la gestion de ces barrages (Dorchies et al., 2012).

Figure 92 : Le bassin versant de la Seine et les 4 barrages-réservoirs (Source : EPTB Seine Grands Lacs)



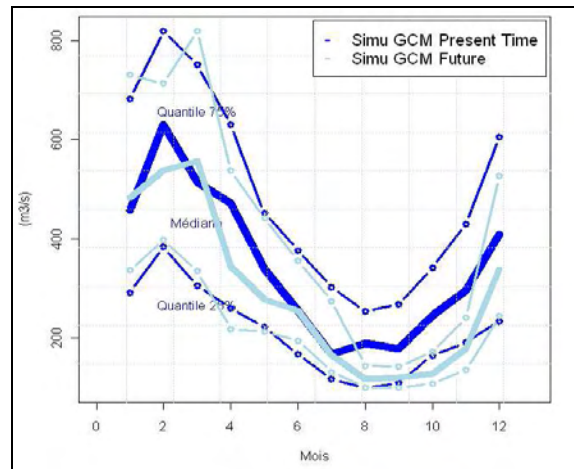
Quatre grands barrages sur le bassin, d'une capacité totale de 800 hm³, sont gérés en priorité pour le **soutien d'étiage et l'écroulement des crues**. La gestion est actuellement réalisée en suivant des courbes objectif de remplissage, avec un **remplissage des ouvrages de novembre à juin** et une **vidange estivale de juillet à octobre**. Ce mode de gestion, avec quelques adaptations ponctuelles en fonction des conditions, a globalement permis jusqu'à présent de répondre aux objectifs définis à l'aval des ouvrages et ce même les années les plus sèches (Dorchies et al., 2012).

¹⁰ www.uni-kassel.de/go/climaware

L'utilisation de séries de débits journaliers de 25 stations et des données de températures et précipitations ont été utilisées pour alimenter un modèle hydrologique.

Ce modèle a été utilisé pour produire des simulations en climats présent (1961-1990) et futur (2046-2065). Les premiers résultats montrent, en accord avec les travaux du projet REXHySS, que l'impact le plus significatif devrait se produire sur les débits d'étiage, avec des minima plus prononcés et des périodes de faibles débits plus longues en automne (Dorchies et al., 2012).

Figure 93 : Courbes de régime de débit (quantiles 0,25 0,50 0,75) obtenues en temps présent et futur à Paris (Source : Irsteda)



Les premiers travaux sur les Grands Lacs de Seine dans le cadre de Climaware ont confirmé que l'évolution des débits d'étiage sur le bassin de la Seine avec le changement climatique pourrait soulever des problèmes de gestion des barrages-réservoirs non rencontrés jusqu'à présent, et nécessiter, à court ou moyen terme, l'adaptation de leurs règlements d'eau pour mieux respecter leurs objectifs (Dorchies et al., 2012).

Par ailleurs, la gestion quantitative en Seine-Normandie se heurte à des déterminants qui dépassent les aspects techniques. Ainsi, **l'importance du lobby agricole dans certaines régions**, et certaines volontés politiques locales soulignent l'importance non négligeable des conflits d'intérêt et de ces contraintes dans les questions de gestion de la ressource en eau. Le comportement et les intérêts des différents acteurs constituent des déterminants à ne pas sous-estimer dans la réflexion sur ces enjeux.

► Avenir des prélèvements agricoles en nappe de Beauce ?

Compte tenu de la répartition géographique actuelle de la pression, **une des régions au centre des interrogations reste la Beauce**, du fait de prélèvements agricoles importants, en grande majorité pratiqués en nappe, dont une augmentation pourrait avoir des conséquences non négligeables sur l'hydrologie des cours d'eau locaux (Viennot P. (dir.), 2009).

Extraits du rapport final de REXHYSS :

« Actuellement, plus de 90% des prélèvements pour l'irrigation dans le bassin de la Seine s'effectuent en formations aquifères qui contribuent largement au débit des cours du bassin (80% en hiver et 40% en été sur l'ensemble du bassin selon Rousset et al., 2004), et qui sont également exploitées pour d'autres usages, comme l'alimentation en eau potable (AEP) ou les activités industrielles.

Dans le cadre de ces impacts physiques du changement climatique, les conséquences socio-économiques sont donc dominées par l'intensification des étiages et sécheresses, susceptible notamment de remettre en cause l'agriculture irriguée telle qu'elle est actuellement pratiquée en Beauce. »

Le rapport n'apporte finalement que peu de conclusions sur le bilan futur entre usages et ressources. « (...) Dans ce cadre, une des principales recommandations formulées à l'issue de l'atelier que nous avons organisé pour renforcer le dialogue entre scientifiques et gestionnaires des bassins consiste en une évaluation hiérarchisée des besoins en eau pour les différents usages, étant donné les tensions accrues qui devraient accompagner la baisse de la ressource en eau. Dans ce cadre, l'évolution des précipitations est certainement l'élément le plus incertain des projections du changement climatique, et elle explique l'essentiel des différences de réponse hydrologique avec les autres études d'impact menées dans la zone de transition à laquelle appartient le domaine RexHySS, entre l'Europe du Nord où les précipitations annuelles devraient augmenter, et l'Europe du Sud, où elles devraient diminuer. Dans toutes ces études, la baisse des débits d'étiages est très robuste, ce qui confère une grande confiance sur ce résultat. Ceci résulte du réchauffement et de l'augmentation associée de la demande évaporative, qui atténue la dispersion liée aux seules précipitations. Les principales différences concernent les hautes eaux ».

4.5.4 Quelques mots sur les autres grands bassins hydrographiques

Dans les trois autres grands bassins hydrographiques français (Loire-Bretagne, Rhin-Meuse et Artois-Picardie), la question de la gestion quantitative des ressources en eau est d'ordre différent.

En effet, de par leur situation hydrologique naturelle, ces bassins sont relativement moins en proie à des déséquilibres quantitatifs en étiage, pouvant mettre en péril les usages et la préservation des milieux aquatiques. **Cela ne signifie pas pour autant qu'il n'existe pas parfois de sérieux problèmes quantitatifs et de fortes interrogations sur les conséquences du changement climatiques.**

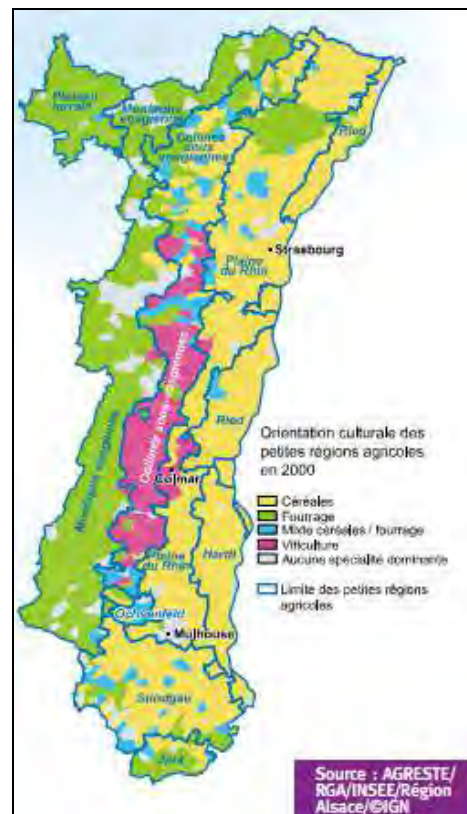
Sur ces bassins, d'importants enjeux de gestion quantitative peuvent aussi concerner les eaux souterraines.

Ainsi, la **nappe de Beauce** est à la fois située dans le bassin Seine-Normandie et dans le bassin Loire-Bretagne. C'est d'ailleurs l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne qui pilote davantage les projets liés à la gestion quantitative de la nappe de Beauce.

De même, la **nappe d'Alsace** est sujette à certains déséquilibres quantitatifs. En effet, il s'agit d'une nappe alluviale, son régime est donc très influencé par celui des cours d'eau. Ainsi, à la fin de l'été 2003, la nappe d'Alsace, qui bénéficie d'un suivi important, présentait un des niveaux les plus bas (IFEN, 2004). Il est intéressant de noter qu'en Alsace, comme en Adour-Garonne, le problème du déséquilibre quantitatif réside en grande partie dans la **quasi-monoculture du maïs**, dont les besoins en eau culminent pendant les étiages. La culture du maïs s'est fortement développée et représentait les trois quart des superficies emblavées en 2000, contre la moitié en 1988 (INSEE).

Des efforts pour diversifier les cultures pourraient donc constituer des pistes d'adaptation intéressantes. Les filières économiques et les futurs organismes uniques de gestion collective doivent jouer un rôle moteur dans l'évolution des assolements et des systèmes de production (CGAER, CGEDD, 2009).

Figure 94 : Orientation culturelle des petites régions agricoles alsaciennes en 2000



4.6 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 4

La question des risques de déséquilibres du bilan besoins/ressources en eau est délicate à traiter à l'échelle nationale. En effet, les situations locales sont diverses et font intervenir des déterminants physiques, techniques et politiques qui peuvent influencer ce bilan.

A l'échelle nationale, on peut toutefois aborder, par usage, les principaux **risques sectoriels** de déséquilibres besoins/ressources.

En premier lieu, **l'agriculture** est le secteur sur lequel pèsent les plus grandes inquiétudes face aux évolutions du climat et des ressources en eau. La sécheresse a en effet de multiples conséquences sur la production agricole : conséquences sur le développement des cultures, les ravageurs, les rendements (en particulier dans le cas des prairies fourragères), et ainsi, sur les revenus agricoles. De plus, le changement climatique devrait entraîner des effets supplémentaires, favorables ou défavorables, conduisant à la modification d'un ensemble de facteurs influençant les cultures, les prairies et les forêts.

L'énergie devra vraisemblablement faire face à un double défi : la diminution des débits des cours d'eau et la hausse des températures de l'eau. En effet, le refroidissement des centrales nucléaires et thermiques doit respecter des seuils de débit et de température de l'eau, en-deçà (et respectivement au-delà) desquels le fonctionnement des centrales peut être limité, voire interdit. Face à la menace de débits plus faibles et de températures plus élevées sous l'effet du changement climatique, il est primordial d'une part d'affiner la pertinence de ces seuils, et d'autre part de déterminer les niveaux de contrainte acceptables pour les centrales.

L'alimentation en **eau potable** est moins directement menacée par la diminution des ressources en eau. En effet, il s'agit d'un usage moins consommateur, qui restera prioritaire, et pour lequel des marges de manœuvre technologiques et comportementales existent, bien que leur mise en œuvre dépende en partie de décisions politiques et économiques.

A l'échelle des six grands bassins hydrographiques français, les **risques locaux** de déséquilibre du bilan besoins/ressources diffèrent selon les bassins, en fonction des caractéristiques physiques, économiques et politiques de ceux-ci.

Ainsi, en **Rhône-Méditerranée**, les économies d'eau ont été placées au cœur des orientations de la gestion quantitative de l'eau pour les années à venir. Par ailleurs, de nouveaux enjeux émergent sur ce bassin : en particulier la capacité future du fleuve Rhône à satisfaire tous les usages, y compris le refroidissement des centrales, ainsi que les questions de desserte des territoires isolés ne disposant pas de ressources en eau régulées.

En **Adour-Garonne**, bassin très déficitaire et menacé d'importantes diminutions de ses ressources en eau sous l'effet du changement climatique, les leviers de la gestion quantitative semblent davantage axés sur l'offre en eau (construction de barrages et/ou retenues collinaires), afin de permettre le maintien des usages (maïsiculture, en particulier).

En **Seine-Normandie**, la gestion quantitative de l'eau est un enjeu émergent, qui a été longtemps masqué par les questions de gestion qualitative (pollutions diffuses, etc.). Toutefois, depuis quelques années, les projections climatiques prévoyant d'importantes baisses de débits sur le bassin, ont conduit les acteurs de l'eau à se pencher davantage sur la question. La capacité des ressources à satisfaire la demande en eau potable, en particulier de l'agglomération parisienne, et en eau agricole, notamment sur la nappe de Beauce, font partie des enjeux prégnants à examiner dès à présent, par exemple pour envisager des modifications de la gestion des barrages et/ou la construction de nouveaux ouvrages.

NB : On rappelle que les questions de qualité de l'eau (pesticides, nitrates, etc.), très vastes, ne sont pas traitées dans ce rapport.

5. QUELLES ORIENTATIONS POUR SATISFAIRE LES DEMANDES EN EAU ET LES ATTENTES ÉCONOMIQUES ASSOCIÉES TOUT EN PRÉSERVANT LES MILIEUX AQUATIQUES ?

5.1 MIEUX CONNAÎTRE ET DIFFUSER LES DONNÉES NÉCESSAIRES AU SUIVI DU CYCLE HYDROLOGIQUE

Trois propositions peuvent en particulier être formulées.

FAIRE PROGRESSER LA CONNAISSANCE À UNE ÉCHELLE MENSUELLE, LA BANCARISATION ET LA DIFFUSION DES DONNÉES DE PRÉLÈVEMENTS ET AVEC UNE HOMOGÉNÉISATION À L'ÉCHELLE NATIONALE

Il existe bien des projets du MEDDTL de développer une telle connaissance mais ces projets restent pour l'instant inappliqués et les différentes agences de l'eau ont des politiques et des pratiques différentes en la matière.

On assiste même à des reculs sur le sujet. Indiquons par exemple que les déclarations par les préleveurs de leurs volumes prélevés à l'Agence de l'Eau RMC par voie papier se faisait via un formulaire détaillant le prélèvement à l'échelle mensuelle. Le passage en déclaration par voie électronique a réduit la question au seul volume annuel. De même indiquons que les études volumes prélevables ont conduit à des recueils de données précises sur les prélèvements historiques au pas de temps mensuel. Le format de la base de données utilisée pour les stocker se limite lui aux seules données annuelles et conduit donc à « perdre la mémoire » d'informations précieuses et difficiles à rassembler.

Une bancarisation homogénéisée des prélèvements à un pas de temps suffisamment fin (le mois semble un bon compromis) apparaît un outil indispensable pour être en mesure de suivre leur évolution mais également pour des suivis, par exemple, de l'évolution de la part naturelle du débit des cours d'eau : la connaissance des prélèvements permet en effet de « désinfluencer » les mesures de débits réalisées au droit des stations hydrométriques.

METTRE GRATUITEMENT À DISPOSITION DE TOUS LES ACTEURS DE L'EAU LES DONNÉES CLIMATIQUES TOUT EN RÉSOUVANT LA QUESTION DU COÛT EFFECTIF DE LEUR PRODUCTION, BANCARISATION ET DIFFUSION

Les chercheurs Gil Mahé et Alain Gioda, respectivement hydro-climatologue et historien du climat à l'IRD, le soulignaient dans le titre d'une tribune dans le journal Le Monde le 21 décembre 2009 « *Les données climatiques devraient devenir publiques* ». Ils soulignaient dans cette tribune les problèmes soulevés par le fait que ces données sont aujourd'hui payantes.

Ce fait conduit à des multiplications de bases de données avec tous les risques liés à l'absence d'une source unique. Certaines études stratégiques sont moins précises du fait d'un renoncement à certaines données payantes.

Situées en amont du cycle de l'eau, les données climatiques devraient être gratuites, comme les données de débits du aujourd'hui gratuites (pour le réseau national géré par le MEDDTL).

RENDRE OBLIGATOIRE LA MISE À DISPOSITION GRATUITE DES DONNÉES DE SUIVI HYDROLOGIQUE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES (BARRAGES, TRANSFERTS) TOUT EN RÉSOUVANT LA QUESTION DU COÛT EFFECTIF DE LEUR PRODUCTION, BANCARISATION ET DIFFUSION

Il existe actuellement une grande difficulté d'accès aux données EDF dans le cas des études hydrologiques. Cette difficulté rend complexes les approches hydrologiques rétrospectives.

5.2 SOUTENIR LES PROJETS DE RECHERCHE SUR LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ENCOURAGER LE DÉVELOPPEMENT D'ÉTUDES PROSPECTIVES TERRITORIALES SUR LES POSSIBILITÉS D'ADAPTATION

Les pouvoirs publics se sont emparés de la question du changement climatique, de ses conséquences et des adaptations à mettre en place pour y faire face. De nombreux travaux ont déjà été conduits sur ce sujet. Citons en particulier le Plan National d'Adaptation (2011-2015) qui préconise par exemple d'économiser, d'ici 2020, 20% de l'eau prélevée.

La question reste cependant très complexe et soumise à de fortes incertitudes et il apparaît nécessaire de poursuivre le développement des capacités de recherche dans ce domaine.

SOUTENIR LES PROJETS DE RECHERCHE SUR LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU

Des projets tels que Explore 2070, RExHySS, Imagine 2030, etc. ont abouti à des conclusions concernant les impacts potentiels du changement climatique sur les ressources en eau, qui pourront déjà orienter les stratégies d'adaptation au changement climatique.

Il s'agit toutefois d'un domaine dans lequel les connaissances et les méthodes évoluent rapidement. De plus, les résultats peuvent varier fortement selon les méthodes appliquées, les modèles utilisés, ainsi que les données d'entrée des modèles.

Par ailleurs, il faut également souligner l'importance de l'échelle à laquelle on travaille. Ainsi, des variations peuvent apparaître entre un projet à l'échelle nationale et un projet à l'échelle régionale, en raison notamment des données d'entrée disponibles.

L'ensemble de ces éléments conduit à préconiser de **poursuivre le développement des capacités de recherche dans le domaine du changement climatique et de ses impacts sur les ressources en eau.**

ENCOURAGER LES ÉTUDES PROSPECTIVES POUR DÉVELOPPER DES STRATÉGIES TERRITORIALES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

D'autre part, au-delà de l'analyse des impacts du changement climatique en termes de ressources en eau, il est également primordial d'étudier les **conséquences sur l'activité socio-économique des territoires**.

Il apparaît nécessaire d'encourager les études prospectives territoriales, afin d'identifier les secteurs économiques vulnérables, de déterminer les seuils de rupture etc.

La réalisation de telles études permet l'élaboration des **stratégies territoriales d'adaptation**, c'est-à-dire la proposition de pistes d'adaptation pour les différents secteurs touchés, en donnant davantage de pouvoir aux décideurs locaux dans l'organisation de leur territoire.

En effet, malgré les incertitudes qui pèsent sur les prévisions climatiques et le fait qu'on se situe en univers incertain, **il est important de formuler dès à présent des recommandations en faveur d'une adaptation aux risques qui se présentent.**

Par exemple, il est possible que sous l'effet du changement climatique, les débits de la Seine déclinent durant les derniers mois de l'année (débits d'étiage avec des minima plus prononcés et des périodes de faibles débits plus longues en automne), et que l'approvisionnement en eau de la région Ile-de-France devienne insuffisant (Cf. 4.5.3). Il paraît donc nécessaire, à titre de précaution et sachant que la durée d'information ou de confirmation de cette possibilité pourra être de plusieurs années voire décennies, de lancer dès à présent des études pour accroître les disponibilités en eau de cette région (opportunité de la construction de grands barrages etc.). Le projet Climaware (Cf. 4.5.3) fait partie de cette démarche et constitue un élément-clé pour la gestion des barrages réservoirs des Grands Lacs de Seine, et au-delà, dans la gestion de l'eau à l'échelle du grand bassin hydrographique Seine-Normandie.

D'autres régions ou grands bassins hydrographiques ont d'ores et déjà enclenché de telles démarches. Ainsi, en Adour-Garonne, c'est le projet « Garonne 2050, Prospective sur les besoins et ressources en eau à l'échelle du grand bassin de la Garonne », porté par l'Agence de l'Eau, dont les objectifs visent à « *éclairer les décisions à prendre dans le domaine de la politique de l'eau. L'étude a pour objectif de construire avec les acteurs des scénarios contrastés sur les besoins, les ressources en eau et leur gestion à l'échelle du grand bassin de la Garonne à l'horizon 2050. Quatre grandes étapes de travail structurent la démarche : comprendre les tendances passées, construire des scénarios futurs contrastés, modéliser les impacts de ces scénarios sur la ressource en eau, choisir un scénario, définir une stratégie et dessiner des priorités.* » (Source : Agence de l'Eau Adour-Garonne).

Une démarche prospective de ce type devrait émerger prochainement sur le bassin Rhône-Méditerranée.

5.3 INCITER LES COLLECTIVITÉS LOCALES À OPTIMISER LES PRÉLÈVEMENTS DESTINÉS À L'EAU POTABLE

LA RÉDUCTION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU POTABLE EST TRÈS LIÉE AUX VOLONTÉS POLITIQUES LOCALES

L'optimisation des prélèvements à destination de l'eau potable est **une question d'ordre technique, mais également d'ordre politique et financier**. En effet, les d'économies d'eau pour l'eau potable passent notamment par :

- ▶ L'amélioration du rendement des réseaux ;
- ▶ La réduction des consommations des ménages ;
- ▶ La réduction des consommations des sites urbains.

Or, ces trois moyens de réduction des prélèvements reposent très largement sur les **volontés politiques locales**. En effet, qu'il s'agisse d'investissements pour le renouvellement des canalisations, de la mise en œuvre de campagnes de sensibilisation, ou de l'installation de systèmes de comptage des volumes prélevés, y compris pour les usages urbains, les mesures visant la réalisation d'économies d'eau potable sont fortement liées aux volontés politiques, qui sont confrontées à des questions de coût mais également de prise en compte des éventuels mécontentements des citoyens.

Il subsiste donc une marge d'économies d'eau importante sur les prélèvements à destination de l'eau potable, mais leur réalisation dépend fortement de l'approche adoptée par les collectivités locales, notamment le choix de gérer la demande en eau plutôt que de gérer l'offre.

LA RÉDUCTION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU POTABLE EST UNE QUESTION CENTRALE POUR L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

L'optimisation des prélèvements en eau potable revêt une importance particulière dans les questions d'aménagement du territoire et de développement territorial.

Par exemple, dans certaines régions telles que le Massif Central, l'augmentation de la fréquentation touristique, qui devrait se poursuivre avec le changement climatique et l'augmentation des températures en plaine, peut mettre en difficulté ces zones qui ne sont actuellement pas toujours équipées pour accueillir ces populations.

En Ile-de-France ou dans le bassin du Rhône, régions qui vont connaître un accroissement démographique fort d'ici 2030 (Cf. 2.1.2), la demande en eau potable va augmenter, alors que les tensions ponctuelles sur la ressource se font de plus en plus ressentir sous l'effet du changement climatique.

On voit donc toute l'importance d'inciter les décideurs politiques locaux à optimiser les prélèvements à destination de l'eau potable afin de dégager des économies d'eau qui permettront de couvrir les besoins futurs sans mettre en péril les autres usages.

DES DYNAMIQUES ENCOURAGEANTES APPARAISSENT AVEC LA MONTÉE EN PUISSANCE DU RÔLE DES RÉGIONS

Depuis une dizaine d'années, on observe la **montée en puissance de collectivités de rang supérieur dans les questions de gestion de l'eau**. Ainsi, les Régions PACA et Languedoc-Roussillon ont fortement développé leur implication dans ce domaine, aux côtés des autres collectivités locales (communes, agglos, départements), et des services de l'Etat.

En Languedoc-Roussillon, cette implication s'est notamment traduite par la rédaction et la signature de la « Charte de gestion durable des ressources en eau en Languedoc-Roussillon ». Il s'agit d'un document d'engagement politique, signé par la Région Languedoc-Roussillon et les cinq départements (Conseils Généraux de l'Aude, Hérault, Gard, Lozère, Pyrénées-Orientales), qui comprend notamment des engagements à mettre en œuvre des actions de réduction des consommations d'eau :

« [...] Conscients que l'eau constitue en Languedoc-Roussillon une ressource précieuse et engendre des milieux diversifiés, essentiels pour l'attractivité de nos territoires, leur développement économique et la qualité de vie de nos populations, les signataires de la présente charte s'engagent, chacun dans le cadre de sa politique, à [...] **promouvoir les économies d'eau et la maîtrise de la demande, optimiser la gestion actuelle des ressources prélevées** :

- ▶ En intégrant cet objectif dans les démarches d'Agenda 21 dont ils ont l'initiative ;
- ▶ En aidant à l'émergence des projets innovants ou exemplaires, en termes d'aménagements urbains, d'espaces verts ou d'équipements publics (récupération de l'eau de pluie, réutilisation des eaux usées traitées, nouvelles formes de stockage, végétaux et des dispositifs économes) ;
- ▶ **En promouvant des objectifs volontaristes d'amélioration des rendements de réseaux adaptés à chaque territoire** ;
- ▶ En veillant à ce que les opérateurs concernés soient en mesure d'assurer une maintenance durable du patrimoine structurant (eau brute, eau potable, assainissement et son adaptation aux évolutions de la réglementation) ;
- ▶ En favorisant la modernisation des ASA d'irrigation (et autres maîtrises d'ouvrage agricoles) et les réorganisations permettant de mieux atteindre cet objectif ;
- ▶ En participant à la conduite d'actions de sensibilisation des usagers. » (Région LR, CG11, CG34, CG30, CG48, CG66)

Plus récemment, la Région Languedoc-Roussillon a publié en avril 2012 deux délibérations (n°CR-12/15.084 et n°CR-12/15.085).

La première mentionne, outre des ambitions de réalisations d'ouvrages de sécurisation de la ressource, également des principes issus de la Charte, tels que « la poursuite d'une politique ambitieuse d'économies d'eau », et « la gouvernance de l'eau et sa gestion concertée », et acte, entre autres, la décision de « poursuivre et amplifier les démarches visant à une utilisation plus économe de l'eau, par des démarches incitatives, l'encouragement des innovations [...] » (Conseil régional LR, 2012).

Quant à la seconde, elle détaille les missions du Service Public Régional de l'Eau, récemment créé par la Région. Parmi celles-ci figure « Objectif 2 : développer une gestion concertée et économe des ressources en eau » (Conseil Régional LR, 2012).

On assiste donc, depuis quelques années, au **développement de positionnements politiques qui constituent le contrepied de la gestion de l'offre, jusqu'à présent largement favorisée**. La combinaison de mesures relevant du domaine de l'investissement et de mesures relevant de la gestion de la demande constitue une nouveauté qui pourrait s'avérer intéressante pour les décennies à venir.

MESURES ET OUTILS TECHNIQUES VISANT À OPTIMISER LES PRÉLÈVEMENTS À DESTINATION DE L'EAU POTABLE

Les aspects réglementaires

Les mesures appliquées aujourd'hui en France visant à économiser l'eau dans les services d'eau potable passent en premier lieu par la réglementation, qui comprend deux documents récents à ce sujet.

► Le décret 2007-675 du 2 mai 2007

Publié en 2007, le décret 2007-675 du 2 mai 2007 oblige les collectivités compétentes à mettre en place et publier annuellement des **indicateurs de performance des services d'eau et d'assainissement**, afin d'améliorer le pilotage de ces services.

Parmi ces indicateurs, on note la présence d'indicateurs de performance environnementale mesurant les pertes en eau : P104.3 (rendement du réseau de distribution), P105.3 (indice linéaire des volumes non comptés), P106.3 : indice linéaire des pertes.

► La loi du Grenelle II et le décret 2012-97 du 27 janvier 2012

Le Grenelle II et le décret d'application 2012-97 du 27 janvier 2012 créent une **obligation de rendement des réseaux d'eau publics**. D'ici fin 2013, les collectivités doivent établir un inventaire de leurs réseaux d'eau potable et définir un plan d'actions d'amélioration si le rendement de leur réseau est inférieur à un seuil fixé par le décret faisant référence aux indicateurs de performance réglementaires (85% pour les services d'eau urbains et entre 65% et 80% pour les services d'eau ruraux. En cas de non-respect de ces obligations, la redevance de prélèvement d'eau émise par l'Agence de l'eau pour l'usage « eau potable » sera doublée.

Ces outils relèvent d'une réglementation coercitive, complémentaire d'autres outils, notamment incitatifs, à destination des usagers pour réduire les consommations d'eau sur le réseau public.

Outils techniques mis à disposition des exploitants et des maîtres d'ouvrages

Il existe un ensemble d'outils techniques qui peuvent être mis en œuvre par les exploitants et les maîtres d'ouvrages afin de réduire les fuites en réseau.

► Sectorisation des réseaux et télégestion

Ces méthodes, qui relèvent du diagnostic des réseaux, ont pour objectif d'identifier les secteurs prioritaires pour la diminution des pertes d'eau et de réduire les délais de détection des fuites.

► Localisation des fuites

A l'issue du diagnostic des réseaux peuvent être mises en œuvre des méthodes de localisation des fuites en vue de leur réparation : pré-localisation acoustique des fuites ; localisation précise des fuites ; réducteurs de pression, outil complémentaire pour maîtriser les pertes d'eau et prolonger la vie du réseau (modulation de pression nocturne du réseau pour limiter le débit des fuites existantes, tout en réduisant le risque d'apparition de nouvelles fuites).

► Renouvellement optimisé des réseaux grâce à des outils d'aide à la décision sur la gestion patrimoniale

La **gestion patrimoniale des réseaux de canalisations** constitue un enjeu fort pour les collectivités. En effet, le réseau des canalisations représente plus de 80% de la valeur patrimoniale des installations d'un service d'alimentation en eau potable. La durée de maintien en service des conduites peut être longue : des canalisations posées il y a plus de 150 ans continuent d'assurer correctement leur fonction. Inversement, en raison de leur matériau, de leurs conditions de pose, de leur régime hydraulique, de leur environnement ou de la qualité de l'eau, certains tronçons connaissent des avaries et doivent être remplacés précocement (Irstea, 2008).

La mise en place d'une planification du renouvellement des réseaux pose donc les **questions du rythme de renouvellement et de la hiérarchisation des travaux afin d'identifier les tronçons à renouveler en priorité**. Des travaux de recherche appliquée ont été menés sur le sujet, notamment par Irstea, et ont conduit à l'élaboration d'outils qui visent à aider les décideurs à :

- la collecte des données ;
- la prévision des casses futures ;
- la prise de décision de renouveler les canalisations à travers une approche d'optimisation pluriannuelle multi-objectifs.

Outils mis à disposition des maîtres d'ouvrage

Pour accompagner leur démarche d'économie d'eau et de lutte contre le gaspillage, les collectivités peuvent également mettre en œuvre une **politique tarifaire** adaptée ou impliquer l'exploitant du réseau (régie ou délégation) par des **clauses contractuelles spécifiques**. Il s'agit de **mesures incitatives** visant également à la réalisation d'économies d'eau.

► Régulation des consommations par la tarification

En matière de tarification, l'article L 214-15 du code de l'environnement (article 13 de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992) précise que « Toute facture d'eau comprend un montant calculé en fonction du volume réellement consommé par l'abonné à un service de distribution d'eau et peut, en outre, comprendre un montant calculé indépendamment de ce volume, compte tenu des charges fixes du service et des caractéristiques du branchement (...) ».

En conséquence, **les collectivités peuvent instaurer un tarif de l'eau comportant une partie fixe (abonnement) et une part variable** proportionnelle aux mètres cubes consommés. La tarification peut être :

- dégressive par tranche : au-delà de la part fixe, les tranches de volumes supplémentaires sont facturés à un prix moins élevé ;
- progressive : au-delà de la part fixe, les tranches de volumes supplémentaires sont facturés à un prix plus élevé ;
- mixte (AEAG, Smegreg, OIEau, 2005).

Figure 95 : Exemple de tarification progressive
(Source : AEAG)

Abonnement : 10 € par an		
Consommation :	0 à 100 m ³	1,5 € par m ³
	100 à 200 m ³	1,7 € par m ³
	Au-delà de 200 m ³	1,9 € par m ³
Un utilisateur qui consomme 160 m ³ paiera :		
$10 \text{ €} + 100 \text{ m}^3 \times 1,5 \text{ €} + 60 \text{ m}^3 \times 1,7 \text{ €} = 262 \text{ €}$		

Ces deux derniers modes de facturation, qui se développent, peuvent inciter les usagers à faire un usage mesuré de la ressource en eau.

En effet, la tarification proportionnelle a un faible pouvoir incitatif sur les consommations d'eau, en particulier du fait de la faible élasticité-prix¹¹ de la demande en eau potable. Celle-ci est de l'ordre de -0,3 en France (Credoc, 2000), car la plupart des utilisations (eau de boisson, hygiène, etc.) sont peu compressibles, et que le prix de l'eau constitue une faible part du budget des ménages (OCDE, 1999).

Pour le gestionnaire, le « manque à gagner » des premières tranches se trouve répercuté sur les tranches hautes.

¹¹ Pourcentage de variation de la consommation d'eau si l'on augmente de 1% le prix du m³

On parle également de « tarification sociale » de l'eau, les ménages aux plus hauts revenus étant généralement les plus consommateurs en eau du fait de besoins accrus liés à l'habitat (électroménager, piscine, voiture, jardin, etc.).

Concernant ces tarifs qui prennent en compte des objectifs de prix abordables pour un service de base, on distingue différentes modalités de mise en œuvre. Il est possible d'inclure dans le prix de l'eau un mécanisme redistributif, ou bien de l'externaliser à travers des aides financières autres (chèques conso, mesures fiscales etc.).

Dans les **zones à forte variation saisonnière**, il est intéressant de rappeler les conditions qui peuvent justifier une tarification distincte entre usagers : intérêt général ou différence de situation appréciable entre les catégories d'usagers.

Par exemple, la commune de Narbonne a institué une surtaxe pour les abonnés résidents à « Narbonne Plage » et adopté un programme de travaux concernant cette partie de la commune : ainsi, l'institution de la surtaxe spécifique est justifiée par les coûts d'extension de réseau et par les spécificités de l'exploitation du service dans une zone touristique (Conseil d'état - 26/07/1996 n°130363 et 130450 Association Narbonne Liberté 89 et Bonnes).

En revanche, la distinction entre « résidents permanents » et « résidents saisonniers » n'est pas de nature à justifier une discrimination, même si la motivation de la collectivité est liée à l'insuffisance de la ressource en période estivale (Conseil d'état - 28/04/1993 n°95139 Commune de Coux).

► Innovations dans les contrats de DSP (Délégation de Service Public)

Dans les contrats de délégation, la collectivité peut inclure un dispositif incitatif spécifique pour **engager l'exploitant du service à l'amélioration du rendement global du réseau**.

Pour être efficace, le système mis en place doit être simple et permettre un suivi par la collectivité. Un **paramètre de suivi**, avec son mode de calcul, doit être défini afin de servir de base aux engagements (rendements ou indice de perte), ainsi que **des seuils à atteindre et des délais de réalisation**. Le système peut inclure un mécanisme de **pénalités** lorsque les objectifs ne sont pas atteints et l'application d'un bonus si le seuil fixé est dépassé (AEAG, Smegreg, OIEau, 2005).

Le système peut également combiner des **obligations de résultats** (objectifs de rendement) à des **obligations de moyens** (mise en place d'un compte de renouvellement des réseaux et d'un programme pluriannuel de renouvellement des réseaux).

Les modalités sont à adapter au contexte de chaque collectivité.

Outils pour réduire les consommations des usagers

La lutte contre le gaspillage dans les réseaux de distribution d'eau potable doit également s'accompagner de politiques volontaristes de diminution de la consommation chez les usagers : ménages, professionnels, gros consommateurs, utilisateurs collectifs et collectivités.

► Ménages

- Contrôle et réparation des fuites
- Installation d'équipements économes en eau : l'objectif est de diminuer la quantité d'eau consommée pour un même confort d'utilisation (toilettes avec réservoir à double commande, éviers et lavabos avec mousseurs hydros économes ou mitigeurs thermostatiques, douches avec pomme de douche à débit réduit, appareils électroménagers à faible consommation d'eau) ;
- Limitation de l'utilisation de l'eau potable : de petits changements dans les pratiques et les comportements peuvent générer des économies importantes (AEAG, Smegreg, OIEau, 2005).

- Utilisation de ressources non conventionnelles

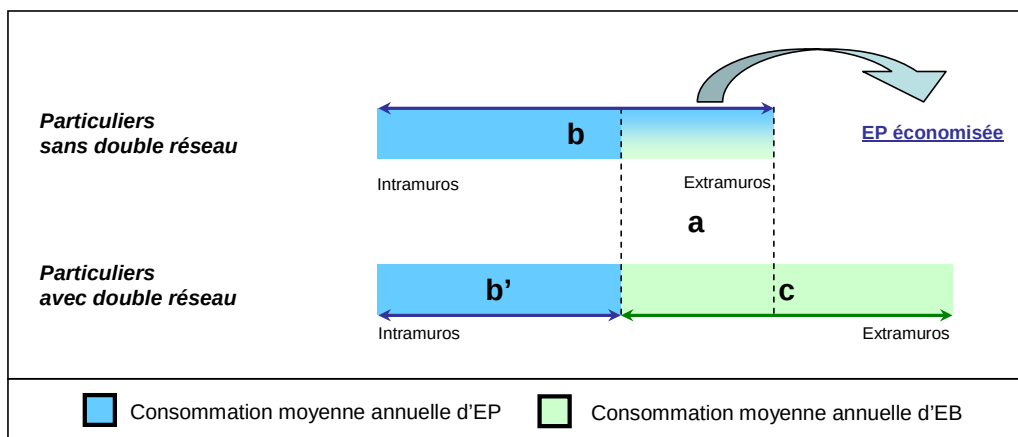
Une partie de l'eau potable consommée par les usagers disposant d'un jardin est utilisée à des fins d'arrosage ou de lavage de voiture et de terrasse, usages qui ne nécessitent pas d'eau potable. Des actions peuvent contribuer à des économies notables des consommations, ou à une moindre sollicitation des ressources de qualité et à faible capacité de renouvellement. Il s'agit notamment de :

- la récupération des eaux de pluie ;
- la réutilisation des eaux grises : ce sont les eaux usées ménagères ne renfermant pas de matières fécales (eaux issues des éviers, lavabos, douches, baignoires, lave-linge et lave-vaisselle). Après traitement et stockage, elles peuvent servir à l'arrosage, l'alimentation des sanitaires ou le lavage (ex : arrosage et nettoyage extérieur des équipements touristiques).
- l'utilisation d'eaux usées épurées ;
- la sollicitation d'eaux brutes.

Une étude de cas a été menée par BRL en 2007 pour tenter d'approcher **dans quelle mesure l'arrivée d'un réseau d'eau brute renouvelable (EB) permet d'alléger la consommation en eau potable**. Les principaux enseignements sont exposés ci-après (BRL, 2007).

Le principe du raisonnement peut se résumer au graphique suivant :

Figure 96 : Consommation moyenne annuelle d'EP et EB (Source : BRL 2007)



Les grandeurs a , b , b' et c sont définies comme suit :

- pour un particulier sans double réseau :
 - b représente la consommation moyenne d'eau potable annuelle du particulier (consommation domestique et extérieure) ;
 - a représente la consommation moyenne d'eau potable utilisée uniquement pour l'extérieur de la maison ;
- pour un particulier avec double réseau :
 - b' représente la consommation annuelle d'eau potable domestique ;
 - c représente la consommation annuelle d'eau brute ;
 - a correspond au volume annuel d'eau potable économisé grâce au réseau d'eau brute.

Sur la base de ces définitions, on peut définir 2 ratios :

- a/b = Taux d'allègement du besoin en EP
- a/c = Taux d'EB utile pour la substitution

L'étude a été réalisée sur différentes communes du Languedoc-Roussillon et avait pour objectif d'estimer les valeurs usuelles de ces deux ratios. L'étude de cas a abouti aux taux annuels suivants :

- **a/b** = Taux d'allègement du besoin en EP : l'intervalle des taux varie de 40 à 70%. Toutefois, afin de tenir compte de l'augmentation de la proportion des petits lots et de la prise de conscience collective du besoin d'économiser l'eau potable, il est proposé de retenir comme taux du besoin en EP la valeur basse de la fourchette, soit **40%**
- **a/c** = Taux d'EB utile pour la substitution = **50%**

Plus généralement, l'étude de cas a amené aux conclusions suivantes :

- L'eau brute permet d'alléger d'environ 40% le besoin en eau potable ;
- L'allègement du besoin mensuel de pointe en eau potable peut atteindre 65% ;
- La consommation totale en eau est supérieure pour un consommateur disposant d'un double réseau ;
- Le surplus de consommation totale, de l'ordre de 40%, est principalement réparti sur la période estivale (avril à septembre) ;
- Compte tenu de la consommation totale supérieure, le réseau d'eau brute trouve tout son intérêt s'il mobilise une ressource alternative abondante (comme le Rhône) et permet d'alléger la pression sur une ressource AEP en tension (BRL, 2007).

En conclusion, cette solution peut être intéressante, à condition que la ressource prélevée soit abondante, et que les prélèvements à destination du double réseau d'eau brute n'entrent pas en concurrence avec l'AEP. En effet, la construction d'un double réseau a pour effet de diminuer la consommation du réseau de distribution d'eau potable, mais d'augmenter la consommation totale en eau. Différents textes règlementent l'usage d'eaux brutes.

► Les professionnels et les entreprises

Les usages de l'eau sont très différents d'un secteur d'activité à l'autre. Pour réduire les consommations d'eau, il faut s'adapter à la spécificité de l'entreprise.

- Usage « domestique » de l'eau
Il s'agit des activités de type hôtel, restauration, tertiaire, commerce. Les solutions sont identiques à celles proposées dans le cas des particuliers : surveillance de la consommation, installation d'équipements hydro économes, utilisation de l'eau de pluie pour l'arrosage.
- Usage industriel de l'eau
Les solutions, adaptées au cas par cas, sont généralement basées sur le **recyclage de l'eau dans le process** ou l'installation d'équipements hydro économes. Dans le milieu industriel, la réduction de la consommation d'eau s'accompagne souvent d'une meilleure maîtrise des rejets d'eaux usées tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

Les pouvoirs publics mettent des guides méthodologiques sur ce sujet à disposition des professionnels.

► Les collectivités et les établissements publics

Les collectivités sont souvent des gros consommateurs. Dans ce domaine, elles doivent montrer l'exemple et inciter les autres usagers à intégrer une démarche d'économie de l'eau.

Les postes d'utilisation d'eau sont nombreux et les sources d'économie importantes : établissements scolaires, bâtiments collectifs, équipements sportifs ou de loisirs, espaces verts.

Quel que soit le type d'établissement concerné, un certain nombre de points clés sont à prendre en compte :

- réaliser un état des lieux : inventaire des réseaux et des postes utilisateurs d'eau ;
- installer systématiquement des dispositifs de comptage ;
- suivre les consommations (relevés mensuels, nocturnes, systèmes d'alerte,...) ;

- détecter et réparer des fuites ;
- entretenir les équipements et en particulier la robinetterie ;
- installer des dispositifs hydro économes limitant les débits : réducteurs de pression, mousseurs, robinets temporisés pour les lavabos ou urinoirs, chasses d'eau (petit volume, double vitesse, éco-plaquettes,...), douchettes économes ;
- choisir des matériels économes : appareils ménagers (lave-linge, lave vaisselle), climatiseurs à condensateurs d'air (éliminer les climatisations à eau perdue) ;
- recycler l'eau ;
- rationaliser la pratique de l'arrosage : aménagement et espèces adaptés aux conditions climatiques, méthodes efficaces et limitées d'arrosage ;
- collecter et utiliser l'eau de pluie : arrosage, nettoyage (AEAG, Smegreg, OIEau, 2005).

► **La sensibilisation**

La promotion des démarches économes chez les particuliers, les industriels ou les agriculteurs doit s'accompagner de politiques volontaristes de la part des collectivités et plus généralement des pouvoirs publics. Les autorités locales devront montrer l'exemple en s'investissant activement dans des démarches économes, en particulier dans la gestion des installations collectives (mairies, hôpitaux, HLM, établissements scolaires,...).

Par ailleurs, elles devront initier des **campagnes d'information et de sensibilisation du public et des acteurs professionnels**.

Pour ce faire, toutes les méthodes sont envisageables à condition de les adapter au contexte local : dépliant grand public, campagne d'affichage, intervention dans les établissements scolaires, colloques, réunions publiques, sensibilisation des milieux professionnels, opérations pilotes,

Tous les acteurs institutionnels devront être associés à ces démarches : chambre de commerce et d'industrie, chambre des métiers, chambre d'agriculture, syndicats professionnels, associations de consommateurs, etc. (AEAG, Smegreg, OIEau, 2005)

5.4 ADAPTER L'AGRICULTURE À UNE FRANCE PLUS SÈCHE EN FAVORISANT LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT DANS LE DOMAINE DES ÉCONOMIES D'EAU

Comme présenté plus haut, le changement climatique devrait, sous l'effet de températures en hausse et d'une pluviométrie estivale en baisse, **accroître la fréquence des sécheresses dans les décennies à venir**, mais celles-ci resteront difficiles à prévoir et à anticiper. Il est donc nécessaire de **les considérer comme un risque structurel à intégrer dans les pratiques, en mettant en œuvre des adaptations des cultures et des pratiques à la sécheresse**.

On rappelle qu'il faut distinguer trois types de sécheresse, en termes de saison : sécheresse de printemps/été, sécheresse d'hiver, sécheresse combinée des deux à la fois. Avec le changement climatique, **c'est la fréquence des sécheresses combinées d'hiver et d'été qui devrait augmenter**.

Ces types de sécheresse sont d'autant plus dévastatrices car elles induisent un cumul des impacts de la sécheresse d'hiver puis de la sécheresse de printemps. Ainsi en 2011, un hiver peu arrosé, qui n'a pas permis la recharge des nappes souterraines, suivi d'une pluviométrie très faible de mars à mai, liée à la remontée de l'anticyclone des Açores, ont conduit à 40-60% en moins de pluies cumulées de janvier à mai par rapport à la moyenne sur la période 1965-2010 (Chabriot G, Mollier P, 2011).

En 2011, c'est donc la continuité de la sécheresse entre l'hiver et le printemps qui a conduit à une situation exceptionnelle. En effet, les années de sécheresses historiques précédentes avaient bénéficié soit d'une période de recharge des nappes satisfaisante en hiver (2003), soit d'épisodes pluvieux au printemps (1997, 2005). En 1976, le printemps avait été moins sec et le niveau de sécheresse des sols n'avait pas atteint celui de 2011 à la mi-avril, record historique depuis 50 ans (Chabriot G, Mollier P, 2011).

Or, pour la plupart des productions végétales, le rendement et la qualité s'élaborent très tôt au printemps et une absence d'eau à cette période entraîne inévitablement une baisse de production. De plus, les pluies d'été sont captées en premier lieu par la végétation, dont la demande en eau est très forte à cette période, avant de pouvoir reconstituer les réserves des sols et a fortiori celles des nappes souterraines.

Les acteurs du monde agricole, de la recherche, et les partenaires techniques s'interrogent sur les moyens de limiter la vulnérabilité de notre agriculture au manque d'eau.

L'Expertise sécheresse a montré qu'au niveau individuel, les agriculteurs disposent de **deux grands types de leviers pour s'adapter à la sécheresse** :

- **les adaptations de court terme**, qui peuvent être mises en place au cours de la campagne (leviers intra annuels), pour pallier une sécheresse ponctuelle ;
- **les adaptations de long terme**, qui interviennent en amont de l'implantation de la culture, voire à l'échelle de plusieurs années, pour concevoir des systèmes de culture intrinsèquement plus résistants. Ces derniers font largement appel à la recherche.

La possibilité de mise en place des adaptations dépend très fortement du niveau d'anticipation de la sécheresse à venir, ce qui souligne **l'importance des outils prévisionnels**.

VALORISER LE CONSEIL AGRICOLE QUI FAVORISE LES ADAPTATIONS DE COURT-TERME

Face à des sécheresses ponctuelles, les agriculteurs disposent d'une panoplie de réactions à court terme dont la mise en œuvre et l'efficacité dépend de leur possibilité d'appréciation, voire de leur anticipation de la situation, le plus tôt possible dans l'année.

Adaptations des systèmes fourragers

L'élevage est le secteur le plus touché par les grandes sécheresses combinées d'hiver et de printemps. En effet, la sécheresse printanière affecte en premier lieu la production de fourrages des prairies permanentes et des prairies temporaires (fétuque, ray-grass), mais également les cultures de céréales destinées à l'alimentation animale (avoine, orge, triticales). Les baisses de productions de biomasse sur les coupes de printemps peuvent atteindre près de 50% (contre une baisse de production de 20% pour le blé sur la même période de sécheresse, comme par exemple dans le Centre-Ouest en 2011). A noter qu'en 2011, les effets dévastateurs de la sécheresse de printemps avaient été en partie compensés par les pluies de juillet, qui avaient été très bénéfiques pour la production de l'automne.

De plus, l'élevage est plus sensible à la sécheresse que les cultures car la consommation des animaux étant peu plastique sur une longue période, l'anticipation est indispensable pour l'éleveur s'il ne veut pas « décapitaliser » en réduisant son cheptel. Contrairement aux systèmes de grandes cultures, les élevages d'herbivores ne peuvent pas s'adapter à une année "moyenne" en compensant les mauvaises années par les bonnes. Pour un troupeau donné, l'éleveur doit assurer chaque année l'adéquation entre une demande fourragère déterminée par les besoins alimentaires de ses animaux au cours de l'année et une offre fourragère aléatoire liée au climat. L'éleveur doit donc intégrer les variations de rendements en fourrages dans son système fourrager afin d'avoir la possibilité de nourrir son troupeau avec un certain degré de certitude (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006). Les éleveurs doivent donc anticiper le risque de sécheresse chaque année, au risque d'avoir des ressources fourragères excédentaires si celle-ci n'a finalement pas lieu.

Dans l'ordre croissant d'anticipation du risque de sécheresse, les principaux **leviers d'adaptations à court terme du système fourrager** sont :

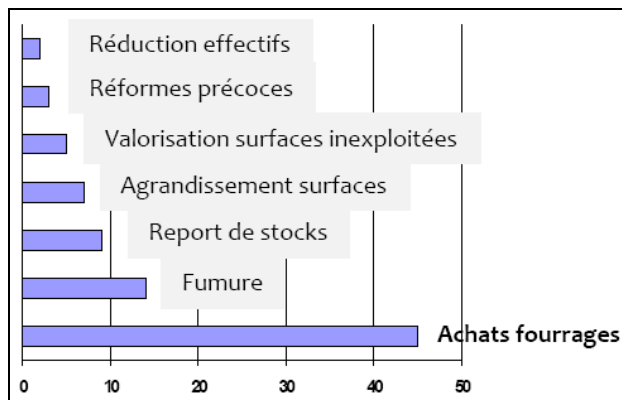
- ▶ l'achat de **compléments** (fourrages et/ou concentrés) ;
- ▶ la mise en place de **cultures dérobées de graminées fourragères** à croissance rapide (ray-grass italien, millet perlé) sur des terres libérées par les cultures d'hiver récoltées précocement avec deux ou trois semaines d'avance ;
- ▶ **l'ensilage de céréales immatures** dès la fin mai, avec éventuellement recours à l'irrigation du maïs (si les ressources en eau le permettent), ou recours voire substitution, par le sorgho grain ensilé si la sécheresse risque de pénaliser trop fortement la production du maïs (la production laitière permise par l'ensilage du sorgho est identique à celle du maïs).
- ▶ à un degré d'anticipation supérieur, **l'utilisation d'espèces fourragères moins sensibles** (ex : luzerne) ;
- ▶ la constitution de **stocks fourragers** (ensilage et/ou foin) pendant la période de forte croissance de l'herbe, et leur consommation pendant la période hivernale (4-6 mois selon les régions) et pendant les périodes de sécheresse. L'adaptation essentielle consiste donc à **diminuer suffisamment le chargement global** de l'exploitation afin de faire des stocks en quantité suffisante en effectuant des reports de stocks d'une année sur l'autre. On estime ainsi qu'une bonne sécurité doit être assurée par une demi-année de stocks d'avance.
- ▶ les **reports d'herbe sur pied** permettant de prolonger le pâturage pendant la saison sèche ;
- ▶ la **réalisation des stocks fourragers à partir de cultures d'hiver pluviales** ;
- ▶ Lorsque le climat s'y prête, la **valorisation de la pousse hivernale** de l'herbe au pâturage est aussi un moyen d'abaisser le niveau des stocks nécessaires, ce qui tend à rendre le système moins vulnérable à la sécheresse. Toutefois cela suppose que la pratique du pâturage hivernal ne conduise pas l'éleveur à augmenter son chargement.

Les leviers utilisables diffèrent selon les situations locales, et notamment selon qu'il s'agisse de systèmes d'élevage herbagers, dont l'alimentation dépend presque exclusivement de la production des prairies, ou de systèmes plus intensifs faisant appel, en proportion plus ou moins grande, au maïs ensilage.

Le projet Climfourel a étudié les adaptations mises en œuvre par les éleveurs de l'arc périméditerranéen, qui ont connu une baisse de production herbagère de 11% en 1980 et 2008.

Les systèmes d'élevage ne présentent pas tous la même sensibilité, notamment en fonction de leur autonomie fourragère. Les systèmes avec une autonomie limitée sont très sensibles aux sécheresses et ont dû recourir à des achats importants. Différentes stratégies sont mises en place par les éleveurs pour assurer l'affouragement (constitution de stocks d'avance avec reports d'une année sur l'autre, chargement plus faible et/ou possibilité d'intensifier les surfaces, recours à l'irrigation, etc.).

Figure 97 : Actions pour pallier la pénurie de fourrages
(enquêtes Climfourrel Ardèche 2008)



Enfin, certaines stratégies d'élevage sont fondées sur le recours à des **achats réguliers de fourrages de bonne qualité (pas d'autonomie fourragère), avec des relations continues avec des fournisseurs**, ce qui sécurise ces élevages face aux sécheresses. Ces différents stratégies entraînent des coûts de production plus ou moins élevés.

Face aux épisodes de sécheresses de la dernière décennie, la principale réponse a été l'achat de fourrages afin de faire face à la pénurie de ressources, comme l'indique la figure ci-contre. Cette solution technique a été favorisée par les actions collectives mises en place dans les différents départements pour appuyer ces achats.

Les retours d'expérience montrent que, face à une sécheresse ponctuelle, les systèmes herbagers montrent une certaine résilience, d'autant plus grande que le système d'élevage est extensif que ce soit au niveau de la prairie ou au niveau des animaux.

Adaptation des systèmes de grandes cultures

En grandes cultures, les principaux leviers d'adaptation à court terme face à la sécheresse sont :

- L'ajustement de l'**irrigation** ;
- Le choix de l'**assolement**, sous condition d'une anticipation suffisante.

Ainsi, en 2005 et 2006, des alertes ministérielles précoces dès les mois de février-mars avaient permis de privilégier des espèces plus résistantes à la sécheresse, avec une augmentation de la sole de sorgho et de tournesol, et une diminution de la sole de maïs (Chabriat G, Mollier P, 2011).

Cependant, alors que la fréquence des sécheresses risque d'augmenter, **les adaptations d'assolement observées jusqu'à présent semblent essentiellement conjoncturelles et non durables**. Ainsi, même s'il diminue, le maïs grain représente encore en surface le double de l'ensemble sorgho + tournesol + soja. En 2011, la sole de sorgho grain a diminué de 13% par rapport à 2010. Cette situation s'explique du fait que **d'autres paramètres entrent en ligne de compte dans le choix des agriculteurs et peuvent freiner les évolutions**. Il s'agit de paramètres techniques (déficit de productivité sur le tournesol, problèmes de désherbage sur le sorgho), ou de paramètres économiques (évolutions des prix et des aides de la PAC pour les oléagineux, structuration de la filière sorgho) (Chabriat G, Mollier P, 2011).

C'est pourquoi, l'INRA préconise de miser sur la **diversification**, qui donne à l'agriculteur une souplesse pour assurer sa production. Il s'agirait de combiner des systèmes de cultures pluviales et irriguées à l'échelle d'un bassin versant en fonction des ressources disponibles (cours d'eau et nappes).

Le projet Climator a étudié les impacts du changement climatique sur les cultures et a identifié des adaptations possibles pour chacune des principales grandes cultures (Brisson N., Levrault F., éditeurs, 2010). **Le tableau ci-dessous synthétise ces pistes d'adaptation et les hiérarchise par ordre d'importance en termes de marge de manœuvre.**

Tableau 13 : Adaptations au changement climatique des principales grandes cultures par ordre de priorité (Source : Climator)

Culture	Adaptations suggérées (classées par ordre de priorité)				
Blé	Choix de variétés précoces (positionnement du cycle climatique)	Date de semis précoce (en interaction avec la variété)	A long terme, irrigation d'appoint		
Maïs Sorgho	Avancer les semis	Variétés à cycle plus long	Irriguer le sorgho pour le rendre compétitif	Changer la localisation géographique et édaphique	Changer les systèmes de culture (rotations et irrigation d'appoint du sorgho)
Colza	Légère préférence pour les variétés à cycle court	Semis précoce et irrigation starter, voire privilégier les sols à texture lourde			
Tournesol	Choix de variétés à cycle plus long	Avancement de la date de semis			

Quant aux **vergers**, ils sont en général moins sensibles à la sécheresse que les cultures annuelles ou l'élevage, car 75% des vergers sont irrigués en France (Chabriat G, Mollier P, 2011). Le principal levier d'adaptation est le pilotage de l'irrigation.

Importance du conseil agricole et des outils prévisionnels

On voit donc toute **l'importance de l'anticipation** pour la mise en place des adaptations des cultures à court terme, pour faire face à un épisode de sécheresse pouvant affecter la campagne à venir.

Le **conseil agricole** et les outils qu'il peut proposer aux agriculteurs ont donc un rôle essentiel à jouer dans l'anticipation et le choix des adaptations des cultures face à la sécheresse.

On présente ici quelques outils développés par l'INRA (Chabriat G, Mollier P, 2011). Ces outils concernent différentes échelles (plante, parcelle, exploitation, région).

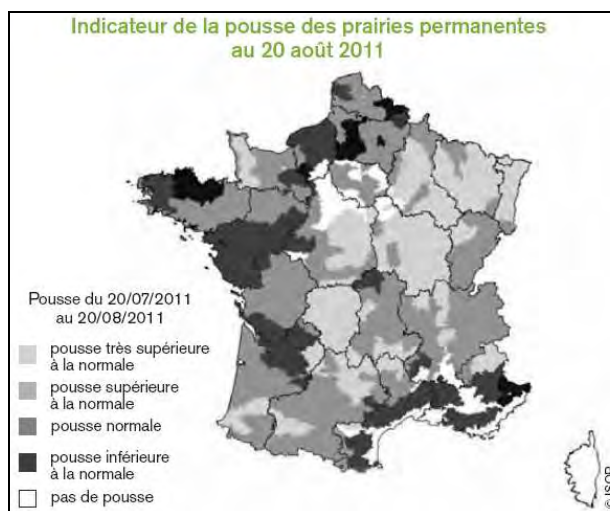
► Herb'âge

Ce logiciel développé par l'INRA de Toulouse permet d'**optimiser la récolte d'herbe dans les prairies permanentes** en calculant le stade de maturité de la végétation en fonction de la somme des températures écoulées depuis la dernière coupe. Certaines chambres d'agriculture utilisent cet outil pour donner des conseils sur la date de fauche via les bulletins des réseaux d'avertissements « Gestion de l'herbe ». L'équipe de l'Inra de Toulouse développe parallèlement des modèles de recherche plus complexes visant à concevoir les systèmes les moins risqués par rapport à la variabilité du climat et à son évolution à long terme.

► **Système ISOP (Information et Suivi Objectif des Prairies)**

Le système ISOP de suivi de la production herbagère en temps réel, mis en place par le SCEES (collaboration entre Météo-France, l'Inra et le ministère en charge de l'agriculture, service de la statistique et de la prospective), permet de repérer précocement les risques de « disette » fourragère au cours de l'année, et de mettre en place des actions collectives de mobilisation de ressources fourragères complémentaires (plan paille, achats de fourrages externes...). Il repose sur des développements spécifiques du modèle STICS pour **estimer le rendement des prairies, et permet d'obtenir une image objective des dommages**. Il calcule la quantité de matière sèche par hectare, jour après jour, à l'échelle de petites régions fourragères considérées comme homogènes pour les sols et les pratiques.

Figure 98 : ISOP : indicateur de la pousse des prairies permanentes au 20/08/11 (Source : INRA)



► **Pépista : pilotage de l'irrigation sur les vergers**

Il existe des appareils permettant de piloter l'irrigation très précisément selon les besoins de la plante. Un dispositif breveté dans les années 1980 par l'INRA d'Avignon, appelé Pépista, mesure les variations de diamètre des branches qui reflètent l'état d'hydratation des tissus : il y a contraction quand il y a perte d'eau. Cet appareil est commercialisé par la société Agroressources, à Avignon, qui le loue à des producteurs pour une saison afin qu'ils « étalonent » leurs vergers, c'est-à-dire qu'ils déterminent à quel état hydrique du sol (mesuré par un tensiomètre) correspond le début de stress hydrique chez l'arbre (mesuré par Pépista). Cela leur permettra par la suite de déclencher l'irrigation seulement en cas de besoin. On estime que ce dispositif permet des économies d'eau de 25 à 30%. Si les épisodes de sécheresse se multiplient, l'usage de ces méthodes fines de pilotage de l'irrigation pourrait se développer.

► **Dispositif Veille agroclimatique (VAC)**

L'état hydrique du sol (R /RU) est l'un des douze paramètres de sortie du dispositif VAC (Veille AgroClimatique) développé par l'INRA à la suite de la canicule de 2003 pour analyser l'influence du climat sur la production agricole. Ce dispositif calcule les caractéristiques de la production (rendement, qualité, durée du cycle, indices de stress hydrique, de stress azoté, etc.) en fonction des données météorologiques (températures minimales et maximales, pluies, rayonnement, humidité, vent) réellement enregistrées sur dix sites expérimentaux de l'INRA couvrant la diversité climatique de la France. Il repose sur un modèle de développement des plantes (STICS) et fonctionne pour sept types de culture (dont blé, colza, maïs, tournesol). Il considère un système théorique simplifié dans lequel seul le climat varie, avec deux composantes fixées arbitrairement et communes à tous les sites : un sol médian et un itinéraire technique unique, mais représentatif. Il ne permet donc pas de calculer un rendement réel, mais un rendement « climatique » qui ne prend en compte que l'influence du climat.

► Système MARS (Monitoring Agricultural ResourceS)

A l'échelle européenne, un outil complémentaire, développé par le Centre de recherche de la Commission européenne, basé à Ispra en Italie, donne une **anticipation des rendements réels**, mais à un grain géographique moins fin. L'outil MARS calcule les variables météorologiques (cumul des températures, cumul des pluies, etc.) sur des zones de 25x25 km et fait des estimations mois par mois sur le rendement à venir de différentes cultures (blé d'hiver, orge, maïs, pomme de terre, etc.), en utilisant des itinéraires techniques identifiés pour chaque zone et une cartographie du sol. Il a anticipé par exemple une baisse de production de blé tendre en France de -11,5% pour 2011 par rapport à 2010, résultat corroboré par le service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture (-10%).

► Bases de données des systèmes de culture (piste de projet)

Afin d'envisager des adaptations plus durables, par la combinaison de systèmes de cultures pluviales et irriguées à l'échelle d'un bassin versant en fonction des ressources en eau disponibles, l'INRA estime que cela nécessiterait l'établissement d'une base de données indiquant les systèmes de culture viables dans chaque contexte pédoclimatique. Un tel dispositif serait lourd à mettre en place, mais qui permettrait des négociations entre acteurs pour la ressource eau à l'échelle du territoire, dans une optique de gestion intégrée des ressources.

SOUTENIR LES PROJETS DE RECHERCHE QUI TENDENT VERS DES ADAPTATIONS DURABLES DES SYSTÈMES DE CULTURE ET VERS DES STRATÉGIES DE GESTION TERRITORIALE DE L'EAU

Face à une récurrence accrue des sécheresses, il est également essentiel de **développer et promouvoir des adaptations plus durables des systèmes de cultures**.

Ces leviers à plus long terme sont **très en lien avec les travaux de recherche**, qui se multiplient depuis plusieurs années pour développer des plantes ou des systèmes de cultures plus résilients face à la sécheresse. Ces travaux prometteurs doivent bénéficier du soutien des pouvoirs publics.

Adaptations structurelles des systèmes d'élevage

Ainsi, pour les systèmes d'élevage, les adaptations structurelles peuvent porter à la fois **sur le système fourrager et sur le système d'élevage lui-même**.

Au niveau du système d'élevage, la première adaptation consiste à **éviter que le pic des besoins alimentaires du troupeau coïncide avec le risque maximum de pénurie fourragère**. Les marges de manœuvre se situent au niveau du type d'animal produit, de sa capacité à tolérer des périodes de sous-alimentation chroniques et à effectuer des croissances compensatrices ultérieures, du choix des périodes des mises bas, du choix des races, etc. Ces éléments influent sur la demande fourragère mais ne peuvent à eux seuls procurer un niveau d'adaptation suffisant face à la variabilité importante de l'offre liée aux aléas de la sécheresse.

Cependant, ces adaptations restent limitées face aux rapports de prix et à l'orientation des marchés, qui restent des signaux forts pour la décision des éleveurs.

Adaptations structurelles en grandes cultures

Pour les grandes cultures, les principales adaptations à long terme sont les suivantes :

► Choix de variétés sélectionnées pour leur résistance à la sécheresse

Dans un premier temps, les adaptations peuvent porter sur la tolérance intrinsèque des plantes à la sécheresse. La conception de **variétés** tolérantes au manque d'eau fait l'objet de nombreux travaux de recherche. La résistance à la sécheresse n'est pas contrôlée par un gène unique : elle met en jeu différents caractères interdépendants et complexes. C'est pourquoi, l'amélioration génétique doit prendre en compte la réponse globale des plantes face au manque d'eau, et ce, pour chaque contexte pédoclimatique.

D'ici 2030, le progrès et la diversité génétique intra-espèce pourraient être responsables de changements quantitatifs, voire qualitatifs, en termes de choix d'espèces et de systèmes de cultures. En effet, il existe une large variabilité au sein de chaque espèce si bien que comparer « maïs », « sorgho » et « blé » pourrait changer de sens d'ici 2030.

Ainsi, de nos jours le rendement du maïs en situation de sécheresse peut atteindre 70 q/ha, tandis que dans les années 1950 en situation de sécheresse le rendement plafonnait à 30 q/ha. Le progrès continue à hauteur de 50 à 100 kg/ha/an, si bien que les références pour l'irrigation et les comparaisons entre espèces changent rapidement, et que celles établies sur des génotypes d'il y a 10 ans ne sont a priori plus valables (on peut irriguer moins avec les génotypes modernes). De même, en termes de précocité des semis, on sème aujourd'hui le maïs un mois plus tôt qu'il y a 20 ans. Si d'ici 2030, on gagne encore 1 mois via la tolérance au froid, on ne parlera plus exactement de la même culture (semis fin février récolte en août), ce qui aura des incidences différentes en termes d'utilisation d'eau.

La variabilité intra-spécifique est plus ou moins large et plus ou moins explorée suivant les espèces. Très étudiée chez le maïs, elle l'est nettement moins chez le tournesol ou le sorgho.

L'évolution des surfaces dépendra donc en partie de l'effort fait sur différentes espèces, de l'existence d'une diversité structurée et éventuellement de changements qualitatifs (pas uniquement OGM).

Une méthode de « génotypes virtuels » a été développée par l'INRA : elle permet de simuler le comportement de divers génotypes pour un grand nombre de scénarios climatiques, puis de corrélérer les génotypes aux phénotypes pour déterminer quelles régions du génome sont impliquées dans un caractère donné pour des scénarios climatiques actuels ou anticipés. Ces « génotypes virtuels » serviront ensuite de guide pour les sélectionneurs.

► Choix de l'assolement avec utilisation d'espèces plus tolérantes et/ou moins gourmandes en eau ;

Outre la tolérance intrinsèque des plantes, les leviers à long terme peuvent consister à adapter l'ensemble du système de culture à une disponibilité en eau incertaine. Devant cet aléa, l'objectif est d'optimiser la rentabilité sur plusieurs années, plutôt que de viser la performance annuelle. L'enjeu est de taille pour la recherche qui doit trouver des stratégies cohérentes en jouant simultanément sur de multiples leviers interdépendants : assolements, variétés et conduites culturales (Chabriat G, Mollier P, 2011).

Les **assolements** peuvent être choisis en introduisant des espèces plus tolérantes, moins consommatrices en eau ou dont les besoins interviennent en dehors de l'été. Ainsi, en 2006 une étude menée par Arvalis en Poitou-Charentes a analysé les assolements dans le cas d'une réduction de 15 à 30% des quotas d'irrigation. Il apparaît que la substitution du maïs par le sorgho, le tournesol ou les céréales à paille n'est intéressante que pour les exploitations ayant un faible quota initial. Avec un quota plus élevé, c'est le maïs, conduit en rationnant l'eau, qui reste avantageux. Si les restrictions sont plus fréquentes, la part des cultures irriguées au printemps doit augmenter. Cette étude a utilisé LORA, un logiciel développé par l'INRA et Arvalis, qui se base sur le taux de satisfaction des besoins en eau des plantes pour calculer la marge économique de l'exploitation en fonction des possibilités d'irrigation et de la main d'œuvre.

- Adaptation du système de culture (rentabilité à l'échelle de plusieurs années) : **stratégies cohérentes en termes d'assolement, de variétés, de conduites culturales** (modèles dynamiques).

Un **travail conjoint sur le choix variétal et sur la conduite de culture** en fonction de la disponibilité en eau constitue également une voie prometteuse d'amélioration. Cela permet la mise en œuvre de stratégies d'adaptation : l'esquive et le rationnement.

L'esquive consiste à décaler les stades les plus sensibles du développement de la plante (souvent la floraison) en dehors des périodes de stress hydrique les plus probables. On utilise alors des variétés à cycle court et/ou aptes à être semées plus tôt. Cette stratégie a néanmoins un coût : en réduisant la durée du cycle, on pénalise le rayonnement intercepté, donc le rendement accessible les bonnes années.

Le rationnement consiste à réduire la transpiration des plantes ou l'évaporation du sol pendant la première partie du cycle afin de conserver de l'eau pour la phase de remplissage des grains. Pour cela, on peut utiliser des variétés à fermeture rapide des stomates ou à indice foliaire modéré, conduites avec une faible densité de peuplement et une fertilisation azotée réduite pour limiter la transpiration. A l'opposé, on peut rechercher à « couvrir » rapidement le sol pour en limiter l'évaporation. Une variété précoce conduite avec une plus forte densité de semis et une fertilisation suffisante sera alors plus adéquate.

Pour combiner tous ces paramètres en fonction des scénarios de sécheresse, les chercheurs ont développé des **modèles dynamiques** qui miment le fonctionnement des plantes en fonction de leurs caractéristiques et de leur environnement (climat, sol, conduite) (ex : modèle SUNFLO pour le tournesol, qui a permis de montrer l'importance d'une fermeture précoce des stomates dans des milieux où la contrainte hydrique est précoce et prolongée).

- **Gestion spatiale de l'eau intégrée à l'échelle du territoire**

Au-delà des adaptations à l'échelle de la plante et du système de culture, il apparaît que la gestion de la sécheresse doit également de plus en plus intervenir au niveau du territoire, afin de **prendre en compte les conflits d'usages** entre l'agriculture, les autres usages et les besoins des milieux aquatiques.

Dans cette optique, l'INRA de Toulouse a développé un **modèle multicritère et multi-usage** qui simule la demande en eau et les profits liés à chaque usage. L'activité agricole y est plus particulièrement détaillée grâce à un modèle mécaniste qui prend en compte la croissance des cultures et leur besoin d'irrigation. En parallèle, un modèle hydraulique permet de quantifier l'offre en eau en tout point du réseau hydrographique. Le modèle permet par exemple de tester quelles pourraient être les allocations optimales en fonction de l'évolution de paramètres climatiques, économiques, agronomiques ou réglementaires, puis de tester les politiques publiques adaptées pour se rapprocher de cet objectif. Ce modèle a été déjà utilisé pour explorer des systèmes de tarification innovants pour l'eau d'irrigation.

Un autre outil a été développé à l'INRA de Toulouse pour construire et **évaluer des scénarios de distribution des systèmes de culture sur le territoire**. En effet, la **planification de la gestion de l'eau fait souvent appel à des instances de concertation ou des débats publics dans lesquels divers acteurs proposent leur vision de l'aménagement du territoire, y compris des systèmes de culture**. Pour que ces points de vue soient mieux pris en compte par des gestionnaires comme les agences de l'eau, il est important de les **préciser et d'évaluer leurs conséquences**. Le modèle décrit la répartition actuelle des systèmes de culture et le déterminisme de leur localisation (nature et pente des sols, taille de l'exploitation, orientation technique, climat...). Basées sur un modèle bio-décisionnel, les simulations permettent ensuite de délivrer des indicateurs tels que la demande en eau d'irrigation ou le rendement économique des cultures (Chabriat G, Mollier P, 2011).

Vigne : vers une extension de l'irrigation ?

Les vignobles sont souvent implantés dans des zones régulièrement soumises à des déficits hydriques. Mais la vigne possède un système racinaire capable d'aller chercher l'eau à grande profondeur, et la viticulture utilise un ensemble de techniques pour favoriser l'infiltration des précipitations, réduire l'évaporation du sol (mulch...) et la transpiration... Une restriction hydrique modérée est utilisée pour piloter le développement végétatif, le rendement et la qualité, et limiter certains risques sanitaires. Certains vignobles sont cependant exposés à des risques de sécheresse excessive ; c'est le cas notamment en zone méditerranéenne, où la reconstitution hivernale de la réserve en eau du sol n'est pas garantie, et sur sols superficiels.

Le Projet Climator estime que pour l'avancée de la phénologie et le changement des conditions de maturation, il sera très difficile d'échapper à des impacts négatifs du changement climatique. **Dans une certaine mesure, une adaptation des systèmes et techniques de culture peut être envisagée** (coteaux exposés au nord, refroidissement par irrigation, abandon de l'effeuillage...), de même qu'une adaptation du matériel génétique. Pour le fonctionnement hydrique, de nombreux moyens d'action sont disponibles. Parmi eux, l'irrigation offre l'avantage de ne pas révolutionner l'ensemble du système de production, à la condition sine qua non, mais problématique, que de l'eau reste disponible (Brisson N., Levraut F., éditeurs, 2010).

De 1953 à 2006, l'irrigation de la vigne a été « *interdite en-dehors de la période d'arrêt de la végétation des vignes* ». Au début des années 2000, suite notamment à de fortes périodes de sécheresse comme en 2003, l'INAO (pour les AOC) et de l'ONIVINS (pour les vins de pays et de table) se sont mobilisés pour assouplir et rendre plus applicables les règles d'irrigation.

En 2006, deux nouveaux décrets ont été publiés afin de clarifier la législation concernant l'irrigation des vignes aptes à la production de raisins de cuve et à la production d'AOC :

- Le décret n°2006-1526 du 4 décembre 2006, relatif à diverses mesures en matière vitivinicole. Il stipule que l'irrigation des vignes aptes à la production de raisins de cuve est interdite du 15 août à la récolte. De ce fait, l'irrigation est maintenant autorisée sur le reste de l'année.
- Le décret n°2006-1527 du 4 décembre 2006, relatif à l'irrigation des vignobles aptes à la production de vins à appellation d'origine. Il stipule que l'irrigation des vignes aptes à la production de vins à appellation d'origine est interdite du 1er mai à la récolte, à moins que des règles plus restrictives soient fixées dans le décret ou l'arrêté de définition de l'appellation d'origine. Toutefois, dans la mesure où le décret ou l'arrêté de définition de l'appellation d'origine le prévoit (pour une récolte donnée et sous réserve de conditions écologiques particulières), l'irrigation des vignes peut être autorisée, à titre exceptionnel, à partir du 15 juin au plus tôt et jusqu'au 15 août au plus tard.

Les sécheresses récurrentes récentes posent le problème de l'irrigation. En effet, la situation est en pleine évolution, avec l'accroissement des surfaces de vignobles irrigués dans certaines régions comme le Languedoc-Roussillon (Cf. 2.2.2).

Le caractère très inégal de la disponibilité de la ressource en eau dans les régions viticoles où l'irrigation se justifie impose une gestion économe de l'irrigation. La maîtrise de l'irrigation déficitaire est plus difficile dans un contexte français, marqué par une forte variabilité climatique interannuelle, que dans les régions du monde (Chili, Australie...) présentant systématiquement une sécheresse prolongée pendant le cycle de la vigne ; c'est toutefois de ces régions que viennent la plupart des références en matière de gestion de l'irrigation en viticulture.

Une autre question se pose à moyen terme : celle de **la remontée des cultures**. En effet, le réchauffement climatique est déjà responsable de l'avancement de dates de vendange de près d'un mois en 50 ans dans certaines régions (Cf. annexe 3).

Enfin, il se pourrait que les conséquences de l'irrigation de la vigne soient plus larges que prévu. C'est potentiellement la conduite de la culture et l'ensemble des questions de recherche sur l'irrigation et la filière qui pourraient être affectées.

Forêts : vers une sylviculture économe en eau et le développement de stratégies d'adaptation

Le projet Climator a également étudié l'impact du changement climatique sur les forêts, feuillues et conifères. Celles-ci pourraient être impactées par le changement climatique dès le futur proche et de manière très significative, quel que soit le site en France dans le futur lointain. Les sécheresses édaphiques et atmosphériques sont les contraintes principales.

Contrairement à tous les autres systèmes cultureux, il n'est pas envisageable d'améliorer le confort hydrique des forêts par irrigation. Les effets thermiques sur la phénologie ne conduisent pas à des stratégies d'esquive suffisantes, contrairement aux cultures annuelles.

Quelques pistes peuvent être avancées, se situant essentiellement dans le cadre d'une **sylviculture économe en eau** :

- ▶ préférence pour les feuillus décidus par rapport aux résineux ;
- ▶ itinéraires techniques à indice foliaire réduit ;
- ▶ plantation d'essences exotiques ou de provenances permettant d'optimiser productivité et résistance à la sécheresse ;
- ▶ mélanges entre nouvelles essences et régénérations naturelles (Brisson N., Levrault F., éditeurs, 2010).

Par ailleurs, il a été montré que lors des grandes tempêtes récentes (1999, 2009), **les effets des tempêtes sur les forêts** avaient pu être aggravés par les sécheresses des années précédentes, qui avaient fragilisé les arbres.

Ces éléments doivent être pris en compte dans la gestion forestière, notamment au moment des replantations.

Les adaptations des forêts au changement climatique peuvent être de deux types :

- ▶ les capacités adaptatives inhérentes des arbres et des écosystèmes forestiers : mécanismes et processus évolutifs qui permettent aux espèces de répondre aux nouvelles conditions environnementales ;
- ▶ la mise en place de mesures d'adaptation liées à la gestion forestière à l'échelle du peuplement et aux échelles spatiales supérieures : la régénération, les dépressages et les éclaircies, la récolte, la planification de la gestion forestière, la protection de la forêt, les infrastructures et les transports, la reproduction des arbres en pépinière et en forêt et les mesures d'adaptation de gestion des risques.

DÉVELOPPER L'UTILISATION DE MATÉRIEL D'IRRIGATION PERMETTANT UNE AGRICULTURE PRODUCTIVE MAIS RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT

Des pistes d'améliorations existent également dans le domaine de l'irrigation, pour permettre le **maintien d'une agriculture qui reste productive tout en étant respectueuse de l'environnement**. En effet, **certains matériels et techniques d'irrigation fonctionnent avec des consommations d'eau et d'énergie réduites**.

Pour les cultures pouvant être irriguées en goutte-à-goutte (maraîchage, vergers, vigne), ce mode d'irrigation est le plus économe en eau.

Pour les cultures nécessitant d'être irriguées par aspersion (grandes cultures principalement), différents matériels peuvent être utilisés.

Le canon enrouleur est le matériel d'irrigation par aspersion le plus utilisé en France (70 à 80% des surfaces) (Irstea, 2003).

Il est constitué d'un canon d'arrosage monté sur un chariot tracté par un tuyau d'alimentation, qui s'enroule sur une bobine mue par un moteur hydraulique.

L'irrigation se fait par bandes rectangulaires successives dont la largeur dépend de la portée du canon. A la fin de l'arrosage de chaque bande, le matériel doit être déplacé sur la bande voisine.

Figure 99 : Canon enrouleur (Crédit photo : BRL)



Le canon nécessite une pression élevée à sa buse (5 à 8 bars). Les travaux de recherche sur le sujet ont montré que le canon est sensible au vent (Irstea, 2003).

De plus, afin d'assurer une répartition homogène de l'irrigation sur l'ensemble de la parcelle, y compris sur la frange la plus éloignée du canon, un surconsommation d'eau est souvent appliquée.

C'est pourquoi, on estime intéressant le **remplacement des canons par des pivots d'irrigation**.

Figure 100 : Pivot d'irrigation
(Crédit photo : G. Lamorte)



Le pivot, également appelé rampe pivotante, est un appareil d'irrigation mobile arrosant en rotation une surface circulaire ou semi-circulaire. Il est en général à poste fixe.

Le pivot est constitué par une canalisation de grande longueur, tournant autour d'un axe par lequel se fait l'arrivée d'eau et d'électricité. La canalisation est portée par des tours équipées de roues. L'eau est distribuée par des asperseurs ou des buses disposés le long de la canalisation.

Un canon d'extrémité peut compléter le système pour arroser les coins de la parcelle.

Du fait de la présence de plusieurs buses, la pression nécessaire pour le fonctionnement du pivot est inférieure à celle d'un canon (de l'ordre de 4 à 5 bars). Par conséquent, la consommation d'énergie est également moindre (Irstea, 2003).

D'autre part, la meilleure répartition de l'irrigation sur l'ensemble de la parcelle, du fait de la multiplicité des buses et donc de la moins grande sensibilité au vent, permet d'éviter les « surdosages », et réduit donc la consommation d'eau. Du fait de ce meilleur raisonnement de l'irrigation, les pertes par ruissellement sont limitées, et donc le lessivage, notamment d'éléments azotés, est également réduit.

Il est à noter que le système de pivot, qui peut être entièrement automatisé (vitesse de rotation, longueur de l'arc de cercle, etc.) est beaucoup moins contraignant pour l'agriculteur, car il ne nécessite pas d'être déplacé.

Il apparaît donc pertinent de favoriser l'installation de ce matériel, par exemple via des incitations soumises à éco-conditionnalité, et de poursuivre le soutien aux programmes de recherche visant à l'amélioration de ces systèmes.

Cependant, dans certaines régions, l'installation de pivots peut faire face à des **obstacles liés à la structuration foncière des zones à irriguer**. Ainsi, en Languedoc-Roussillon, les parcelles, très morcelées, ne permettent pas une aussi grande généralisation des pivots que dans le sud-ouest, où les parcelles sont plus souvent d'un seul tenant. Le développement, depuis une dizaine d'années, de solutions déplaçables, pourrait en partie lever cet obstacle.

Soulignons que la multiplication des pivots d'irrigation pourrait considérablement **modifier les principes de la conduite de l'irrigation**. En effet, avec l'utilisation des pivots, l'ajustement aux besoins des plantes peut être plus fin, avec moins de politique « d'assurance » et davantage d'économies. Dans le cas des enrouleurs, il faut transporter le matériel, ce qui ne peut être fait qu'avec une fréquence qui empêche les ajustements fins. Les pratiques et le matériel d'irrigation dépendront également des contrats d'irrigation et du prix de l'eau.

5.5 RENFORCER LA COOPÉRATION INTERMINISTÉRIELLE AFIN DE DONNER DE LA COHÉRENCE DANS LES POLITIQUES PUBLIQUES CONCERNANT L'ALLOCATION D'EAU À L'AGRICULTURE

On assiste depuis quelques années à de **nouvelles mutations de l'agriculture française**, sous l'effet de différents facteurs. En particulier, on observe une orientation progressive vers **une agriculture spécialisée selon les régions et selon la proximité aux villes**.

En effet, la mise en place de programmes d'actions pour réduire les pollutions diffuses dans les aires d'alimentation de captages en eau potable (proches des villes) s'accompagne de contraintes fortes en termes de réduction (voire de suppression) des intrants agricoles dans ces périmètres. Cela conduit peu à peu à **l'apparition de « ceintures vertes » autour des villes**. Le développement des circuits courts pour l'approvisionnement des villes, avec une demande souvent orientée vers une agriculture biologique ou raisonnée, conduit d'autant plus à renforcer cette tendance.

Par ailleurs, l'agriculture française doit également s'insérer dans un **contexte mondial changeant**. L'accroissement démographique mondial, l'évolution des sociétés, et la raréfaction des ressources naturelles soulève la question de la sécurité alimentaire mondiale et de la capacité des agricultures du monde à nourrir 9 milliards d'hommes d'ici à 2050. Dans ce cadre, la participation de l'agriculture française à la sécurité alimentaire mondiale constitue une question importante qui mérite d'être soulevée au niveau national.

A l'échelle européenne, la **réforme de la PAC en 2013** devrait induire des changements importants pour l'agriculture française. Par exemple, certains scénarios prospectifs évoquent la possibilité d'une agriculture européenne spécialisée selon les régions, qui pourrait remettre en cause une partie de l'agriculture française dans son état actuel, pour favoriser une agriculture rémunérée pour le maintien des services paysagers et environnementaux.

Enfin, à l'échelle nationale, les **poids des filières agricoles et agro-alimentaires dans la balance commerciale de la France** doivent également être pris en compte dans les orientations à donner à l'agriculture française, notamment pour orienter la politique française d'exportation de denrées agricoles.

C'est pourquoi, il apparaît nécessaire de prendre en compte dans la définition de la politique agricole française les évolutions liées au changement climatique, et ce dans une logique plus interministérielle, afin qu'il y ait davantage de cohérence entre les politiques publiques.

Une meilleure cohérence des politiques publiques environnementales et agricoles permettrait notamment de définir plus clairement l'objectif recherché en matière de politique agricole : maintenir une production soutenue, tout en répondant aux problèmes d'accès à l'eau et tout en respectant les exigences environnementales.

Actuellement, tandis qu'aux **niveaux européen et national**, les leviers sont d'ordre **réglementaire** (taxation des prélèvements, fixation des débits objectifs d'étiage, etc.), au **niveau local**, les collectivités territoriales, en particulier les Régions disposent de **leviers économiques** (ex : le soutien aux infrastructures de mobilisation est en quelque sorte un soutien déguisé à l'agriculture locale). De plus, au niveau mondial, des contraintes liées aux cours et aux marchés mondiaux, contraignent la Politique Agricole Commune (PAC), qui elle-même oriente fortement l'agriculture française et par conséquent la demande en eau d'irrigation.

L'Etat ne doit pas uniquement intervenir sur ces questions par une approche réglementaire (taxation des prélèvements, débits objectifs, etc.). Il est nécessaire de **donner des éléments définissant les missions de l'agriculture** à l'échelle nationale, sans pour autant ignorer la multitude des agricultures françaises, tout en tenant compte des exigences émergentes en termes de respect de l'environnement.

Une telle politique conditionnerait notamment le **cadre pour le développement de l'irrigation**, et permettrait une gestion cohérente à l'échelle du territoire national.

Ainsi, il serait souhaitable que cette politique permette une certaine **coordination des structures locales de gestion de l'eau** (Commissions Locales de l'Eau des SAGE etc.). En effet, par leur intervention sur les questions de gestion de l'eau à l'échelle locale, ces structures peuvent avoir indirectement une influence sur l'agriculture, mais cette influence peut être déconnectée de la PAC et des orientations données à d'autres niveaux.

Une politique nationale pour l'agriculture permettrait notamment d'avoir une cohérence à l'échelle nationale pour **défendre l'agriculture au niveau local**. En effet, sous l'effet des réglementations environnementales grandissantes, notamment pour la préservation de la qualité de l'eau et de la disponibilité de la ressource, l'agriculture doit faire face à des contraintes de plus en plus nombreuses.

Il est indispensable de **donner à l'agriculture française, qui a un rôle-clé sur les plans économique, social et environnemental, les moyens de subsister face à ces nouvelles contraintes**. Etant donnée sa faible rentabilité, il est primordial de ne pas contraindre l'agriculture par l'économie (redevances etc.), au risque de la voir périr. A l'inverse, il faut mettre en œuvre des moyens pour pouvoir **l'inciter tout en assurant le respect de l'environnement**.

Ainsi, les **outils relevant de l'éco-conditionnalité** apparaissent particulièrement pertinents. Ces outils, dont la plupart relèvent du second pilier de la PAC, consistent à subordonner le paiement d'aides publiques au respect de normes environnementales. Plutôt que de contraindre l'agriculture par l'économie, ces outils lui fournissent des moyens financiers pour perdurer tout en mettant en œuvre des pratiques permettant le respect de l'environnement.

De la même manière, **les allocations de la ressource disponibles gagneraient à être imposées en échange de contreparties** permettant des améliorations techniques de la gestion de l'eau en agriculture (ex : aide au financement de travaux de remise en état des systèmes d'irrigation existants, subvention à l'installation de systèmes plus économes en eau etc.).

Par ailleurs, il est primordial d'associer ces mesures à des politiques d'aménagement du territoire qui permettent le maintien de l'agriculture, et en particulier du **foncier agricole**, par exemple par la mise en œuvre d'outils tels que les PAEN (Périmètres de protection et de mise en valeur des espaces agricoles et naturels périurbains).

INCITER LE DÉVELOPPEMENT DE SOLIDARITÉS TERRITORIALES POUR LA SÉCURISATION FOURRAGÈRE

Au-delà des adaptations structurelles, les crises fourragères liées à des niveaux de sécheresse inattendus nécessitent des **apports de fourrages externes à l'exploitation ou à la région**.

L'appoint de paille, associée à plus ou moins de concentrés en fonction du type d'animal, reste une solution techniquement satisfaisante, même si elle est toujours coûteuse, pour passer les périodes de pénurie. Ainsi, lors de la sécheresse de 2011, en Indre et dans le Cher, les pailles (orge, blé) ont été réquisitionnées pour compléter la nourriture des animaux, les agriculteurs ayant reçu l'interdiction de les broyer pour les restituer au sol.

De la même manière, il peut être envisagé que les systèmes d'élevage plus intensifs qui ont recours aux **rations sèches**, entretiennent également un lien avec le territoire. En effet, l'utilisation de ces rations complètes achetées tend à développer des élevages hors sol, qui ne sont alors plus tributaires de la sécheresse.

Il pourrait être intéressant que **ces rations complètes soient constituées à partir de fourrages produits localement** (foins de luzerne, céréales immatures, etc.). Une telle option conduirait à une **plus grande interdépendance entre les systèmes d'élevage et les systèmes de grande culture**, en permettant à ces derniers de s'orienter vers une plus grande diversification des assolements en hébergeant une partie des productions fourragères locales.

Le maintien d'un élevage consommant essentiellement des fourrages produits localement devrait permettre de réaliser à l'échelle d'un territoire une interaction plus étroite entre les productions céréalières et les systèmes d'élevage. **L'introduction alors possible de cultures fourragères dans les assolements céréaliers permettrait d'obtenir des modes d'occupation plus diversifiés des terres, et des assolements plus durables tant du point de vue agronomique qu'environnemental** (Expertise Scientifique Collective INRA, 2006).

Zoom sur l'arc périméditerranéen (projet Climfourel)

Le projet Climfourel a étudié les stratégies d'adaptation des systèmes d'élevage périméditerranéens aux changements et aux aléas climatiques.

Dans ce cadre, trois types de leviers d'action pour l'adaptation au changement et aux aléas climatiques ont été identifiés :

► Amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'herbe au printemps

Le raisonnement de la production de l'herbe et de son utilisation est une voie de travail importante. Elle repose sur les actions suivantes :

- Utilisation de variétés méditerranéennes, pour profiter des périodes de pousse au début du printemps ;
- Recherche des techniques d'implantation et des modalités d'utilisation des prairies (fauche, pâture) les plus adaptées ;
- Fertilisation des prairies ;
- Mise à l'herbe plus précoce et flexible ;
- Mise en oeuvre de supports de discussions avec les éleveurs et d'échanges d'expérience entre différentes zones (par exemple, collection variétale en Ardèche ou réseau de parcelles mis en place en Aveyron) ;
- Mise en oeuvre de dispositifs d'avertissement pour les dates d'utilisation des prairies, et d'outils permettant d'établir des diagnostics de pratiques d'éleveurs qui conduisent à des recommandations de gestion des prairies en vue de réduire la sensibilité aux variations du climat.

- Prévion de nouvelles ressources pour passer l'été
 - Constitution de stocks fourragers pour l'été ;
 - Sécurisation d'une production fourragère pour l'été par l'irrigation.
- Révision de l'organisation du système d'alimentation, voire du système d'élevage
 - Mobilisation de nouvelles surfaces par la mobilité des troupeaux (transhumance) ou le sylvopastoralisme ;
 - Equilibre troupeau-surface ;
 - Utilisation des capacités adaptatives des animaux et du troupeau ;
 - Modification des produits et/ou des périodes de production.

Selon les exploitations et les territoires, toutes ces solutions ne sont pas envisageables.

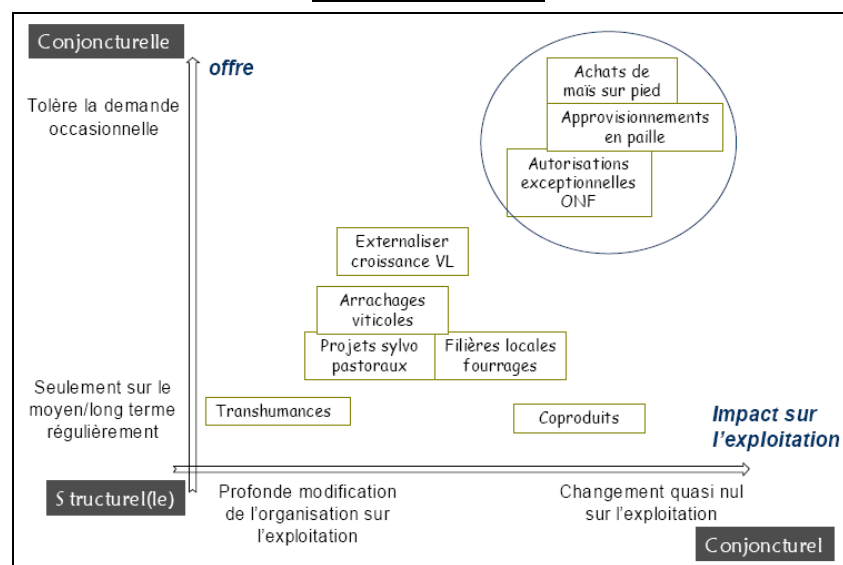
Elles supposent des adaptations à l'échelle des exploitations, mais également des actions collectives qui permettent de créer de nouvelles ressources pour l'élevage (animation foncière, création de filières de fourrages locales, en jouant sur les complémentarités territoriales). En effet, une démarche de modélisation a été mise en place dans le cadre du projet Climfourrel afin de comparer les marges d'amélioration sur l'efficacité d'utilisation de l'herbe à l'échelle de la parcelle, et celles à l'échelle du système. La simulation révèle que **les marges d'amélioration diagnostiquées à l'échelle parcellaire sont en fait très limitées par le poids des contraintes structurelles et climatiques** qui ne permettent pas la mise en œuvre parfaite des recommandations de gestion des prairies.

Par conséquent, le projet a porté une attention particulière à **l'analyse des actions collectives, c'est-à-dire les leviers d'action qui concernent une échelle plus large que celle de l'exploitation, en prenant appui sur des complémentarités territoriales (plaine/montage, céréaliculture/élevage)**, qui se mettent en place lors des épisodes de sécheresse importants.

Pour caractériser ces actions, elles ont été classées par rapport à deux critères : la nature de l'offre fourragère mobilisée et l'impact de l'action sur l'exploitation. Le résultat de ce classement est représenté sur la figure ci-dessous.

Figure 101 : Nature des actions collectives en termes d'offre et d'impacts sur l'exploitation

(Source : Climfourrel)



Plusieurs groupes d'actions collectives ont ainsi été identifiés, parmi lesquels celui des actions purement conjoncturelles, qui mobilisent une offre capable de répondre à une demande aléatoire et qui ont un impact faible sur les exploitations.

Le projet Climfourel a choisi d'étudier plus finement ce groupe d'actions qui permettent aux éleveurs de faire face plus aux aléas qu'au changement climatique global et a distingué quatre types d'actions principales dans ce groupe :

- ▶ Les approvisionnements collectifs en paille ;
- ▶ Les approvisionnements collectifs en maïs ensilé ;
- ▶ Les autorisations exceptionnelles de pâturage de l'ONF ;
- ▶ La constitution de cellule de gestion de crise (groupes, comités, associations sécheresse).

Par ailleurs, le projet a fait le constat, qu'en plus des actions conjoncturelles, l'anticipation plus structurelle, notamment pour assurer l'offre, serait une piste importante pour l'amélioration des solutions étudiées.

Il s'agit de pouvoir gérer la conduite de l'alimentation dans un contexte d'incertitude, notamment le niveau de la production estivale. La conception d'outils appuyant la conception de nouveaux systèmes d'alimentation plus flexibles a été largement initiée dans le cadre du projet Climfourel et va se poursuivre. Cependant **à plus long terme, ce sont les systèmes d'élevage (espèces, types de produit) et leur localisation dans les territoires qui doivent être questionnés** (Moulin CH, 2011).

ORIENTER LES AGRICULTURES EN ZONES DIFFICILES ET/OU ÉCOLOGIQUEMENT SENSIBLES VERS L'AGRO-ÉCOLOGIE

L'agriculture est au cœur de la ruralité. En zones difficiles, elle permet le maintien d'emplois et d'un tissu social. Elle contribue souvent au maintien de paysages et patrimoines traditionnels (canaux Cévenols), et peut également rendre des services écologiques. A noter que les externalités positives sur la biodiversité sont essentiellement liées à des pratiques d'élevage et de gestion des zones de pâture (maintien des milieux ouverts, maintien des paysages). Par exemple, dans certaines zones de montagne, les prairies fleuries fauchées tardivement présentent un fort intérêt en termes de biodiversité.

Reconnaître les services rendus par l'agriculture dans ces zones

Il est important de reconnaître les externalités positives dans les zones écologiquement sensibles, et de les **favoriser par des aides publiques, liées à la politique agricole commune, des politiques de biodiversité, ou des politiques de l'eau.**

Les **mesures agri-environnementales** des politiques de biodiversité se traduisent par exemple par des contractualisations d'agriculteurs en zones sensibles (ex : Natura 2000).

Les leviers agri-environnementaux des politiques de l'eau sont plus larges et plus hétérogènes. On peut citer des actions du type :

- ▶ des **contrats de rivières** liés à des pressions phytosanitaires ;
- ▶ des **aides à la conversion en agriculture biologique** ;
- ▶ des **animations territoriales** visant à accompagner les irrigants à réduire leurs prélèvements ;
- ▶ des **contrats passés avec des financeurs** engageant la personne recevant le financement à certaines pratiques (améliorer sa gestion pour réduire son prélèvement, etc.).

Des techniques encore peu utilisées en Europe : le SCV, etc.

L'agroécologie représente la convergence entre l'agronomie et l'écologie, disciplines historiquement disjointes. Elle éclaire le rôle de la diversité biologique sur les services écosystémiques. Le développement de l'agroécologie doit permettre une meilleure compréhension des interactions entre l'agriculture, l'élevage, la sylviculture et les services, et de savoir comment les piloter pour assurer la subsistance et la qualité de vie de nos populations.

En tant qu'ensemble de pratiques agricoles, l'agroécologie recherche des moyens d'améliorer les systèmes agricoles en limitant les processus naturels, créant ainsi des interactions et synergies biologiques bénéfiques entre les composantes de l'agroécosystème. Les principes fondamentaux de l'agroécologie sont les suivants. La **gestion de l'eau** en est un des piliers.

- ▶ travail du sol qui ne bouleverse pas sa structure : labour biologique effectué par les organismes du sol ;
- ▶ fertilisation organique fondée sur les engrais verts et le compostage
- ▶ traitements phytosanitaires aussi naturels que possible ;
- ▶ choix judicieux des variétés ;
- ▶ **eau : économie et usage optimum (notamment couverture permanente du sol par un mulch végétal pour limiter l'évaporation de l'eau du sol) ;**
- ▶ travaux antiérosifs de surface (haies, arbres).

Dans le contexte actuel de raréfaction des ressources naturelles, et de difficile positionnement de l'agriculture française entre une agriculture nourricière et une agriculture pour la préservation des paysages, l'agroécologie offre un certain nombre de transitions qui permettent une **double approche, entre protection de l'environnement et production agricole**. En effet, l'agroécologie permet de :

- ▶ Accroître l'efficacité de pratiques conventionnelles afin de réduire l'usage et la consommation d'intrants coûteux, rares et dommageables pour l'environnement ;
- ▶ Substituer les intrants et pratiques conventionnelles par des pratiques alternatives ;
- ▶ Reconcevoir l'agroécosystème de façon à ce qu'il fonctionne sur la base d'un nouvel ensemble de processus écologiques ;
- ▶ Ré-établir une relation plus directe entre ceux qui produisent la nourriture et ceux qui la consomment (Bellon S, Olivier G, 2011).

L'agroécologie devient influente sur plusieurs plans : sur les modèles agricoles eux-mêmes, en visant à les orienter et à accompagner leurs transitions, en contribuant au renforcement des liens entre agriculture et alimentation, en constituant une assise scientifique à des formes d'agriculture à base écologique.

Les chercheurs considèrent actuellement que l'agroécologie pourrait constituer une « relance agronomique par une conversion écologique » (Bellon S, Olivier G, 2011). De nombreux volets sont encore à l'étude, mais les **prémices de solutions d'intérêt majeur en termes d'agronomie et d'environnement** apparaissent. C'est pourquoi, il est essentiel de **soutenir les travaux de recherche appliquée dans ce domaine, de sorte à favoriser l'amélioration continue et l'orientation, dès à présent, de zones difficiles ou écologiquement sensibles vers ce type d'agriculture**.

INTÉGRER LE PATRIMOINE HYDRO-AGRICOLE EXISTANT DANS LES POLITIQUES FONCIÈRES

Des investissements publics très lourds ont été réalisés entre 1950 et 1980 pour l'irrigation de territoires entiers. Aujourd'hui, ce patrimoine hydro-agricole est parfois menacé par l'artificialisation des sols en zone périurbaine.

Il apparaît primordial de **mettre en place des outils de protection foncière pour conserver l'usage agricole des terres aménagées et la fonctionnalité des ouvrages.**

Une telle démarche est en train d'émerger en Languedoc-Roussillon. L'Union Européenne a récemment débloqué des fonds pour le développement de réseaux d'irrigation dans la région. L'utilisation de ces fonds est couplée à deux conditions :

- ▶ Que l'eau mobilisée provienne d'une ressource « durable » ;
- ▶ Et qu'un gel de l'urbanisation soit appliqué sur les zones où les réseaux d'irrigation seront installés.

5.6 ETUDIER L'OPPORTUNITÉ DES SOLUTIONS DE SÉCURISATION D'APPROVISIONNEMENT EN EAU

LES TECHNIQUES ALTERNATIVES NE PEUVENT CONSTITUER QUE DES SOLUTIONS TRÈS PARTIELLES

Réutilisation des eaux usées (REU)

▶ Cadre réglementaire

L'utilisation d'eaux usées traitées pour l'irrigation est encadrée d'un point de vue réglementaire par plusieurs textes.

Au niveau mondial, l'OMS a émis des recommandations, sur lesquelles se sont notamment basés les avis du CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France), qui ont été diffusées par des circulaires au début des années 1990. Le décret d'application, quant à lui date d'août 2010¹².

De ce décret on peut retenir, en termes d'**exigences de traitement**, la synthèse suivante (BRLi, 2011) :

¹² Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts, publié au Journal Officiel du 31 août 2010

Tableau 14 : Exigences de traitement des eaux usées pour leur utilisation à des fins d'irrigation
(Source : Arrêté du 2 août 2010 ; synthèse BRLi 2011)

		espaces verts	maraichage	fuitiers, vigne
Niveau A	Tous usages irrigation. (Espaces verts ouverts au public : en dehors des heures d'ouverture)	A	A	
Niveau B	Aspersion autorisée mais avec contrainte de distances. Interdiction sur culture légumière consommées crues et sur espaces verts ouverts au public		B	
Niveau C	Irrigation localisée de cultures florales, céréalières, fourragères et arboriculture. Pas d'aspersion.			C
Niveau D	Irrigation localisée de forêt d'exploitation avec accès contrôlé du public			

	Niveau A	Niveau B	Niveau C	Niveau D
MES (mg/l)	< 15	conforme réglementation des rejets EUT		
DCO (mg/l)	< 60			
E Coli	<= 250	<= 10 000	<= 100 000	-
abattement log contaminations (*)	>=4	>=3	>=2	>=2

(*) Entérocoques fécaux, phages ARN F-spécifiques, spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices

► Modalités de mobilisation de la ressource d'eaux usées traitées

La mobilisation de la ressource d'eaux usées traitées pour l'irrigation peut s'envisager selon deux modalités principales :

- l'utilisation « au fil de l'eau » : la gestion est simplifiée, car l'utilisation intervient immédiatement en aval du traitement. La surface irriguée est en revanche limitée à celle permise par le volume journalier d'effluents disponible en période de pointe des besoins des cultures.
- après stockage de régulation inter saisonnière : la mise en œuvre d'un stockage permet de mobiliser les volumes d'EUT rejetés toute l'année. L'intégralité du volume produit est alors théoriquement disponible pour l'irrigation, abstraction faite des pertes par évaporation du plan d'eau ou infiltrations, ainsi que des volumes indisponibles pour des raisons de qualité de la ressource (culots de fond de retenue) (BRLi, 2011).

► L'exemple de Clermont-Ferrand

En France, l'installation la plus conséquente est celle des effluents de la station d'épuration qui traite les eaux usées de la ville de Clermont-Ferrand.

En service depuis 1996, ce cas de REU irrigue aujourd'hui (2010) environ **700 ha de maïs** et utilise en moyenne 800 000 m³ d'effluents (300 000 à 2 000 000 m³ selon les années) de mai à septembre.

51 agriculteurs, regroupés au sein de l'ASA de la Limagne Noire, sont concernés. La culture dominante est le maïs, pour la consommation ou la semence. On trouve aussi de la betterave. Le débit de pointe d'eaux usées réutilisées est compris entre 18 000 et 24 000 m³/j, pour un rejet journalier par la station d'épuration de 50 000 m³/j, il s'agit donc d'une utilisation sans nécessité de stockage inter-saisonnier. Les bassins (13 ha répartis en 6 bassins de profondeur répartie entre 5,5 m et 1,5 m) où l'affluent est transféré servent de lagunage et également de stockage et de volume tampon entre la production d'affluent par la station et la consommation par le réseau d'irrigation.

L'effluent de la station subit en sortie, avant utilisation pour l'irrigation, un traitement complémentaire par lagunage sur une surface d'environ 12 ha (lagunage aérobie facultatif par utilisation de lagunes de sucrerie disponibles à cette période, et lagunage de finition tertiaire.) Les bassins où l'affluent est transféré servent également de stockage et de volume tampon entre la production d'affluent par la station et la consommation par le réseau d'irrigation.

Le temps de séjour minimal dans les lagunes propres à la REU est de 13 jours, assurant un niveau inférieur à 1 œuf d'helminthe parasite/l et un abattement bactérien de 3 log (de 106/l en sortie de station à 103/l en moyenne en sortie de lagunes).

La qualité du traitement visé est une qualité de classe « A » au sens des recommandations CSHPF de 1991. Ce niveau est impératif pour les maïs semence, en raison de la présence de personnel dans la parcelle pour la castration des maïs. Dans ce cas des mesures complémentaires sont prescrites : délai de 24h entre une irrigation et une opération de castration, information et vaccination du personnel. Pour le maïs « consommation », un niveau de qualité « B » peut être toléré.

Le mode d'irrigation pratiqué est l'aspersion par machine à enrouleur. Des précautions sont cependant imposées, quelle que soit la qualité de l'effluent :

- limitation de la pression à 5 bars ;
- arrêt de l'irrigation quand la vitesse du vent dépasse 30 km/h à la station météo locale ;
- distance minimale de 100 m au-delà de la portée maximale des canons par rapport aux habitations et zones de loisirs ou d'activité ;
- absence de débordement sur la voie publique ;
- utilisation de dispositifs à pendillards ou équivalent le long des routes ;
- plantation raisonnée de haies brise-vent.

Les mesures de contrôle sont notamment les suivantes : mise en place d'un turbidimètre en continu en aval de la step pour stopper les envois vers le lagunage en cas d'anomalie ; tenue d'un cahier de gestion par l'ASA ; analyses bimensuelles en sortie de step, de lagunage et aux points de mise en distribution ; rédaction par l'ASA d'un rapport annuel transmis à un comité de suivi constitué de représentants des services déconcentrés de l'Etat et des partenaires du projet.

Ces dispositions, établies initialement par le CSHPF (séances du 22/09 et 20/10/1992) sont rappelées par un arrêté du préfet du Puy de Dôme du 19 avril 2007 (10).

► La REU en France aujourd'hui

En France, la réutilisation des eaux usées urbaines reste encore assez peu développée. Cela tient essentiellement à l'abondance de nos ressources en eau. Dans le Midi Méditerranéen, les régions les plus sèches sont adossées à des reliefs beaucoup plus arrosés et ayant permis la mise en place d'équipements hydrauliques.

C'est donc finalement dans les îles et le long du littoral atlantique et de la Manche que sont situées une part importante des installations de réutilisation d'eaux usées ayant pour objectif premier la mobilisation d'une ressource, et non pas la recherche d'un milieu récepteur alternatif aux milieux aquatiques.

On citera des **réalisations littorales** dans les îles de Ré, Noirmoutier, Oléron, Porquerolles, ainsi qu'à Pornic (44), à côté d'autres projets tels que Chanceaux sur Choixille (37) ou Le Revest du Bion (04). Il s'agit le plus souvent d'irrigation de cultures (pommes de terre à Noirmoutier) ou d'un golf à Pornic.

En Languedoc Roussillon, une expérimentation effectuée par la ville de Narbonne a fait dans un premier temps l'objet d'un avis du CSHPF en juillet 2001 et d'un autre le 1er mars 2005, dans lequel le conseil maintient la nécessité de respecter une distance de 100 m par rapport aux habitations pour l'irrigation par aspersion d'espaces verts urbains. A la suite de cet avis, une unité pilote a été construite sur le site de la station d'épuration, visant à pousser plus loin la désinfection, selon un protocole expérimental validé par le CSHPF en mars 2006. Trois espaces verts de la ville, totalisant 23 ha, ont été irrigués avec ces eaux. L'objectif de traitement fixé est de 0/100ml pour 6 paramètres bactériologiques et de 0/l pour les œufs d'helminthes. Le traitement comprend successivement une ultrafiltration membranaire, une désinfection UV, une chloration avant et après stockage de régulation en bache fermée.

Indépendamment d'un objectif premier d'irrigation, les eaux usées traitées peuvent également être utilisées pour **protéger un milieu récepteur sensible**. C'est le cas dans l'Hérault à Saint Mathieu de Trévières depuis une vingtaine d'années (irrigation localisée de plantations forestières pour éviter un rejet dans un cours d'eau en secteur karstique).

Si on assiste au développement de la REU « au fil de l'eau » dans certains cas pilotes où elle constitue une ressource en eau pertinente, en revanche, la France a peu ou pas pratiqué le stockage d'eaux usées traitées. Dans ce domaine, les Etats-Unis, l'Espagne, le Maroc, et surtout Israël abritent de nombreux exemples de réalisations (BRLi, 2011).

En France, la réutilisation des eaux usées (REU) ne peut constituer une mesure structurelle à l'échelle des déficits en eau, mais il est recommandé d'étudier son opportunité, en particulier en contexte littoral, et en particulier d'encourager les études techniques et sanitaires dans ce domaine.

Dessalement

► Le dessalement reste limité en France aux contextes insulaires

Le dessalement d'eau de mer pour la production d'eau potable se développe en Europe. Iles Canaries, Barcelone, puis Londres, Allemagne, Pays-Bas, Belgique : d'abord utilisé dans le bassin méditerranéen, il gagne progressivement l'Europe du Nord. En 2009, il représentait 13% de la production européenne d'eau potable.

En France, le procédé reste très rare. Il se développe principalement **outre-mer** (Ouvéa, Bora Bora) et dans les **contextes insulaires** : les **îles de Sein et de Houat** possèdent leur petite unité et **Belle-Ile-en-Mer** va s'équiper d'une unité de potabilisation mixte (eau douce/eau salée) innovante. Cette unité combinerait des procédés classiques de traitement des eaux douces à celui d'une désalinisation de l'eau de mer par osmose inverse.

Ce projet a émergé suite à trois pénuries d'eau sévères sur l'île (qui avaient conduit à des livraisons par bateau puis à l'installation de modules de dessalement provisoire). Ces épisodes étant amenés à se renouveler, la communauté de communes Belle-Ile-en-Mer a souhaité mettre en place un moyen de sécuriser la ressource.

Le dessalement a été retenu après étude de l'ensemble des solutions envisageables. La plupart du temps, l'usine ne fonctionnera qu'avec de l'eau douce issue des précipitations et stockée dans les barrages. Le dessalement ne sera mis en route qu'à partir d'un seuil jugé dangereux. La capacité de dessalement de l'usine sera de 1000m³/jour et la consommation électrique nécessaire au dessalement sera en moyenne de 150 000 kWh/an, compensée par l'installation de panneaux photovoltaïques. Les modules de reminéralisation et de désinfection des unités « douce » et « salée » pourraient être conjoints. En parallèle, une importante politique d'économie d'eau est menée par les pouvoirs publics (Sogreah, 2009).

Figure 102 : Projet (en cours) d'unité de dessalement à Belle-Ile en Mer (Source : Sogreah)



► **Une technique qui reste coûteuse et qui génère des impacts sur l'environnement**

Pour la production d'eau potable, le dessalement d'eau de mer est une technique fiable et souvent moins onéreuse que le recyclage des eaux usées. Cependant, malgré les progrès réalisés ces dernières années, en particulier sur les techniques par membranes, **le dessalement reste coûteux (aux alentours de 0,50€/m³ minimum) et fortement consommateur d'énergie (de 3,5 à 18kWh/m³ selon les techniques)**. L'utilisation d'énergies renouvelables pour alimenter les installations est à l'étude sur plusieurs usines dans le monde.

Par ailleurs, le dessalement présente d'autres inconvénients, comme le **rejet des saumures concentrées** (et chaudes, dans le cas de la distillation), la **nécessité de recourir à des produits chimiques** ou le manque de législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements. Plusieurs unités dans le monde essaient de réduire les impacts négatifs sur l'environnement, comme celle de Perth (Australie) qui possède un parc éolien et un tuyau de 200m perpendiculaire au courant de la baie pour minimiser les impacts des rejets de saumure.

A l'heure actuelle, deux procédés de dessalement sont principalement utilisés dans le monde : la distillation et l'osmose inverse. La distillation (technique thermique) est la plus ancienne mais l'osmose inverse, notamment du fait de sa plus faible consommation énergétique (3,5 à 5 kWh/m³), représente aujourd'hui plus de 50% du marché. Dans les techniques thermiques, plus de 75% de l'énergie consommée servent à préchauffer l'eau de mer. Les unités à distillation sont donc placées de préférence à proximité de centrales thermiques. Si les établissements ne sont pas adossés à une production d'énergie, il est plus intéressant d'opter pour **l'osmose inverse**. Celle-ci est donc la seule technique vraiment envisagée aujourd'hui en France.

L'osmose inverse est moins consommatrice grâce à la récupération de l'énergie du fluide sous pression, mais elle nécessite des prétraitements plus élaborés que le dessalement thermique, afin de protéger les membranes. Enfin, pour être considérée comme potable, l'eau dessalée par osmose inverse doit subir des traitements supplémentaires. Il faut notamment la reminéraliser pour lui redonner les teneurs en minéraux obligatoires selon la réglementation française, et la désinfecter pour éviter une recontamination dans le réseau. En France, une circulaire dans le cadre du plan Vigipirate exige une concentration résiduelle de 0,1 mg/l de chlore libre au robinet du consommateur (Lesquel E, 2009).

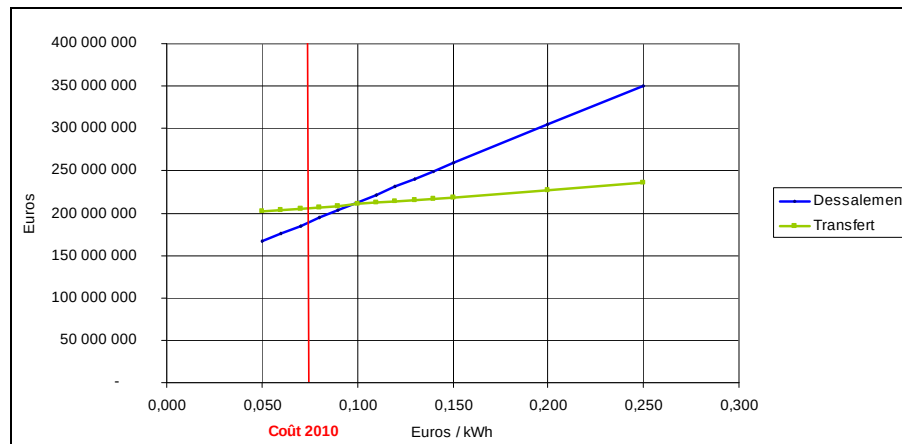
► **Mais la baisse des coûts peut rendre le dessalement concurrentiel avec les transferts**

Aqua Domitia est un projet porté par la Région Languedoc-Roussillon qui consiste à compléter le réseau hydraulique régional grâce au maillage, par une conduite de gros diamètre enterrée, des réseaux alimentés par le Rhône avec ceux alimentés par l'Orb, l'Hérault, le canal du midi ou l'Aude. Dans les années 1990, un projet similaire, « Languedoc-Roussillon-Catalogne » avait initialement été dimensionné pour conduire l'eau du Rhône jusqu'à Barcelone pour sécuriser les ressources en eau de la Catalogne.

En 2008, la Catalogne a officialisé son abandon du projet et son choix de le remplacer par une solution basée sur le dessalement d'eau de mer. La première tranche de la station de Barcelone (500 000m³/jour à terme), a été inaugurée en juillet 2009 (BRL, 2011).

Ce choix a été motivé par des raisons multiples, dont l'une est le coût : la baisse des coûts du dessalement l'a en effet rendu concurrentiel avec celui du transfert depuis le Rhône, comme le montre la figure ci-dessous.

Figure 103 : Coût actualisé des solutions « Transfert » et « Dessalement » pour produire 8,5 Mm3/an dans les Pyrénées-Orientales - Sensibilité au coût de l'énergie électrique (Source : BRLi)



Le dessalement constitue une solution intéressante dans de nombreux pays, mais elle reste coûteuse et il ne faut pas négliger son impact environnemental. Dans chaque cas de figure, l'ensemble des paramètres doivent être pris en compte, en comparaison des autres procédés d'approvisionnement en eau douce.

LA CONSTRUCTION DE GRANDS BARRAGES S'OPPOSE AUX CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES MAIS LA BAISSÉ DES RESSOURCES POURRAIT RELANCER LOCALEMENT CE TYPE DE SOLUTION

Face aux impacts sur le transit sédimentaire et la continuité écologique des rivières, la tendance actuelle est à l'effacement des grands barrages. Toutefois des solutions de ce type ne sont pas exclues pour des zones très tendues, comme l'illustre l'exemple du projet du **barrage de Charlas sur la Garonne**.

Classée en cours d'eau très déficitaire, la Garonne souffre des sécheresses récurrentes affectant la région du sud-ouest. La satisfaction des divers usages économiques et sociaux liés à l'eau tout en préservant l'environnement et la qualité des milieux aquatiques constitue un véritable enjeu dans le secteur. Dans les périodes de pénuries, les mesures prises pour équilibrer la situation (économie, réduction des prélèvements, optimisation des ressources existantes) s'avèrent insuffisantes.

Un ensemble d'actions a été mis en œuvre : Programme de Développement des Ressources en Eau (PDRE), SDAGE, Plans de Gestion d'Étiage (PGE)... Au sein de ces actions, le projet de construction d'un réservoir destiné à stocker de l'eau l'hiver pour la restituer en période d'été a émergé à la fin des années 1990.

À l'issue d'une mission d'inspection générale, le choix du site de Charlas est arrêté pour sa localisation en dérivation de la Garonne et à moindre risque pour l'environnement. Le projet de réservoir est situé dans le département de la Haute-Garonne (31) sur le territoire des communes de Cardheuilac, Charlas, Saint-Lary-Boujean, Saman et Sarremezan, dans le canton de Boulogne-sur-Gesse (Commission Particulière du Débat Public, 2003).

Cette situation, entre les bassins de la Garonne et des rivières de Gascogne, autorise une nouvelle répartition de la ressource en eau et trois fonctions :

- **le soutien d'étiage de l'ensemble de la Garonne**, des Pyrénées jusqu'à l'estuaire, sur 440 km ;
- **le soutien d'étiage de dix affluents** en Hautes-Pyrénées et en Gascogne, regroupés dans le système Neste : Neste, Louge, Save, Gesse, Gimone, Arrats, Gers, les Baïses et Osse ;
- le soutien conjugué aux **économies régionales** du Val de Garonne et de la Gascogne.

La zone d'influence du projet couvre ainsi les deux régions Aquitaine et Midi-Pyrénées, les six départements du Gers, de la Gironde, de la Haute-Garonne, des Hautes-Pyrénées, du Lot-et-Garonne, du Tarn-et-Garonne, ainsi que les communes et les cantons concernés.

Le projet consiste à prélever de l'eau sur la Garonne (sur le barrage hydroélectrique d'Ausson/Pointis de rivière), pendant les hautes eaux hivernales et printanières. L'eau stockée dans le réservoir, serait ensuite redistribuée en été et début d'automne pour alimenter la Garonne et ses affluents.

La capacité prévue pour le réservoir est de 110 millions de m³. Les deux tiers sont affectés au soutien d'étiage de la Garonne, depuis le piedmont pyrénéen (Montréjeau), jusqu'à l'estuaire. Le tiers restant (37 Mm³) est affecté au soutien d'étiage de dix affluents en rive gauche de la Garonne (Commission Particulière du Débat Public, 2003).

Figure 104 : Le projet du barrage de Charlas (Source : Association Vivre en Comminges)



Le projet comprend trois ouvrages :

- ▶ un adducteur de 18 km pour le remplissage du réservoir situé en dérivation. Il serait implanté au droit de l'usine hydroélectrique de la Centrale d'Ausson sur la commune de Pointis de rivière ;
- ▶ un réservoir, d'une capacité de 110 millions de m³, dont la surface maximale serait de 600 ha ;
- ▶ un distributeur de 32 km qui permettrait d'alimenter les sept rivières en Gascogne (Commission Particulière du Débat Public, 2003).

En 2003, le projet de barrage a été soumis à **Débat Public**. A l'issue du débat, dont les conclusions étaient favorables, notamment concernant l'impact du projet sur l'environnement, l'Etat a accordé son autorisation et une partie du financement du barrage. Mais en 2006, le Conseil Général de Haute-Garonne s'est opposé à la construction. Depuis, le projet, très controversé, est en attente, mais n'est pas totalement abandonné.

LES RETENUES EN DÉRIVATION : UNE SOLUTION À ÉTUDIER LOCALEMENT EN ALTERNATIVE À DES GRANDS OUVRAGES

Dans les zones présentant des déficits structurels en eau, les irrigants construisent des retenues de substitution, qui stockent l'eau en période de « hautes eaux » pour une utilisation en période d'étiage, évitant des prélèvements effectués dans le milieu en période sensible.

En mars 2012, le gouvernement avait proposé **deux projets de décrets relatifs à la prise en compte des retenues de substitution pour l'irrigation**, et modifiant la nomenclature des opérations soumises au régime de la police de l'eau annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Le texte consistait, pour les projets de création de retenues d'eau pour l'irrigation, à modifier et relever les seuils d'autorisation des rubriques « plans d'eau », « prélèvements en cours d'eau » et « prélèvements en zone de répartition des eaux », afin d'exonérer de la procédure d'étude d'impact et d'enquête publique les opérations les moins importantes, et donc de faciliter la création de telles retenues. Ainsi, **les retenues collinaires jusqu'à 350 000 m³ auraient été soumises à déclaration, et donc les recours seront interdits**. Contrairement au régime d'autorisation, en vigueur jusque-là, qui imposait une étude d'impact suivie d'une enquête publique, le régime de déclaration ne nécessite qu'une étude d'incidence.

Par ailleurs, **en zone de répartition des eaux (ZRE)**, c'est-à-dire dans les zones où la ressource est en déficit par rapport aux besoins, pour les prélèvements hivernaux qui permettent de remplir les retenues de substitution, **le seuil d'autorisation serait passé de 8 m³/h à 110 m³/h** ou 5% du module (débit moyen inter annuel) du cours d'eau.

Ces décrets auraient considérablement modifié les modalités de gestion de l'offre en eau. Par exemple, dans le Sud-ouest, une politique de développement de nombreuses retenues pour l'irrigation aurait pu constituer une alternative au projet du barrage de Charlas pour sécuriser l'approvisionnement en eau.

Prise pour satisfaire les demandes répétées des agriculteurs depuis les dernières grandes sécheresses, **cette décision avait cependant, à l'inverse, fait réagir les associations de défense de l'environnement.**

En effet, **ces retenues collinaires sont souvent installées au niveau des zones humides** proches des cours d'eau, dans le lit mineur de la rivière, zones où la biodiversité est particulièrement riche. Les zones humides sont ainsi, dans un premier temps, ennoyées, avant que le pompage n'assèche complètement la zone pour l'irrigation des champs. De plus, l'eau de ces retenues est plus chaude et a tendance à s'évaporer car elle est stagnante.

Quelques mois plus tard, en **juillet 2012**, le nouveau gouvernement a décidé **l'abandon de ces deux projets de décrets**. France Nature Environnement a accueilli cette nouvelle en soulignant que « l'abandon de ces projets doit être le point de départ d'une nouvelle réflexion aboutissant à une gestion intégrée de la ressource », « [avec] le développement d'un nouveau modèle agricole basé sur une consommation d'eau réduite, [car] les alternatives existent »¹³.

Il apparaît donc que les retenues de substitution pour l'irrigation constituent un sujet controversé, et également politique, dont le débat est en cours. Elles pourraient constituer des solutions intéressantes, mais l'ensemble de leurs impacts doit être étudié localement, et elles doivent être intégrées à une gestion globale des ressources et des besoins en eau.

¹³ « Retenues d'eau : la France sort la tête de l'eau », article France Nature Environnement du 20 juillet 2012

IL EST NÉCESSAIRE D'Étudier LA FAISABILITÉ DE TRANSFERTS VERS LES ZONES DÉFICITAIRES

Est-il possible d'envisager de nouveaux transferts depuis des ressources « durables » vers des bassins déficitaires ?

L'exemple du Rhône illustre cette interrogation. En effet, le fleuve Rhône, considéré comme une ressource « abondante », est sollicitée pour de très nombreux usages (AEP, irrigation, refroidissement de centrales, navigation, etc.). Le niveau de sollicitation du Rhône par les usages préleveurs augmente avec le temps, et cette tendance qui devrait se poursuivre dans les décennies à venir (nouveaux projets de substitution AEP vers la nappe Rhône, nouveaux projets de transferts).

Des signes montrent d'ores et déjà que le Rhône n'est pas une ressource inépuisable. Ainsi, le refroidissement des centrales thermiques est de plus en plus sensible en raison des baisses de débits d'étiage et des hausses de températures de l'eau, et ce risque devrait s'aggraver avec le changement climatique.

C'est pourquoi, une étude vient d'être lancée pour améliorer la compréhension du fonctionnement du fleuve Rhône à l'étiage et déterminer la capacité du fleuve à satisfaire les usages, dont les milieux aquatiques, à l'étiage. Cette étude aura notamment pour objectif d'**évaluer les marges de manœuvres disponibles pour envisager de nouveaux transferts, tout en respectant les débits d'étiage et en assurant les usages actuels**, notamment la production d'énergie (hydroélectricité et refroidissement CNPE).

5.7 REVOIR LE PARTAGE INTERSECTORIEL DES COÛTS

PROBLÉMATIQUE

La réallocation des ressources entre les différents usages risque d'entraîner des coûts supplémentaires pour certains usagers, ce qui soulève des questions économiques et financières sur le **partage des coûts**.

Par exemple, dans la plaine du Roussillon, les services de l'Etat ont interdit les forages à usage agricole dans la nappe plio-quadernaire, réservant celle-ci à l'usage AEP (elle alimente déjà 80% de la population du département). Par conséquent, les agriculteurs se trouvent face à l'obligation de réaliser des investissements pour mobiliser d'autres ressources (adduction depuis des cours d'eau, canaux, réservoirs, etc.). Or, ces infrastructures hydro-agricoles ne peuvent pas être financées directement par les agriculteurs.

Cet exemple illustre la nécessité de conduire une réflexion sur « **qui paie quoi** » et « **quel est le juste partage des coûts** », en mettant au jour les transactions croisées entre secteurs et développant des tarifications plus justes.

SITUATION ACTUELLE

L'ensemble de la filière de gestion des ressources en eau a aujourd'hui besoin de nouveaux paradigmes et un nouveau modèle économique.

En France, le débat récurrent sur le juste prix de l'eau (Conseil d'Etat, 2010a), qui fait écho aux modes de gestion pour l'eau municipale (« régie » *versus* « délégation »), rend compte des mêmes difficultés que dans les autres pays de l'OCDE pour la fourniture, de façon durable, d'un service public de première nécessité (OCDE, 2010).

Ce débat masque les problèmes que rencontrent les collectivités pour établir un diagnostic, partagé par l'ensemble des usagers (agricoles, domestiques, industriels), sur **l'allocation des ressources** d'une part, et sur les **coûts générés par la mobilisation, l'entretien et la préservation des milieux aquatiques** sollicités d'autre part.

La montée en puissance des communautés d'agglomération est l'occasion de poser les problèmes de territoire pertinent pour harmoniser la tarification de l'eau et de l'assainissement. Mais cette réalité politique se heurte au fait que les territoires de gestion et les territoires de masse d'eau ne se superposent généralement pas. De plus, ces territoires de gestion sont mouvants, et les alternatives d'accès à l'eau sont multiples et difficiles à comparer.

En Europe, La **Directive Cadre européenne sur l'Eau** (DCE) est dans ce contexte perçue comme un élément qui cristallise l'opposition entre usagers par le fait qu'elle incite à une gestion par des contributions appropriées des usagers (notions de récupération des coûts, notamment des coûts environnementaux, et de tarifications incitatives). Son article 9 requiert des États membres qu'ils rassemblent les données disponibles concernant, i) la caractérisation économique des activités liées à l'eau ; ii) la tarification des services ; iii) la récupération appropriée des coûts des services et des coûts pour l'environnement, en application du principe pollueur – payeur.

Par l'engagement des Etats Membres à atteindre le bon état écologique des milieux aquatiques, elle impose donc de rebattre largement les cartes quant à l'intensité d'utilisation des ressources en eau, et **impacte donc, à terme, les modes de mobilisation, distribution, gestion de l'eau.**

PISTES D'AVENIR

Dans ce cadre, il serait intéressant que les acteurs de la filière de gestion des ressources en eau puissent disposer d'**outils d'aide à la décision**, qui permettraient de définir une tarification répondant à une exigence de gestion soutenable et concertée des ressources, des ouvrages et des territoires impactés.

Ces outils devront reposer sur une réflexion visant à sortir des débats réducteurs (Délégation de Service Public ou régie) et de l'approche séparée des eaux potables, industrielles et des eaux destinées à l'irrigation, afin d'**approfondir la notion de juste prix de l'eau.**

Dans ce cadre, devront être recherchés :

- ▶ les prix qui permettent d'assurer l'amortissement, l'entretien et le renouvellement des investissements ;
- ▶ des tarifs qui répartissent les charges entre les utilisateurs et les bénéficiaires directs et indirects en fonction des coûts et bénéfices induits par chacun,
- ▶ des tarifs qui prennent en compte des objectifs de prix abordable pour un service de base universel.

Cette réflexion pourrait également participer à une projection vers de nouvelles conditions financières d'accès à l'eau en général (débits prélevables définis, rejets polluants plus contrôlés, changement climatique, évolutions sociétales, etc.).

Elle devra intégrer l'ensemble des usages de l'eau sur un territoire donné et explorer le rôle que peut jouer la tarification dans la prévention des périodes de tensions. Elle permettra de rendre lisible pour tous une décomposition du prix facturé entre les différents facteurs de coût.

La construction de tels outils devra se faire dans le cadre d'une **démarche participative**, incluant les différents acteurs en présence sur les terrains étudiés, afin de souligner les logiques en présence et les interdépendances, souvent sources de conflits.

Par ailleurs, ces questions sont au cœur d'un **débat économique complexe** : chaque usage doit-il payer sa propre part de l'amortissement, de l'entretien et du renouvellement des investissements, ou la collectivité doit-elle abonder par des mécanismes d'aide ? La question se pose notamment pour l'agriculture, pour laquelle les coûts d'investissements sont très élevés, et où le **report de ces coûts sur l'usager** entraînerait un prix de l'eau agricole très élevé. Certains économistes préconisent de faire payer ce coût aux agriculteurs, et en compensation, de diversifier leurs revenus, par exemple avec la prise en compte de la **fourniture de services environnementaux**. A l'inverse, d'autres estiment que dans le cas d'investissements importants, le coût de ceux-ci doit être **financé par la collectivité**, en ne laissant que le coût de l'exploitation à la charge des agriculteurs.

Une telle prise en compte des paramètres économiques, sociaux, et environnementaux, permettra une meilleure utilisation globale des ressources et un maintien de la qualité des écosystèmes aquatiques.

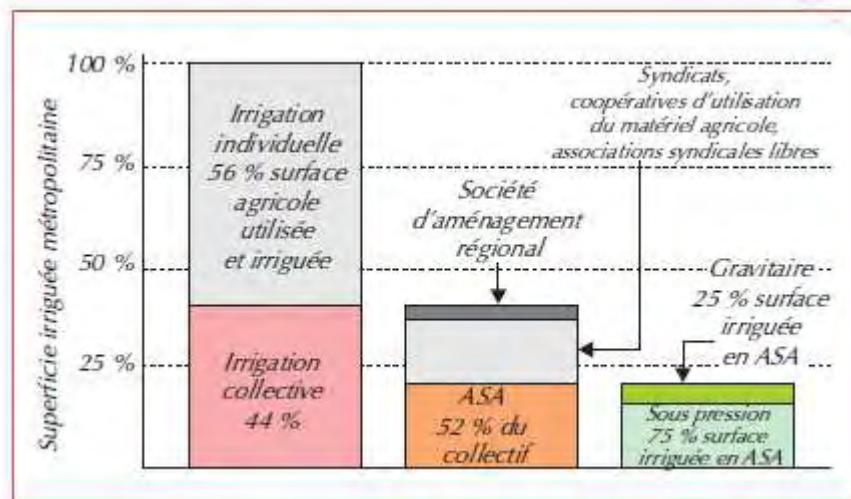
5.8 GOUVERNANCE : STRUCTURER LA RÉPONSE AGRICOLE SUR LES QUESTIONS D'EAU

APPUYER LOCALEMENT LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES LOCALES D'IRRIGATION

Sur un plan technique, l'irrigation en France est gérée localement, pour moitié de façon individuelle, et pour moitié de façon collective. Les structures de gestion collective de l'irrigation sont variées (Associations Syndicales Autorisées, Sociétés d'Aménagement Régional, Associations Syndicales Libres, structures communales, syndicats, ...). Environ 49 000 exploitations irriguent individuellement, et 46 000 irriguent grâce à des réseaux collectifs (RGA, 2000). Près de 1900 ASA gèrent aujourd'hui 1/5 de la superficie irriguée en France, dont environ un millier sont plus que centenaires (Garin, 2002).

Figure 105 : Types d'irrigation, structures de gestion et modes d'irrigation en France

(Source : Marc Polge ASA Info)



Sur un plan administratif, la procédure d'autorisation/déclaration des prélèvements est centralisée : tout prélèvement doit s'enregistrer auprès des services de l'Etat selon la procédure adaptée (déclaration, autorisation). Les « droits d'eau » antérieurs à 2006 – et certains remontent à plusieurs centaines d'années – doivent être régularisés selon la nouvelle procédure avant 2014 (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques, 2006). Dans les zones de tension sur la ressource en eau (bassins versants déficitaires, zone de répartition des eaux), il est prévu par la loi de mettre en place localement des **organismes uniques de gestion de l'irrigation**, qui devront répartir les volumes d'eau prélevables entre les irrigants, d'un point de vue réglementaire.

Des contraintes de plus en plus fortes pèsent sur les irrigants, notamment environnementales et réglementaires. Ces contraintes sont un facteur de précarité s'ajoutant aux contraintes économiques. Les petites structures (fonctionnant souvent sur le mode du bénévolat) et particuliers n'ont pas toujours les moyens techniques et juridiques de s'adapter à ces nouvelles contraintes et pourraient ne plus arriver à y faire face individuellement.

Il est souhaitable d'**accompagner les irrigants dans ces changements**. Il est intéressant pour cela d'agir à 2 niveaux :

- d'une part un **appui à la structuration des irrigants**,
 - Structuration par point de prélèvement pour des prélèvements partagés entre plusieurs utilisateurs. La structure en ASA présente un intérêt fort (stabilité, respect des critères de durabilité selon Ostrom), malgré des difficultés à s'adapter à des évolutions rapides de contraintes, et sa sollicitation de la subvention publique pour ses investissements. Mais le montage de telles structures est souvent assez lourd, et on peut leur préférer le statut d'Associations Syndicales Libres dans un premier temps.
 - Structuration par ressource (nappe, bassin versant), de type Syndicat Mixte, Union d'ASA, voire ASA pour des prélèvements individuels, etc.
- et d'autre part, un **accompagnement dans les nécessaires évolutions** du cadre réglementaire (mise en conformité, partage des volumes prélevables) et de leurs pratiques (plus respectueuses de l'environnement, plus économes, portage de projets collectifs de sécurisation comme les retenues collinaires, faire-valoir d'un positionnement dans un rapport de forces...).

Cette recommandation est en particulier valable dans les zones difficiles (zones de montagne, par exemple) ou dans les zones où les contraintes liées à la ressource en eau risquent de déstabiliser des exploitations déjà en situation précaire, et de mettre en péril les autres fonctionnalités de l'agriculture (fixation d'actifs en zone rurale, maintien du paysage, rôle dans la biodiversité ...).

Les aspects institutionnels sont régulièrement négligés dans les politiques, car ils ne se traduisent pas par des indicateurs concrets (x litres d'eau économisés, x surfaces irriguées, ...). Pourtant, ils représentent souvent la condition de conduite de changement, et de durabilité des projets.

Exemple 1 : les initiatives réussies du bassin de la Mare

La Mare (département de l'Hérault) est un affluent du fleuve Orb, qui était marquée depuis plusieurs années par des étiages particulièrement marqués, des interruptions d'écoulement et de fortes mortalités piscicoles, dans un contexte de conflits d'usages (irrigation, eau potable, pêche, loisirs). Il est prélevé par plusieurs dizaines de petits canaux gravitaires. Une démarche exemplaire de gestion, structuration et modification concertée des petits canaux (ainsi que des prélèvements en eau potable) a été mise en place, et a abouti, en 6 ou 7 ans, à des progrès spectaculaires en termes de gestion concertée (économies d'eau, augmentation des débits laissés en rivière, solidarité entre agriculteurs...). Un programme d'animation et de concertation sur 5 ans par un technicien de rivière a permis de mettre en œuvre une démarche de sensibilisation autour de la protection du patrimoine, d'appuyer la structuration institutionnelle des agriculteurs, de mettre en place des améliorations techniques, et de créer une émulation collective autour des économies d'eau, tout en maintenant le fonctionnement des systèmes d'irrigation. Les résultats obtenus ont été remarquables en termes de réduction des pressions sur les milieux aquatiques (régularité des débits d'amont en aval, remontée des débits d'étiage de 25% en moyenne, ...)

Exemple 2 : Les contrats de canaux : une reconnaissance des aspects multi-usages des canaux et une participation des usagers

Un contrat de canal est une démarche portée par la structure gestionnaire d'un canal d'irrigation, et qui a pour objectif de mettre en place une gestion globale et cohérente de la ressource en eau et des ouvrages. Il s'agit d'une démarche concertée, élaborée et signée par l'ensemble des partenaires (maîtres d'ouvrages, financeurs, etc.), qui doit aboutir à la définition et à l'application de deux documents :

- ▶ une charte d'objectifs ;
- ▶ un plan de gestion de la ressource et des ouvrages.

Le contrat de canal doit permettre, par la reconnaissance de l'ensemble des usages et leur formalisation, et par la participation de l'ensemble des acteurs, un meilleur fonctionnement de la structure et des ouvrages, notamment au vu des évolutions réglementaires et territoriales (apparition de nouveaux usages, etc.) auxquelles ces canaux, souvent centenaires, sont confrontés. Cette démarche se développe progressivement dans le sud de la France, et semble constituer une piste intéressante vers l'amélioration de la gestion collective des ressources en eau.

UNE NÉCESSAIRE GESTION INTÉGRÉE ENTRE AGRICULTURE, GESTION DE L'EAU ET URBANISATION

Il est impératif de croiser l'ensemble des aspects liés à l'aménagement du territoire : urbanisme, agriculture, hydroélectricité, eau potable, environnement, etc. dans les schémas directeurs.

Les questions d'eau et d'agriculture ont du mal à être intégrées dans la planification territoriale : elles sont souvent vues comme des contraintes à lever pour le développement d'un territoire, et non comme des éléments de réflexion à part entière :

- ▶ La question du potentiel d'une ressource en eau entre rarement dans la réflexion sur les capacités d'accueil d'un territoire : la réflexion est menée a posteriori pour adapter les ressources en eau au besoin (transfert d'eau coûteux sur de longues distances, ...).
- ▶ Si on dénombre 30 000 ha irrigués supplémentaires par an en France depuis 1970, (comme vu plus haut, principalement dans les régions céréalières du Centre-Ouest et du Sud-Ouest du pays), les régions méditerranéennes, pourtant soumises aux plus forts déficits hydriques, ont vu leurs surfaces irriguées diminuer dans le même temps, (1 700 ha/an en région PACA et LR depuis 25 ans). **En zone méditerranéenne, l'urbanisation des périmètres en plaine constitue l'essentiel des pertes de surfaces irrigables.** S'y ajoute une disparition progressive des canaux de montagne, dont le maintien est en effet rendu difficile par des contraintes et des coûts d'entretien devenus incompatibles avec les usages qui en sont faits aujourd'hui (AIRMF, 2009).

Il est nécessaire de développer gestion intégrée entre agriculture, gestion de l'eau et urbanisation.

Des outils existent déjà à un niveau local, pour intégrer les questions liées à l'eau. Leur fonctionnement pourrait être renforcé, notamment en termes de compatibilités entre les documents de gestion de l'eau, les trames vertes et bleues et les documents d'urbanisme.

- ▶ Les SAGE (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux) impliquent des élus dans leur élaboration et leur mise en œuvre. Les documents d'urbanisme (SCOT, PLU, ...) doivent être rendus compatibles aux SAGE. Cependant, cette obligation n'est pas toujours respectée dans la pratique.

- Les Trames bleues, réseaux écologique et paysager constitués par les cours d'eau et les zones humides, font l'objet, avec les trames vertes, d'une mesure phare du Grenelle Environnement qui a pour but d'enrayer le déclin de la biodiversité au travers de la préservation et de la restauration des continuités écologiques. Les Trame verte et bleue constituent un outil d'aménagement du territoire qui vise à reconstituer un réseau écologique cohérent, à l'échelle du territoire national, pour permettre la survie des espèces animales et végétales, et permettre le maintien des services écosystémiques. La loi Grenelle II prévoit des modifications du code de l'urbanisme pour intégrer la Trame bleue dans les documents d'urbanisme.

On observe actuellement que la conception de l'aménagement du territoire tend progressivement à s'inverser : les enjeux sociaux et environnementaux sont définis en premier lieu, puis les projets doivent s'insérer dans ce cadre, au lieu que la conception du projet intervienne d'abord, puis que l'on cherche à lever les contraintes sociales et environnementales associées.

Ce modèle est largement insufflé par les outils réglementaires (trames vertes et bleues, SAGE à la portée réglementaire renforcée...), mais **dépend encore du volontarisme du maître d'ouvrage**, qui peut choisir ou non de réclamer une approche intégrée. Ainsi, RFF (Réseaux Ferrés de France) fait preuve, dans le cadre de la réalisation des études d'impacts des nouvelles Lignes à Grande Vitesse, d'une volonté stratégique d'exemplarité en la matière.

De plus, des difficultés subsistent dans la mise en œuvre de telles démarches. En particulier, les échelles et les périmètres auxquels ces différents outils s'appliquent et se raisonnent sont encore souvent différents : Trames verte et bleue aux échelles nationales, régionales et locales, gestion de l'eau par bassin versant, gestion de l'urbanisme par territoire, etc. Ces différentes échelles compliquent souvent l'implication et l'interaction des acteurs, notamment politiques, pour bien croiser les thématiques et garantir leur prise en compte.

Des outils intéressants pour croiser les différentes entrées de l'aménagement du territoire (approche gestion de l'eau, approche fonctionnalité écologique, approche agriculture, approche urbanisme) tendent à émerger aujourd'hui. Toutefois, la mise en œuvre conjointe de ces outils, dans le cadre d'une véritable approche intégrée, en est encore à ses balbutiements. Il apparaît fortement souhaitable de **promouvoir ces approches intégrées auprès des maîtres d'ouvrages et des pouvoirs publics, tout en favorisant les échanges interdisciplinaires entre ces différents domaines**.

Par ailleurs, d'autres entrées pourraient être développées :

- **Le multi-usage de l'eau au niveau d'une ressource**. Des initiatives impliquant usagers et décideurs existent à un niveau local par le biais de contrat de nappe, contrat de rivière, contrat de canal ;
- **La prospective territoriale**, notamment pour les outils de planification à plus large échelle, en mêlant dans les groupes de réflexion des décideurs, des représentants du monde agricole, des usagers de l'eau et des environnementalistes ;
- **La préservation des terres au meilleur potentiel agronomique**, impliquant notamment la maîtrise publique de la rente foncière afin d'éviter la captation et la spéculation. Sur le modèle des réserves naturelles et parcs naturels nationaux ou régionaux, il pourrait être judicieux de créer des réserves agricoles ou des parcs agricoles nationaux dont la vocation serait préservée et le mode d'exploitation pourrait même être progressivement orienté vers le bail public. Les outils existants de protection du foncier agricole **ZAP (Zones Agricoles Protégées)** et, en milieu périurbain **PAEN (Périmètres de protection et de mise en valeur des Espaces Agricoles et Naturels périurbains)** pourraient, à ce titre être davantage utilisés, ainsi que la création de **Zones d'Aménagement Différé** (droit de préemption des collectivités ou sociétés d'économie mixte d'aménagement).

CONCLUSION

A l'horizon 2030, on ne devrait pas noter en France de rupture structurelle majeure dans l'équilibre besoins-ressources en eau :

- ▶ Le changement climatique aura vraisemblablement une influence sur les ressources en eau. Toutefois, à l'échelle nationale, celles-ci ne devraient pas connaître une pénurie généralisée. Par ailleurs, des déterminants divers, en particulier politiques, interviennent également dans la gestion du bilan besoins/ressources et peuvent l'influencer.
- ▶ Les prélèvements en eau ne devraient pas connaître d'augmentations notoires.

Cette conclusion est toutefois à nuancer :

- ▶ Les conséquences du changement climatique vont se poursuivre au-delà de cet horizon et certainement s'aggraver. Des mesures structurelles pour la période post 2030 doivent ainsi d'ores et déjà être engagées, en particulier en termes d'adaptation de l'agriculture à une France plus sèche.
- ▶ Des régions subiront certainement des tensions plus importantes. Ce sera en particulier le cas du sud-ouest où des baisses importantes de l'offre devraient survenir alors qu'une hausse importante de la population est attendue (Aquitaine, Midi-Pyrénées) et que l'agriculture a très fortement augmenté ses prélèvements depuis 40 ans.

Le présent rapport formule **un certain nombre de recommandations** dans l'optique de maintenir un bilan besoins/ressources en eau équilibré, permettant la satisfaction de l'ensemble des usages de l'eau tout en assurant le respect des milieux aquatiques. Les principaux éléments sont repris dans les paragraphes suivants :

MIEUX CONNAÎTRE ET DIFFUSER LES DONNÉES NÉCESSAIRES AU SUIVI DU CYCLE HYDROLOGIQUE

L'étude des ressources en eau, et en particulier des impacts du changement climatique sur celles-ci, nécessite pour l'ensemble des acteurs travaillant dans ce domaine (instituts de recherche, gestionnaires, bureaux d'études, etc.) de disposer de données complètes et homogènes. C'est pourquoi, l'étude insiste sur l'importance de la **connaissance** à un pas de temps homogène (mensuel, par exemple), de la **bancarisation** et de la **mise à disposition gratuite** de ces données. Ceci concerne les **données climatiques, les données de prélèvement, et les données de suivi hydrologique des ouvrages hydrauliques** (les données de débits étant déjà disponibles).

SOUTENIR LES PROJETS DE RECHERCHE SUR LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ENCOURAGER LE DÉVELOPPEMENT D'ÉTUDES PROSPECTIVES TERRITORIALES SUR LES POSSIBILITÉS D'ADAPTATION

Dans la continuité de la recommandation précédente, il apparaît également indispensable de **développer les capacités de recherche** :

- ▶ D'une part en matière de recherche sur **les impacts du changement climatique sur les ressources en eau**, de sorte à affiner les résultats obtenus jusqu'à présent, en particulier à l'échelle locale, et à réduire dans la mesure du possible les incertitudes associées aux projections ;
- ▶ D'autre part dans le domaine de **l'analyse des conséquences du changement climatique sur l'activité socio-économique des territoires**, par le développement de démarches prospectives territoriales, afin d'identifier les secteurs économiques vulnérables et d'ores et déjà élaborer des stratégies territoriales d'adaptation (orientations, investissements, etc.).

INCITER LES COLLECTIVITÉS LOCALES À OPTIMISER LES PRÉLÈVEMENTS DESTINÉS À L'EAU POTABLE

L'amélioration du bilan besoins/ressources passe par la **réalisation d'économies d'eau** (levier d'action axé sur la réduction de la demande), et ce, dans tous les secteurs. En ce qui concerne l'eau potable, l'optimisation des prélèvements peut se faire principalement par l'amélioration du rendement des réseaux, la réduction des consommations des ménages, et la réduction des consommations des sites urbains. Il existe à cet effet de nombreux outils techniques et/ou réglementaires à destination des exploitants, des maîtres d'ouvrages, des usagers (professionnels et particuliers). Toutefois, la mise en œuvre de ces outils repose en grande partie sur les **volontés politiques locales**. On observe que des **dynamiques encourageantes** émergent dans ce sens, notamment au **niveau régional**.

ADAPTER L'AGRICULTURE À UNE FRANCE PLUS SÈCHE EN FAVORISANT LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT DANS LE DOMAINE DES ÉCONOMIES D'EAU

Les projections climatiques indiquent que dans les décennies à venir, il est vraisemblable que **la fréquence des sécheresses devrait augmenter**. Dans le domaine de l'agriculture, il est donc primordial de les considérer comme un risque structurel à intégrer dans les pratiques, en mettant en place des **adaptations des systèmes de cultures**. Pour cela, il faut **soutenir la recherche et le conseil dans le domaine de l'agriculture et de l'utilisation de l'eau agricole**.

On distingue les **adaptations de court-terme**, qui peuvent être mises en place au cours de la campagne, pour pallier une sécheresse ponctuelle, et pour lesquelles le conseil agricole et les outils prévisionnels jouent un rôle-clé. Les **adaptations de long-terme**, interviennent, elles, en amont de l'implantation de la culture, voire à l'échelle de plusieurs années, pour concevoir des systèmes de culture intrinsèquement plus résistants, et font largement appel à la recherche (développement de stratégies d'adaptation durables des systèmes de culture (variétés, assolements, etc.) et de stratégies de gestion territoriale de l'eau). Enfin, le développement de l'utilisation de **matériel d'irrigation plus économe en eau** (pivots) constitue un levier intéressant.

RENFORCER LA MISE EN ŒUVRE INTERMINISTÉRIELLE DES POLITIQUES PUBLIQUES AFIN DE DONNER DE LA COHÉRENCE DANS LES DÉBATS SUR LE RÔLE DE L'AGRICULTURE ET SUR LE PARTAGE DE L'EAU

Au-delà des leviers techniques, l'adaptation de l'agriculture à un contexte climatique changeant, à des contraintes croissantes en termes de ressources en eau disponibles, à des mutations sociétales à l'échelle nationale voire européenne et mondiale, impliquant de nouvelles fonctions pour l'agriculture, nécessite une **cohérence dans les débats sur le rôle de l'agriculture à l'échelle nationale, en particulier dans le cadre de la gestion de l'eau**. C'est pourquoi, le présent rapport souligne **l'importance d'une logique interministérielle dans la mise en œuvre des politiques publiques**, afin de permettre l'intégration l'ensemble des enjeux et des contraintes associés à l'agriculture française d'aujourd'hui, notamment dans le cadre de la gestion de l'eau.

Une telle cohérence permettrait de renforcer d'autant plus **les stratégies d'adaptation de l'agriculture à l'échelle territoriale** qui se mettent en place progressivement et qu'il convient de développer : solidarités territoriales céréaliculteurs-éleveurs pour la sécurisation fourragère, développement de l'agro-écologie, etc.

ETUDIER L'OPPORTUNITÉ DES SOLUTIONS DE SÉCURISATION D'APPROVISIONNEMENT EN EAU

Outre la réduction de la demande par la réalisation d'économies d'eau, le bilan besoins/ressources peut être modifié par l'augmentation de l'offre en eau, c'est-à-dire la **mobilisation de nouvelles ressources**. Dans certains contextes, les **techniques alternatives** (réutilisation des eaux usées, dessalement), pourraient constituer des solutions partielles pour l'approvisionnement en eau, et il convient d'étudier leur opportunité localement. Par ailleurs, dans certaines zones particulièrement tendues, telles que le Sud-ouest, la **construction de grands barrages, de retenues collinaires ou de transferts** pourrait être proposée. Toutefois, il s'agit de sujets controversés, et très politiques, qui font actuellement l'objet de nombreux débats.

REVOIR LE PARTAGE INTERSECTORIEL DES COÛTS

La réallocation des ressources entre les différents usages risque d'entraîner des coûts supplémentaires pour certains usagers, ce qui soulève des questions économiques et financières sur le **partage des coûts** : sur l'**allocation des ressources** d'une part, et sur les **coûts générés par la mobilisation, l'entretien et la préservation des milieux aquatiques** sollicités d'autre part. L'ensemble de la filière de gestion des ressources en eau a aujourd'hui besoin de nouveaux paradigmes et un nouveau modèle économique.

Dans ce cadre, il serait intéressant que les acteurs de la filière de gestion des ressources en eau puissent disposer d'**outils d'aide à la décision**, qui permettraient de définir une tarification répondant à une exigence de gestion soutenable et concertée des ressources, des ouvrages et des territoires impactés. La construction de tels outils devra se faire dans le cadre d'une **démarche participative**, incluant les différents acteurs en présence sur les terrains étudiés. Une telle prise en compte des paramètres économiques, sociaux, et environnementaux, permettra une meilleure utilisation globale des ressources et un maintien de la qualité des écosystèmes aquatiques.

GOVERNANCE : STRUCTURER LA RÉPONSE AGRICOLE SUR LES QUESTIONS D'EAU

Des contraintes de plus en plus fortes pèsent sur les irrigants, notamment environnementales et réglementaires. Il est souhaitable d'**accompagner les irrigants dans ces changements**, à la fois en favorisant leur **structuration institutionnelle**, et en les assistant dans les **évolutions nécessaires liées au cadre réglementaire**.

Par ailleurs, il est impératif de croiser l'ensemble des aspects liés à l'aménagement du territoire dans les schémas directeurs, et en particulier de **développer gestion intégrée entre agriculture, gestion de l'eau et urbanisation**. Des outils intéressants pour croiser les différentes entrées de l'aménagement du territoire (approche gestion de l'eau, approche fonctionnalité écologique, approche agriculture, approche urbanisme) tendent à émerger aujourd'hui (SAGE, trames bleues, etc.). Toutefois, la mise en œuvre conjointe de ces outils, dans le cadre d'une véritable approche intégrée, en est encore à ses balbutiements. Il apparaît fortement souhaitable de **promouvoir ces approches intégrées auprès des maîtres d'ouvrages et des pouvoirs publics, tout en favorisant les échanges interdisciplinaires entre ces différents domaines**.

Bibliographie

- AEAG, Smegreg, OIEau. (2005). *Connaissance et maîtrise des pertes dans les réseaux d'eau potable*.
- AFIP, CFPPA Montmorot. *Construire ensemble des circuits alimentaires de proximité. Guide à destination des élus et des animateurs de territoire*.
- Agence de l'Eau RM&C. *Etudes de détermination des volumes maximums prélevables*. diaporama.
- Agreste. (2010). *L'artificialisation atteint 9% du territoire en 2009*. Agreste primeur n°246.
- Agreste. (2007). *L'irrigation du maïs mise à mal par les sécheresses*. Agreste primeur n°194.
- Allen C.D. (2009). *Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ?* FAO Unasylva 231/232 vol. 60.
- Amen JF. (2011). *Fiche variable « PAC et politique agricole mondiale »*. Garonne 2050, Etude prospective sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin de la Garonne.
- AND International, Cemagref. (2006). *L'irrigation sur le bassin Seine-Normandie. Etat des lieux et prospective*. AESN.
- Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises. (2009). *Le poids économique, social et environnemental de l'irrigation dans les régions méditerranéennes françaises*.
- Balny P., Beth O., Verlhac C. (2009). *Protéger les espaces agricoles et naturels face à l'étalement urbain*.
- Balsan S, Chambre d'Agriculture Languedoc-Roussillon. (2011). *Irrigation de la vigne en Languedoc-Roussillon : des besoins émergents*. Séminaire projet WINETech.
- Barbut, L., Poux, X. (2000). *Impact environnemental de la culture du maïs dans l'Union européenne : étude de cas sur le bassin de l'Adour*.
- Bates et al. (2008). *Le changement climatique et l'eau, document technique VI du GIEC*. GIEC.
- Bellon S, Olivier G. (2011). *L'agroécologie en France : émergence, acceptation et développements*. INRA SAD Ecodéveloppement.
- BIPE. (2011). *Prospective socio-économique et démographique, Rapport d'étape n°3*. Projet MEEDTL Explore 2070.
- BRGM, BRLi, HSM, Météo France. (2010). *VULCAIN : Vulnérabilité des Hydrosystèmes soumis au Changement Global en zone Méditerranéenne*. Projet ANR .
- Brisson N., Levrault F., éditeurs. (2010). *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME.
- BRL. (2011). *Le dessalement d'eau de mer : quelques éléments d'éclairage*. Débat public Aqua Domitia.
- BRL. (2007). *Part d'eau potable substituée par de l'eau brute renouvelable chez les particuliers : étude de cas*.

- BRLi – Météo France – Irstea. (2011a). *Lot Hydrologie de Surface*. Projet MEDDTL Explore 2070 .
- BRLi. (2011). *Proposition et évaluation de solutions destinées à mobiliser des ressources en eau complémentaires sur le département des Pyrénées-Orientales*. Conseil Général 66.
- BRLi. (2012). *Soutien d'étiage de la Garonne. Etude de faisabilité en vue de la création de retenues de réalimentation. Phase 1 étape 1*. Agence de l'eau Adour-Garonne.
- Buisson G. (2005). *Les effets de la réforme de la PAC de juin 2003 sur la consommation par l'agriculture*.
- Carrière I. (1998). *Evaluation ex-post du programme d'aménagement hydroagricole du Bas-Rhône Languedoc. Le cas du périmètre Est de la concession d'Etat*.
- Cemagref. (2003). *Guide pratique de l'irrigation*. 3e édition.
- Cemagref. (2008). *Les outils de la gestion patrimoniale des réseaux d'alimentation en eau potable*. Sinfotech, les fiches savoir-faire.
- Cemagref, EDF. (2009). *IMAGINE 2030 : Climat et aménagements de la Garonne : quelles incertitudes sur la ressource en eau en 2030 ?*, MEEDM, Agence de l'Eau Adour-Garonne.
- CGAAER, CGEDD. (2009). *Rapport d'expertise sur les étiages de la Garonne*. Rapport n°99.
- Chabriat G, Mollier P. (2011). *Gérer le manque d'eau en agriculture*. INRA Magazine n°18 octobre 2011.
- Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône. (2006). *L'approvisionnement des villes et le développement des circuits courts*. L'agriculteur provençal n°1233.
- Comité de bassin Seine-Normandie. (2009). *Les orientations fondamentales du SDAGE pour répondre aux enjeux du bassin*. SDAGE 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.
- Commissariat Général au Développement Durable. (2011). *L'artificialisation des sols s'opère aux dépens des terres agricoles*. Le point sur n°75, SOeS.
- Commissariat Général au Développement Durable. (2012). *Les prélèvements d'eau en France en 2009 et leurs évolutions depuis dix ans*. Chiffres et statistiques n°290, SOeS.
- Commission Particulière du Débat Public. (2003). *Débat Public sur le projet de réservoir de soutien d'étiage de Charlas*. Site du Débat Public.
- Conseil de prospective européenne et internationale pour l'agriculture et l'alimentation, sous la présidence de Christian de Boissieu. (2007). *Perspectives pour l'agriculture française et la PAC*. MAP, DGPEI, SDEPEO BEPE, La Documentation Française.
- Conseil d'Etat. (2010a). *L'eau et son droit*. Rapport annuel du Conseil d'Etat, volume 2.
- Conseil Economique, Social et Environnemental. (2009). *Les usages domestiques de l'eau*. Avis présenté par P. de Viguerie.
- Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER). *Rapport annuel 2010*. MAAPRAT.
- Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER). (2010). *Rapport Prospective PAC 2020*.
- Conseil Général de l'Hérault. (2010). *Guide sur les ressources de substitution*.

Conseil régional LR. (2012). *Programme régional de développement de la concession hydraulique régionale Aqua Domitia : conclusion du débat public*. Délibération du 6 avril 2012.

Conseil Régional LR. (2012). *Programme régional de gestion durable, concertée et intégrée de la ressource en eau : service public régional de l'eau, priorités pour 2012*. Délibération du 6 avril 2012.

DATAR. (2003). *Quelle France rurale pour 2020 ? Contribution à une nouvelle politique de développement rural durable*. La Documentation Française.

Dorchies et al. (2012). *Impacts des changements climatiques sur la gestion des barrages-réservoirs du bassin de la Seine. Premiers résultats du projet Climaware*. Actes du colloque IS Rivers, 26-28 juin 2012, Lyon.

EDF Division Production Nucléaire, Vicaud A. (2007). *Les besoins en eau de refroidissement des centrales thermiques de production d'électricité*. SHF.

Expertise Interministérielle. (2010). *Evaluation du coût des impacts du changement climatique et des adaptations en France*. Rapport des groupes transversaux.

Expertise Scientifique Collective INRA. (2006). *Sécheresse et Agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*. INRA, MAP.

Fernandez S, Bouleau G, Treyer S. (2011). *Reconsidérer la prospective de l'eau en Europe dans ses dimensions politiques*. Développement durable et territoires, vol2 n°3.

Hydratec-BIPE-Gerpa. (2005). *Elaboration de scénarios d'évolution des besoins en eau à comparer avec la disponibilité des eaux superficielles du bassin Seine-Normandie*. AESN.

IFEN. (2005). *Les prélèvements d'eau en France et en Europe*. Les données de l'environnement n°104.

IFEN. (2004). *L'état des eaux souterraines en France. Aspects quantitatifs et qualitatifs*. Etudes et travaux n°43.

IFP Energies nouvelles. (2011). *L'eau pour l'électricité*.

INSEE Aquitaine, BRGM, Smegreg. (2011). *En Gironde, la gestion durable de l'eau intégrera la dynamique des territoires*. INSEE quatre pages n°197.

INSEE. *L'essentiel sur l'agriculture en Alsace*. Agriculture-Production.

INSEE, Léon O., pôle Emploi-Population. (2010). *La population des régions en 2040 : les écarts de croissance démographique pourraient se resserrer*. INSEE Première.

La Dépêche. (2007). *Le barrage de Charlas refait surface*.

Lamblin V, Cheung-Ah-Seung E. (2011). *Fiche variable "Mix énergétique"*. Projet Garonne 2050.

Lesquel E. (2009). *Dessaler l'eau de mer : une solution d'avenir ?*. La Gazette des Communes.

Mahona B et al. (2008). *Impacts des évolutions climatiques sur les activités d'EDF (projet IMPEC)*. EDF R&D.

MAP. (2009). *Rapport du Groupe de Travail "Circuits courts de commercialisation"*.

Moisselin et al. (2002). *Les changements climatiques en France au XXe siècle - Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations*. La Météorologie n°38.

Mora O., (dir.), Aubert F., Frémont A., Gauvrit A., Heurgon E., Hubert B., Riba G., Torre A. (2008). *Les nouvelles ruralités en France à l'horizon 2030*. Rapport du groupe de travail Nouvelles ruralités, Prospective INRA.

Moulin CH. (2011). *Accompagner l'adaptation des systèmes d'élevage périméditerranéens aux changements et aléas climatiques*. Projet PSDR, Régions Languedoc-Roussillon, Rhône-Alpes et Midi-Pyrénées.

Nauges C, Thomas A. (2000). *Dynamique de la consommation d'eau potable des ménages : une étude sur un panel de communes françaises*. Economie et prévision n°143-144, 2000-2-3. Economie de l'environnement et des ressources naturelles pp 175-184.

Nauges C, Whittington D. *Estimation of water demand in developing countries: an overview*.

OCDE . (2010). *Des mécanismes de financement innovants pour le secteur de l'eau*.

OCDE. (2010). *Le prix de l'eau et des services d'eau potables et d'assainissement*.

Pagé, Terray, Boé. (2008). *Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii SCRATCH08*.

Percebois J. (prés.), Mandil C. (vice-prés). (2012). *Rapport Energies 2050*. Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.

Poux X., Narcy J-B et Chenat V. (2005). *Agriculture et environnement : 4 scénarios à l'horizon 2025* . Groupe de la Bussière. AScA. MEDD.

Région LR, CG11, CG34, CG30, CG48, CG66. *Charte de gestion durable des ressources en eau*.

Ribes A, Azaïs J-M, Planton S. (2009). *A method for regional climate change detection using smooth temporal patterns*.

SAGE Gironde Nappes Profondes. (2004). *Module sectorisation des réseaux d'eau potable. Guide technique*.

Smegreg . (2010). *Tendances et scénarios pour la révision du SAGE « Nappes profondes »*.

Sogreah. (2009). *Belle-Ile en Mer : construction d'une unité de dessalement* .

Solagro. (2011). *Afterres 2050, Scénario d'utilisation des terres agricoles et forestières pour satisfaire les besoins en alimentation, en énergie, en matériaux, et réduire les gaz à effet de serre*.

Van Vliet et al. (2012). *Vulnerability of US and European electricity supply for climate change*. Nature Climate Change.

Vert J., Portet F., (coord.). (2010). *Prospective Agriculture Énergie 2030. L'agriculture face aux défis énergétiques*. Centre d'études et de prospective, SSP, MAAPRAT.

Vibert C. (2011). *La consommation des espaces agricoles dans le département des Vosges : vers la construction d'éléments de connaissance partagés*. DDT88, mémoire de fin d'études Montpellier SupAgro.

Viennot P. (dir.). (2009). *Hydrogéologie du bassin de la Seine : comprendre et anticiper le fonctionnement hydrodynamique du bassin pour une gestion durable de la ressource*. Programme PIREN-Seine, AESN

Liste des personnes consultées

► Instituts de recherche

- Charles-Henri Moulin, UMR SELMET (Systèmes d'Elevage Méditerranéens et Tropicaux), INRA de Montpellier
- Françoise Ruget, UMR EMMAH (Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes), INRA d'Avignon
- Alban Thomas, LERNA (Laboratoire d'Economie des Ressources Naturelles), INRA de Toulouse
- François Tardieu, UMR LEPSE (Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux), INRA de Montpellier

► Agences de l'Eau

- Mathias DAUBAS, chef de l'unité gestion quantitative, Agence de l'eau Adour-Garonne
- Françoise Goulard, experte recherche et prospective, Agence de l'eau Adour-Garonne
- Sarah Feuillet-Legall, responsable du service Prévision Évaluation et Prospective, Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Emilie Nahon, responsable du service eaux souterraines et agriculture, Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Sonia Decker, service Prévision Évaluation et Prospective, Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Simon Lalauze, service eaux souterraines et agriculture, Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Véronique Jovy, chargée d'étude eaux souterraines, Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Anne-Lise Koch-Lavis, chargée de projets spécialisés, Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Pascal Billault, chargé d'études eaux souterraines, Agence de l'Eau Loire-Bretagne
- Florent Guibert, chargé d'études planification et prospective, Agence de l'Eau Artois-Picardie
- Philippe Maire, chargé d'études eaux souterraines, Agence de l'Eau Rhin-Meuse

► Autres

- Philippe Verjus, chef de la Mission Gestion quantitative des ressources en eau, DREAL Centre
- Maité Fournier, chef de projet Interreg AMICE, EPAMA (Etablissement Public d'Aménagement de la Meuse et de ses Affluents)
- Véronique Lamblin, directrice d'Etudes et de la Prospective et Stratégie, groupe Futuribles

