

Eau, agriculture et changement climatique Statu quo ou anticipation ?

Un état de l'art



établi par

Guillaume BENOIT

Ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts

juin 2017

Table des matières

1. Les sols, l'eau, la bioéconomie, le climat et la « durabilité »	5
1.1. Produire des biens et des services essentiels, réussir des transitions	5
1.2. La durabilité : des sols vivants, de la biodiversité et de l'eau	6
1.3. Face aux contraintes de la disponibilité en eau, quelles stratégies d'adaptation ?	7
1.4. L'irrigation, pratique très ancienne, moyen d'adaptation à la sécheresse	7
1.5. L'irrigation, vecteur du développement durable ?	9
1.6. L'adaptation des systèmes de cultures à la faible disponibilité en eau	12
2. La problématique aux échelles mondiale et euro-méditerranéenne	14
2.1. Une ressource en eau globalement abondante mais inégalement répartie	14
2.1.1. L'alimentation des populations, élément essentiel du bilan hydrologique mondial	14
2.1.2. Des ressources en eau et des besoins croissants, très inégalement répartis	15
2.2. Les analyses du GIEC	15
2.2.1. Une sécurité alimentaire en grands risques	15
2.2.2. Les voies de l'adaptation : investir dans le stockage, dans l'irrigation et dans l'agroécologie	16
2.2.3. L'importance « unique » du « secteur des terres »	17
2.3. Les décisions de la COP 21 : pas de stratégies d'adaptation et/ou d'atténuation sans prise en compte des enjeux de production alimentaire	17
2.4. L'Afrique et la Méditerranée du Sud et de l'Est seront particulièrement touchées : quelles conséquences pour l'Europe ?	18
2.5. La « méditerranéisation » de l'Europe et les défis auxquels elle va devoir faire face	20
3. Les impacts observés et projetés du changement climatique en France	22
3.1. Comprendre les trois types de sécheresse (météorologique, agricole et hydrologique), l'évapotranspiration, facteur déterminant	22
3.2. Températures et évapotranspiration : quelle évolution ?	22
3.3. Baisse sensible de l'humidité des sols dès 2020, sécheresses agricoles « extrêmes » sur l'ensemble du territoire dès 2080	25
3.4. Moins d'eau dans les rivières et dans les nappes et des étiages bien plus sévères	26
3.5. Agriculture : quels impacts ?	27
4. Ressources en eau, agriculture irriguée et politiques publiques en France : situation, évolutions et comparaisons avec d'autres pays européens	30
4.1. La ressource en eau	30
4.1.1. Une ressource en eau relativement abondante et peu mobilisée	30
4.1.2. Des zones en déficit quantitatif et des arrêts sécheresse de plus en plus nombreux	31
4.1.3. Des capacités de stockage de l'eau en surface faibles par rapport à nos voisins du Sud	32
4.1.4. Des capacités de stockage de l'eau dans les sols, très inégales selon les régions	33

4.2. L'irrigation	34
4.2.1. Une surface irriguée relativement faible (5,8 % de la SAU) et en recul	34
4.2.2. Recul des systèmes collectifs au Sud, augmentation de l'irrigation individuelle au Nord	35
4.2.3. Quasi disparition de l'irrigation gravitaire, progrès du goutte à goutte	36
4.2.4. Les grands types de productions irriguées et la question de l'emploi	37
4.2.5. Des progrès d'efficience, une productivité de l'eau accrue de 30 % en 20 ans.....	39
4.2.6. Des prélèvements en eau agricole faibles.....	40
4.3. Les politiques publiques.....	41
4.3.1. Les politiques de gestion des risques en agriculture : des politiques d'indemnisation coûteuses (calamités agricoles)	41
4.3.2. La politique publique de l'eau, au niveau national, donne priorité aux milieux aquatiques et à la gestion par la demande (économies d'eau et restrictions).....	42
4.3.3. Une autre lecture de la Directive cadre sur l'eau et d'autres politiques publiques dans les pays voisins et concurrents	45
4.3.4. Entre agriculture et environnement : un manque de vision globale et prospective et un déséquilibre de politiques publiques.....	46
5. Quels nouveaux besoins en eau pour l'agriculture, quels scénarios pour la France ?	49
5.1. Une hausse de 20 à 25 % des besoins en eau sur les terres déjà irriguées d'ici 2050.....	49
5.2. Des besoins nouveaux en eau par passage du pluvial à l'irrigation.....	50
5.3. Le scénario « durabilité environnementale » de l'Université de Kassel : un doublement des prélèvements en eau d'irrigation en Europe de l'Ouest	51
5.4. La prospective Explore 2070 du ministère en charge de l'écologie.....	52
5.4.1. Les scénarios font l'impasse sur la possibilité d'un stockage accru.....	52
5.4.2. Le scénario de satisfaction des besoins avec arrêt de l'étalement urbain nécessiterait une croissance de 165 % des allocations en eau pour l'agriculture	53
5.4.3. Un équilibre offre/demande impossible à atteindre avec les hypothèses retenues	53
5.5. La prospective Garonne 2050.....	54
5.5.1. Une perte de 80 à 90 % du nombre d'exploitations avec les scénarios « sobriété » et « libéral » ?	54
5.5.2. La solution passera par la baisse des débits seuils et par le stockage multi-usages de l'eau	56
5.6. Vers une nouvelle vision politique pour anticiper au lieu de subir : les analyses du rapport sénatorial Tandonnet/Lozach « Eau : urgence déclarée ».....	57
Annexe 1 : Liste des sigles utilisés.....	59

Eau, agriculture et changement climatique : un état de l'art aux niveaux mondial, euro-méditerranéen et national

De nombreux séminaires, rapports ou notes ont été organisés ou produits récemment sur le sujet croisé de la gestion quantitative de la ressource en eau, du changement climatique et de l'agriculture/alimentation. Ils sont le fait de la communauté scientifique (Météo France, INRA, IRSTEA, BRGM, ARVALIS, CIRAD, Université polytechnique de Madrid, Université de Kassel, Montpellier SupAgro...), des ministères en charge de l'environnement et de l'agriculture, de leurs Conseils généraux, d'établissements publics, de parlementaires, d'observatoires, ou d'ONG et plateformes de réflexion comme le PFE (Partenariat français pour l'eau) ou l'AFEID (Association française pour l'eau, l'irrigation et le drainage).

Le 5^{ème} rapport du GIEC, les séminaires *SESAME* (eau et sécurité alimentaire en Méditerranée), les études *CLIMATOR* et *CLIMSEC*, les prospectives *Explore 2070* et *Garonne 2050*, ou encore le récent rapport « *Eau : urgence déclarée* » des sénateurs Tandonnet et Lozach, alertent notamment sur la montée rapide des problèmes et, pour plusieurs d'entre eux, sur la nécessité de changements de fond dans nos visions et politiques.

La présente analyse porte sur la France et le monde. Elle s'attache d'abord à questionner la relation entre eau, sols, irrigation, agro-écologie et développement durable. La problématique française est ensuite resituée dans le contexte mondial et régional (européen et méditerranéen). Toute réflexion stratégique sur l'alimentation, le climat, l'eau, la durabilité et la compétitivité de notre économie doit en effet intégrer ces dimensions élargies. Les trois chapitres suivants portent sur la seule France. Ils traitent respectivement : i) des impacts déjà observés et projetés du changement climatique, ii) de la ressource en eau, de l'agriculture irriguée et des politiques publiques en interrogeant les évolutions récentes et quelques comparaisons avec des pays voisins et iii) des besoins en eau à satisfaire et des scénarios.

1. Les sols, l'eau, la bioéconomie, le climat et la « durabilité »

1.1. Produire des biens et des services essentiels, réussir des transitions

Les ressources rurales - l'eau douce, les sols, l'herbe, la forêt, la biodiversité, l'agriculture et ses savoir-faire - sont vitales pour l'avenir du monde. Leur bonne gestion / valorisation détermine en effet la capacité de répondre à la demande alimentaire à un coût acceptable pour les populations, ainsi que l'équilibre écologique, socio-économique et territorial.

L'agriculture, comme toute autre activité humaine, peut provoquer des dégradations du capital naturel : pollutions, érosion, salinisation des sols, perte de biodiversité.... La « bioéconomie » ou « économie de la photosynthèse » ($6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{lumière} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$) a cependant ceci d'unique de pouvoir capter une part du carbone en excès dans l'atmosphère (sous forme de CO_2 / gaz carbonique) pour i) le stocker dans les sols (sous forme de matière organique) et dans les tissus végétaux (bois et fibres) et ii) *substituer* matériaux, chimie et énergie bio-sourcés et riches en carbone vert à des produits conventionnels (béton, plastiques, hydrocarbures...) très émissifs de CO_2 . La bioéconomie peut ainsi contribuer puissamment à l'atténuation du changement climatique tout en accroissant la fertilité des sols et donc le capital naturel. Elle n'est cependant pas possible sans eau (H_2O).

L'agriculture peut produire d'autres *services environnementaux et territoriaux* essentiels :

- emplois en espace rural,
- préservation ou création d'agro-écosystèmes et de paysages culturels d'une grande diversité et valeur écologique (zones humides, agriculture de montagne, paysages méditerranéens...) et touristique,
- force de résistance à l'étalement urbain,
- bonne infiltration de l'eau et recharge des nappes,
- réduction des risques d'inondations et prévention des feux de forêts, etc.

L'eau et les sols, ressources liées à des territoires, et l'agriculture, science de la localité et activité de gestion du vivant, portent ainsi ensemble des fonctions vitales à concilier pour assurer des biens de niveau supérieur : alimentation en qualité et quantité suffisante et à prix abordables, préservation du climat, biodiversité, emplois, équilibre et qualité des territoires, contribution à la prévention des risques...

Comme le reste de l'économie, l'agriculture et la gouvernance de la gestion des ressources naturelles doivent aujourd'hui réussir des *transitions*. En effet :

- de nombreux systèmes productifs sont considérés comme « en danger » par la FAO,
- la forte dépendance à la chimie des systèmes intensifs conventionnels est problématique,
- les processus hydrologiques, la vie biologique des sols et la production agricole sont et seront très impactés par le dérèglement climatique,
- la production alimentaire doit s'accroître encore d'au moins 60 à 70 % d'ici 2050 (FAO),
- face à l'épuisement des ressources minières et au défi climatique, un recours accru à l'économie de la photosynthèse sera nécessaire.

L'agriculture devra ainsi devenir résiliente (capable de résister au choc climatique : réussir à s'adapter) et produire plus et mieux tout en restant compétitive. L'évolution des systèmes de production, le progrès génétique, l'amélioration des sols et la meilleure gestion de l'eau s'imposeront comme des voies complémentaires de solutions.

L'analyse des effets du changement climatique sur l'agriculture et la définition d'une stratégie adaptée en termes de gestion de l'eau nécessitent de mettre en perspective ces différents éléments.

1.2. La durabilité : des sols vivants, de la biodiversité et de l'eau

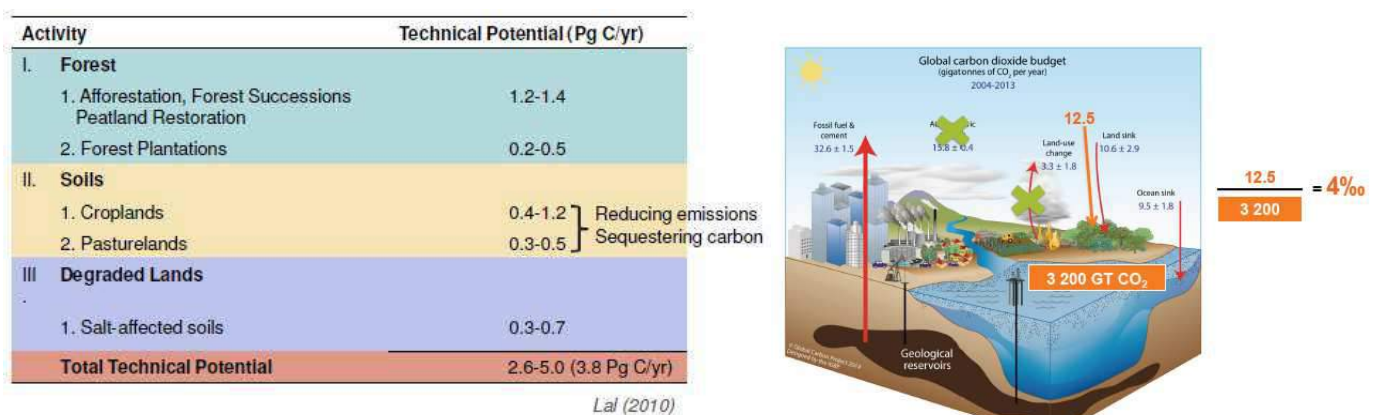
La question de la « durabilité » de l'agriculture est posée par les agronomes depuis au moins une vingtaine d'années. Elle impose une transition vers des systèmes innovants, plus autonomes, plus diversifiés et à triple performance (économique, environnementale et sociale). Le terme d'« *agriculture écologiquement intensive* » a été proposé par l'agronome Michel Griffon car il exprime bien le besoin de mieux travailler avec la nature. Optimiser les cycles biologiques permet de produire davantage de biens et de services (environnementaux et territoriaux) tout en réduisant la consommation d'intrants et les pollutions. Cela suppose à la fois de promouvoir une agriculture mieux intégrée dans son environnement et un environnement qui soutient mieux l'agriculture.

Cette optimisation des cycles biologiques se joue à plusieurs échelles. Le bon état écologique des *sols* est important : beaucoup de choses dépendent de cette mince pellicule de vie (moins de 1 mètre d'épaisseur) qui relie la biosphère à l'atmosphère et qui est à la fois le fruit et le support du développement de la végétation. Dans chaque gramme de sol agricole, on dénombre 1 milliard de bactéries (et plus de 10 000 espèces) ainsi que des algues, des champignons... Toute cette vie microbienne assure des fonctions essentielles : décomposition des matières organiques, recyclage et solubilisation des nutriments, fixation de l'azote atmosphérique, fourniture de substances complexes organiques... mais aussi approvisionnement en eau des plantes.

Pour que l'environnement soutienne mieux l'agriculture, l'optimisation des cycles biologiques doit aussi s'organiser à des échelles plus larges. Réussir la nécessaire rupture en matière de produits phytosanitaires nécessite en effet de cultiver la *diversité au sein des exploitations et entre exploitations*. Pour *Montpellier Sup Agro*, le concept d'« agro-écologie » invite ainsi à : i) reconsidérer le sol comme pilier de l'agriculture, ii) cultiver la diversité à l'échelle des « paysages », iii) améliorer l'efficacité et l'efficience, y compris par un meilleur pilotage du système, et iv) reconstruire l'agriculture en mobilisant une ingénierie agro-écologique¹.

Les sols ont en outre aujourd'hui une autre importance stratégique car ils sont, à travers l'agriculture, l'élevage et la forêt, *une partie importante de la solution au problème du dérèglement climatique*. Les sols superficiels, qui contiennent autant de carbone (sous forme de matière organique) que l'ensemble de l'atmosphère (sous forme de CO₂, gaz carbonique), pourraient en effet en capter encore bien davantage, réduisant d'autant la concentration atmosphérique de GES et donc l'ampleur du réchauffement. Le potentiel de stockage du carbone par le « secteur des terres » (forêts, pâturages, terres agricoles, sols salinisés...) est de fait élevé puisque évalué au niveau mondial entre 2,6 à 5,0 gigatonnes de carbone par an, soit en équivalent CO₂ un total de 9,5 à 18,3 gigatonnes/an. Si on raisonnait seulement « sols » superficiels (forêts non comprises), il suffirait d'accroître le stock de carbone de *4/1000 par an* pour réduire à zéro les émissions anthropiques de CO₂ pendant quelques décennies.

Figure 1 : Potentiel de recarbonation de la biosphère et calcul du 4/1000



¹ Source : J Wery, Montpellier AgroSup, Colloque *l'irrigation et l'agro-écologie font-ils bon ménage ?* AFEID, AIRMF et Montpellier SupAgro, 2016

L'effet de « stockage » ne vaut en effet que pour un certain temps car plus on stocke et plus la capacité de stockage additionnel se réduit. Cependant, davantage de carbone dans les sols capté à partir du CO₂ en excès dans l'atmosphère, c'est aussi plus de matière organique dans les sols, plus de qualité physique, plus de qualité biologique, plus de qualité agro-écologique, et donc, *in fine*, plus de fertilité et de résilience. En termes d'atténuation du changement climatique, le stockage représente donc à la fois un « pont » et un moyen d'amplifier l'effet de substitution.

Mieux gérer l'eau, les sols et la végétation pour capter davantage de carbone revient ainsi à se donner plus de chances de : i) pouvoir nourrir durablement les 9,5 ou 10 milliards d'habitants annoncés pour 2050, ii) mettre davantage de produits biosourcés sur le marché en remplacement de produits conventionnels émissifs de gaz à effet de serre (ex : produire des sacs en bioplastiques dégradables plutôt que des sacs plastique à base de pétrole), et iii) contribuer à régler le problème climatique et alimentaire dans un contexte de ressources finies (terres, eau, phosphore, hydrocarbures). Ces constats ont conduit au lancement lors de la COP 21 de l'initiative « 4/1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », sur proposition de la France.

1.3. Face aux contraintes de la disponibilité en eau, quelles stratégies d'adaptation ?

Avec le changement climatique, ses impacts sur le « vivant » et les évolutions démographiques, alimentaires et économiques, les pressions sur la ressource en eau tendent à s'accroître dans de nombreuses régions. Des déséquilibres offre/demande saisonniers² (ou plus structurels dans les pays arides) peuvent en résulter, ce qui amène à des conflits d'usages croissants, voire à des impasses.

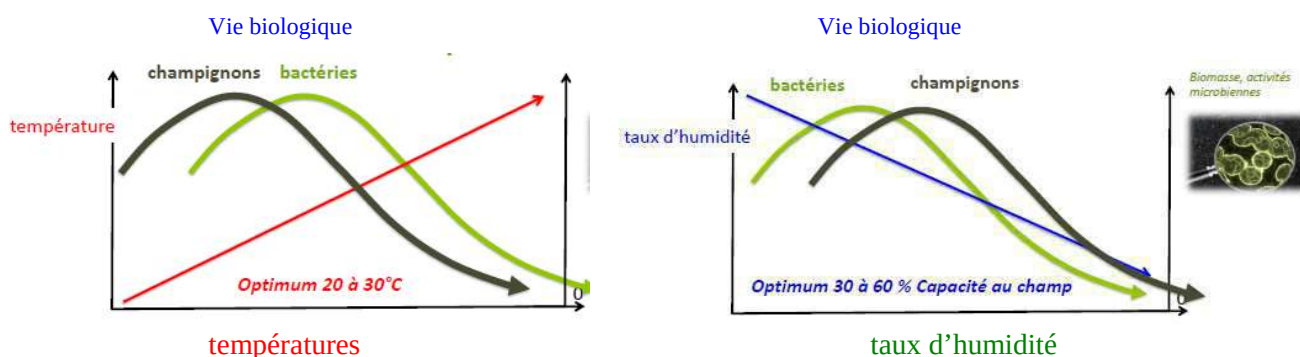
Les stratégies d'adaptation possibles sont, selon la littérature scientifique, de quatre grands types³ :

1. *ajuster l'offre et la demande par la création de nouvelles ressources* : création de réserves pour reporter en période sèche une partie des excédents des périodes pluvieuses, transferts de bassins excédentaires vers des bassins déficitaires, réutilisations d'eaux usées traitées, désalinisation,
2. *ajuster la demande à l'offre* par des solutions technologiques (ex : réduction des pertes dans les réseaux, pilotage de l'irrigation...), génétiques, agronomiques, réglementaires, socio-économiques,
3. *organiser un autre partage de l'eau* et développer la gestion concertée locale entre acteurs,
4. *indemniser les pertes de revenus*.

1.4. L'irrigation, pratique très ancienne et moyen d'adaptation à la sécheresse

Les micro-organismes des sols vivent dans des « niches » et réagissent rapidement aux changements du milieu. La température et l'état hydrique du sol sont des facteurs déterminants de l'activité biologique, les optimums étant une température de 20 à 30°C et un taux d'humidité de 30 à 60 % de la capacité au champ.

Figure 2 : L'activité biologique des sols est fonction de la teneur en eau et de la température



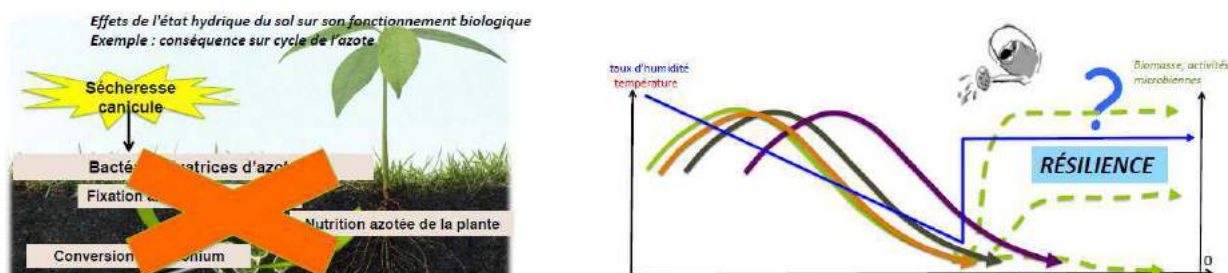
Les sécheresses et canicules impactent fortement la vie du sol par leurs effets à la fois directs (mortalités) et indirects (changements des habitats microbiens) et donc la sécurité alimentaire. Toutes les fonctions microbiennes et la biodiversité sont touchées. Les cyanobactéries qui permettent la fixation de l'azote sont notamment très vulnérables. Même si la pluie revient au bout d'un certain temps, le retour de la vie

² En période d'étéage

³ Adapté à partir de Amigues et al 2006 ; Debaeke et Amigues, 2008

microbienne n'a rien d'assuré. Cela dépend de l'intensité de la dessiccation, du niveau des températures associées, de la durée des sécheresses et canicules, de la nature des sols, du PH... : il y a des effets de seuils possibles⁴.

Figure 3 : Effets de la dessiccation des sols sur la vie biologique et la résilience



C'est pourquoi, dans les pays confrontés au problème du stress hydrique, l'irrigation s'est développée de très longue date. Née il y a environ 7500 ans, sans doute près de l'actuelle Palmyre en Syrie, elle a permis l'épanouissement de brillantes civilisations (Mésopotamie, Égypte, Inde, Chine, empires incas et aztèques...).

Cette « culture⁵ » de l'eau s'est par suite largement développée sur les deux rives de la Méditerranée et dans les autres régions de climat méditerranéen, y compris de climat « sub-humide ». Dans ces régions confrontées au stress hydrique en fin de printemps et en été, l'irrigation constitue en effet un facteur historique de sécurisation et de production pour l'agriculture et pour l'alimentation.

Mais quelle peut-être la contribution de l'irrigation à la transition vers l'agriculture durable dont on a dit plus haut à la fois la nécessité et les fondamentaux ? Le colloque « *L'irrigation et l'agro-écologie font-elles bon ménage ?* » en a montré toute l'importance possible (cf. encadré 1).

Encadré 1 : Dans le Gard, une irrigation vecteur de l'agro-écologie

Témoignage de Philippe Blanc du SERFEL (station expérimentale et de recherche fruits et légumes)

« Ici, dans les Costières, l'agroécologie est déjà en place mais on ne le dit pas assez car il y a un défaut de communication des arboriculteurs. Avec l'arrivée de l'irrigation après les années 1960, le paysage a progressivement changé. De la monoculture de la vigne, on est passé à un paysage de nouvelle diversité grâce à l'arboriculture (2 000 ha d'abricots, 1 300 ha de pêches, 820 ha de pommes et 600 de cerises) et au maraîchage (cf. photos). Tout est irrigué et cette année, les oliviers qui ont eu accès à l'eau ont été bien contents. Les agriculteurs ont aussi installé beaucoup de haies brise vents, de plus en plus composites, pour se protéger du mistral.



Source : Archives BRL



⁴ Ces deux paragraphes et les figures sur la vie microbienne des sols et la résilience sont tirés de la présentation faite par Annette Bérard du département EMMAH de l'INRA lors du colloque « *L'irrigation et l'agro-écologie font-elles bon ménage ?* » tenu le 22 novembre 2016 au Tholonet.

⁵ Le mot « culture » vient du latin *colere* qui signifie « mettre en valeur, faire fructifier ». « *Colere* », c'est cultiver, prendre soin, entretenir. Pour la philosophe Hannah Arendt, c'est « commercer avec la nature pour la rendre propre à l'habitation humaine ».

Tous les vergers sont, grâce à l'irrigation, enherbés sur au moins 50 % de la surface (pour éviter tassement et érosion et améliorer les sols). Toute l'irrigation est sous pression et tous les porte greffe sont adaptés à la sécheresse. La fertilisation est à la fois organique et minérale et la réduction des phytos et engrais minéraux est une priorité. On n'a cessé de progresser car on utilisait 500 unités d'azote dans nos pêchers en 1970 et aujourd'hui on est descendu à 170. La question des sols doit maintenant entrer davantage dans notre réflexion : quand et à quel point nous faut-il hydrater, irriguer, enherber ? Plus généralement, on s'engage vers plus d'agroécologie, ce qui signifie : i) améliorer le pilotage de l'irrigation : il n'y a pas de mauvais systèmes mais seulement des systèmes mal utilisés, ii) soutenir le développement racinaire, ce qui doit interroger sur les limites du goutte à goutte, iii) activer davantage le potentiel de fertilisation naturelle en développant des cultures intermédiaires avant plantation et des légumineuses et élargir encore l'enherbement, ce qui impose un recours accru à l'irrigation, iv) viser la suppression du désherbage chimique, développer le paillage et les nichoirs, perchoirs à rapaces, abris à reptiles pour renforcer la protection des cultures ».

Témoignage de Bertrand Féraut, agriculteur biologique en Costières, président de la coopérative Uni-Vert

« Je suis passé à l'agriculture biologique depuis 2003 et suis certifié *Natureland*, ce qui est beaucoup plus exigeant. Sur mon exploitation, je cultive 16 ha de vergers, du maraîchage sur 3 ha en plein champ et 1 ha de serre. Je sème de l'orge comme plante relais entre les plants de courgettes. En fin de printemps, on trouve énormément de coccinelles dans mon seigle. La mixité des cultures est importante pour la biodiversité. Tout est irrigué et j'utilise des microjets avec des électrovannes pour arroser la nuit. Tous les brise-vent sont aussi irrigués. Mes haies sont très diversifiées : cyprès, tamaris, chêne vert, mûrier, aulne... Et leur rôle est important. J'y installe des nichoirs à mésanges. J'aménage aussi des plans d'eau.

La coopérative *Uni-Vert* a été créée dans les années 1960 et elle est passée au bio il y a 30 ans. Elle compte aujourd'hui 30 agriculteurs, lesquels ont créé 90 emplois à plein temps : 57 salariés dans les exploitations et 34 dans la station de St Gilles. Elle est aussi créatrice de richesses avec plus de 38 fournisseurs et prestataires locaux.

L'irrigation est incontournable chez nous (sols : 80 % de cailloux). Et l'eau bien gérée permet de prévenir les problèmes. Les salades pleines de pucerons sont toujours celles qui manquent d'eau et souffrent du stress hydrique. Il peut y avoir cependant, selon les endroits, une tension entre irrigation/enracinement et équilibre de la ressource en eau. La recherche et l'innovation sont importantes. La mycorhization est en cours d'expérimentation. Il faut nous laisser le temps. On a encore à progresser sur la compréhension des sols ».

Cette évolution vers une irrigation « agro-écologique » est favorisée par les derniers progrès technologiques. En effet, de nouveaux capteurs mettent la physiologie de la plante au cœur de la décision et les données des capteurs rassemblées sur des interfaces web permettent un suivi multi-factoriel qui donne la capacité de raisonner l'irrigation par rapport aux autres pratiques. Cette approche de l'irrigation permet à l'« expert » de se focaliser sur le « système » et pas seulement sur l'économie d'eau. Le pilotage de l'irrigation, au plus près des besoins de la plante, devient ainsi un art très fin et permet de suivre avec précision l'effet d'une pratique sur le système plante. On peut par suite tester et promouvoir des techniques qui induisent des changements de systèmes comme l'agriculture de conservation avec goutte à goutte enterré. Ainsi, « tout pousse aujourd'hui vers une irrigation agro-écologique visant une valorisation optimale des ressources et des systèmes ».⁶

1.5. L'irrigation, vecteur du développement durable ?

L'irrigation, comme l'agriculture pluviale, peut, dans certains cas, être peu durable, avoir un impact négatif sur le capital naturel, d'autres activités ou l'équilibre social. C'est le cas notamment dans certains pays ou bassins pauvres en eau où le développement excessif de l'irrigation peut être source de surexploitation des nappes ou de salinisation et avoir d'importants effets négatifs sur les écosystèmes et activités d'aval comme la pêche (cf. le cas emblématique de la mer d'Aral). L'eau prélevée pour l'irrigation, est en effet pour une bonne part évapotranspirée et donc « consommée » sur place, même si cette part, comme le reste de ce qui est prélevé, revient par les pluies aux territoires après un certain temps (cycle de l'eau). Certains barrages peuvent poser aussi des problèmes de continuité écologique. Les impacts sont fonction de chaque bassin et site.

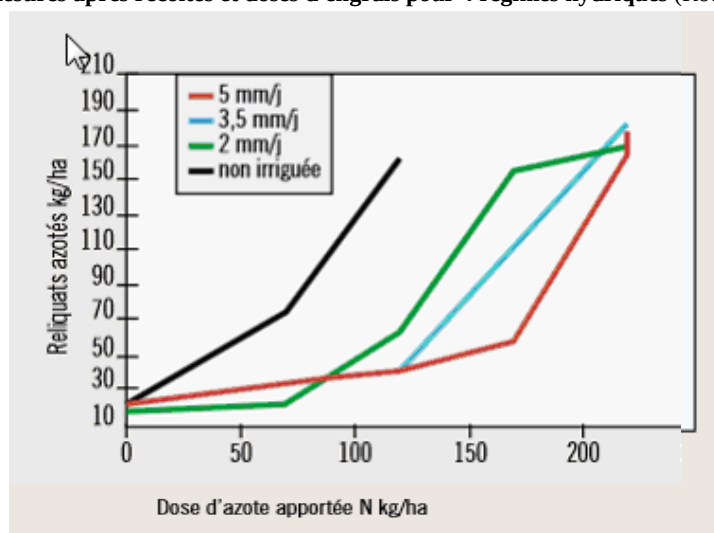
⁶ Ce paragraphe est tiré de la présentation faite par Alice Ract Madoux de la Société du Canal de Provence lors du colloque « *L'irrigation et l'agro-écologie font-elles bon ménage ?* »

Certains systèmes irrigués sont d'importants émetteurs de méthane, un gaz à effet de serre très puissant. C'est le cas des rizières inondées (comme de toutes les zones humides). Cependant des méthodes de riziculture avec assecs sont possibles et susceptibles de réduire considérablement ces émissions. Par ailleurs, dans quelques pays, le développement de l'irrigation a pu s'accompagner d'un certain accaparement de la ressource en eau par de grands investisseurs aux dépens de petites exploitations et de systèmes irrigués à forte valeur patrimoniale (par exemple des oasis). Certains pays ont aussi trop focalisé les investissements publics et privés sur les seuls grands périmètres irrigués aux dépens des systèmes pluviaux et de la petite hydraulique, accentuant ainsi les déséquilibres sociaux et territoriaux. Certains grands barrages multi-usages réalisés au 20^{ème} siècle ont pu avoir des impacts sociaux et environnementaux que certains ont jugé disproportionnés avec les avantages produits.

Pour autant, l'irrigation est aussi, plus souvent et d'une façon locale comme globale, un facteur remarquable de développement durable. En effet :

- En moyenne mondiale, les cultures irriguées sont trois fois plus productives que les cultures pluviales⁷ : elles captent donc 3 fois plus de carbone/ha que ces dernières dans l'atmosphère
- La grande productivité de l'irrigation permet, de façon indirecte, de limiter la conquête de nouvelles terres arables et donc les pressions sur les forêts et la déforestation. Pour satisfaire les besoins de l'humanité sans les 300 millions d'hectares irrigués recensés au niveau mondial, il faudrait accroître les surfaces agricoles en pluvial du triple, aux dépens des savanes et des forêts. Or, la déforestation résultant du recul des forêts tropicales est responsable à elle seule de 11 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Inversement, le recul de l'irrigation, causé par l'étalement urbain ou par le défaut d'accès à l'eau, est, comme le gaspillage alimentaire, une cause directe et indirecte importante d'émissions de GES (gaz à effet de serre).
- Les cultures irriguées permettent en général une bien plus grande diversité de cultures et de paysages et une plus grande biodiversité.
- Les cultures irriguées, à volume de production égal, sont efficaces dans l'utilisation de l'azote ce qui réduit les pertes et gaspillages ainsi que les pollutions (Fig. 4). En effet, en système irrigué, les besoins en azote sont plus stables ce qui permet un meilleur calcul des apports nécessaires et un moindre reliquat d'azote dans le sol après récolte susceptible d'alimenter les fuites de nitrate.

Figure 4 : Reliquats azotés mesurés après récoltes et doses d'engrais pour 4 régimes hydriques (Rouffach, 2008)⁸



⁷ Cf. § 2.1.1, tableau 1

⁸ Source : Deumier et al (2002) : Irrigation du maïs et azote : limiter les fuites de nitrate. Perspectives Agricoles - n°283 - octobre 2002 - pp. 18-24

L'irrigation permet aussi de :

- *Sécuriser les systèmes productifs (quantité et qualité) et prévenir les risques croissants de crises agro-climatiques et alimentaires.* Le très faible taux d'irrigation de l'Afrique sub-saharienne est aujourd'hui considéré comme un facteur majeur de la vulnérabilité de cette immense région au dérèglement climatique. Le développement de l'irrigation conduit à la mise en place d'infrastructures de stockage de l'eau qui permettent des gestions intersaisonnières, voire parfois interannuelles de la ressource. Bien conçus et gérés, ces ouvrages sont un moyen robuste d'adaptation à un climat et à une pluviométrie de plus en plus erratiques et de réponse aux besoins d'étiage. Ils peuvent permettre de réduire potentiellement les risques croissants d'inondations. Ce sont des outils de gestion des risques d'importance stratégique.
- *Accroître significativement la valeur économique créée dans les territoires* en favorisant la diversification des productions, en augmentant et en sécurisant la production et en permettant le développement de filières agro-alimentaires créatrices d'emplois nombreux (semences, fruits et légumes...), lesquelles sont en général totalement dépendantes de l'irrigation.
- *Être par conséquent un facteur clef de la compétitivité agricole et territoriale*, et ce pas seulement dans les pays de climat méditerranéen. Par exemple, il est frappant de constater que les Pays-Bas, avec 26 % de terres équipées pour l'irrigation, et le Danemark (18 % de terres équipées), pays d'agriculture très compétitive, ont des taux d'irrigation bien plus élevés que la France (8,4 % de terres équipées).
- *Créer de nombreux emplois, directs et indirects.* De nombreux exemples dans les pays en développement montrent que le passage du pluvial à l'irrigué, lorsqu'il est pertinent et bien géré, améliore sensiblement les revenus et réduit la pauvreté. Il est souvent déterminant pour *l'installation des jeunes et le maintien en espace rural des populations rurales*. Il apporte ainsi une contribution majeure à la prévention des migrations et au maintien de la stabilité⁹.

Encadré 2 : deux exemples de développement durable par l'irrigation

Réserve du Juanon, Drôme	Les « puits du désert », Vallée de Tidène, Nord Niger
	90 puits maraîchers créés depuis 2005 dans une zone d'élevage désertifiée et menacée de grave instabilité socio-politique 771 familles bénéficiaires en 2011 : revenus x 10 Filière maraîchère et nombreux emplois ruraux non agricoles créés Les enfants vont à l'école
Avant 2005 : restrictions d'eau 3 années sur 4 = mise en péril des emplois + rivière à sec Transfert + création de retenue de 700 000 m³ = 1 200 ha, emplois, paysages, petites exploitations diversifiées (semences, ail, plantes aromatiques...) sécurisées + 1 million de m³ pour la rivière (soutien étiage)	

(Source : CGAAER et PFE, *L'eau et la sécurité alimentaire*, 2012)

La performance des systèmes irrigués est donc multiple et elle concerne bien toutes les dimensions de la sécurité alimentaire (disponibilité, accès, stabilité, qualité) et du développement durable.

⁹ Cf. les séminaires *SESAME 2* et *SESAME 3*, CGAAER et CGDA, 2014 et 2015

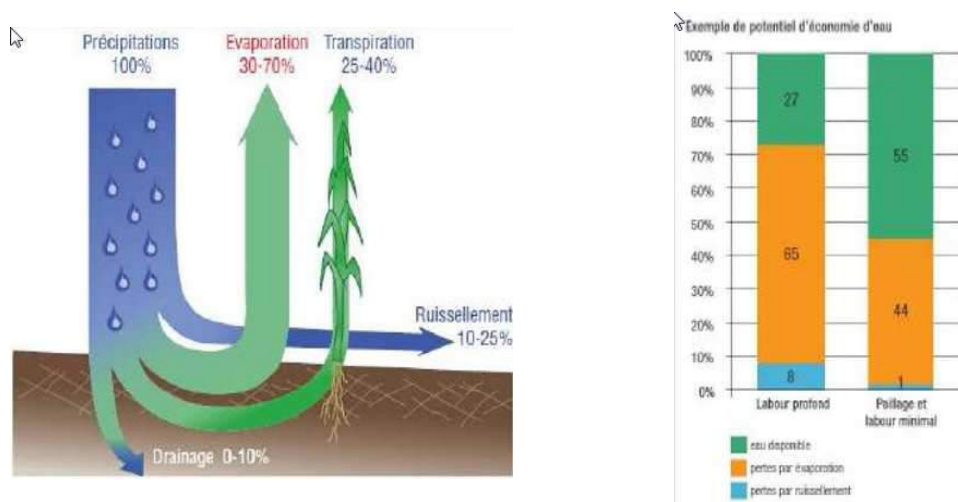
Comme le souligne la Délégation sénatoriale à la prospective dans son rapport « *Eau, urgence déclarée* » (Mai 2016), il y a une nécessité pédagogique à montrer que l'eau est une solution au problème climatique et à « *dédiaboliser l'irrigation* ». Les auteurs du rapport ont donc regretté que l'eau n'ait pas été citée explicitement comme un point clef dans l'Accord de Paris (COP 21).

1.6. L'adaptation des systèmes de cultures à la faible disponibilité en eau

Dans les conditions extrêmes des zones arides ou semi-arides où l'eau fait défaut de façon structurelle, la seule stratégie d'adaptation possible au déficit en eau est l'ajustement de la demande à l'offre. Ceci a conduit les agriculteurs à y développer les systèmes de cultures et les itinéraires techniques de l'« *aridoculture* » ou « *dry farming* ». Les modes de travail du sol, le « *mulching* », le non-labour... s'attachent à réduire l'évaporation (une perte d'eau inutile) et le ruissellement et valorisent l'infiltration. Des jachères longues sont introduites pour stocker l'eau dans le sol pour la culture à venir. Les choix de cultures se font en fonction du niveau de remplissage des réserves en eau des sols au moment du semis. Les rendements sont évidemment très faibles et les richesses produites limitées.

La bonne conservation et valorisation des eaux et des sols vaut pour les autres régions d'agriculture pluviale dans le monde. La figure 5, tirée d'un document FAO sur la « *gestion durable des terres* » en Afrique, illustre le continuum « *eau verte-eau bleue* » et l'important potentiel d'économie d'eau qui peut résulter de pratiques telles que le paillage et le labour minimal.

Figure 5 : Eaux bleues, eaux vertes, gestion durable des terres et économie de l'eau



Source : la pratique de la gestion durable des terres ; TerrAfrica, FAO, WOCAT, 2011

L'exemple de la région du Tigré en Éthiopie (encadré), montre les gains remarquables qui peuvent résulter d'un aménagement de terroir organisé à l'échelle du bassin versant et visant la bonne gestion intégrée des ressources naturelles (eau, sols et végétation).

D'autres pratiques agro-écologiques comme l'agro-foresterie (qui permet un système d'enracinement arbre/cultures à deux étages, les racines des arbres pouvant servir d'ascenseur hydrique en cas de stress hydrique), l'agriculture de conservation (qui favorise aussi un enracinement profond) et les amendements en matière organique dans les systèmes agriculture/élevage, peuvent être cités. Ils contribuent, comme l'irrigation, à l'adaptation au changement climatique¹⁰.

Les principaux gains d'efficience/productivité de l'eau (le « *more crop per drop* ») sont en général à trouver dans le meilleur pilotage de l'irrigation, la réduction des pertes dans les réseaux, les stratégies d'esquive (semis plus précoces) et la sélection variétale (cf. § 4.2.5. pour le cas de la France).

¹⁰ Le couvert arboré et l'irrigation peuvent aussi créer des microclimats favorables à la vie et aux hommes en cas de fortes températures. C'est une des fonctions majeures des oasis et ce pourrait être demain une nouvelle fonction du secteur des terres à la réussite de l'adaptation pour le bien-être des populations urbaines.

Encadré 3 : La région du Tigré en Éthiopie : de la famine au renouveau agricole et écologique

Dernière région du monde ayant connu dans les années 1980 de terribles famines, la région du Tigré située au nord de l'Éthiopie, à la frontière de l'Érythrée est devenue en 25 années la région la plus sûre en eau du pays. Elle a recouvré son indépendance alimentaire en 2007 et son taux de pauvreté qui, en 2000, était encore le double de la moyenne nationale s'est réduit depuis de moitié.

Ce succès est dû à un effort d'aménagement qui a conduit à la protection des arbres et à construction à la main de milliers de km de terrasses et de plusieurs centaines de retenues d'eau avec pour résultat que toute goutte d'eau s'infiltre et que 1 million ha (agricole et forestier) a été restauré. Ceci a fortement contribué à la recharge des nappes situées en aval puisque sur les 360 puits qui permettent la petite irrigation, la nappe est aujourd'hui en moyenne à 3 m de profondeur contre 30 m il y a 20 ans. Certains puits sont même devenus artésiens (photo). Aujourd'hui, 40 000 ha sont irrigués contre 40 il y a 20 ans. Et alors qu'en 2016, l'Éthiopie est victime à nouveau de graves sécheresses dues au phénomène d'El Niño, la région du Tigré a montré une bien meilleure résilience par rapport à ses voisines¹¹.



La diversification des cycles culturels et des espèces peut être une autre voie d'adaptation en cas d'absence d'irrigation ou de disponibilité en eau limitée. Les cultures d'hiver demandent très peu d'eau car la maturité de la plante est atteinte avant le déficit hydrique estival. Cependant, dans les régions de climat tempéré comme la France, il n'est pas souhaitable ni possible en général de s'y limiter pour des raisons y compris de type agronomique et environnemental. Des rotations mélangeant espèces, précocités et alternance de saisons sont en effet nécessaires pour éviter adventices et parasites. Des cultures d'été, plus tolérantes à la sécheresse que le maïs ou le blé, telles que le sorgho ou le tournesol peuvent cependant être introduites. Des diagnostics au printemps sur l'état de la ressource en eau et les risques de pénurie estivale peuvent permettre d'ajuster les décisions.

Des études ont montré qu'il pouvait être rentable, dans certains cas, de jouer sur l'étalement du calendrier d'irrigation en semant plus tôt au printemps (par exemple des pois) pour valoriser au mois de mai une eau peu utilisée par ailleurs, comme alternative à des cultures irriguées d'été. Les résultats dépendent cependant beaucoup du type de sols concernés, des prix mondiaux agricoles ou du coût de l'irrigation.

L'INRA en France s'attache à mettre au point de nouveaux outils et modèles pour aider les agriculteurs à anticiper les besoins en eau en modifiant assolements et itinéraires techniques ou pour aider les gestionnaires à estimer la demande en eau à l'échelle d'un périmètre irrigué et à faire des projections sur la demande en eau à venir en tenant compte de la physiologie des plantes et de la réalité des pratiques culturelles et d'irrigation. Le développement de ce type de services agro-hydro-climatiques est appelé à prendre une certaine importance dans les stratégies d'adaptation.

¹¹ Source et photos : C. Reij, WRI, SESAME 4, CGAAER et CGDA 2016

2. La problématique aux échelles mondiale et euro-méditerranéenne

2.1. Une ressource en eau globalement abondante mais inégalement répartie

2.1.1. L'alimentation des populations, élément essentiel du bilan hydrologique mondial

Le tableau ci après donne les grands chiffres du bilan hydrologique mondial (eaux douces, bleues et vertes¹²) en regard des surfaces cultivées et des productions agricoles.

Tableau 1 : le bilan hydrologique Monde (flux d'eau douce) et les surfaces cultivées

Ressource en eau douce et utilisations (en km ³ /an)		Surfaces en millions ha	Production agricole en %
Total (pluies continentales)	119 000		
dont sols : évaporation et transpiration (eaux vertes)	75 000		
et dont écoulements (ressource en eaux bleues)	44 000		
Prélèvements			
Total d'eaux bleues prélevé	3 710		
dont eau prélevée pour l'irrigation	2 740		
Eau utilisée (évapo-transpirée) par l'agriculture et les pâturages			
Total d'eau bleue et verte consommée par l'agriculture	8 244	1 527	100
dont arrosage naturel par les pluies (eaux vertes)	6 600	1 226	60
dont irrigation (eaux bleues)	1 644	301	40
Eau évapo-transpirée par les pâturages (eaux vertes)	16 500	3 500	

Source : Margat et Benoit pour Futuribles, 2016, à partir de UNESCO (WWDR 2015), IWMI et FAO. Les chiffres diffèrent selon les sources

On peut en tirer quatre enseignements importants :

- *La forte productivité des cultures irriguées* : celles-ci assurent 40 % de la production agricole mondiale sur seulement 18 % de la surface cultivée (301/1 226 millions ha). Elles sont en moyenne 3 fois plus productives que les cultures pluviales.
- *L'importance essentielle de l'agriculture dans la gestion de l'eau*. L'agriculture irriguée mobilise 70 % du total des eaux bleues mobilisées (2 740/3 710 km³/an) et les agricultures pluviales et irriguées 90 % du total d'eaux vertes et bleues utilisées. La question de l'eau, en termes de développement durable, c'est-à-dire de capacité à satisfaire les besoins fondamentaux des générations actuelles et futures est donc d'abord et essentiellement une question de production/sécurité alimentaire. *Le respect et la satisfaction du droit à l'alimentation*, un droit universel consacré dès 1948 par les Nations Unies, devraient donc être des objectifs essentiels de toute politique de gestion des ressources naturelles.
- *L'eau douce, globalement, ne manque pas*. En effet, l'ensemble des prélèvements (tous usages) ne représente que 8 % des écoulements (3 710 km³/an / 44 000 km³/an). Rappelons en outre que le total des pluies continentales reste constant d'une année à l'autre (cycle de l'eau) et qu'il pourrait même s'accroître un peu (+ 1 à + 3 %) avec le changement climatique, suite à l'augmentation de l'évapotranspiration et à la fonte des glaces. Cependant, toute la ressource n'est pas exploitable, utilisable ou disponible. La plupart des inondations et la grêle sont plus dangereuses qu'utiles.
- *L'agriculture irriguée restitue au milieu 40 % de ce qu'elle prélève*. Les 60 % évapo-transpirés (1 640 km³/2 740 km³) comme les 40 % qui s'écoulent en aval reviennent à terme aux territoires sous forme de pluies (cycle de l'eau).

¹² L'eau dite « bleue » est la part de l'eau de pluie qui s'écoule dans les cours d'eau et dans les nappes, et qui peut être pompée pour irriguer les champs ou pour servir à d'autres usages. Elle se différencie de l'eau « verte », c'est-à-dire de l'eau de pluie qui humidifie les sols, leur donne vie et est utilisée directement par les plantes pour leur transpiration et leur croissance, une autre part venant s'évaporer à la surface des sols.

2.1.2. Des ressources en eau et des besoins croissants, très inégalement répartis

Les chiffres globaux cités ci-dessus ne rendent pas compte de la très inégale répartition des ressources en eau, des besoins et des vulnérabilités dans l'espace et dans le temps. Par exemple, les rives Sud et Nord de la Méditerranée révèlent une situation extraordinairement contrastée puisque :

- la demande en eau sur la rive Nord ne représente que 13 % des ressources conventionnelles potentielles, dont une très grande part est utilisée pour la production d'énergie et revient très vite aux cours d'eau ;
- à l'inverse, sur la rive Sud, la demande en eau, essentiellement agricole, est supérieure aux ressources renouvelables disponibles ;
- la rive Sud, bien davantage que la rive Nord, montre une grande vulnérabilité au changement climatique, du fait des faiblesses internes des agricultures, de l'importance de la pauvreté rurale et de la forte dégradation de la base productive de l'agriculture : sols érodés et salinisés, déforestation et désertification, surexploitation de la plupart des nappes, envasement rapide des retenues des barrages.

Figure 6 : Ressources et demandes en eau au Nord et au Sud de la Méditerranée

(SESAME 1, Plan Bleu, J. Margat)

La rive Nord reçoit 90 % des pluies du total régional et ne prélève que 13 % de ses propres ressources.



* Chiffres rive Nord : du Portugal à la Turquie

** Chiffres rive Sud : du Maroc à la Jordanie

Comme la population mondiale va encore augmenter de plus de 2 milliards d'habitants d'ici 2050, la production alimentaire devra progresser d'au moins 60 à 70 % d'ici 2050 (FAO). La demande mondiale en eau bleue (tous secteurs) pourrait par suite s'accroître de 55 % d'ici 2050 (cf. scénarios de l'IWMI). Or, la croissance démographique comme le changement climatique accroîtront encore les écarts entre les régions les mieux pourvues et les plus pauvres en eau. En effet, la croissance démographique, immense paradoxe mondial, est en moyenne double dans les zones sèches (régions arides et semi-arides) que dans celles mieux arrosées. Or, les pays du « Sud » sont et seront les plus affectés par le dérèglement du climat.

Les tensions sur les ressources et les conflits d'usages ou migrations risquent donc de s'accroître fortement si des mesures d'anticipation à la hauteur du problème ne sont pas prises à temps et si de nouvelles solidarités (amont/aval, pays riches et pauvres en eau...) ne s'opèrent pas.

2.2. Les analyses du GIEC

2.2.1. Une sécurité alimentaire en grands risques

Selon le 5^{ème} rapport du GIEC (2014-2015), les grands risques futurs, relevés par la communauté scientifique avec une « confiance élevée » sont :

- la mise en péril des moyens de subsistance suite aux inondations dans les zones côtières basses ou à l'intérieur des terres,
- la rupture des systèmes alimentaires suite à la variabilité des pluies et à des phénomènes de sécheresse,
- la perte de revenus ruraux et de moyens de subsistance suite à un accès insuffisant à l'eau d'irrigation (voir aussi à l'eau potable en régions arides) et à la diminution de la productivité agricole,
- les pertes de services écosystémiques en zones côtières et leurs impacts sur les communautés de pêcheurs, notamment des zones tropicales et arctiques,
- les risques systémiques résultant des événements météorologiques extrêmes.

Sont donc notamment en cause, dans la montée des risques :

- la forte *croissance de la variabilité climatique* avec alternance de vagues de chaleur et de froid, problèmes d'inondations et de sécheresses : il pleuvra trop ou pas assez et souvent pas là où on le souhaiterait ;
- des *pertes de productivité* causées par le réchauffement à travers ses impacts sur les sols (vie microbienne) et sur les cultures (échaudages, décalage des saisons de végétation...). La baisse des rendements agricoles est d'ailleurs déjà considérée comme « un des impacts les plus significatifs » du dérèglement. La baisse relative de la production mondiale sur la période 1980/2010 s'élève à 5,5 % pour le blé et 3,8 % pour le maïs. Alors que la demande mondiale alimentaire s'accroît de 14 % par décennie, une croissance de la température de 1°C provoque une baisse relative de rendement de 2 %/décennie (blé) ;
- et des *problèmes accrus de pénuries et d'accès à la ressource en eau*.

Le GIEC conclut, avec une « confiance élevée », que « *toutes les dimensions de la sécurité alimentaire (accès, stabilité, disponibilité, qualité) seront affectées avec des impacts tout au long du siècle sur la croissance économique et sur la société* ». En particulier, il annonce une hausse des prix des aliments dans une proportion non évaluable avec précision mais qui affectera directement les ménages urbains pauvres. En cas de défaut d'adaptation, une augmentation importante de la pauvreté rurale, mais aussi urbaine, est à craindre ainsi que des migrations d'ampleur depuis les régions vulnérables, phénomènes susceptibles de générer des conflits.

De nouvelles études très récentes confirment l'ampleur annoncée des changements à venir et des risques. Ainsi, dans sa livraison du 19 janvier 2017¹³, la revue *Nature* annonce des baisses de rendements aux États-Unis « *de 49 % pour le maïs, de 40 % pour le soja et de 22 % pour le blé d'ici 2100* », en cas d'exposition prolongée à des températures comprises entre 30 et 36°C et ce pour cause de *stress hydrique*.

2.2.2. Les voies de l'adaptation : investir dans le stockage, dans l'irrigation et dans l'agroécologie

Accroître la résilience et la productivité des agro-écosystèmes, grande priorité planétaire, nécessite de mieux gérer les ressources naturelles (eau et sols) et de faire évoluer les systèmes de culture. Dans l'étude sur les États-Unis publiée en janvier 2017 par la revue *Nature*, l'*irrigation* est identifiée comme la solution clef de l'adaptation. Le rapport du GIEC souligne, quant à lui, la nécessité d'actionner concomitamment plusieurs leviers pour la réussite de l'adaptation. Dans son chapitre sur l'eau, il met en exergue le besoin d'investissements en stockage de l'eau et extension de l'irrigation. Celui-ci est estimé à un coût de *225 milliards de dollars d'ici 2030* (avec une grande marge d'incertitudes) *pour le seul maintien des services rendus par l'eau dans 200 pays*. Les autres voies d'adaptation complémentaires citées concernent l'utilisation de variétés plus résistantes, la promotion de pratiques agronomiques de conservation de l'eau et des sols (zéro labour, agroforesterie, agriculture de conservation...) et de récupération et collecte de l'eau (le « *water harvesting* »), l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation par l'utilisation de nouvelles technologies, la valorisation des savoir-faire locaux, la recharge artificielle des nappes et le développement des réutilisations. L'adaptation des cultivars et l'irrigation affichent les meilleurs résultats parmi les stratégies possibles d'adaptation étudiées.

¹³ Schauburger et al, "Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models".

Face à la baisse annoncée des rendements, la communauté scientifique craint cependant que l'ajustement mondial pour le maintien de la sécurité alimentaire se fasse principalement « par extension des surfaces cultivées », donc avec de potentielles implications en matière de déforestation tropicale et, par suite, de perte de biodiversité et d'émissions accrues de GES. La réduction des pertes et gaspillages (terres agricoles, nourriture...) et l'intensification durable de la production agricole pour éviter un tel scénario devrait donc devenir un objectif fondamental.

Face aux défis multiples auxquels nous devons faire face, la principale conclusion du groupe « eau et sécurité alimentaire » du Partenariat Français pour l'eau (PFE) consiste à ne pas opposer les solutions, par exemple en évitant de ne parler que d'économie d'eau¹⁴ ou au contraire que de création de nouvelles infrastructures de stockage. La principale erreur serait en effet de les opposer. Il convient au contraire de « *mobiliser tous les leviers d'action possibles, ensemble* ». Et c'est aussi la position que la France a défendu dans le débat mondial sur l'eau et la sécurité alimentaire (cf. <https://www.partenariat-francais-eau.fr/position-partagee-gisa/>).

2.2.3. L'importance « unique » du « secteur des terres »

Pour la première fois, le GIEC a souligné dans son dernier rapport l'importance « unique » du *secteur des terres* (agriculture, forêts et sols), conférée à la fois par :

- son importance vitale en termes d'alimentation, d'emplois et d'équilibres territoriaux,
- sa grande vulnérabilité au dérèglement climatique,
- et sa contribution majeure possible à la réussite de l'atténuation.

Sa contribution à la lutte contre le changement climatique visera notamment à :

- réduire les émissions directes et indirectes du secteur agricole,
- accroître la capacité des champs, des prairies et des bois à capter une partie du CO₂ en excès dans l'atmosphère pour le stocker dans la biosphère (sols et forêts),
- produire ainsi plus et mieux pour mettre à disposition du marché une part croissante de produits bio-sourcés (fibres, bioénergies, chimie du végétal...) riches en carbone vert, en substitution à des produits conventionnels (charbon, ciment, hydrocarbures,...) très émissifs de GES.

Selon le GIEC, le secteur des terres représente 40 %¹⁵ de la solution climatique à l'horizon 2030.

2.3. Les décisions de la COP 21 : pas de stratégies d'adaptation et/ou d'atténuation sans prise en compte des enjeux de production alimentaire

Alors que la négociation climatique était surtout centrée depuis son origine sur les problèmes d'« *atténuation* » (mesures visant à réduire des émissions de GES - gaz à effet de serre) et d'énergie, la COP 21 a permis de mieux mettre en avant la question fondamentale de l'« *adaptation* » (mesures visant à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains contre les effets réels ou attendus du changement climatique), les deux premières priorités ressortant des INDCs¹⁶ étant l'eau et l'agriculture.

La COP 21 a également donné une grande importance à la question alimentaire. En effet, l'Accord de Paris :

- reconnaît « *la priorité fondamentale consistant à protéger la sécurité alimentaire et à venir à bout de la faim, et la vulnérabilité particulière des systèmes de production alimentaire aux effets néfastes des changements climatiques* » ;

¹⁴ Des « économies » relatives puisque l'eau qui n'est pas évapo-transpirée revient au milieu. L'économie vaut pour les portions de rivières situées entre lieu de prélèvements et lieu de retour à la rivière des flux non évapo-transpirés. Elle est nette lorsqu'elle permet de réduire les pertes par évaporation.

¹⁵ de 20 à 60

¹⁶ Intended Nationally Determined Contributions : contributions nationales déterminées des pays

- et stipule (article 2) que : « *l'Accord vise à renforcer la riposte mondiale à la menace climatique : a) en contenant l'évolution de la température nettement en dessous de + 2°C, et b) en renforçant la capacité à s'adapter et à promouvoir un développement à faible émission de gaz à effet de serre d'une telle façon que la production alimentaire ne soit pas menacée* ».

Ce faisant :

- l'Accord a bien résumé un des très grands défis du siècle : réussir ensemble l'atténuation, l'adaptation et la sécurité alimentaire, c'est-à-dire, *réussir le triple gain*,
- toute stratégie d'adaptation et/ou d'atténuation devra dorénavant prendre en compte les enjeux de la production/sécurité alimentaire, dans leur dimension locale/globale.

La COP 21 a également permis, pour la première fois, de mobiliser les Ministres et acteurs de l'agriculture pour avancer concrètement dans la direction du triple gain. L'initiative « *4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat* » a en effet été lancée avec succès et inscrite à l'Agenda des solutions (Plan d'action Lima-Paris). Elle réunit aujourd'hui 170 partenaires dont tous les grands organismes de coopération agricole et de recherche agronomique, de grands « think tank » environnementaux comme le *World Resources Institute* et plus de 30 États représentés par leurs Ministres de l'agriculture ou de l'environnement. Elle a pour objectif d'enrichir les sols en carbone pour contribuer à la fois à l'atténuation, à l'adaptation et à la sécurité alimentaire.

Cette initiative, introduite par la France, s'est appuyée sur les travaux de l'INRA et du CGAAER.

Le rapport « *Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique* » (CGAAER, février 2015) a montré à la fois :

- la possibilité d'agir sur plusieurs leviers pour faire du secteur des terres, en France comme dans le monde, un puissant moyen de la politique de lutte contre le changement climatique¹⁷,
- le bien fondé de la « transition agro-écologique »,
- la nécessité pour l'Europe de maintenir sa production agricole : toute externalisation serait en effet une absurdité, en particulier en termes d'impacts sur le climat,
- et enfin, la nécessité d'une stratégie ambitieuse d'adaptation, celle-ci passant notamment par un meilleur accès à l'eau d'irrigation. L'accès à l'eau et la réussite de l'adaptation déterminent en effet la capacité de l'agriculture à lutter contre le changement climatique, sans perte de production.

2.4. L'Afrique et la Méditerranée du Sud et de l'Est seront particulièrement touchées : quelles conséquences pour l'Europe ?

La Méditerranée du Sud et de l'Est sera très affectée par le dérèglement climatique. La ressource en eau, déjà fréquemment surexploitée, va notamment se réduire, jusqu'à - 40 % au Maghreb (cf. carte de la figure 7). Or, les effectifs de la population, malgré la nette réduction des taux de fécondité enregistrée, sont encore croissants, et donc aussi les besoins alimentaires.

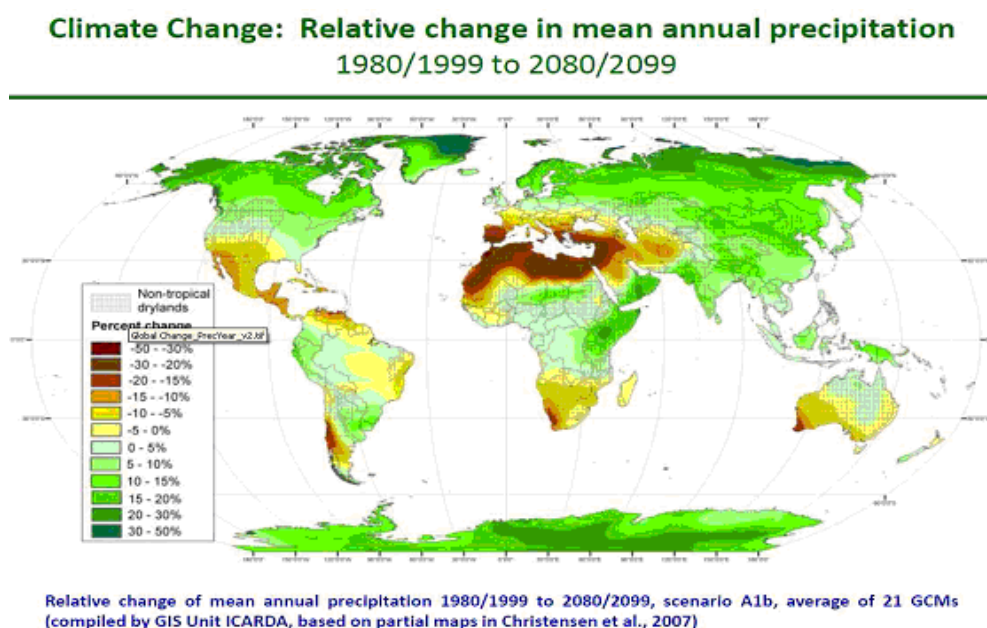
Les principales conséquences probables de cette conjonction de facteurs négatifs au sud de la Méditerranée sont les suivantes :

- le nombre de Méditerranéens en situation de « pénurie » en eau pourrait passer de 64 millions en 2010 à 290 millions en 2050 (calcul Plan Bleu et CGAAER pour le séminaire *SESAME 1*),
- la dépendance alimentaire du Maghreb (calculée en % de kilocalories) pourrait passer de 51 % aujourd'hui à 70 % en 2050, alors que, sans changement climatique, elle pourrait se maintenir à 50 % (Étude INRA/Pluriagri, 2015). Ainsi, les pays à ressources en eau abondantes devront produire bien davantage pour répondre aux besoins croissants des pays en situation de pénurie structurelle croissante,

¹⁷ Le rapport du CGAAER arrive, pour la France, à un chiffre comparable à celui donné par le GIEC au niveau mondial : le secteur des terres pourrait en effet représenter en France 40 % de l'objectif national d'atténuation à l'horizon 2030.

- les sols étant de moins en moins épais du fait de l'érosion et l'aridification aggravant encore la situation, des phénomènes graves de désertification, de paupérisation et d'exode rural sont possibles.

Figure 7 : changements annoncés de la pluviométrie sur un siècle : la Méditerranée site critique mondial



L'Afrique sub-saharienne pourrait être encore bien plus affectée que la Méditerranée du sud. La forte hausse des températures pénalisera les rendements alors qu'un doublement de la population est annoncé d'ici 2050. Les nouveaux besoins alimentaires et en emplois à satisfaire seront donc considérables. Or, le faible taux d'irrigation (3 %), les faiblesses internes des agricultures et le manque de capacités institutionnelles et de politiques fortes de l'eau et de l'agriculture rendent l'Afrique sub-saharienne particulièrement vulnérable. La dépendance alimentaire africaine, déjà forte, pourrait donc s'accroître encore considérablement (triplement ou plus d'ici 2050) comme l'ont montré toutes les perspectives agricoles et alimentaires récentes (cf Agrimonde, INRA/CIRAD, 2007). La réussite à grande échelle du développement est donc d'importance vitale. Elle est possible car l'Afrique sub-Saharienne ne manque pas de ressources, notamment de ressources en eau.

Ces évolutions dans leur sud immédiat concernent au premier chef l'Europe et la France. La question de l'approvisionnement des pays en déficit de production et celle des migrations, organisées ou subies, vont en effet devenir d'une importance géopolitique première.

Plusieurs scénarios sont possibles pour l'Europe. L'UE pourrait décider de tirer profit de cette demande croissante pour produire davantage et se positionner sur les marchés. Elle pourrait aussi prendre conscience de l'ampleur du défi et s'attacher à développer des solutions avec les pays du Sud¹⁸. Elle pourrait ainsi renforcer sa contribution au nécessaire renouveau agricole et écologique du continent africain tout en décidant de mieux préserver, mobiliser et valoriser ses propres ressources rurales (eau, terre, ressources agricoles) pour produire chez elle davantage d'aliments et contribuer ainsi à la sécurisation des approvisionnements du Sud comme à la création d'emplois en Europe. La France est particulièrement concernée car elle exporte l'équivalent de 5 millions d'hectares de céréales, notamment en direction du Maghreb et de l'Égypte. Elle a aussi lancé le « Projet agro-écologique » comme priorité de politique agricole et, lors de la COP 21, « l'initiative 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat ».

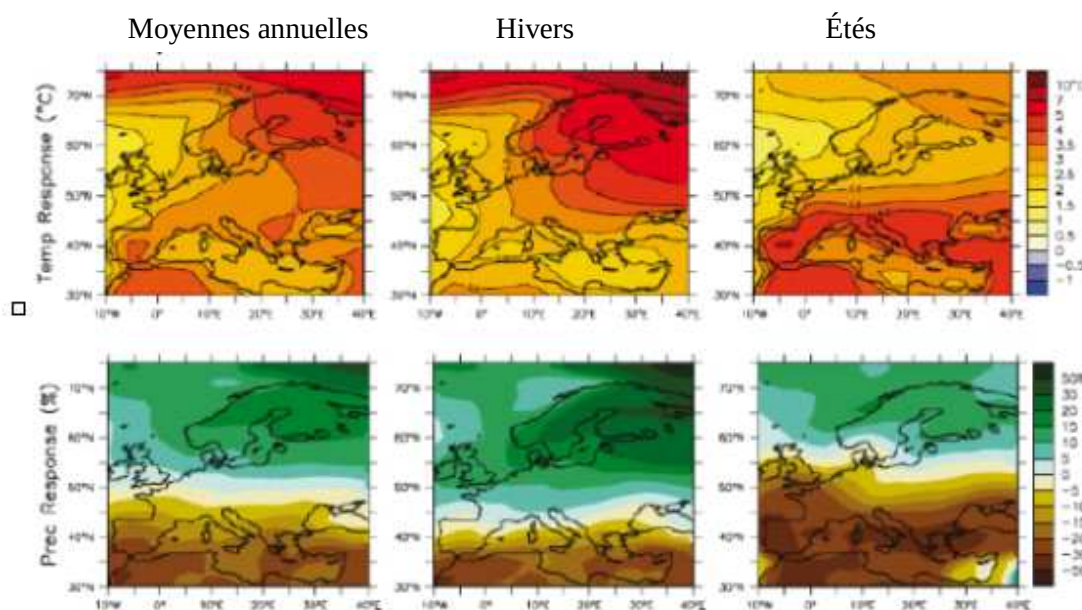
¹⁸ Appuis au renforcement des capacités institutionnelles et à la mise en place de PAC africaines, à la transition agro-écologique, à la mobilisation de la ressource en eau, au développement

Un autre scénario consisterait à ne plus faire de l'emploi productif et de la sécurité alimentaire, y compris de la propre sécurité alimentaire de l'UE, une priorité. C'est déjà un peu le cas. L'Europe occidentale (UE + Suisse + Norvège et Islande) est aujourd'hui redevenue globalement importatrice alimentaire nette en calories, à hauteur d'environ 10 % de ses besoins (source Dorin, CIRAD, 2014), alors qu'elle avait pourtant retrouvé dans les années 1990 sa capacité à nourrir elle-même ses habitants. Or, le scénario du CIRAD pour l'Europe occidentale, basé sur les projections de la FAO, annonce d'ici 2050 une perte d'encre 18 millions ha de terres et un presque doublement du déficit européen net en biomasse alimentaire végétale. Celui-ci s'élèverait alors à 1 140 Gkcal/j, soit un déficit presque aussi élevé que celui annoncé pour la région Afrique du Nord-Moyen Orient (1 480 Gkcal/j). L'UE resterait donc dépendante des importations pour son alimentation, alors que ses voisins du Sud le seront encore bien davantage. Ce faisant, l'UE resterait dépendante de l'eau d'autres régions du monde dont beaucoup disposent pourtant de ressources en eau bien plus limitées. Son défaut d'autonomie alimentaire continuerait à contribuer à la dégradation écologique des masses d'eau d'autres continents.

2.5. La « méditerranéisation » de l'Europe et les défis auxquels elle va devoir faire face

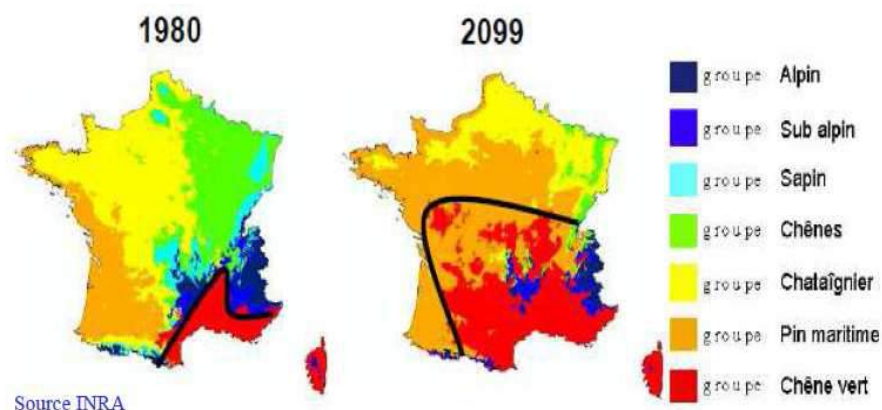
Le GIEC souligne la forte vulnérabilité de l'Europe du Sud. Il y pleuvra moins et il y fera encore beaucoup plus chaud en été, donc pendant la période de stress hydrique (cf. ci dessous figure de droite, partie haute). L'agriculture et le tourisme seront donc affectés avec à la clef un recul probable du PIB (baisse de 1 %, voire plus). L'Europe du Nord sera bien moins affectée : il y pleuvra plus, sauf en été dans certaines régions (Irlande, Pays Bas : cf. figure, partie basse), et l'augmentation de température aura des effets souvent plus positifs que négatifs.

Figure 8. Changements de températures et de précipitations 1980-2000/2080-2099 (scénario A1B du GIEC)



Avec le réchauffement climatique, une bonne partie de la zone intermédiaire de l'Europe, notamment de la France, se « méditerranéise » (figure).

Figure 9. La méditerranéisation annoncée de la France : l'exemple de la forêt



La limite du climat méditerranéen a d'ailleurs déjà progressé de 60 à 100 km depuis 1980. Toulouse, Millau et Montélimar sont devenues méditerranéennes et Albi, Valence et Lyon sont en situation de transition pré-méditerranéenne (Moulin, 2011).

Le GIEC constate déjà des baisses importantes de production du fait de canicules, par exemple en Russie, ou de sécheresses, notamment en Espagne, avec des pertes pouvant aller jusqu'à 40 %. Et il fait ressortir trois grands risques d'impacts pour l'avenir du continent :

- une *baisse sensible de la teneur en eau des sols* due à la forte croissance de l'évapo-transpiration, avec pour conséquences une *aptitude réduite à la production en pluvial* et une *croissance de la demande en eau d'irrigation*, alors que la ressource disponible se réduira notamment en été (effet de ciseau),
- une forte aggravation des *problèmes d'inondations* avec des coûts croissants résultant de la mal-urbanisation (étalement urbain),
- les *impacts des canicules sur la santé, sur la productivité agricole et sur la productivité du travail*.

Face à ces grands défis, que faire ? Le GIEC apporte quelques éléments de réponses sur le défi eau/agriculture/climat. Il met ainsi l'accent sur le besoin de politiques d'investissements (stockage...) pour répondre aux nouveaux besoins (irrigation) et prévenir les conflits d'usages, tout en soulignant des risques de difficultés : manque de disponibilités en ressources en eau dans certains bassins, coûts croissants des infrastructures et du service de l'eau (+ 25 % en Italie), mais aussi problèmes d'acceptabilité sociale. Sont également cités l'efficacité de l'eau, le semis précoce, le changement de variétés et de cultures, l'agriculture de conservation, l'extension de l'irrigation, le drainage...

3. Les impacts observés et projetés du changement climatique en France

La France est située dans la zone géographique intermédiaire pour l'évolution de la pluviométrie. Le changement des précipitations, en moyenne annuelle, ne sera pas considérable. En revanche, la variabilité climatique croissante accentuera les problèmes d'inondations, de sécheresses et de canicules. L'augmentation de la température, déjà sensible, s'accroîtra encore avec pour conséquences une augmentation des besoins en eau des plantes (forêts, friches, prairies, cultures) et, par suite, une baisse importante des débits d'étiage.

3.1. Comprendre les trois types de sécheresse (météorologique, agricole et hydrologique), l'évapotranspiration, facteur déterminant

Comme l'explique fort bien Météo France (rapport final du projet *Climsec*, 2011), 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 ». En effet, c'est la hausse de la température et l'assèchement des sols, résultant de la hausse de l'évapotranspiration, qui constitueront l'« élément essentiel de l'évolution du cycle hydrologique au cours du 21^{ème} siècle ». Ce sera le cas notamment en France, pays « particulièrement concerné par le risque d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur et des sécheresses » (Moisselin, 2006 ; Caballero, 2007).

Pour évaluer l'importance des risques et les besoins en eau futurs du pays, et pour être en mesure de gérer durablement la ressource en eau, il est donc essentiel de prendre en compte les quatre composantes de la sécheresse :

- la composante « météorologique » (déficit de pluviométrie),
- la composante « édaphique » (déficit des réserves en eau des sols superficiels),
- la composante « phénologique » (impacts des variations du climat sur la feuillaison et la floraison des végétaux),
- la composante « hydrologique » (niveau anormalement bas des rivières et des nappes).

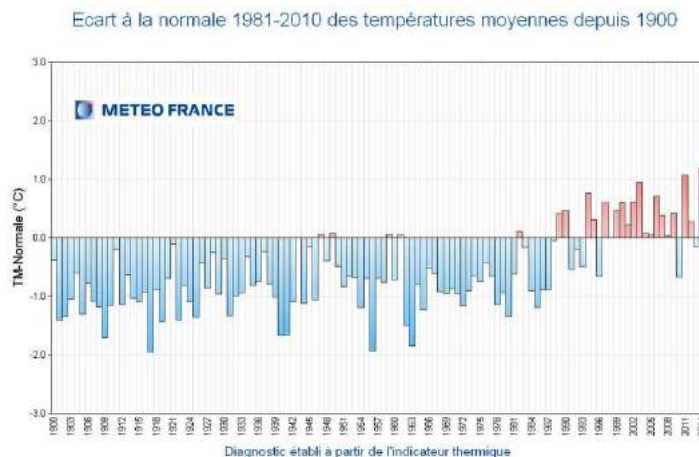
La sécheresse « agricole » résulte de la double sécheresse édaphique et phénologique.

3.2. Températures et évapotranspiration : quelle évolution ?

a) Le passé récent

Les hausses de température déjà observées en France sont fortes (graphe Météo France).

Figure 10 : Le réchauffement climatique en France

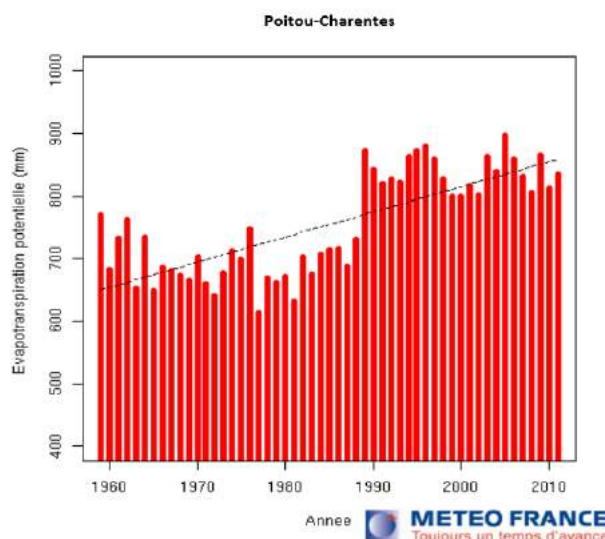


La conséquence est une forte croissance de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

- à Montpellier, la température moyenne estivale s'est accrue de 2,3° C en 30 ans (+ 0,8°C en hiver) et l'évapotranspiration en plaine a augmenté de 240 mm (+ 20 à + 30 %). La région est ainsi passée de la catégorie climatique « méditerranéen sub-humide » à la catégorie « méditerranéen semi-aride ». La perte consécutive de production agricole a été estimée par l'INRA à 0,9 tonne de matière sèche par ha, soit 11 % (source : Projet Régional d'Agriculture Durable Languedoc Roussillon).
- En Poitou-Charentes, l'ETP a augmenté de plus de 20 % depuis 1980 (figure 11).

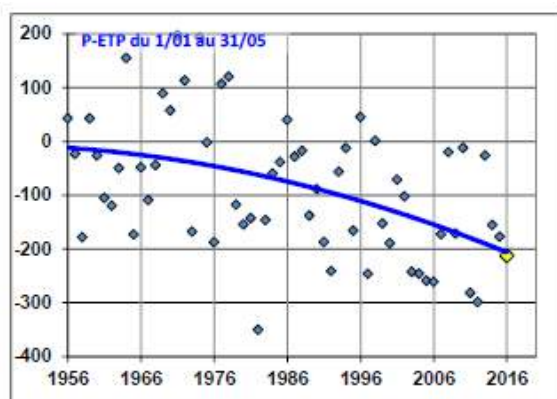
Figure 11 : Évolution de l'évapotranspiration potentielle en Poitou-Charentes 1960 - 2012

Source : ORACLE : Observatoire régional sur l'agriculture et le changement climatique



- La conséquence directe de l'augmentation de l'ETP est la détérioration du bilan hydrique [P-ETP] (Pluies – Évapotranspiration potentielle)

Figure 12 : Dégradation du bilan hydrique P-ETP (Pluies – Évapotranspiration potentielle) sur 5 mois à Orange¹⁹

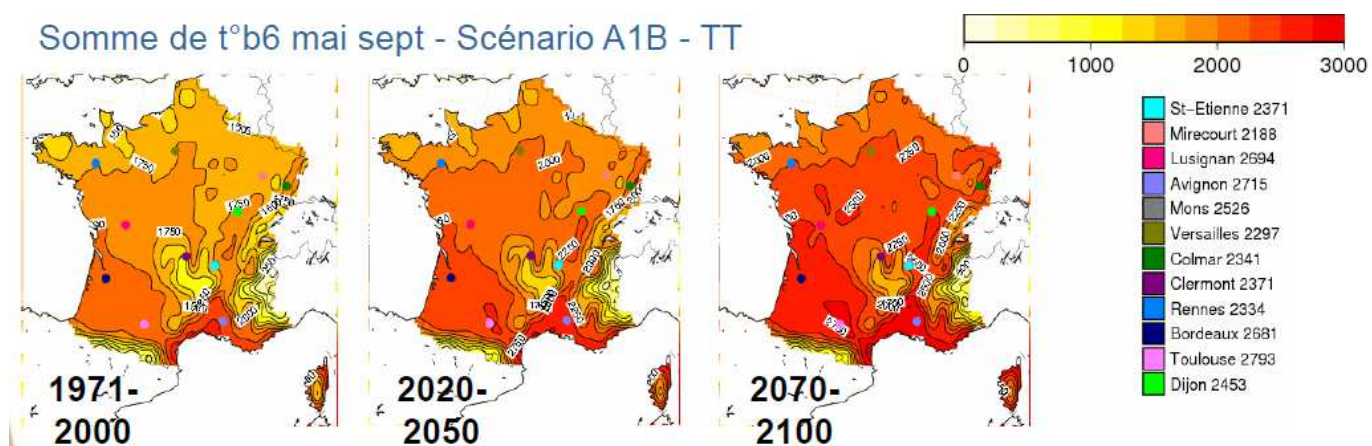


b) le futur annoncé

Les projections du modèle *Climator* relatives au scénario moyen A1B du GIEC annoncent encore une forte hausse des températures estivales (cartes). Selon le rapport « *Le climat en France au 21^{ème} siècle* » (MEDDE, 2014, coordonné par J. Jouzel), l'augmentation de température à l'horizon 2070-2100 devrait être particulièrement marquée dans le Sud-Est et pourrait dépasser les 5°C en été par rapport à la moyenne de référence.

¹⁹ Source : Jezéquel et Braun, Arvalis, colloque *L'irrigation et l'agroécologie font-elles bon ménage ?*, Le Tholonet, 2016

Figure 13 : Évolutions annoncées des températures estivales en France (scénario A1B)

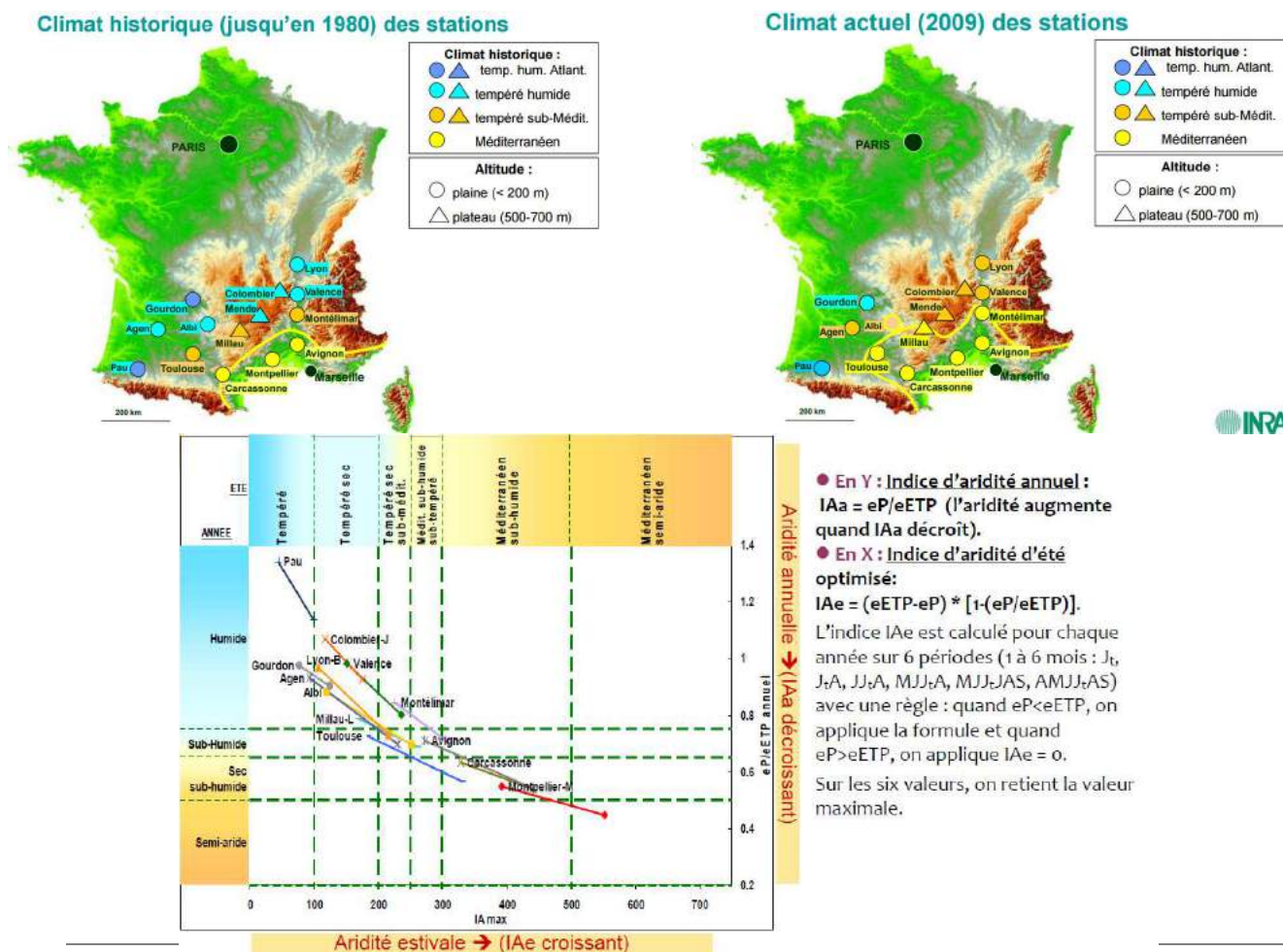


Selon CLIMATOR (2007-2010), étude de référence conduite notamment par l'INRA, l'ETP (évapotranspiration potentielle) devrait augmenter encore de 60-80 mm dans un futur proche (2020-2050) et, plus encore dans un futur plus lointain (150 mm au sud et 200 mm au nord). Toutefois, l'augmentation de l'évapotranspiration maximale effective (ETM) de certaines cultures sera atténuée du fait du raccourcissement des stades phénologiques.

c) Aridification et méditerranéisation

Les cartes et le graphe ci-dessous (INRA projet Climfourel) montrent le double phénomène d'aridification et de méditerranéisation déjà observés et annoncés en France. Les zones climatiques sont définies en tenant compte de l'indice d'aridité P/ETP. Lorsque $P < ETP$, la productivité fourragère baisse. Lorsque l'indice d'aridité annuel < 0.5 , la zone passe en climat semi-aride. C'est le cas déjà à Montpellier.

Figure 13 bis Aridification et méditerranéisation de la France



3.3. Baisse sensible de l'humidité des sols dès les années 2020, sécheresses agricoles « extrêmes » sur l'ensemble du territoire dès 2080

Les deux figures ci-après, issues de l'observatoire ORACLE Poitou-Charentes, confirment une nette diminution tendancielle de l'humidité des sols depuis 20 ans, notamment au printemps et à l'automne, saisons où l'humidité des sols détermine la réussite des semis (cultures annuelles de printemps et d'automne), ainsi que des sécheresses devenant de plus en plus sévères.

Figure 14 :
Soil Water Index (SWI) en Charente 1958-2011

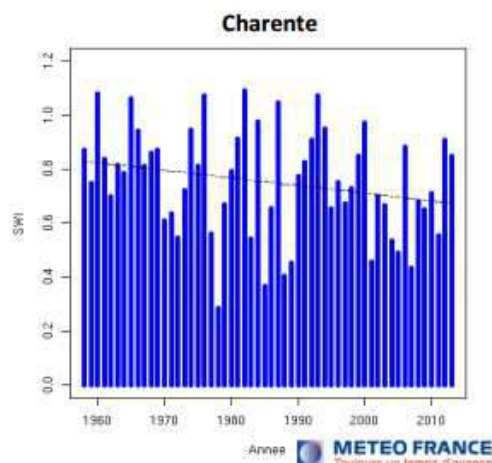
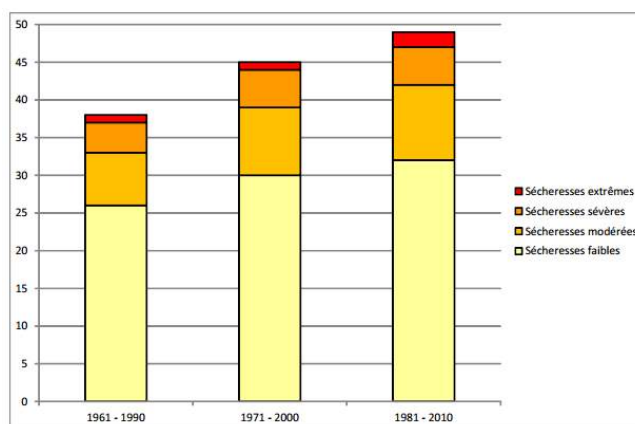
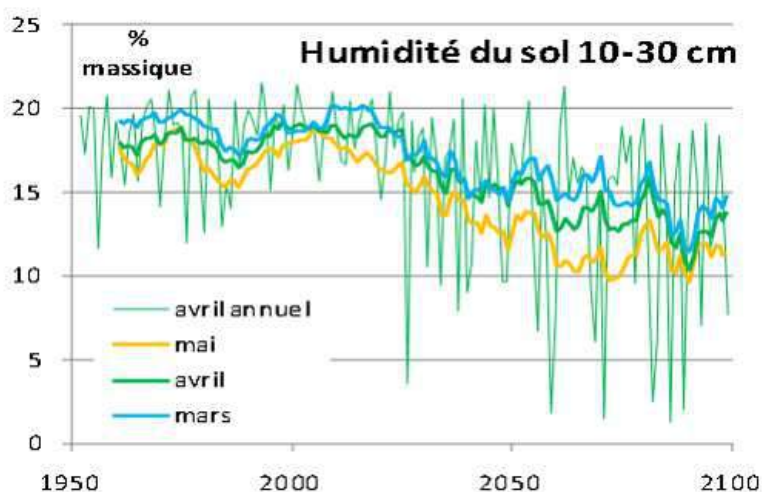


Figure 15 :
Sévérités des sécheresses à 3 mois dans la Vienne 1960-2010 (% du temps)²⁰



Le mois d'avril est essentiel à l'implantation des cultures. Cependant, selon l'étude de référence CLIMATOR (ANR/INRA), la baisse d'humidité des sols devrait s'amplifier rapidement dès les années 2020 (fig 16), imposant un recours à des « irrigations starter » pour plusieurs cultures. Paradoxalement, nous pourrions connaître aussi des années avec de forts excès d'eau.

Figure 16. Simulation de l'humidité du sol dans l'horizon 10-30 cm en mars, avril et mai dans le futur proche et le futur lointain (CLIMATOR 2007-2010)



²⁰ L'indice standardisé d'humidité des sols (SSWI : Standardized Soil Wetness Index), exprime en chaque point du territoire régional le caractère plus ou moins exceptionnel de l'humidité du sol au regard de l'ensemble des valeurs d'humidité connues en ce point sur une période de référence (1971-2000). Quatre classes de sécheresse sont identifiées : sécheresse faible (situation rencontrée tous les 2 à 5 ans), sécheresse modérée (situation rencontrée tous les 5 à 10 ans), sécheresse sévère (situation rencontrée tous les 10 à 25 ans), sécheresse extrême (situation rencontrée tous les 25 ans ou plus).

L'étude « *Climsec* », conduite de 2008 à 2011 par Météo France alerte fortement sur la montée des problèmes. L'évolution annoncée en métropole au cours du 21^{ème} siècle, étudiée à partir des différentes projections climatiques des modèles du GIEC, montre « de grandes cohérences dans leur déroulement spatio-temporel », les principaux résultats étant résumés comme suit (tableau).

Tableau 2 : Sécheresses annoncées en France

	Années 2020	Années 2050	Années 2080
Sécheresses météorologiques	Peu de changements	Évolution encore limitée du régime pluviométrique	Sécheresses météorologiques plus fortes notamment en été
Sécheresses agricoles (sols et végétation)	La probabilité de sécheresses agricoles s'accroît	Sécheresses agricoles inhabituelles en termes d'extension spatiale ou d'intensité (simulées dans l'ensemble des projections climatiques)	Les sécheresses agricoles pourraient devenir <i>extrêmes</i> sur la majeure partie du territoire. La durée des sécheresses (plusieurs années ou décennies) relève de typologie de phénomène totalement inconnu dans le climat actuel

Les régions ayant les sols les plus humides en moyenne aujourd'hui (Nord et Est du pays notamment), pourraient connaître « les évolutions les plus fortes par rapport au climat actuel ». En outre et du fait de problèmes de modifications du régime nival, les zones montagneuses pourraient connaître des évolutions les plus marquées en matière d'assèchement des sols dans les années 2050.

En conclusion :

- la France entre dans une *nouvelle période*,
- l'ensemble du pays sera profondément affecté par le changement climatique (sécheresses édaphiques et phénologiques) et pas seulement le Sud-Ouest et le bassin Seine Normandie comme le soulignent plusieurs rapports trop focalisés sur les seules sécheresses hydrologiques.

3.4. Moins d'eau dans les rivières et dans les nappes et des étiages bien plus sévères

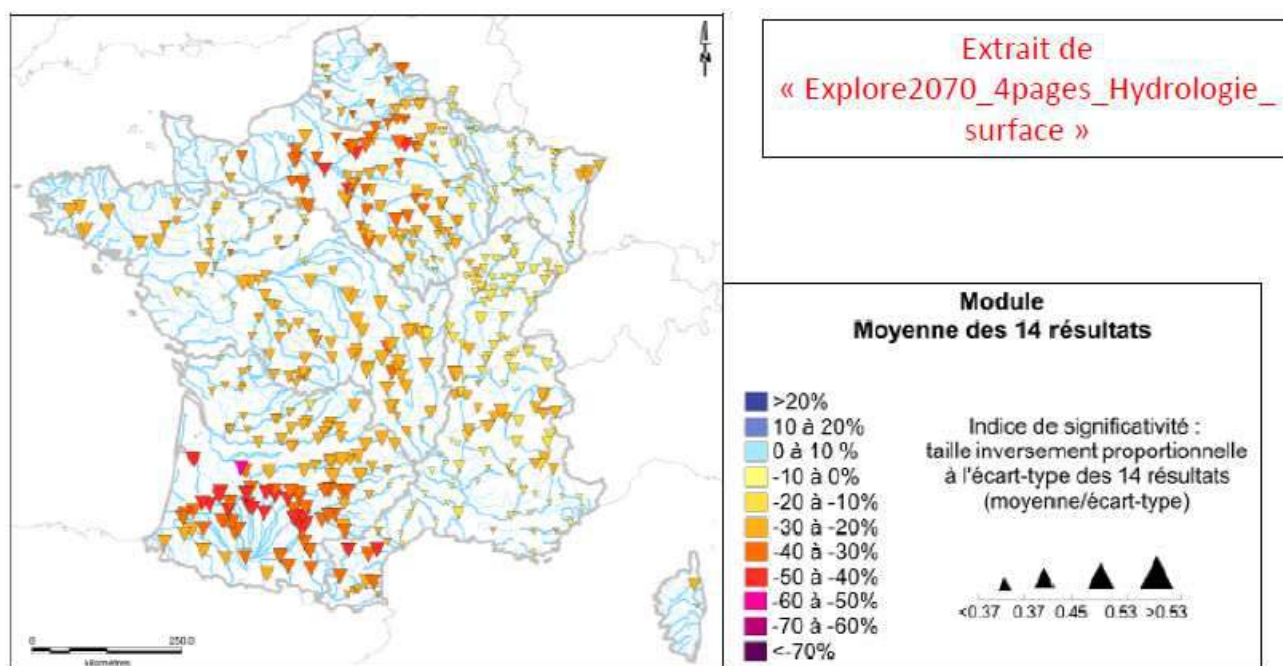
L'augmentation de l'évapotranspiration aura aussi des impacts lourds sur les hydro-systèmes. Les principales conclusions de l'étude prospective « *Explore 2070* » (Ministère en charge de l'environnement, 2012) sont les suivantes :

- Les étiages seront plus sévères, plus longs et plus précoces, avec des débits réduits de 30 à 60 % (hors gestion des barrages). Les baisses seront particulièrement prononcées sur le bassin Seine Normandie, la rive gauche de la Garonne et la moitié nord du bassin du Rhône (carte).
- La recharge des nappes serait partout en forte baisse, en moyenne de 30 %. Les baisses seraient notamment fortes en Vendée, sur la Garonne et dans plusieurs bassins côtiers méditerranéens.
- Les débits des cours d'eau diminueraient en moyenne de 20 %, la quasi totalité des bassins versants étant touchés.

La carte ci-dessous, extraite de l'étude *Explore 2070*, montre que les bassins Adour-Garonne et Seine-Normandie seront les plus touchés par la sécheresse hydrologique. Les régions méditerranéennes françaises (Provence, Languedoc, Corse) ne seront pas les plus affectées. Elles ont en outre pour elles d'avoir depuis toujours appris à vivre avec le stress hydrique estival et d'avoir créé d'importantes infrastructures de stockage et de transferts de la ressource en eau qu'elles pourront mieux valoriser et compléter.

Les régions les plus affectées pourraient donc être celles situées plus au nord ou à l'ouest, là où le climat va se « méditerranéiser » mais là aussi où les populations n'ont pas encore développé une culture méditerranéenne de la gestion de l'eau et où les capacités de stockage créées sont faibles.

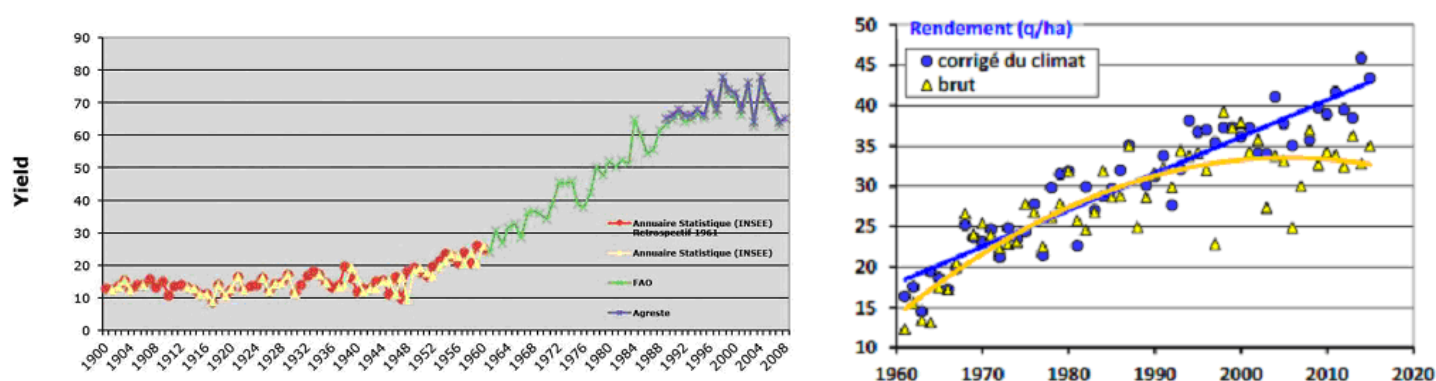
Figure 17 : Évolution relative possible du débit moyen en % entre 1961-1990 et 2046-65



3.5. Agriculture : quels impacts ?

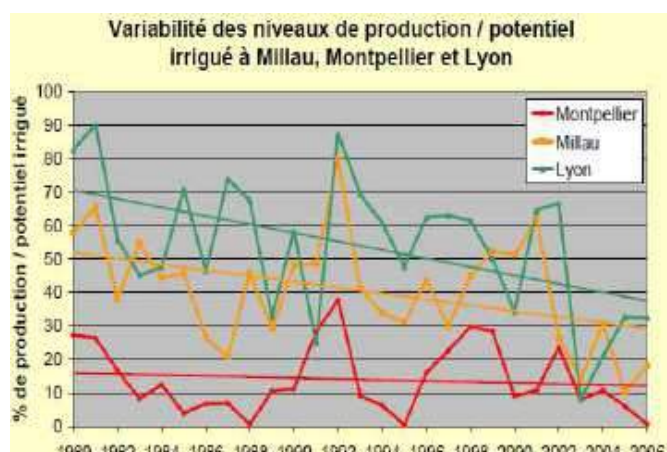
Le changement climatique a déjà une influence importante et négative sur la *productivité du blé tendre* en France, ainsi que du *blé dur* (figure 18) ou encore de la vigne dans le midi. Alors que le progrès génétique se poursuit, on observe en effet depuis une vingtaine d'années une stagnation des rendements du blé explicable principalement par le dérèglement du climat (figure 18). Les travaux de modélisation du Centre commun de recherche (ou JRC ; Joint Research Centre) de l'Union européenne anticipent en 2030 des pertes de production qui pourraient atteindre 20 % dans certaines régions en absence d'adaptation.

Figure 18 :
Évolution du rendement de la culture du blé tendre en France (à gauche, source INSEE)
et du blé dur en Méditerranée française (à droite, source Arvalis)



On note également une baisse nette de la *production fourragère* sur tout l'arc périméditerranéen et une irrégularité de plus en plus forte de la production d'été et d'automne. L'augmentation de la température permet une pousse un peu plus forte au printemps. Cependant, l'effet sécheresse entraîne une baisse bien plus importante de la production estivale. Sur la période 1980-2006, la baisse de production fourragère a ainsi été chiffrée à 30 % à Lyon et à 20 % à Millau, les niveaux de production se rapprochant de ceux, encore plus faibles, de la région de Montpellier (figure 19).

Figure 19 : Indice de production fourragère 15 mai-15 septembre de 1980 à 2006 (Source : projet Climfourel)



L'expertise collective sécheresse INRA de 2006 sur les sécheresses récentes a, de son côté, montré que :

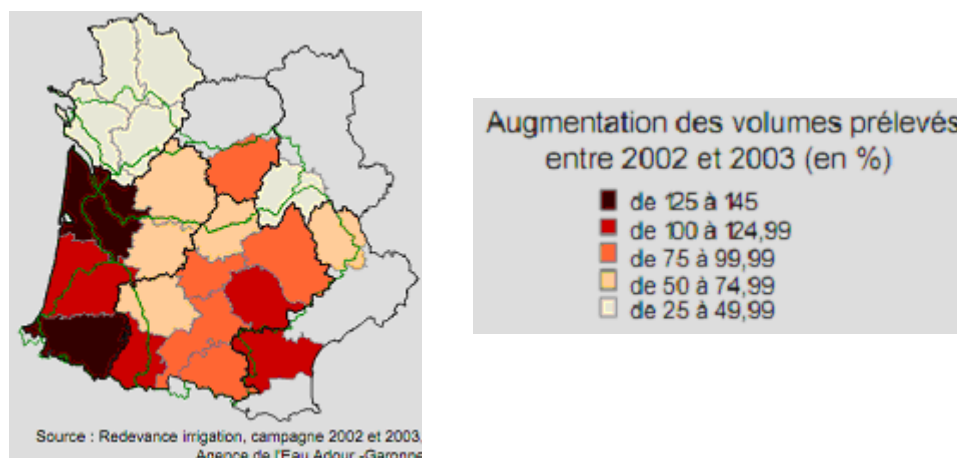
- Les pertes de rendements liées à la sécheresse ont été générales sur le territoire métropolitain en 1976, 2003 et 2005, notamment sur le blé, le maïs et le sorgho. La sensibilité à la sécheresse de la pomme de terre et celle de la betterave ont été nettement réduites par le recours à l'irrigation.
- La sécheresse de 1976 a entraîné des pertes de revenu agricole de 9 % et celle de 2005 une baisse de revenu de 22 % par rapport à 2004 (actif non salarié). Par contre la baisse de production a été presque compensée par la forte hausse des prix de vente (+ 16 %) en 2003.
- A chaque sécheresse majeure, les exploitations les plus touchées ont été les élevages, qui reçoivent la plus grande part des indemnités versées au titre des calamités agricoles.

Tableau 3 : Conséquences des sécheresses de 1976, 2003 et 2005 sur les rendements des cultures (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%

En 2003, la sécheresse a conduit à une multiplication par 3,7 de l'irrigation sur les céréales autres que le maïs. La hausse des volumes d'eau prélevés s'est élevée à + 85 % par rapport à 2002, année relativement humide dans le bassin Adour-Garonne. En Midi-Pyrénées, le volume moyen d'irrigation sur le maïs a été de 220 mm contre 100 mm en 2002. Cependant, la progression en Poitou-Charentes a été plus faible, en raison des restrictions de pompage.

Figure 20 : Effets de la sécheresse de 2003 sur les prélèvements d'eau en Adour-Garonne (INRA, 2006)



Maintenir et accroître les quantités produites n'ira pas de soi compte tenu de la faible productivité des variétés résistantes à la sécheresse et des difficultés ou impossibilités de semer en hiver sur des sols trop engorgés. Pour une grande part, le résultat sera fonction de l'évolution de nos politiques publiques de l'eau et de l'agriculture. Comme l'a montré le projet *Climator*, *l'effet combiné de la température et des précipitations conduira à une baisse des rendements* (ex vigne non irriguée, tournesol non irrigué), sauf passage à l'irrigation permettant d'éviter le stress hydrique et de répondre aux besoins accrus en eau des cultures l'été.

La production sera enfin menacée dans sa *qualité*, ainsi pour celle du vin car les baies de raisin contiendront plus de sucre et moins d'acides organiques.

L'avancement des dates de semis, de vendange et récolte est une des autres conséquences importantes et déjà visible du dérèglement climatique. Pour le semis du blé tendre, l'évolution constatée en Poitou-Charentes (données *ORACLE*) depuis 1990, est de -1,9 jours/décennie. Ce *phénomène d'esquive* devrait s'amplifier considérablement avec le dérèglement du climat. Le projet *Climator* annonce pour la période 2070-2100 et le scénario A1B des dates de récolte avancées de 17 jours pour le blé, 32 jours pour la vigne et 41 jours pour le maïs.

4. Ressources en eau, agriculture irriguée et politiques publiques en France : situation, évolutions et comparaisons avec d'autres pays européens

Face aux impacts observés et annoncés du changement climatique sur la ressource en eau et sur l'agriculture et face aux enjeux ressortis du rapport du GIEC et aux décisions prises par la COP 21, comment se situe notre pays, comment évolue son secteur irrigué ? Les outils de politique publique mis en place au niveau européen et national sont-ils ou non adaptés à ces nouveaux enjeux ?

4.1. La ressource en eau

4.1.1. Une ressource en eau relativement abondante et peu mobilisée

Avec 500 km³ de précipitations annuelles et un volume important d'eau dans les lacs d'eau douce, les nappes et sous forme de glace en montagne, la France ne manque pas, a priori, de ressources en eau. Au total, la ressource renouvelable interne (écoulements) représente 3 008 m³/hab./an, ce qui est un niveau « confortable ». C'est moins que la Suède (17 636 m³/hab./an), mais bien plus que le seuil de pénurie (500 m³/hab./an) ou que ce dont disposent nos voisins espagnols (2 392 m³/hab.), allemands (1 321 m³/hab.) ou belges (1 068)²¹. La ressource en eau de la France est telle que Météo France qualifie notre pays de « territoire d'abondance hydrique ». Et pourtant la France est fortement importatrice d'« eau virtuelle » tant elle utilise peu sa propre ressource et fait un appel croissant à des produits (alimentation, vêtements, industrie...) utilisant l'eau à l'étranger, y compris dans des pays pauvres en eau.

Si les prélèvements totaux (tous usages) représentent 23 % des écoulements (33,4/173 km³/an) en France, 64 % du volume prélevé sert à la production d'électricité et retourne donc pour l'essentiel rapidement aux cours d'eau. Les consommations nettes (eau évaporée et transpirée), tous secteurs confondus, ne représentent de fait que 3,4 % de la ressource (6/173)²². Autrement dit, 97 % de la ressource en eau de la France (écoulements) parvient à la mer.

Tableau 4 : Ressource en eau douce en France et utilisations (km³/an)
Source : Agences de l'eau, Ministère de l'environnement, années 2009 et 2012

Pluies (moyenne)		500	
dont sols : évaporation et transpiration (eaux vertes)		320	
et dont écoulements (ressource en eaux bleues)		180	
Total ressources en eaux (écoulements - export + import)		173	
Prélèvements et consommations			
	Prélèvements 2009	Prélèvements 2012	Consommations 2009
Énergie	21,4	18,8	1,3
Eau domestique	5,7	5,5	1,4
Industrie	3,3	2,8	0,4
Irrigation	3,0	2,9	2,9
Total	33,4	30,0	6,0

L'eau qui n'arrive pas à la mer n'est pas pour autant perdue : comme celle s'écoulant en mer, son équivalent en volume revient chaque année aux territoires sous forme de pluies (cycle de l'eau).

²¹ Source : indicateurs Banque mondiale, année 2014

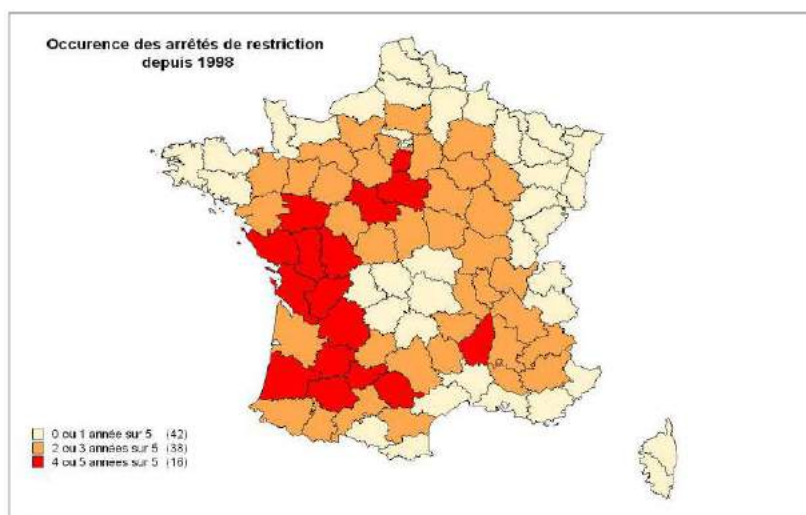
²² Le chiffre de consommation réelle (évapotranspiration) de l'eau d'irrigation donné par ce tableau paraît surestimé, cf. § 4.2.6.

4.1.2. Des zones en déficit quantitatif et des arrêtés sécheresse de plus en plus nombreux

Malgré cette ressource relativement élevée et des taux de consommation réels faibles, les restrictions d'accès à l'eau sont cependant devenues aujourd'hui fréquentes. En effet :

- Seize départements doivent dorénavant prendre systématiquement des arrêtés de restriction dans certaines zones de leur territoire, quelles que soient les conditions météorologiques, et plus de la moitié ont dû s'y résoudre en 2003, 2005, 2006 et 2011.

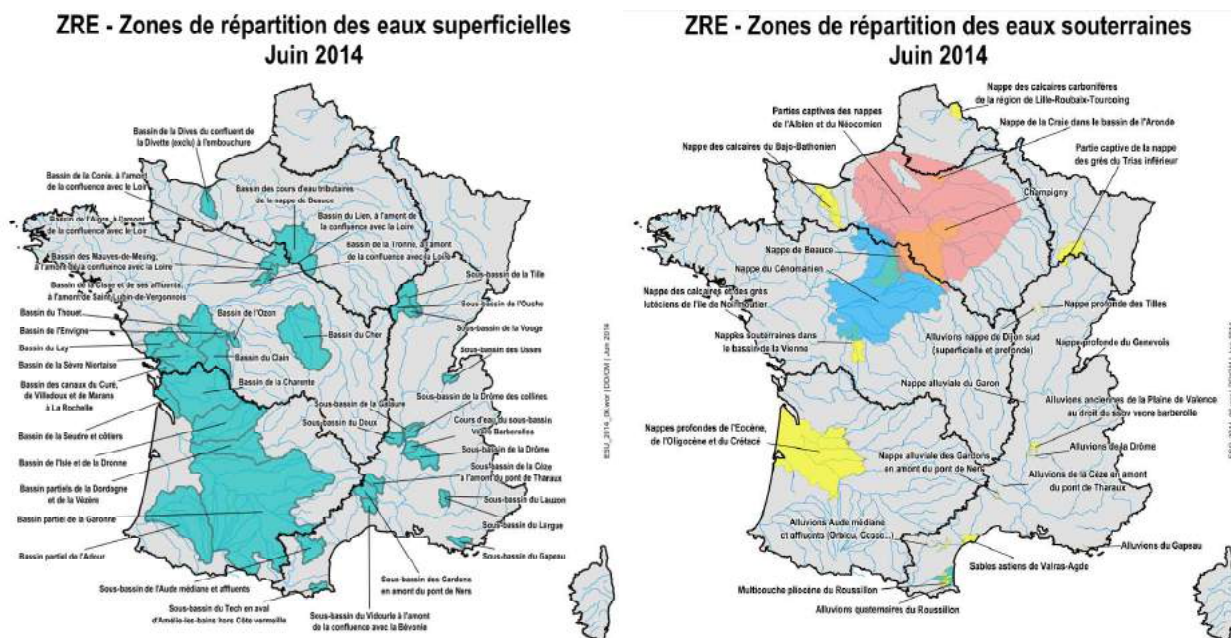
Figure 21 : Occurrence des arrêtés sécheresse



Source : Ministère en charge de l'environnement, 2013

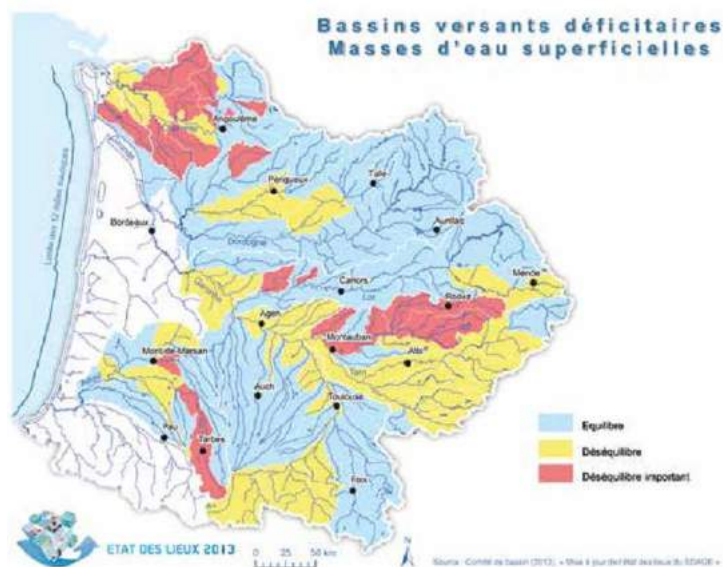
- Les zones classées ZRE (zones de répartition des eaux) recouvrent maintenant près de 1/4 du territoire national (Source des cartes : Ministère en charge de l'environnement, 2010).

Figure 22 : Zones de répartition des eaux (ZRE)

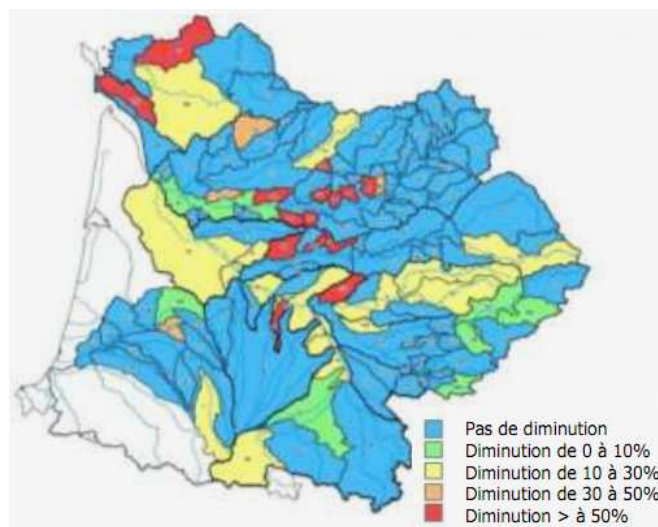


Sur un même grand bassin, les situations peuvent varier fortement d'un sous bassin à l'autre avec localement des écarts importants entre les volumes dits « prélevables » et les volumes effectivement prélevés (cf. carte Adour-Garonne ci après).

Figure 23 : Bassins versants déficitaires et écarts entre volumes « prélevables » et volumes prélevés : Sud-Ouest



Écart entre volumes prélevables initiaux
et volumes prélevés pour l'irrigation
en année hydrologique quinquennale sèche

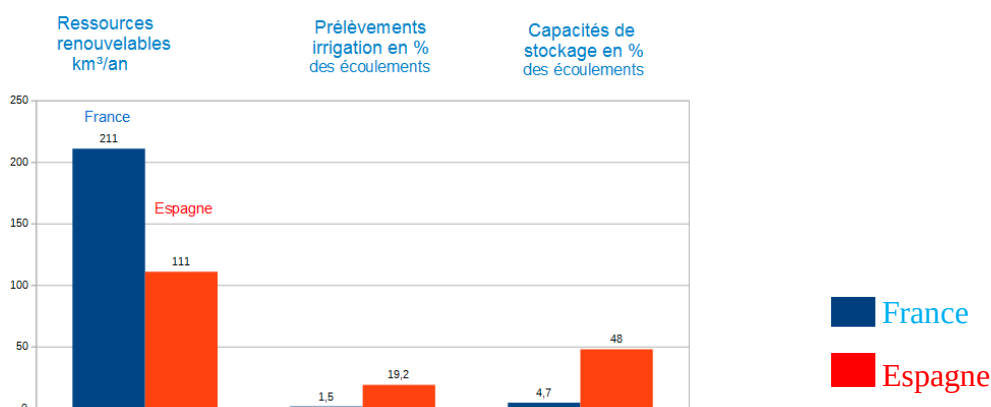


Les différences de situations sont importantes entre les grands fleuves équipés de grands barrages-réservoirs pour l'hydroélectricité et les petits bassins non équipés d'infrastructures de stockage. Sous réserve de nouveaux arbitrages entre politiques énergétique, agricole et de biodiversité, les capacités pourront être mobilisées ou accrues pour mieux satisfaire les besoins d'eau en période d'étiage (besoins des usages humains et environnementaux).

4.1.3. Des capacités de stockage de l'eau en surface faibles par rapport à nos voisins du Sud

Si la France mobilise relativement peu d'eau par rapport à ses écoulements totaux, elle en stocke aussi globalement fort peu en comparaison de ce qui est observé chez ses voisins du Sud. Par exemple, l'Espagne connaît des conditions climatiques proches de celles que connaîtra la France d'ici quelques décennies. Si elle dispose d'une ressource en eau mobilisable près de deux fois moins abondante que la France, sa capacité de stockage représente 48 % des écoulements contre 4,7 % en France, et ses prélèvements pour l'irrigation 19,2 % des écoulements contre 1,7 % (graphe).

Figure 24 : Ressources, prélèvements pour l'irrigation et capacités de stockage : comparaison France –Espagne (source des données : Aquastat, FAO, dernière année disponible)



Si on compare la France à des pays plus arides, comme le Maroc ou la Tunisie, les écarts sont encore bien plus grands. Par exemple, sur le bassin de l'Oum er Rbia au Maroc, la capacité de stockage représente 200 % des écoulements (tableau).

Tableau 5 : Comparaisons entre cinq bassins versants : capacités de stockage / écoulements

Bassin versant	Superficie (km2)	Lame écoulee	Lame stockée	L. stockée/L. écoulee
Adour (Audon)	4 100	400	10,0	2,5%
Charente (Vindelle)	3 750	250	5,4	2,1%
Rivières gasconnes	7 500	190	13,3	7,0%
Ebre (Espagne)	85 550	140	70,0	50,0%
Oum er Rbia (Maroc)	30 000	80	160,0	200,0%

N.B. Pour faciliter la comparaison, les valeurs sont données en mm, après division par la surface du bassin versant. Calculs P Hurand, CGAAER

La politique de stockage gagne à donner priorité, lorsque c'est possible, à la recharge artificielle des nappes. Le stockage en nappes évite en effet les pertes par évaporation. Dans les pays très pauvres en eau, des politiques volontaristes de réutilisations des eaux usées urbaines et de désalinisation, viennent en complément des politiques de stockage et de transferts. Israël, avec un taux de recyclage de 85% de ses « eaux grises » (pour la production fruitière) est le pays le plus en pointe dans cette politique de réutilisations. La désalinisation est aussi très développée dans ce pays mais elle pose des problèmes environnementaux.

Les pays au climat sec et aux ressources en eau limitées investissent dans la politique d'offre et notamment de stockage, car la gestion inter-saisonnière de la ressource, en prélevant une partie des excédents hivernaux pour un report d'utilisation aux périodes déficitaires, permet :

- d'augmenter la ressource au moment où elle fait défaut et au bénéfice d'usages essentiels, y compris, le cas échéant la préservation des milieux aquatiques (soutien d'étiage), tout en contribuant à réduire, dans certains cas, le risque d'inondations ;
- et de réduire la fréquence et l'amplitude des arrêtés de restriction pour mieux satisfaire les besoins humains.

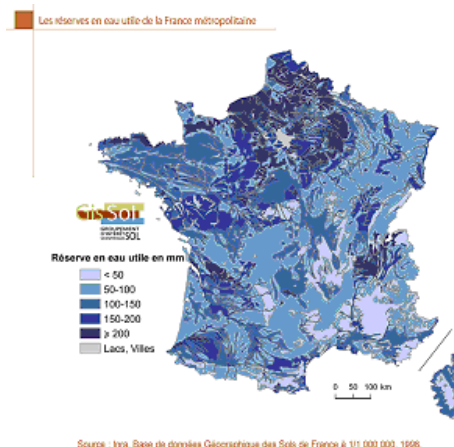
On peut tirer de ce qui précède deux conclusions importantes :

- Plus un pays est sec, moins il a d'eau ; plus il la stocke et la mobilise, en premier lieu, pour sa production alimentaire.
- La faible capacité de stockage de la France contribue à expliquer le paradoxe observé de restrictions d'accès toujours plus nombreuses malgré une ressource dans l'ensemble abondante. Elle confirme à contrario l'existence d'un potentiel de ressources mobilisables.

4.1.4. Des capacités de stockage de l'eau dans les sols, très inégales selon les régions

La « réserve utile », représente la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et restituer aux racines pour la vie végétale. La carte établie par le GIS-SOL montre une réserve utile, inégale selon les régions, mais souvent bonne.

Figure 25 : Carte des réserves utiles en France
Source GIS-SOL : Rapport « L'état des sols en France »



Les sols présentant les plus fortes réserves en eau utile sont les sols limoneux du Bassin parisien qui cumulent une texture limoneuse favorable et une forte épaisseur. Les sols à plus faible réserve sont les sols sableux (Landes, Vosges) ou peu épais (Causses, Provence, seuil du Poitou). Les sols de craie constituent une réserve régulatrice d'hygrométrie.

4.2. L'irrigation²³

4.2.1. Une surface irriguée relativement faible (5,8 % de la SAU) et en recul

L'irrigation a été développée de très longue date dans la France méditerranéenne où elle est un facteur historique de la sécurisation de la production. Depuis l'époque grecque et romaine, des ouvrages ont amené l'eau en réponse aux besoins des populations (urbaines comme agricoles) en période de stress hydrique. De nombreuses associations d'irrigants ont vu le jour dès le Moyen Age pour organiser de façon collective la gestion de l'eau et son partage équitable entre agriculteurs à l'échelle des bassins déversants. Plus récemment, des sociétés d'aménagement régional ont été constituées, de la Provence aux Coteaux de Gascogne, pour stocker et amener l'eau aux champs et aux villes, à partir de fleuves puissants ou de barrages hydroélectriques dont des réserves agricoles ont été financées dès l'origine. Ces ouvrages jouent souvent un rôle important pour le soutien d'étiage, et donc pour le milieu aquatique. Ils peuvent, dans certains cas, permettre des activités récréatives et touristiques non négligeables. Toute cette culture de l'eau a largement façonné les « paysages méditerranéens ». En Méditerranée française, les systèmes d'irrigation traditionnels, gérés par les collectifs d'irrigants (les ASA : associations syndicales autorisées des propriétaires), sont pour une bonne part des systèmes gravitaires dans lesquels des progrès importants d'efficience sont encore possibles.

L'irrigation s'est, par la suite, développée dans bien d'autres régions souvent à partir de prélèvements individuels, dans les nappes ou les rivières, ou encore à partir de retenues collinaires (réserves).

Au total, on compte :

- 73 618 exploitations concernées en 2010 par l'irrigation (soit 15,3 % des exploitations françaises), dont seulement un tiers étaient raccordées à des réseaux collectifs.
- Une surface équipée pour l'irrigation qui représente moins de 10% de la SAU, soit inférieure à ce qui est observé par exemple au Danemark (16,8%) ou aux Pays-Bas (27%).
- une surface irriguée de 1,57 millions ha en 2010, soit 5,8 % de la surface agricole utilisée. Cette part irriguée est faible si on la compare à l'Espagne (13,4 %), l'Italie (24 %) ou la Grèce (34 %) (source : Eurostat, données 2013). Néanmoins, certaines régions du sud de la France se rapprochent de ces ratios : Drôme (26 %), Charente (12 %), Bassin Adour-Garonne (10 %), ce qui est plus que les 7 % observés en moyenne dans les bassins Corse et Rhône-Méditerranée.

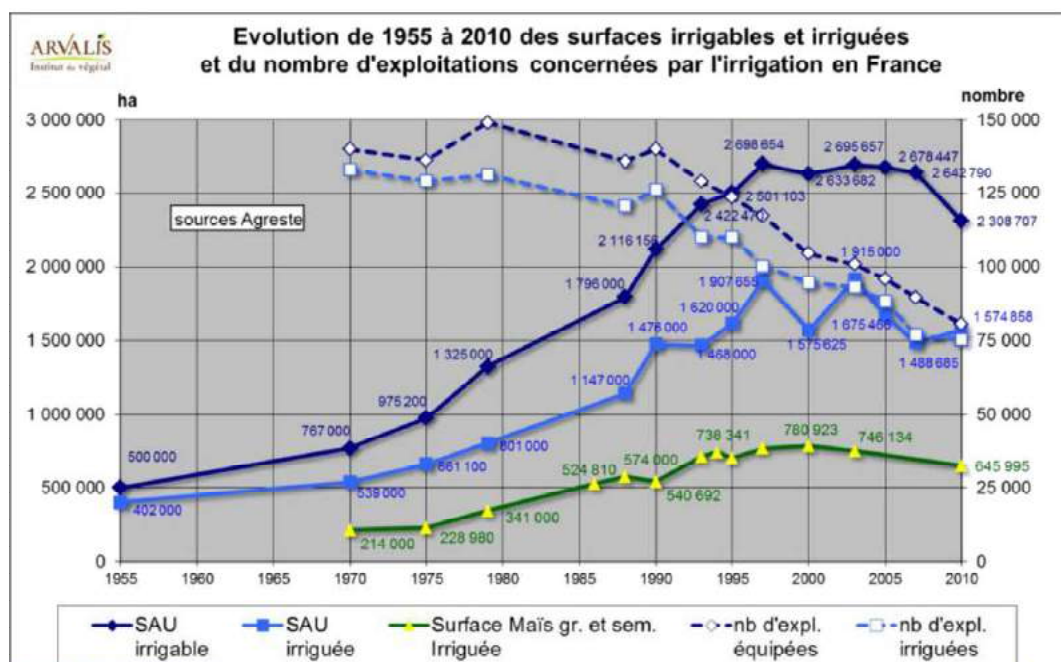
Après une forte croissance en France des surfaces irrigables de 1970 à 2000 (elles sont passées de 760 000 à 2 600 000 ha), la tendance s'est depuis inversée avec une diminution de 12 % de la surface équipée et une baisse de la surface effectivement irriguée (figure 25). Cette évolution est contraire à celle observée dans la plupart des pays voisins. La superficie irriguée est passée par exemple de 3,1 à 5 % aux Pays Bas, 7,6 à 9 % au Danemark, et 21,9 à 24,3 % en Italie sur la période 2003-2013²⁴.

Pour les experts de l'IRSTEA, ce changement structurel (recul ou stagnation de l'irrigation) s'explique, principalement par *l'évolution des politiques publiques* : découplage et arrêt des aides de la PAC aux cultures irriguées, traduction française de la Directive cadre sur l'eau conduisant à un fort accroissement des restrictions d'usages, réduction puis quasi blocage des investissements de stockage de l'eau depuis les années 2008. Un autre facteur du recul des surfaces équipées, notamment dans le sud-est, est l'étalement urbain. Celui-ci est la conséquence d'un défaut de dispositif efficace de préservation des terres irriguées.

²³ L'IRSTEA a consacré son n° 11 de la série « Sciences, Eaux et Territoires » au thème de *L'irrigation en France : état des lieux, enjeux et perspectives*. 2013 / 2. La plupart des chiffres, graphes et analyses développés dans ce § en sont issus.

²⁴ Les chiffres peuvent différer selon les sources et les années considérées. Selon Eurostat, la surface équipée en France a stagné de 2003 à 2013 (+ 0,03%° alors qu'elle progressait en moyenne de 13,4% dans l'Union européenne.

Figure 26 : Évolution des surfaces irrigables et irriguées en France de 1955 à 2010

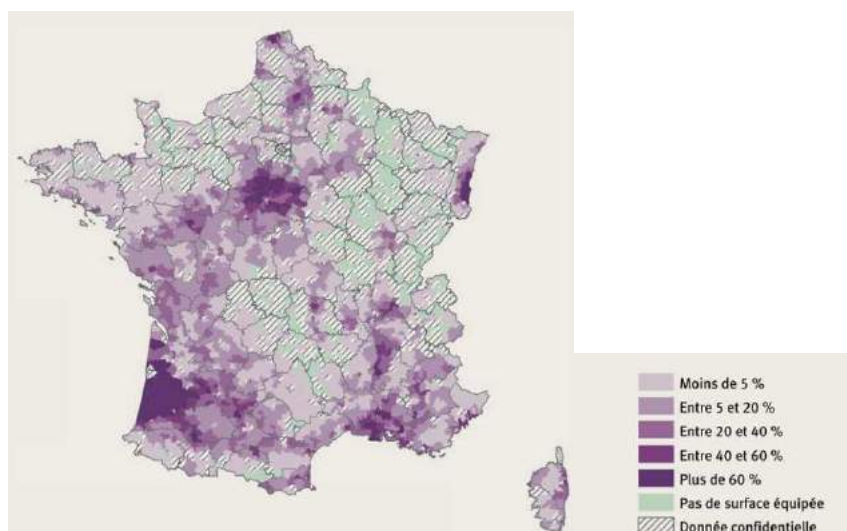


4.2.2. Recul des systèmes collectifs au Sud, augmentation de l'irrigation individuelle au Nord

L'évolution globale observée en France cache d'importantes différences de tendances au niveau régional. La période récente a en effet été caractérisée par :

- un recul de la surface équipée des exploitations exclusivement raccordées à un réseau collectif²⁵
- et par l'augmentation de l'irrigation individuelle, surtout au nord de la Loire (+ 10 % soit + 147 000 ha). Elle a pour conséquence une difficulté accrue du contrôle efficace des prélèvements.

Figure 27 : Part de la SAU équipée dans la SAU totale (Source : SSP recensement agricole 2010)



Il en résulte un redéploiement géographique des surfaces irriguées. De 2000 à 2010, la réduction a été forte dans le Sud-Ouest (- 17 %) et dans le Sud-Est (- 9 %) et la croissance forte dans le Centre-Bassin parisien (+ 50 %). Cette dernière doit cependant être relativisée car elle est pour une large part un effet de la

²⁵ Le chiffre de réduction indiqué par la statistique agricole, soit -270.000 ha en 10 ans, paraît anormalement élevé : les chiffres indiqués doivent être interprétés avec précaution.

variabilité climatique²⁶. Le redéploiement est cependant un fait structurel. Le Sud-Est, qui représentait 50% de la superficie irriguée française en 1970, n'en représente plus que 18 % en 2009. Les deux principales régions irriguées en 2010 étaient le Centre (près de 320 000 ha) et l'Aquitaine (près de 250 000 ha). La carte suivante indique la part relative de la SAU équipée pour l'irrigation.

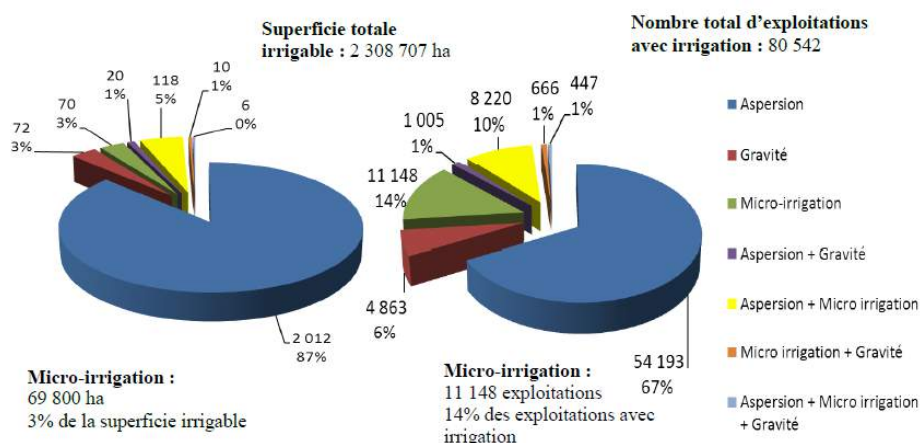
Le recul de l'irrigation collective constitue, selon l'IRSTEA, un « véritable tournant historique » et il comporte un risque de « cercle vicieux de désaffection ». En effet, les charges fixes d'entretien des réseaux doivent être supportées par un nombre réduit d'adhérents, ce qui augmente leur part à l'hectare. De plus, les services rendus à la collectivité par l'irrigation se réduisent. Si l'irrigation disparaît en Crau, les urbains devront donc payer pour maintenir le service que les agriculteurs leur rendait gratuitement.

4.2.3. Quasi disparition de l'irrigation gravitaire, progrès du goutte à goutte

Sur les 2 642 000 ha équipés pour l'irrigation (moyenne 2003-2007), l'irrigation gravitaire (de surface) ne représentait que 115 000 ha (4 % du total) contre 2 420 000 ha pour l'irrigation par aspersion et 107 500 ha pour l'irrigation localisée (goutte à goutte). Cette répartition est bien différente de celle observée en Italie ou en Espagne où l'irrigation de surface représente encore respectivement 61 % et 30 % du total (Source : FAO, Aquastat).

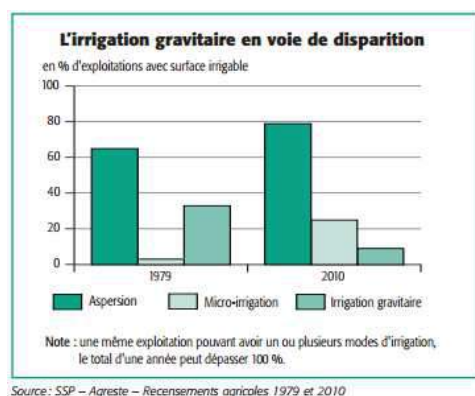
Le graphe ci-dessous montre la place prépondérante en France de l'aspersion (79 % des exploitations).

Figure 28 : Superficie irrigable par mode d'irrigation - source : recensement agricole 2010



Sur les trente dernières années on note un recul important de l'irrigation gravitaire et une forte croissance de la micro-irrigation. En 2010, un irrigant sur quatre en était équipé alors qu'ils n'étaient que 3% en 1979.

Figure 29 : Évolution des modes d'irrigation en France en % d'exploitations avec surface irrigable (1979-2010)



²⁶ En 2000, le climat humide au printemps a réduit le besoin d'irrigation des céréales à paille (23 000 ha de céréales à paille irriguées en région Centre) alors qu'en 2010, le climat sec au printemps l'a fortement accru (153 000 ha de

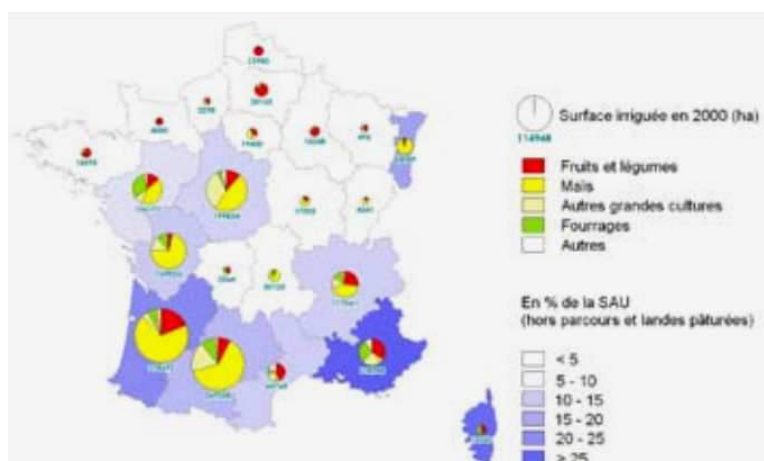
Si le passage du gravitaire à l'irrigation sous pression peut permettre des « économies » importantes d'eau, le gain d'efficacité permis par le passage des systèmes d'aspersion aux systèmes goutte à goutte est bien moindre comme plusieurs études ou essais récents (IRSTEA, ARVALIS) l'ont montré. A même niveau de qualité de pilotage, il serait de 10 à 15 % maximum. Et le goutte à goutte n'a pas que des avantages. De plus et contrairement aux idées reçues, l'irrigation de jour ne fait perdre qu'environ 3 % de l'eau par évaporation. La principale conclusion des experts c'est qu'aucun système n'est en soi mauvais à condition qu'il soit bien piloté.

4.2.4. Les grands types de productions irriguées et la question de l'emploi

On peut distinguer en France trois grands types de secteurs irrigués.

Les cultures à haute valeur ajoutée : semences (y compris semences de maïs), fruits et légumes représentent environ 30 % des superficies irriguées. Ce secteur est à la fois totalement dépendant de l'eau d'irrigation et très créateur d'emplois. Une extension de 100 ha de productions méditerranéennes permet en effet la création de 22 emplois directs et indirects, non compris les emplois induits (cf. encadré). Malgré la montée des contraintes, la France a réussi à devenir le premier producteur européen de semences et le premier exportateur mondial, avec une forte progression de l'emploi induit.

Figure 30 : Surfaces et cultures irriguées en France en 2000



Encadré 4. L'importance socio-économique de l'irrigation dans les régions méditerranéennes françaises

En climat méditerranéen, l'eau s'avère indispensable à la quasi-totalité des cultures à haute valeur ajoutée (fruits et légumes).

En 2005, les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc Roussillon produisaient le tiers des pommes françaises, la quasi-totalité des pêches et abricots produits en France, 60 % des courgettes, près de la moitié des tomates et 40 % des salades et des melons. Si les cultures à haute valeur ajoutée y occupent moins de 8 % de la SAU, elles génèrent au total un produit brut de 2,4 milliards € sur les exploitations de ces deux régions, représentent 40 % du produit brut végétal en Languedoc-Roussillon et 71 % en Provence-Alpes-Côte d'Azur. De plus 35 000 ha de vignes de cuve et 12 000 ha de blé dur sont irrigués ainsi que 40 000 ha de prairies et fourrages (augmentation du nombre de coupes, sécurité fourragère, lien avec l'élevage).

L'irrigation a des retombées importantes en termes d'emplois. Ainsi sur les deux régions, les vergers et productions légumières occupaient en 2000 environ 5 % de la SAU mais 40 % des emplois agricoles. L'étude de l'AIRMF a conclu que 100 ha mis en irrigation en région méditerranéenne équivalaient à une création nette de 22 emplois directs et indirects : 13 sur les exploitations et 9 en amont et aval des filières. Ces résultats ont été validés par le comité de pilotage associant la recherche et l'Agence de l'eau.

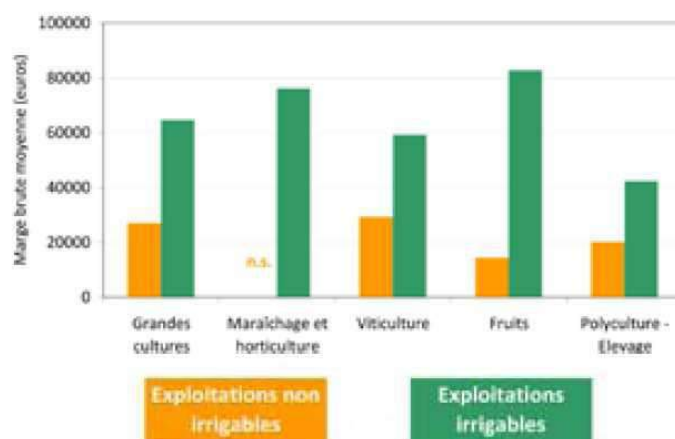
céréales à paille irriguées en région Centre).

A cela devraient être ajoutés les emplois induits dans de nombreux secteurs économiques liés (non évalués par l'étude) 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, réalisée par la DRAAF PACA a permis d'évaluer la plus-value générée par l'irrigation en termes de création d'emplois et de gain de chiffre d'affaires et de marges brutes. La figure ci-après montre que les marges brutes moyennes des exploitations irrigantes sont au moins 2 fois supérieures à celles des exploitations non irrigantes, quelle que soit l'orientation technico-économique. L'étude conclut que 1 ha irrigué correspond en moyenne à un gain de 8 500 € de chiffre d'affaires et de 4 500 € de marge brute.

Marge brute des exploitations de l'arc méditerranéen français selon l'OTEx et l'accès ou non à l'eau

Source : AIRMF, BRL Ingénierie et DRAAF PACA



L'étude montre enfin que l'eau favorise la diversification et l'adaptabilité des systèmes de production et elle sécurise les revenus et les exploitations. Face à la concurrence internationale, elle représente un enjeu fort pour la compétitivité.

Le 2^{ème} grand type de cultures irriguées est le maïs grain et les céréales. Le maïs grain irrigué, en y ajoutant le maïs semences, demeure la principale culture irriguée avec un total de 646 000 ha en 2010, soit 41 % de la superficie irriguée. L'importance relative du maïs en irrigation s'explique notamment par sa très grande efficacité dans l'utilisation de l'eau (figure 30). Le maïs, comme le sorgho, est en effet une plante en « C4 »²⁷.

Figure 31 : Quantité moyenne d'eau (litres) nécessaire à la production de 1 kg de :

maïs ensilage*	238
banane	346
maïs grain couleur *	454
orge*	524
pomme de terre*	590
blé*	590
soja	900
riz pluvial	1 600
riz inondé	5 000
coton	5 263

* = en région tempérée

²⁷ Les plantes en « C4 » se différencient des plantes en « C3 » par le mode de fixation du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse. Il permet à ces plantes (moins de 5 % des espèces) d'assimiler la totalité du CO₂ de l'atmosphère interne du végétal et ainsi d'avoir un rendement photosynthétique très supérieur à celui des plantes en C3 (Source : Botarela).

Cette surface est en forte baisse car elle était de 781 000 ha en 2000 (50 % de la surface irriguée nationale), alors que celle consacrée aux céréales est au contraire en hausse. Cette baisse historique s'explique par plusieurs facteurs : disparition des aides de la PAC aux cultures irriguées, mesures administratives de restriction de l'accès à l'eau, forte volatilité des prix agricoles et augmentation du prix du blé par rapport au maïs²⁸. L'irrigation du maïs permet pourtant le maintien d'un nombre important d'emplois, surtout lorsque le maïs est valorisé localement par l'élevage, notamment par l'élevage de palmipèdes gras (oies et canards). A production identique, une exploitation du Sud-Ouest est réputée viable avec moins de 100 ha irrigués, alors qu'il en faut le double en culture pluviale.

Le 3^{ème} type est l'irrigation pour la production fourragère (dont plus de 100 000 ha de maïs fourrage) qui représente 11 à 12 % du total des cultures irriguées. L'irrigation est importante pour les éleveurs car elle permet de garantir l'autonomie alimentaire d'exploitations de taille intermédiaire qui seraient irrémédiablement menacées sans recours à l'irrigation. C'est d'autant plus important que de nombreuses exploitations d'élevage deviennent déficitaires en ressources fourragères suite au changement climatique et que le prix des aliments est élevé, mettant en péril les exploitations. Elles cherchent donc à stocker de l'eau souvent par création de retenues collinaires de volumes limités. C'est la condition de leur autonomie et de leur compétitivité, voire de leur survie.

La recherche de création de valeur ajoutée passe souvent par l'irrigation, même dans le Nord de la France. Le développement de l'irrigation, s'il permet d'accroître la production, n'est cependant pas toujours synonyme d'une valeur ajoutée beaucoup plus élevée. Les débats sur l'irrigation et l'emploi peuvent donc être assez complexes et le député Philippe Martin, dans son rapport de 2013 a regretté l'absence d'étude de portée nationale pour éclairer ce sujet. Cependant, dans tous les cas, l'irrigation constitue *la meilleure des assurances contre l'aléa sécheresse*. Il est aussi constaté que l'irrigation facilite grandement la transmission et la reprise des exploitations par les jeunes.

4.2.5. Des progrès d'efficience, une productivité de l'eau accrue de 30 % en 20 ans

Depuis une vingtaine d'années, l'irrigation en France a utilisé plusieurs leviers pour améliorer ses performances dans l'utilisation de l'eau :

- *réduction des pertes dans les réseaux* (des audits en Midi-Pyrénées montrent une efficience moyenne de 95 % sur les réseaux alors que celle des réseaux d'eau potable en milieu rural ne sont que de 65 à 70 %),
- *aide à la décision pour piloter l'irrigation*, réglage et choix des matériels et optimisation de l'eau au niveau des systèmes de cultures,
- *stratégie d'esquive* (semis et récoltes plus précoces),
- *génétique tolérante au stress hydrique*.

Des programmes de recherche sur le blé tendre (*Breadwheat*) et le maïs (*Amaizing*), qui s'appuient notamment sur des plateformes de phénotypage comme *Phénofield* contribuent à la sélection de variétés de blé et de maïs plus tolérantes à la sécheresse. Des outils ont été développés pour l'aide à la décision en systèmes irrigués : *LORA*, logiciel d'aide au choix d'assolement et d'allocation de la ressource en eau sur plusieurs cultures, *IRRINOV*®, méthode de pilotage de l'irrigation des grandes cultures utilisant la tensiométrie, *Irré-LIS*®, bilan hydrique en ligne pour le pilotage de l'irrigation des grandes cultures qui permettent d'apporter l'eau seulement si c'est nécessaire et au bon moment.

Selon Arvalis, l'ensemble combiné de ces actions a permis un gain de productivité de l'eau (tonne de matière sèche produite par m³ d'eau prélevé) de 30 % en 20 ans (calcul pour le maïs). Le progrès obtenu en termes d'« efficience » est élevé.

²⁸ De 2000 à 2005, les prix du blé et du maïs ont évolué dans le même sens et dans les mêmes proportions mais depuis 2006, le différentiel de variation de prix est favorable au blé (+ 15 %) (Source : IRSTEA 2013).

Certains agriculteurs innovants ont aussi amélioré leurs performances relatives à l'eau en passant à l'agriculture dite de « conservation ». Le témoignage d'un d'entre eux, passé il y a plus de 20 ans au semis direct sous couvert végétal, montre que l'agriculture peut rendre d'importants services environnementaux comme le stockage du carbone (et donc l'atténuation du changement climatique), la bonne infiltration de l'eau et la recharge des nappes (encadré).

Encadré 5 : Témoignage sur l'agriculture de conservation et ses co-bénéfices pour l'eau et le climat

L'agriculture de conservation est fondée sur la gestion intégrée du sol et de sa fertilité et sur 3 principes : réduction ou suppression du travail du sol, couverture permanente et rotation des cultures. Ces nouvelles formes d'agriculture durable, développées surtout en Amérique, progressent bien aujourd'hui en France. Mais cela nécessite une maîtrise technique de haut niveau. Les co-bénéfices sont souvent multiples.

M. Quillet, céréaliculteur de Touraine est passé au semis direct sous couverture végétale (SCV) en 1995 « pour des questions économiques car après deux années de sécheresses dans ses terres de coteaux et avec des rendements de seulement 10 à 15 quintaux par ha », il s'est dit qu'il fallait réussir à réduire les coûts. Cela lui a permis de « gagner de plus en plus car, outre les réductions de charges, il a arrêté d'appauvrir ses sols ». Progressivement, il a aussi « découvert tous les gains écologiques qui en résultaient d'abord en termes de biodiversité des micro-organismes et des macro-organismes vivant dans le sol, puis en termes de stockage de carbone. Son taux de matière organique s'est en effet accru de 2 % en 20 ans (0,1 % par an)*.

Après ses terres sur les coteaux, il a commencé en 1998 le semis direct dans ses terres situées sur la vallée inondable du Cher, en raison de problèmes d'érosion résultant des inondations et de la nécessité de mise en culture. Dans ces terres qu'il irrigue sur 40 % de la surface, il a été en effet obligé de supprimer l'élevage pour des questions de voisinage, l'exploitation se trouvant dans un village de plus en plus peuplé. Il a donc dû « mettre en culture des prairies qui avaient un taux de matière organique de 6 % ». S'il avait fait du labour, « ce taux serait tombé à 2,5 ou 3 %. Mais grâce au SCV, il est toujours aujourd'hui à 6 % ». Le SCV lui a permis de rendre sa production céréalière (blé, maïs, soja, tournesol, sorgho...) beaucoup plus durable et résiliente. En effet, « l'érosion a été stoppée et les limons et l'argile en suspension dans les eaux de crue se déposent dans la végétation des céréales et des couverts deux à quatre fois mieux que sur une prairie naturelle ». Et « les plantes s'enracinent maintenant tellement profondément que les effets de sécheresse surviennent huit à quinze jours plus tard que chez ses voisins ». Or, en quinze jours il peut pleuvoir, ce qui peut permettre de rattraper le manque d'eau. Il a enfin constaté que la culture en semis direct permettait « de diminuer les inondations, de recharger les nappes et d'économiser de l'eau ». L'eau s'infiltre en effet beaucoup mieux, et, dans la partie qu'il irrigue, le SCV lui a permis de faire un tour d'eau de moins pour le maïs, à la fin de son cycle.

* Note du CGAAER : L'augmentation du taux de matière organique indiquée paraît très élevée si on la compare à celle donnée par les essais réalisés par ARVALIS (A. Bouthier) et par l'INRA : 0,5 % sur 10 ans.

ARVALIS a décidé récemment d'organiser des essais et un suivi de parcelles chez des agriculteurs en conversion vers l'agriculture de conservation. D'après les premiers résultats, sur 10 parcelles en culture de blé, 7 parcelles avaient un rendement moindre qu'en système classique, 2 parcelles sont équivalentes en rendement et 1 parcelle est meilleure. Ces résultats prometteurs démontrent le fort besoin de références techniques pour aider les agriculteurs à maîtriser ce système, avec un focus à faire sur la nutrition azotée et sur la gestion des couverts semi-permanents.

4.2.6. Des prélèvements en eau agricole faibles

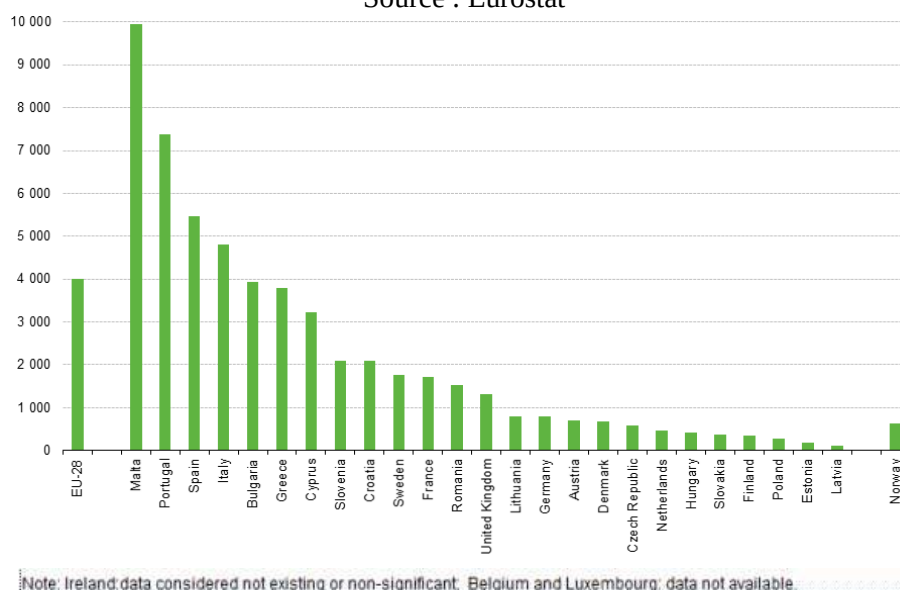
Le tableau des ressources en eau douce et des utilisations en France (cf. § 4.1.) montre que *les cultures irriguées ne mobiliseraient que 1,7 % de la ressource* (2,9/173 km³/an). Le besoin d'irrigation coïncide cependant avec la période d'étiage où les prélèvements pour l'agriculture représentent 70 % du total prélevé.

Le même tableau laisse penser que la quasi totalité (2,9/3 km³/an) de l'eau prélevée pour l'irrigation serait « consommée » (évapotranspirée) alors qu'à l'échelle mondiale, cette part n'est que de 60 % (1644/2740). Cette part d'eau réellement « consommée » en France nous paraît excessive. D'autres sources indiquent en effet une efficience de l'irrigation en France (ratio eau consommée pour l'irrigation/eau prélevée au milieu) estimée à l'échelle du territoire entre 50 % (Roy, 2013), 60 % (Arvalis, 2011 ; AquaStat, FAO) et 75 % (De

Marsily)²⁹, ce qui correspond à une restitution au milieu allant de 25 à 50 %. A l'échelle de la parcelle, l'efficacité d'irrigation se situe autour de 75-80 % (d'après l'expertise d'IRSTEA, voir par exemple Deumier et al., 2000, pour l'aspersion par canons). Des progrès restent donc encore possibles pour accroître l'efficacité et la productivité de l'eau.

La faible part de la ressource en eau prélevée pour l'irrigation en France s'explique à la fois par le faible taux global d'irrigation, par les progrès d'efficacité réalisés et par le type d'irrigation pratiqué. Le volume d'eau moyen prélevé par ha et par an est notamment nettement plus faible en France (1 700 m³/ha en 2010) qu'en Espagne (4 800 m³), en Italie (4 800) et en Grèce (3 800). L'irrigation en France peut donc être qualifiée en général d'« irrigation d'appoint ».

Figure 32 : Volume d'eau moyen d'irrigation m³ par ha par ha en 2010 dans certains pays de l'UE
Source : Eurostat



La demande en eau agricole, comme d'ailleurs les autres demandes en eau sectorielles, a enregistré en outre en France une baisse nette avec un volume prélevé passé de 4,8 milliards m³ en 2000 à 3 milliards en 2009 et 2,9 milliards en 2012. Les facteurs explicatifs de la baisse sont pluriels : le gain d'efficacité, l'accroissement des restrictions d'accès et le recul des surfaces irriguées. Les réductions les plus fortes concernent les régions méditerranéennes (impact notamment de l'étalement urbain et donc de la consommation de terres) et Poitou-Charentes (restrictions des prélèvements).

4.3. Les politiques publiques

Les politiques publiques doivent organiser le partage de l'eau et elles peuvent contribuer à indemniser les pertes de revenus. Ce partage et le montant des indemnités peuvent naturellement différer selon que les politiques visent à ajuster l'offre à la demande ou la demande à l'offre. Qu'en est-il en France et chez nos voisins ? Quelles ont été les évolutions constatées ?

4.3.1. Les politiques de gestion des risques en agriculture : des politiques d'indemnisation coûteuses (calamités agricoles)

La politique de gestion des risques en agriculture s'appuie sur deux dispositifs complémentaires : les calamités agricoles et l'assurance récolte :

- Les *calamités agricoles* représentent des filets de sécurité pour les exploitations qui ont perdu au moins 30 % de la production physique théorique par culture, le total des pertes devant être au moins égal à 13 % de la valeur du produit brut théorique d'exploitation. Les taux d'indemnités sont

²⁹ Dans le Livret sur l'environnement n° 13 de l'Académie des sciences de 2013 « *Les problèmes de l'eau en 26 questions* », Ghislain de Marsily donne les chiffres suivants pour l'année 2002 : total réellement consommé par l'irrigation 3,675 km³ sur un total prélevé de 4,9 km³ ; total consommé tous usages : 5,355 km³ pour un total prélevé de 34 km³.

modérés (25 % en moyenne). Le dispositif est financé par l'État (46 %) et par les agriculteurs (54 %) pour un montant annuel d'indemnités de 173 millions € (moyenne sur 10 ans). Les éleveurs sont les plus touchés. La *sécheresse* est devenue aujourd'hui la principale calamité agricole du pays (suivie du gel et des inondations) : elle représente 55 % des indemnités versées, soit 95 millions € / an.

- La PAC (fonds UE et État) contribue au financement de l'*assurance récolte* dont les contrats ne doivent couvrir que les pertes causées par les phénomènes climatiques défavorables. Trente pour cent des surfaces assurables en 2014 étaient assurées. L'enveloppe budgétaire a été en moyenne supérieure à 100 millions €/an sur les derniers exercices.

A ces deux outils de gestion des risques s'ajoute des dispositifs d'urgence : fonds d'allègement des charges, dégrèvement de la TFNB, prise en charge MSA...

Les professionnels considèrent qu'il conviendrait de passer autant que possible d'un système curatif à un système préventif : « *depuis 15 ans, on dépense 100 millions €/an pour indemniser les agriculteurs victimes de sécheresses. Et en 2016, nos éleveurs sont obligés d'acheter de la luzerne en Espagne qui a pourtant bien moins d'eau que nous. N'aurait-il pas été plus intelligent d'utiliser ce 1,5 milliard € pour mobiliser de l'argent communautaire et investir dans l'eau pour sécuriser nos productions et nos exploitations ?* »³⁰.

Le passage à une politique préventive passera par la réussite de la transition agro-écologique et par le stockage de l'eau et l'extension de l'irrigation, une voie qui interroge la politique plus globale de l'eau en France ainsi que celle de l'agriculture.

4.3.2. La politique publique de l'eau, au niveau national, donne priorité aux milieux aquatiques et à la gestion par la demande (économies d'eau et restrictions)

La politique publique française de l'eau, du moins au niveau national, est aujourd'hui essentiellement guidée par la Directive cadre sur l'eau (DCE) de l'Union européenne, directive adoptée en octobre 2000 et transposée dans le droit français en avril 2004. Or, cette directive, centrée sur la préservation et sur la reconquête du bon état des « masses d'eau » (cf. encadré), ne fait aucune mention ni du changement climatique ni de la sécurité alimentaire.

Encadré 6 : La Directive cadre sur l'eau

La DCE, adoptée en octobre 2000, est une directive environnementale centrée sur l'objectif de bon état des « masses d'eau » de l'UE. Son but (article 1^{er}) est d'établir un « cadre pour la protection » qui : i) prévienne la dégradation, ii) promeuve une utilisation durable fondée sur la protection à long terme des eaux disponibles, iii) vise à renforcer la protection à long terme des eaux disponibles, iv) réduise les pollutions et v) atténue les effets des sécheresses et inondations ; et contribue ainsi à assurer un approvisionnement suffisant en eau de surface et souterraine de bonne qualité pour les besoins d'une utilisation durable, équilibrée et équitable de l'eau....

Dans son site web, le Ministère en charge de l'environnement résume les objectifs de la DCE comme suit : « la non dégradation des ressources et des milieux, le bon état des masses d'eau sauf dérogation motivée, la réduction des pollutions liées aux substances, le respect des normes dans les zones protégées ».

Pour la communauté des acteurs de la gestion intégrée de l'eau (« Gest'Eau ») qui diffuse les informations sur schémas d'aménagement et de gestion de l'eau, « les considérations économiques ont été explicitement prises en compte dans la directive dans une logique de développement durable. Ainsi, des exemptions sont prévues à l'atteinte du bon état et du bon potentiel d'ici 2015, qui peuvent être justifiées notamment par des coûts disproportionnés. Il doit, de plus, être fait état des mesures prises en matière de tarification de l'eau et de récupération des coûts des services de l'eau ».

³⁰ Intervention d'André Bernard, président de la Chambre d'agriculture du Vaucluse et vice-président de l'Association des irrigants des régions méditerranéennes françaises au colloque *L'irrigation et l'agro-écologie font-elles bon ménage ?*, Le Tholonet, nov. 2016.

Cependant, la Directive ne fait aucune mention de l'impact du changement climatique, des nouveaux besoins en eau qui en résultent, des enjeux liés de l'adaptation, de l'atténuation et de la sécurité alimentaire, ni de l'intérêt de « développer la ressource utilisable » pour satisfaire et sécuriser les usages. La gestion quantitative de la ressource est abordée sous l'angle des objectifs d'atteinte du bon état (éviter la surexploitation des nappes).

Les objectifs de la politique publique de l'eau en France ont de fait évolué avec le temps. En effet, jusqu'aux années 1990, une attention importante était accordée à la satisfaction des besoins sociaux et économiques, notamment agricoles, puisque :

- L'eau représentait un champ d'action important du Ministère de l'agriculture. Celui-ci formait des ingénieurs qualifiés de haut niveau, avait mis en place des « sociétés d'aménagement régional » (SAR) dotées de capacités importantes, disposait de lignes budgétaires dédiées au développement de l'irrigation ainsi que d'un service chargé de l'hydraulique agricole dans chaque Direction départementale de l'agriculture (DDA). Il avait donc les moyens, à la fois techniques et financiers, de mettre en place des solutions permettant de mieux gérer et valoriser la ressource dans les territoires.
- La loi de 1964 avait créé les organismes de bassin (agences et comités de bassin) avec pour objectif de « lutter contre la pollution pour satisfaire ou concilier les exigences de : i) l'alimentation en eau potable et la santé publique, ii) l'agriculture, l'industrie, les transports, et toute autre activité humaine d'intérêt général, iii) la vie biologique du milieu récepteur »³¹.

Les « usages », dont l'agriculture, étaient donc reconnus d'*intérêt général*, leur satisfaction devant se concilier autant que possible avec le bon état des milieux.

C'est avec la loi sur l'eau de 1992 que l'ordre dans lequel apparaissaient « milieux » et « usages » a été inversé : « la préservation des milieux aquatiques » devient le premier objectif cité de la « gestion équilibrée » ; les usages ne sont plus qualifiés d'« intérêt général ».

L'article L 211-1 du Code de l'environnement, révisé à de multiples reprises, a conservé cet ordre. Il retient aujourd'hui pour seule priorité d'usage la satisfaction des exigences de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité civile et de l'alimentation en eau potable ; la gestion équilibrée devant également permettre de satisfaire ou préserver : 1°) la vie biologique du milieu récepteur, 2°) la conservation et le libre écoulement des eaux et la protection contre les inondations, 3°) l'agriculture la pêche, l'industrie, l'énergie...

Le même article précise que la gestion prend en compte les adaptations nécessaires au changement climatique et vise à assurer : 1) la prévention des inondations et la préservation des écosystèmes aquatiques, 2) la protection des eaux et la lutte contre les pollutions, 3) la restauration de la qualité des eaux et leur régénération, 4) le développement, la mobilisation, la création et la protection de la ressource en eau, 5) la valorisation de l'eau comme ressource économique (en particulier pour la production d'électricité d'origine renouvelable) et sa répartition, 6) la promotion d'une utilisation efficace, économe et durable de la ressource et 7) le rétablissement de la continuité écologique.

Les évolutions récentes n'ont pas été favorables à l'agriculture puisque :

- Dans le cadre de la RGPP (révision générale des politiques publiques), décision fut prise de mettre fin aux missions d'ingénierie publique de l'Etat, puis, en 2008, de transférer les biens des sociétés d'aménagement régional aux Régions volontaires et d'arrêter le financement des travaux d'hydraulique par le Ministère en charge de l'agriculture³².
- La loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 et ses textes d'application ont traité de la question de la gestion quantitative sous l'angle de la « *gestion de la demande* » (économies d'eau et partage de la ressource) et non pas sous celui du développement de la ressource utilisable.

³¹ Pour une analyse des l'évolution des politiques publiques de l'eau en France depuis 1964, on se reportera à : <https://www.eaurmc.fr/pedageau/la-gestion-de-leau-en-france/historique.html>

³² La piste d'une prise en charge alternative par les Agences de l'eau était indiquée (avec traitement au cas par cas et sous réserve de respect des objectifs de la DCE). Au-delà de l'économie budgétaire pour l'Etat, l'idée était de redonner de l'autonomie / initiative aux collectivités locales

Ainsi :

- Les *SDAGE* (schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux) doivent fixer les objectifs d'état à atteindre pour chaque masse d'eau, et, par suite, les « *débits d'objectifs d'étiage* » (DOE)³³ à assurer en un réseau de points jugés stratégiques. Les DOE servent de référence pour les autorisations de prélèvements et doivent être respectés 8 années sur 10.
- Les préfets, dans les bassins en situation ou risques de déficit quantitatif, doivent déterminer les « *volumes prélevables* » (VP) tous usages confondus, en tenant compte des DOE. Puis, ils doivent procéder, si nécessaire, à la délimitation de nouvelles « *zones de répartitions des eaux* » (ZRE), c'est-à-dire de secteurs caractérisés par une insuffisance autre qu'exceptionnelle des ressources en eau par rapport aux besoins et soumis à un régime de protection renforcée de la ressource par rapport au droit commun. Dans ces zones, des organismes uniques de gestion collective (OUGC) doivent être constitués pour répartir la ressource en eau d'une façon optimisée entre irrigants.

La mise en œuvre de la réforme législative de 2006, dite des « volumes prélevables », s'est cependant avérée difficile pour deux raisons mises en avant par le député Philippe Martin dans son rapport au Premier ministre³⁴:

- « les baisses de prélèvement direct en milieu naturel, initialement présentées sans contreparties en matière de stockage, rendaient difficile l'engagement de la profession agricole dans la gestion des OUGC,
- l'attribution en début de saison de volumes d'irrigation fixes, censés répondre aux exigences des milieux naturels en moyenne 4 années sur 5, a été ressentie comme une perte potentielle par les irrigants au regard des habitudes acquises ».

Face à ces difficultés, l'administration a arbitré des volumes prélevables parfois moins contraignants qu'envisagé initialement et accepté le principe du stockage de « substitution », c'est-à-dire permettant de remplacer les prélèvements d'été historiques dans le milieu naturel par des prélèvements d'hiver, sous réserve de compatibilité environnementale.

Pour autant, la sécurité alimentaire et le développement du stockage pour satisfaire les nouveaux besoins de l'étiage (agriculture, eau pour la nature...) résultant du changement climatique ne sont pas encore affichés clairement comme une priorité de politique publique malgré l'article L 210-1 du Code de l'environnement qui stipule que « *le développement de la ressource utilisable, dans le respect de l'environnement, est d'intérêt général* ». ³⁵

Avec le changement climatique, des évolutions s'avéreront cependant nécessaires tant au niveau européen que national car on a vu que i) les débits naturels d'étiage vont fortement baisser alors que ii) les risques d'inondations et de sécheresses et les besoins de l'étiage vont au contraire s'accroître et que iii) les progrès possibles en termes d'efficacité sont et seront de plus en plus limités.

Le Parlement, par la loi du 28 décembre 2016, a finalement ajouté un tiret 5 bis à l'article L.211.1 du Code de l'environnement ainsi formulé : « La promotion d'une politique active de stockage de l'eau pour un usage partagé de l'eau permettant de garantir l'irrigation, élément essentiel de la sécurité de la production agricole et du maintien de l'étiage des rivières, et de subvenir aux besoins des populations locales ». C'est une reconnaissance de l'importance nouvelle à accorder au stockage de l'eau.

³³ Le DOE (débit d'objectif d'étiage) est la valeur de débit mensuel au « point nodal » (point clef de gestion) au dessus de laquelle il est considéré qu'à l'aval du point nodal, l'ensemble des usages est en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique (source : Ministère chargé de l'environnement). Le DOE « sert de référence pour l'exercice de la police des eaux et des milieux aquatiques pour accorder les autorisations de prélèvements et de rejets. Il doit être respecté en moyenne 8 années sur 10 ».

³⁴ La gestion quantitative de l'eau : une nouvelle vision pour un nouveau partage, Juin 2013.

³⁵ On notera que la nécessité du stockage et d'une mobilisation accrue de l'eau pour le maintien des services rendus par l'eau ne figurait pas non plus de façon claire dans le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) 2011-2015. Bien que dans son document de 2009 « *Changement climatique. Coûts des impacts et pistes d'adaptation* », l'ONERC (Observatoire national des effets du réchauffement climatique) indiquait qu'en 2050, le déficit en eau pour satisfaire les besoins actuels pour l'eau potable, l'industrie et l'irrigation serait de l'ordre de 2 milliards de mètres cube et que sa compensation intégrale coûterait 5 à 10 milliards d'euros, le PNACC 2011-2015 avait en effet planifié d'économiser 20 % de l'eau prélevée, hors stockage d'eau d'hiver, d'ici 2020, la compatibilité des retenues de substitution avec les objectifs de la DCE devant être assurée.

Malgré ces récents progrès, les agriculteurs ne parviennent de fait toujours pas ou que fort difficilement à faire aboutir les solutions (retenues, transferts, réutilisations,...) qui sécuriseraient la production sans dégrader globalement l'environnement. Les contraintes à la création de retenues, individuelles ou collectives, sont en effet devenues de fait particulièrement lourdes et coûteuses pour les porteurs de projets et les recours contre les projets aboutissent souvent à des blocages. La problématique est donc aussi d'ordre sociétal.

4.3.3. Une autre lecture de la Directive cadre sur l'eau et d'autres politiques publiques dans les pays voisins et concurrents

La hiérarchie des usages et les politiques publiques de l'eau peuvent différer fortement d'un pays européen à l'autre. Ainsi :

- Les priorités d'usages en Espagne sont dans l'ordre : 1) l'eau potable, 2) l'irrigation, 3) l'énergie, 4) l'industrie, 5) l'aquaculture, 6) les loisirs et 7) la navigation, sauf décision contraire des plans hydrologiques par bassins. La consommation humaine (eau potable et irrigation) figure donc au premier rang.
- L'Espagne, comme les Pays-Bas, fait gérer sa politique de l'eau par des maîtres d'ouvrages puissants. Les agences de bassin espagnoles, les « *confederaciones hidrograficas* » sont chargées en même temps de la concertation, de la planification, de la réalisation des ouvrages (investissements) et de la gestion quantitative de l'eau. La priorité espagnole demeure celle, double, de la création de nouvelles réserves (stockage) et de l'efficacité afin d'assurer la triple durabilité agro-alimentaire, énergétique et écologique, tout en veillant à ne pas fixer des débits seuils (débits biologiques) trop élevés. Ainsi, sur le bassin de l'Èbre, un barrage a été spécialement construit pour assurer le soutien d'étiage et le débit seuil fixé au niveau du delta est faible.
- Les nouveaux plans hydrologiques espagnols 2015-2021 (plans des Confédérations) ont planifié une extension des surfaces irriguées sur 700 000 ha, soit une progression de + 20 %. L'ONG *Ecologistas en acción* considère cependant que la prise en compte du changement climatique a été insuffisante et que ces objectifs ne sont pas réalistes et doivent être revus. Il est vrai que la ressource en eau est déjà surexploitée dans le sud du pays³⁶ et que le changement climatique a et aura des effets peut-être encore plus lourds qu'en France.

Les comparaisons internationales d'application de la Directive cadre sur l'eau (Keessen et al. 2010, Moss 2008, Scheuer et Naus 2010), analysées par l'IRSTEA (G. Bouleau) ont révélé en outre de grandes différences d'application entre la France, qui s'est « imposée une grande ambition de restauration » et ses proches voisins, qui ont fait une traduction moins contraignante de la directive cadre et adopté des objectifs pragmatiques, atteignables par leurs maîtres d'ouvrage (encadré).

Encadré 7 : Des lectures différentes de la Directive cadre dans les États membres de l'UE

- La France s'est fixée une grande ambition de restauration écologique des masses d'eau en s'engageant, à l'issue du Grenelle 1 et 2, à une atteinte de bon état pour 64 % de ses eaux de surface à l'horizon 2015 alors que l'état des lieux initial prévu par la DCE révélait qu'en France en 2004, seules 23 % des masses d'eau superficielles échantillonnées et 43 % des souterraines pourraient atteindre ce bon état écologique, sans effort supplémentaire. Les hauts de bassin non échantillonnés étaient supposés en bon état, ce qui ne s'avéra pas toujours exact. Son ambition est considérée par les experts « d'autant plus atypique qu'elle se double d'une séparation entre financeurs et maîtres d'ouvrage ».
- Au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, toutes les échéances ont été reportées à 2027 et au Royaume-Uni comme en Espagne l'obligation de non détérioration n'a pas été transcrite en droit national.
- Aux Pays-Bas, la transcription en droit national de la directive ne considère pas qu'il y ait une obligation de résultats, mais une « obligation d'efforts » à investir pour une restauration. Cette interprétation repose sur la version anglaise de la DCE qui mentionne que les états membres doivent protéger, améliorer et restaurer l'état des eaux « *with the aim to achieve...* » [en ayant pour but d'atteindre] les objectifs fixés.

³⁶ Selon le Plan Bleu, 3 % de la ressource en eau mobilisée en Espagne serait d'origine « non durable » (issue de nappes fossiles ou de surexploitation de nappes renouvelables).

- Les Pays Bas ont désigné tous leurs maîtres d'ouvrage comme autorités compétentes. Leur programme de mesure est donc défini, programmé et réalisé par les mêmes acteurs, chacun à son échelle. De plus, ils ont considéré comme « naturelles » seulement 3 % des 723 masses d'eau identifiées dans le pays, tandis que 55 % sont « artificielles » et 42 % « fortement modifiées » ; si bien qu'au total 86 % des masses d'eau font actuellement l'objet de dérogations aux objectifs de la DCE. L'atteinte du « bon potentiel » impose les mêmes contraintes biochimiques mais pas celles de continuité morphologique.
- Si la France a peu dérogé, elle s'est fait reprocher de ne pas avoir bien argumenté ses choix de dérogations morphologiques.

4.3.4. Entre agriculture et environnement : un manque de vision globale et prospective et un déséquilibre de politiques publiques

Dans le cadre de la préparation des derniers SDAGE, la discussion entre les services et acteurs de l'agriculture et de l'environnement s'est avérée souvent difficile. Face aux services et acteurs en charge de l'agriculture, qui mettaient fortement l'accent sur la question des prélèvements d'eau en hiver pour satisfaire les besoins de l'agriculture, les Agences de l'eau et les DREAL rappelaient que les SDAGE « sont des documents dont l'objectif est le bon état des eaux et pas le développement agricole ». La définition des volumes prélevables ne devait donc porter que sur la période d'étiage.

Un léger progrès a été obtenu dans la dernière génération des SDAGE (2015-2021) puisque celui d'Adour-Garonne a commencé à aborder la question du changement climatique et fait de la gestion quantitative une priorité. Cependant, un décalage avec les besoins réels subsiste car la seule dimension environnementale et « eau potable » du sujet et les mesures dites « sans regrets »³⁷ sont mises en avant. La dimension stratégique de la gestion quantitative dans le nouveau contexte planétaire³⁸ est donc encore occultée même si il est reconnu par ce SDAGE que « pour résoudre la situation des bassins en déséquilibre, en parallèle des économies d'eau réalisées, de nouvelles réserves en eau d'intérêt collectif devront être créées ».

Une des faiblesses des services et acteurs en charge de l'agriculture et des entreprises aval vient du défaut de chiffrage des externalités positives produites par l'agriculture irriguée sur les territoires (combien d'emplois et quels services environnementaux sont produits par l'irrigation ?) et de celles qui seraient perdues en cas de défaut d'adaptation. Ceci démontre un défaut de connaissance et de vision prospective y compris sur les enjeux d'économie agricole. Le niveau d'incertitude sur les marchés comme sur le climat local les incite à la prudence et au règlement prioritaire des difficultés présentes pour mettre en œuvre la réforme des volumes prélevables.

Par suite, il en résulte un déséquilibre entre, d'un côté, l'« environnement » qui dispose de documents de planification tels que les SDAGE qui ne prennent qu'insuffisamment en compte les nouveaux enjeux liés au climat et à la sécurité alimentaire et, de l'autre, l'« agriculture » qui doit répondre aux marchés en situation de concurrence internationale et contribuer à relever les défis du changement planétaire souvent sans vision claire du futur.

Ce déséquilibre est d'autant plus fort que le ministère de l'agriculture a quasiment abandonné toute mesure incitative en faveur de l'agriculture irriguée suite aux décisions prises par la RGPP (révision générale des politiques publiques). Cette faiblesse a d'ailleurs été soulignée par le député Philippe Martin dans le rapport remis en 2013 au Premier Ministre : « ceci peut laisser croire en effet qu'il n'est plus opportun de recourir à l'irrigation pour des raisons de principe alors que ces choix devraient dépendre des circonstances, c'est-à-dire des ressources en eau disponibles dans de bonnes conditions environnementales, de la valeur ajoutée des productions attendues et des emplois créés ». Le député Philippe Martin a donc plaidé pour distinguer

³⁷ Les mesures dites « sans regrets » consistent selon le SDAGE Adour-Garonne à préserver les potentialités des ressources et des milieux, afin de ne pas restreindre les marges de manœuvre pour le futur (réserves stratégiques pour l'AEP, résilience des milieux) et à mettre en avant toutes les économies d'eau possibles et de nouvelles règles de partage et d'optimisation, afin d'équilibrer usages et ressources.

³⁸ Nécessité de réussir ensemble l'adaptation, l'atténuation et le maintien de la production alimentaire, nécessité d'infrastructures de stockage pour répondre aux nouveaux besoins de l'étiage et d'une révision à la baisse des DOE suite à la baisse annoncée des débits naturels.

les objectifs de « substitution » des objectifs de « développement de l'irrigation ». L'objectif de la substitution apparaît d'ordre environnemental, alors que le second est d'ordre économique et social.

D'une façon plus globale, le député Philippe Martin a souligné l'importance fondamentale de l'eau pour la sécurisation de la production agricole, pour la sécurité alimentaire et pour l'emploi, ainsi que la grande diversité des situations territoriales. Il a donc plaidé pour une sortie du moratoire (arrêt des financements des retenues par les Agences qui avait été décidé de façon unilatérale par la ministre en charge de l'écologie) et pour une gestion déconcentrée et concertée dans le cadre de « *projets de territoires* ». Le moratoire a été levé en juin 2015 accompagné d'une note de procédure du MEDDE sur les conditions de mise en œuvre de projets de territoire.

Trop récents, les projets de territoire n'ont pu encore aboutir à la construction d'ouvrages. De plus, les « projets de territoires » tels qu'encadrés actuellement par les textes réglementaires, ne peuvent apporter qu'une réponse partielle aux besoins des territoires car ils sont limités à la seule « substitution » et n'invitent pas à une vision socio-économique et de développement durable plus globale.

Force à cet égard est de constater que le Protocole qui avait par exemple été signé en Rhône-Alpes en 2012 entre agriculture et environnement, et qui visait en fait tout type de projet de mobilisation de l'eau (cf. encadré 8) a été peu mis en œuvre. La réactivation récente de conférences « agriculture-environnement » aux niveaux départemental et régional pour organiser l'action convergente des différents acteurs autour des projets d'hydraulique agricole devrait permettre d'avancer. Cependant, la nécessité stratégique du stockage, y compris pour la production de nouvelles ressources (donc au delà de la seule substitution) afin de réussir l'adaptation n'a cependant pas été reprise et intégrée clairement dans le « plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau » élaboré en 2014 par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Celui-ci suit les orientations du plan national 2011-2015 (PNACC). Il ne met pas en avant les nouveaux besoins en eau de l'agriculture et reste centré sur les économies d'eau (encadré) mais sans en mesurer la possibilité et les conséquences prévisibles pour les entreprises et les territoires concernés.

Encadré 8. Le protocole de 2012 pour la création de retenues d'eau en Rhône-Alpes

Le « Protocole concernant la création de retenues d'eau à usage agricole dans la région Rhône-Alpes » a été signé le 17 juillet 2012 entre le Préfet de région, l'Agence de l'eau, la Chambre régionale d'agriculture, l'Union des fédérations de pêche et l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques et en présence du vice-président du Conseil régional. Le Protocole met en avant les points suivants :

- Les observations climatiques des années récentes mettent en évidence la fragilité de l'accès à l'eau dans certains secteurs, la tension croissante sur la ressource se traduisant notamment par une fréquence en hausse des arrêts « sécheresse ».
- Les perspectives climatiques, qui risquent de se traduire par l'extension de la zone de climat méditerranéen, vont exacerber ce phénomène et créer de nouvelles inégalités hydriques entre les territoires.
- La recherche de nouvelles cultures, variétés, assolements et pratiques est engagée mais sa poursuite ne sera pas suffisante et la mobilisation de nouvelles ressources doit également être réalisée, comme l'a d'ailleurs décidé le PRAD (plan régional de l'agriculture durable).
- Les signataires conviennent : i) de la nécessité de trouver des solutions permettant à l'agriculture de répondre à ses besoins en eau et de faire face au changement climatique tout en limitant ses impacts sur l'environnement, ii) de l'intérêt de retenues d'eau à usage agricole... pour la création de stockages d'irrigation en faveur de l'adaptation de l'activité agricole notamment face au changement climatique, iii) de la nécessité d'accompagner la mobilisation de ressources nouvelles par l'utilisation optimisée des retenues existantes et des actions soutenues d'économie d'eau.
- Ils décident de se mettre en situation d'assurer le développement de ces ouvrages en les situant dans leur contexte territorial...

Le Protocole définit ensuite une série de principes, notamment la nécessité d'anticiper l'évolution future du territoire tant du point de vue de son économie que de la ressource en eau, de répondre à un besoin économique avéré, de privilégier des approches collectives et de s'attacher à préserver à long terme la vocation agricole des ouvrages et des terres rendues irrigables avec le soutien financier des fonds publics. Plusieurs éléments de « méthode » sont ensuite proposés. Enfin, le protocole précise que le financement des projets pourra faire l'objet de subventions notamment de l'Union européenne (FEADER), de l'Agence de l'eau et de la Région.

Encadré 9 : le plan de bassin RMC d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau

Face à la pénurie le « plan » retient trois types d'action prioritaires : les « économies d'eau » permises notamment par le « changement des assolements agricoles », le « partage » de la ressource pour la satisfaction des usages et du milieu et l'« optimisation » (amélioration de la gestion des ouvrages). Pour l'Agence de l'eau, « le fondement de l'action d'adaptation face au changement climatique, pour l'enjeu de la disponibilité en eau » consiste ainsi et en priorité à opérer « un basculement d'une gestion traditionnelle par l'offre (mobiliser plus d'eau) vers une gestion par la demande (maîtriser les besoins) ». Si l'option d'une mobilisation accrue de l'eau peut être envisagée dans certains cas car elle peut s'avérer pertinente comme complément, l'enjeu de fond pour l'Agence est donc de « rendre l'agriculture moins dépendante en eau et de réduire de 20 % les volumes utilisés pour l'irrigation d'ici 2030 », ainsi que de « substituer 80 % des prélèvements agricoles en période d'étiage d'ici 2050, en combinant économies d'eau (optimisation des systèmes d'irrigation et changements de cultures) et mobilisation de ressources sécurisées dans le temps et dans l'espace. L'accent est également mis sur la nécessité de favoriser l'émergence de filières agricoles permettant l'adaptation des systèmes de production aux enjeux du changement climatique.

Cependant, les besoins nouveaux en eau agricole résultant du changement climatique ne sont pas chiffrés pas plus que les économies d'eau effectives possibles ni les conséquences d'une telle vision sur la capacité du monde agricole à préserver, dans ce contexte, la production alimentaire, l'emploi agricole et industriel et les paysages, ainsi qu'à apporter sa nécessaire contribution à l'atténuation du changement climatique.

Cette analyse des politiques de niveau national intéressant l'eau et l'adaptation au changement climatique et de leurs déclinaisons dans les bassins (SDAGE, plans d'adaptation de bassins) montre, *in fine*, un déséquilibre et une incomplétude des politiques publiques actuelles. La vision environnementale, qui domine, intègre insuffisamment la problématique du développement rural durable, les enjeux socio-économiques et paysagers qui en dépendent et les biens publics mondiaux (climat, sécurité alimentaire et biodiversité). Pour sa part, l'agriculture n'apporte pas suffisamment d'informations sur son importance en termes d'externalités positives et de développement durable et elle manque de vision prospective économique et de moyens de financement. Certes, cette intégration est mieux prise en considération lorsque des protocoles régionaux sont signés conjointement par les responsables politiques, professionnels agricoles et environnementaux. Cependant, ces textes n'ont pas la portée juridique des SDAGE et ils restent peu mis en œuvre. Ils peuvent d'ailleurs se voir contredits par les plans d'adaptation élaborés par les Agences.

5. Quels nouveaux besoins en eau pour l'agriculture, quels scénarios pour la France ?

Plusieurs projets de recherche et rapports de prospective récents se sont attachés à chiffrer les besoins en eau futurs de l'agriculture et à explorer des scénarios possibles dans le nouveau contexte du dérèglement climatique.

5.1. Une hausse de 20 à 25 % des besoins en eau sur les terres déjà irriguées d'ici 2050

En France, le changement climatique a déjà induit une croissance significative de besoins en eau d'irrigation : + 10 % à Toulouse en 10 ans pour un maïs tardif et bien plus encore pour un blé à Lyon : voir les graphes 33 et 34 (source : Arvalis).

Figure 33 : évolution du besoin en eau d'irrigation d'un maïs tardif à Toulouse

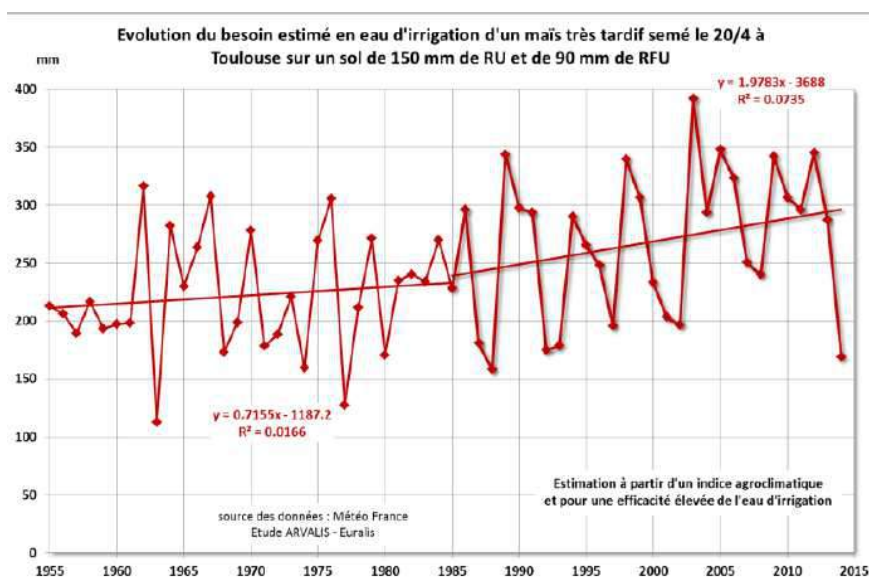
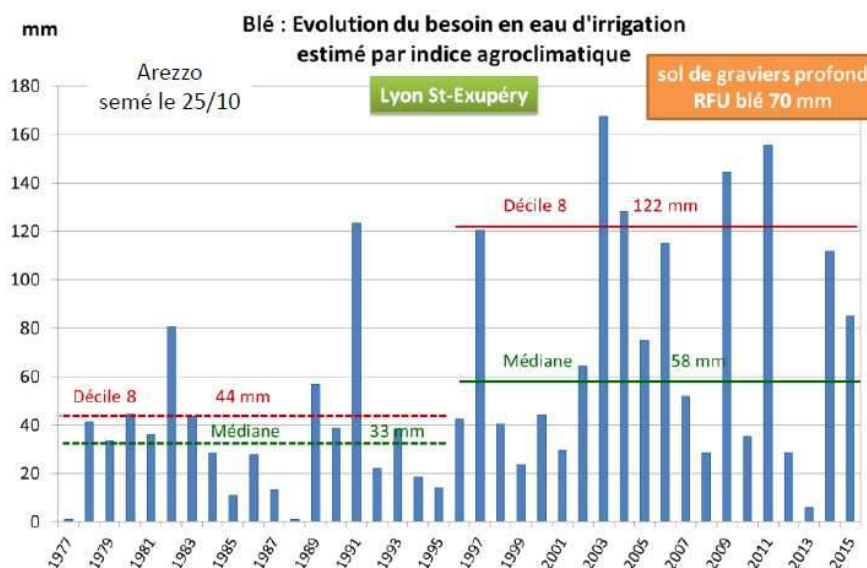


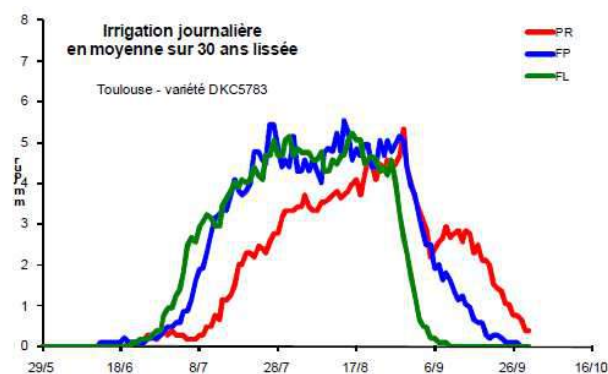
Figure 34 : Blé : évolution du besoin en eau d'irrigation à Lyon



Plusieurs projets de recherche de niveau local donnent des indications chiffrées sur les besoins futurs à satisfaire aux horizons 2030-2050. Par exemple, « *Imagine* » (IRSTEA, EDF, 2009) annonce une croissance de la demande en eau de 10 % à l'horizon 2030 sur le bassin de la Garonne. Et « *Vulcain* » (BRGM, BRLi, HSM, Météo France, 2010) chiffre à 21 % l'augmentation du besoin en eau pour la culture du pêcher dans les Pyrénées Orientales d'ici 2040-2060 (5 400 m³/ha contre 4 470 m³/ha actuellement).

Ces ordres de grandeur sont comparables à ceux retenus par le projet *Climator* (ANR, INRA...) qui, sur le futur proche (2020-2050), annonce un besoin accru en eau de 400 m³/ha pour le maïs, à comparer au niveau actuel (1500 à 2000 m³/ha), soit une hausse de 20 à 25 % ainsi que pour le sorgho. Quant au futur lointain (2080), le raccourcissement du cycle de végétation pourrait engendrer une diminution du besoin d'irrigation mais aussi une réduction substantielle des rendements. Le phénomène d'esquive a en effet pour conséquence des besoins en eau plus élevés en début de saison (démarrage plus précoce et augmentation beaucoup plus rapide des besoins) mais un raccourcissement du cycle qui serait très important à cet horizon (2080). Le maximum de besoin global en eau est donc à prévoir dans un « futur proche » (2050).

Figure 35 : Dynamique intra-annuelle des prélèvements en eau du présent (PR) à un futur proche (FP) et lointain (FL) Source : *Climator*



5.2. Des besoins nouveaux en eau par passage du pluvial à l'irrigation

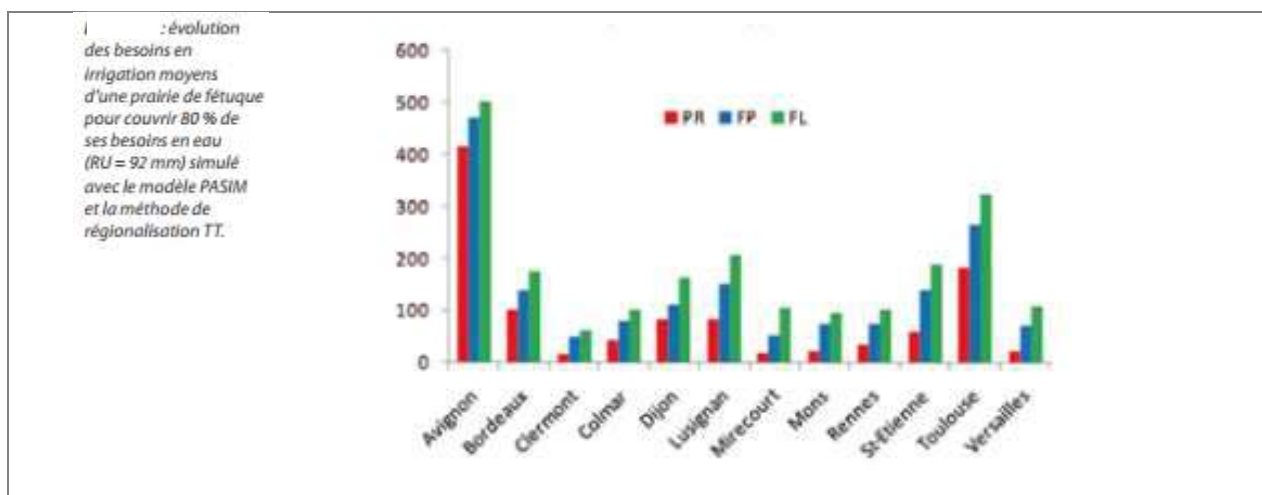
L'augmentation des besoins en eau pour l'agriculture ne résultera pas seulement de l'augmentation des besoins des cultures déjà irriguées mais aussi du nécessaire développement de l'irrigation. En effet, de nouveaux besoins émergent notamment :

- pour la vigne (y compris pour assurer la qualité du produit),
- pour la prairie : sécurisation de la production fourragère, progrès d'autonomie (cf. encadré),
- et pour les cultures annuelles comme le colza ou le tournesol (irrigation de démarrage) et les céréales. Le besoin d'irrigation « starter » sera notamment important pour le colza car avec la baisse de l'humidité des sols, le problème d'installation de la culture sera « particulièrement important » (*Climator*).

Encadré 10. Les nouveaux besoins en irrigation des prairies en France selon *Climator*

Le rapport *Climator* a bien mis en avant les nouveaux besoins d'irrigation des prairies du fait du changement climatique. En effet, la figure 12 du Livre Vert du rapport *Climator* chapitre B (ci-dessous) montre que :

- dans la situation actuelle (PR), la ressource pluviométrique des sites fourragers traditionnels comme Clermont, Mirecourt ou Rennes permet d'approcher 80 % des besoins en eau du couvert. L'irrigation des prairies est donc restée peu développée et limitée à quelques contextes très particuliers comme la plaine de la Crau, bien représentée par le site d'Avignon ;
- dans les futurs proche (FP) et lointain (FL), les besoins en eau vont par contre s'accroître très fortement puisque dans le FL les besoins en irrigation pour couvrir 80 % des besoins en eau sur un sol prairial typique (et donc pour continuer à assurer la production fourragère) seront presque partout supérieurs à 100 mm.

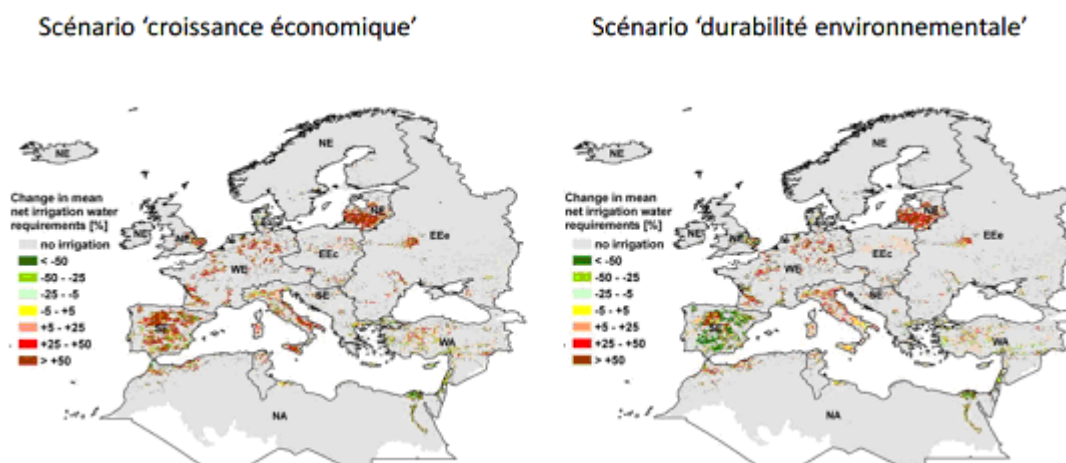


Le changement de la géographie agricole jouera aussi. Par exemple, la culture du maïs sera défavorisée dans le Sud-Ouest en cas de limitation de l'accès à la ressource en eau, mais elle pourrait s'étendre avec de très bons rendements dans la partie nord pour une consommation en eau à l'hectare moins élevée. De même pour le sorgho.

5.3. Le scénario « durabilité environnementale » de l'Université de Kassel : un doublement des prélèvements en eau d'irrigation en Europe de l'Ouest

Le Centre de recherche sur les systèmes environnementaux de l'Université de Kassel a développé plusieurs scénarios de l'évolution possible des besoins en eau d'irrigation en 2050 par rapport à 2000 dans l'Espace euro-méditerranéen (Schaldach, 2012). Deux scénarios sont proposés : « Economy First » très libéral (avec recul de la PAC) et « Sustainability Eventually » où l'Europe sortirait d'une économie globalisée et orientée « marché » pour donner priorité à des initiatives locales et où la PAC financerait les agriculteurs pour la production de services environnementaux.

Figure 36 : Deux scénarios 2050 d'extension de l'irrigation (Université de Kassel)



Pour l'Europe de l'Ouest (dont la France), une des sept sous-régions considérées, l'étude conclut à un besoin en eau accru en 2050 par rapport à 2000 de :

- 97 % pour l'irrigation dans le cas du scénario « durabilité environnementale » (et environ un doublement de la surface irriguée),
- 311 % pour le scénario « économie d'abord » (et au moins un triplement de la surface) mais aussi l'abandon de l'agriculture dans les zones peu rentables et un fort creusement des inégalités territoriales.

La croissance du besoin en eau sera donc principalement le fait de l'*extension de l'irrigation*.

A l'échelle globale, euro-méditerranéenne, la croissance de la production permise par l'extension de l'irrigation restera cependant limitée :

- à hauteur de 29 % dans le scénario « économie d'abord » car de nombreuses terres agricoles non rentables ne seront plus cultivées du fait du recul de la PAC,
- et à hauteur de seulement 6,9 % dans le scénario « durabilité », soit une croissance deux fois moindre que l'augmentation annoncée de la population (+ 13 %).

5.4. La prospective *Explore 2070* du ministère en charge de l'écologie

L'étude *Explore 2070*, sur la base du scénario A1B du GIEC, annonce une forte augmentation des températures, des étés très chauds, voire torrides et très secs au sud, une augmentation généralisée de l'ETP, des débits en fort recul, jusqu'à - 50 %, et des étiages très sévères avec des baisses de - 40 à - 60 % selon les régions, y compris dans le Nord et l'Est.

L'analyse prospective porte sur l'évolution possible de l'équation offre/demande en eau en France à l'horizon 2070 à travers quatre scénarios différenciés déclinés en deux variantes (étalement urbain ou densification).

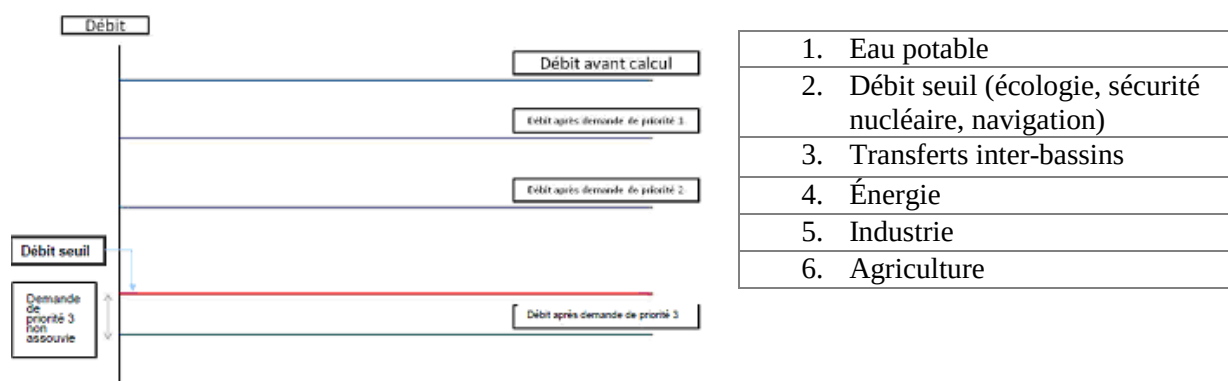
5.4.1. Les scénarios font l'impasse sur la possibilité d'un stockage accru

Explore 2070 a reconnu la spécificité de l'agriculture, celle-ci étant le seul usage « dont la dépendance à l'égard du climat induit des modifications majeures et quantifiables en termes de prélèvement et de consommation sur la ressource en eau ».

L'étude prend en compte les priorités actuelles de la politique actuelle de l'eau en France :

- Seule la « *gestion de la demande* » (efficacité et restrictions d'usages) est mise en avant.
- Les DOE sont fixés sans envisager une éventuelle réduction rendue pourtant inéluctable du fait du changement climatique.
- L'eau potable et le maintien d'un débit seuil (eau pour la nature et la sécurité nucléaire) sont considérées les deux priorités d'usages, l'agriculture ne venant qu'en 6^{ème} et dernière position (figure 37).

Figure 37 : Hiérarchie des usages de l'eau en France et respect du débit seuil (Source : *Explore 2070*)

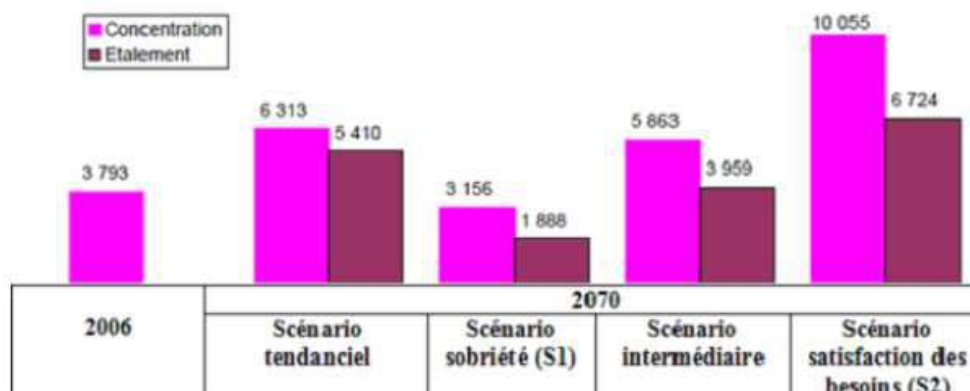


Les trois scénarios d'adaptation explorés ne retiennent, par suite, ni l'hypothèse d'une politique volontariste d'offre (développement du stockage, nouveaux transferts), ni celle d'une réduction des débits seuils (débits d'objectifs d'étiage) alors que les étiages seront pourtant bien plus sévères. Ils se différencient par la seule évolution de l'agriculture, chacun avec deux variantes selon le mode d'urbanisation. Les trois scénarios se différencient ainsi :

- le scénario « *sobriété* », S1, est celui de la suppression du maïs irrigué en France,
- le scénario « *augmentation des besoins* », S2, prend en compte l'augmentation des besoins en eau de l'agriculture y compris du fait de l'extension des surfaces irriguées au sud comme au nord de la Loire,

- le scénario « *intermédiaire* » retient pour hypothèse une conversion en cultures pluviales de 50 % du maïs irrigué.

Figure 38 : Volumes d'eau prélevés pour l'irrigation (millions de m³) : 4x2 scénarios *Explore 2070*



5.4.2. Le scénario de satisfaction des besoins avec arrêt de l'étalement urbain nécessiterait une croissance de 165 % des allocations en eau pour l'agriculture

Le scénario tendanciel (figure 39) montre qu'à assolement constant, la hausse des températures se traduira par une hausse des prélèvements pour l'irrigation par rapport en 2006 de l'ordre de :

- 66 % dans le scénario concentration (arrêt de l'étalement urbain),
- 43 % dans le scénario « étalement urbain », les surfaces agricoles étant réduites dans ce scénario en raison de la grande extension des surfaces urbanisées.

Le scénario alternatif (figure 39) de satisfaction des besoins, dans la variante « concentration », nécessiterait une augmentation des prélèvements pour l'irrigation de 165 % d'ici 2070, par rapport à l'année 2006.

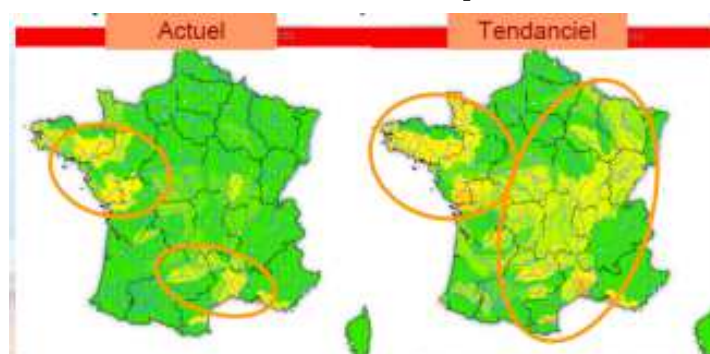
5.4.3. Un équilibre offre/demande impossible à atteindre avec les hypothèses retenues

Explore 2070 montre clairement qu'aucun des trois scénarios explorés, même celui de la disparition du maïs irrigué, ne permettra de rétablir un équilibre offre/demande.

Même dans l'hypothèse du scénario de passage à l'agriculture pluviale d'une grande partie de l'agriculture irriguée française (scénario « *sobriété* »), les débits seuils ne pourront pas être satisfaits dans un nombre très important de bassins. Ainsi et quel que soit le scénario, *la biodiversité aquatique et les services écosystémiques se retrouveront sous pression (figure 39).*

De plus, les résultats/cartes montrent fort peu de différences d'impacts sur les milieux entre les trois scénarios alternatifs : le nombre de mois sous le débit seuil et les espaces concernés restent à peu près identiques. Le sacrifice de l'agriculture ne pourra donc en aucun cas répondre au problème du maintien des milieux aquatiques dans leur état actuel.

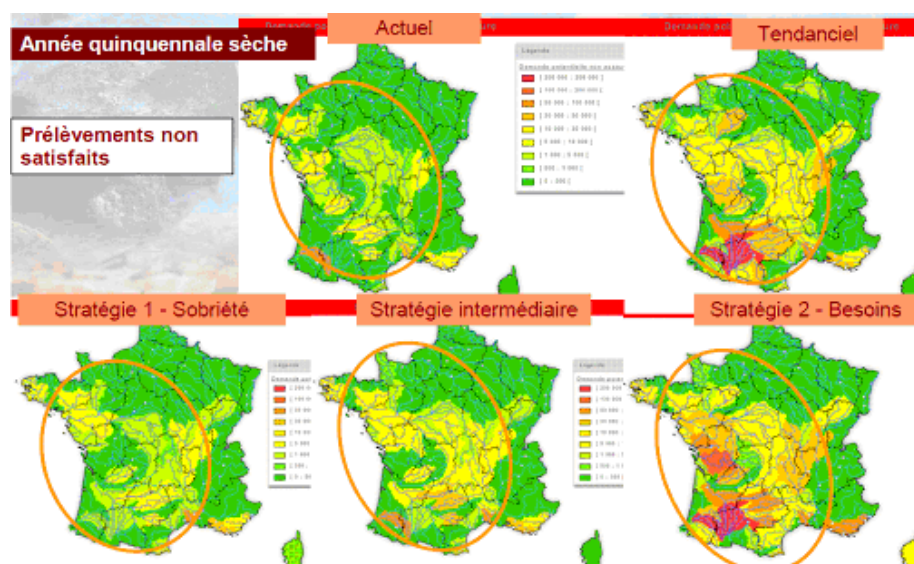
**Figure 39 : Année quinquennale sèche : nombre de mois sous le débit seuil (seuil à 15 % du module)
Situation et 4 scénarios *Explore 2070***





Ainsi et sans un changement de paradigme (passage à une politique équilibrée offre/demande), les prélèvements non satisfaits de l'agriculture s'accroîtront considérablement (figure 40).

Figure 40 : Prélèvements non satisfaits : actuels et 4 scénarios Explore 2070



Cependant, l'étude ne donne aucune indication sur les conséquences socio-économiques qui résulteraient de la non satisfaction des besoins identifiés pour l'agriculture française, pour l'économie nationale, pour les territoires ruraux, pour les consommateurs et pour le climat.

5.5. La prospective Garonne 2050

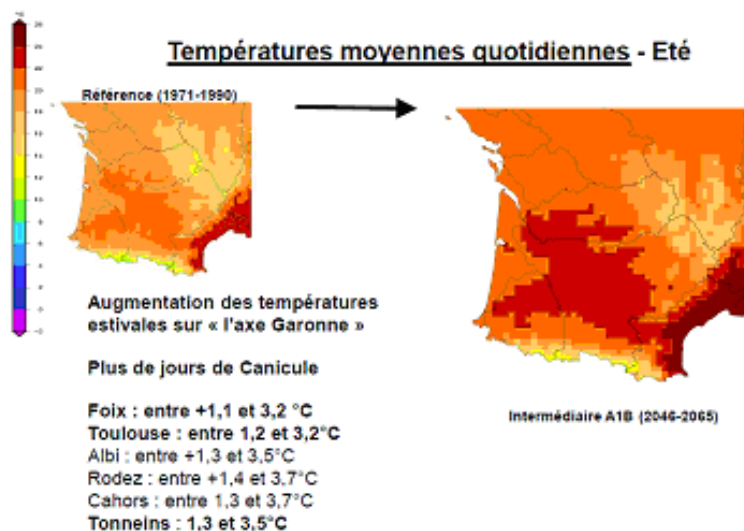
5.5.1. Une perte de 80 à 90 % du nombre d'exploitations avec les scénarios « sobriété » et « libéral » ?

Garonne 2050, étude prospective conduite de fin 2010 à fin 2013 à l'initiative de l'Agence de l'eau Adour Garonne, a exploré plusieurs scénarios différenciés de gestion quantitative de l'eau dans le contexte du changement climatique (source : <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>). Elle a bénéficié d'un appui méthodologique important assuré notamment par *Futuribles*.

Comme les autres exercices comparables, *Garonne 2050* a d'abord alerté sur les évolutions annoncées par le scénario A1B du GIEC (scénario médian) : augmentation de température de 1,5 à 2,8°C (et jusqu'à 3,5), légère baisse du total de précipitations (de l'ordre de 10 %), étés plus secs et souvent caniculaires, étiages plus sévères, plus longs et plus précoces avec une baisse des débits à hauteur de 50 %, hors gestion des barrages. Par ailleurs, l'étude retient l'hypothèse de la poursuite de la forte croissance de la population sur le bassin de la Garonne (+ 0,9 % par an contre + 0,5 % à l'échelle nationale). En effet, la population de

4,6 millions d'habitants sur la zone gagne chaque année 30 000 habitants, essentiellement du fait du solde migratoire.

Figure 41 : Évolution des températures moyennes quotidiennes en été d'ici 2050 dans le Sud Ouest



Étude prospective à caractère « participatif », *Garonne_2050* a eu le mérite d'ouvrir la réflexion à l'exploration de scénarios intégrant la possibilité :

- d'agir sur le volet « offre » (stockage) et pas sur le seul volet « demande » (efficacité et restrictions d'accès) de la gestion de l'eau,
- d'une baisse des débits d'objectif d'étiage, la Garonne, devenant « méditerranéenne », devant voir ses débits naturels d'étiages réduits de moitié d'ici 2050.

Garonne 2050 a d'abord établi un constat. L'agriculture et l'agro-alimentaire ont une importance économique considérable dans la région, une baisse importante de la SAU est constatée en 40 ans (- 8 % : 230 000 ha), le nombre d'exploitations agricoles n'est plus que de 65 422 en 2007 (- 65 % en 40 ans) et les superficies irriguées ont baissé depuis 2000. Les exploitations sont cependant encore essentiellement de type familial (taille moyenne : 50 ha par exploitation).

L'étude a ensuite été conduite en deux grandes étapes prospectives. La première a consisté à explorer cinq scénarios différenciés (tendanciel, stockage, sobriété, local et libéral). La possibilité soit d'une réduction des prélèvements pour l'agriculture (- 20 % conformément au PNACC), soit au contraire d'une augmentation (+ 20 %) pour répondre aux nouveaux besoins d'adaptation a été examinée dans certains scénarios.

Les principales hypothèses associées aux scénarios concernant l'agriculture sont les suivantes :

- Au scénario « *sobriété* » (réduction de moitié de la superficie irriguée avec abandon du maïs et du soja) est associée une baisse du nombre d'exploitations agricoles de 80 à 90 % (contre 40 % dans le scénario tendanciel), sans pour autant permettre de toujours respecter les débits d'objectifs d'étiage.
- Le scénario « *libéral* » verrait la disparition des politiques de l'eau et de l'agriculture. L'eau devient donc un bien marchand et seules quelques grandes entreprises valorisent les terres agricoles. A ce scénario est associée la même hypothèse de diminution du nombre d'exploitations (-80 à -90 %) que le scénario « *sobriété* ». Comme ce dernier et comme le scénario tendanciel, il a été considéré comme inacceptable.
- Aux scénarios « *stockage* » et « *local* » sont au contraire associés une hypothèse de maintien du nombre actuel d'exploitations. Celles-ci pratiqueraient une « agriculture écologiquement intensive » (AEI) mais avec des systèmes de production et des évolutions différenciés. Dans le scénario « *stockage* », l'accent est mis sur l'accès à l'énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre : de nouveaux barrages permettent le développement de l'hydro-électricité et de la production de biomasse. Dans le scénario « *local* », la décentralisation incite les territoires à l'autonomie. De petits barrages et retenues

sont construits et les marchés de proximité sont valorisés avec des assolements très diversifiés. Le scénario mobilise moins de ressources en eau mais la solidarité amont-aval est abandonnée.

Tableau 6 : Les 5 premiers scénarios de Garonne 2050 et l'agriculture

Scénarios		Tendanciel	Stockage	Sobriété	Local	Libéral
Production agricole	SAU	- 10 %	Stable	- 20 %	Stable	- 20 %
	Nombre exploitations	25 000	45 à 65 000	7 à 15 000	45 à 65 000	7 à 15 000
	Cultures	Baisse maïs Hausse blé, colza, tournesol	Agrocarburants 2 ^{ème} génération Miscanthus + soja, pois, luzerne, chanvre	Abandon maïs et soja pour blé et tournesol	Marchés de proximité produits de terroirs	Mitage d'exploitations capitalistiques Agro-industrie
	Type d'agriculture	agriculture écologiquement intensive	agriculture écologiquement intensive	Extensif	agriculture écologiquement intensive	
Irrigation	Surface irriguée	Stable	+ 50 %	- 50 %	Stable	Stable
	Stockages		Aidés		Aidés	Locaux privés
	Assolements	Diversifiés : report été sur printemps	Maintien maïs irrigué Biomasse	Assolement diversifié	Assolements très diversifiés Biomasse	Maintien du maïs irrigué
	Prélèvements en eau	+ 15 à + 20 %	+ 70 %	- 40 %	+ 15 à + 20 %	+ 15 à + 20 %

Source : Présentation de *Garonne 2050* par Futuribles, Assemblée générale du CGAAER, 2016

5.5.2. La solution passera par la baisse des débits seuils et par le stockage multi-usages de l'eau

La 2^{ème} étape de l'étude a consisté à poursuivre et à renouveler l'analyse prospective en tenant compte de la nécessité de s'adapter à la nouvelle donne climatique, tout en essayant de satisfaire les services rendus par l'eau en période d'étiage (dont l'agriculture/alimentation et l'eau pour la nature). Ceci a généré de nouvelles simulations relatives :

- aux *débits seuils* avec trois alternatives :
 - une réduction des DOE à hauteur de 50 %, c'est-à-dire une réduction à hauteur de la baisse des apports naturels d'étiage annoncés à l'horizon 2050,
 - une réduction des DOE de seulement 25 % grâce au soutien d'étiage
 - des DOE maintenus à 100 % en compensant par le stockage/soutien d'étiage ce que la nature n'apporte plus ;
- aux *volumes prélevables* par l'agriculture, avec trois alternatives à l'horizon 2050 :
 - le maintien des volumes prélevables (VP) négociés pour l'année 2021,
 - une baisse de 20 % des VP comme suggéré par l'actuel PNACC (Plan national d'adaptation au changement climatique),
 - une hausse de 20 % des VP pour tenir compte de la demande climatique supérieure.

Les principales conclusions de cette 2^{ème} étape sont résumées dans le tableau 7.

En synthèse, l'étude *Garonne 2050* montre que :

- dans les trois scénarios, il faudra à la fois mobiliser une part importante de l'eau des réserves EDF pour le soutien d'étiage et créer rapidement de nouvelles infrastructures de stockage. Un volume significatif de stockage supplémentaire (l'équivalent en volume de 75 à 300 « Sivens ») sera en effet nécessaire pour maintenir un débit minimal acceptable de la Garonne en été (même avec une agriculture sobre ou avec une agriculture sacrifiée),
- la variation des prélèvements agricoles de + ou – 20 % aurait un impact secondaire sur le stockage pour le soutien d'étiage,

- le maintien à leur niveau actuel des DOE n'est pas réaliste car il imposerait, outre le sacrifice de l'agriculture, un scénario de création d'infrastructures extrêmement coûteux. Une réduction des DOE est donc à prévoir.

Tableau 7. Trois scénarios pour la Garonne à l'horizon 2050

Scénarios	Réduction de 50% des DOE	Maintien des DOE à leur niveau actuel	Réduction de 25% des DOE
Stockage et mobilisation de l'eau	Mobilisation nécessaire de 195 millions m3 de plus : 120 par prélèvements dans les réserves EDF 75 par création de retenues	Mobilisation nécessaire de 680 millions m3 de plus : 380 par prélèvements dans les réserves EDF 300 par création de retenues	Mobilisation nécessaire de 335 millions m3 de plus : 140 par prélèvements dans les réserves EDF 195 par création de retenues ou 415 millions m3 si on décidait d'augmenter de 20 % les allocations en eau pour l'agriculture négociées pour 2021
Commentaires sur le scénario (conséquences)	- Risque de défaillance de production d'eau potable de qualité - Remise en cause des services paysagers, récréatifs et économiques de la Garonne de mai à novembre	- Nécessité de faire sauter le verrou technologique du stockage électrique (utilisation des réserves pour le soutien d'étiage) + sacrifice agriculture - Scénario beaucoup trop coûteux	Seul scénario jugé « acceptable » par les auteurs de l'étude

Ainsi, selon Futuribles qui a accompagné tout l'exercice de prospective, « *l'impact du changement climatique devrait être exprimé essentiellement en volumes supplémentaires à stocker/mobiliser pour compenser son effet à l'étiage* ».

La conclusion est clairement la nécessité d'une nouvelle *prise de conscience* : l'ampleur des évolutions annoncées et la nécessité de les anticiper en jouant en même temps sur la gestion inter-saisonnière de la ressource (stockage) et sur une révision à la baisse des DOE (sans oublier la poursuite des gains d'efficacité). Les politiques de l'eau se rapprocheraient ainsi de celle de l'Espagne confrontée de longue date à des situations de rareté et à un climat proche de celui que la France devrait connaître d'ici quelques décennies.

Le nouveau SDAGE du bassin Adour-Garonne n'a pas encore traduit en décision cette orientation même si la nécessité du stockage a été reconnue dans son principe, ainsi que le besoin d'une future relecture/modification du SDAGE pour réussir l'anticipation.

5.6. Vers une nouvelle vision politique pour anticiper au lieu de subir : les analyses du rapport sénatorial Tandonnet/Lozach « *Eau : urgence déclarée* »

Le rapport « *Eau : urgence déclarée* » des sénateurs Henri Tandonnet et Jean-Jacques Lozach, adopté en mai 2016 par la Délégation sénatoriale à la prospective, est consacré à la gestion de l'eau dans un horizon de moyen-long terme dans le contexte de dérèglement climatique. S'appuyant sur les nombreux rapports récents disponibles et sur une série d'entretiens, les auteurs alertent sur la montée annoncée des problèmes et sur l'urgence d'une prise de conscience de la réalité des faits annoncés à savoir : *moins d'eau, plus de chaleur et davantage de besoins*.

La première innovation du rapport est de montrer que *la question de l'eau, en tant que ressource, concerne tout le monde*. Chacun doit en effet pouvoir se nourrir et notre indépendance alimentaire, qui est directement liée à la disponibilité en eau, doit pouvoir être préservée. Il est donc crucial de « ne pas mettre en opposition frontale et stérile agriculteurs et consommateurs dès lors qu'ils partagent un intérêt commun : celui de disposer d'une alimentation de qualité à des coûts accessibles ».

L'enjeu est plus large car « sauf à vouloir détruire un modèle agricole et un mode de vie auxquels beaucoup sont attachés et qui représente une richesse pour la France, il n'est pas en effet concevable de conserver un maillage d'exploitations familiales qui façonne les paysages, en remplaçant des cultures légumières et fruitières par la culture du sorgho, certes plus économe en eau mais à une échelle bien plus grande ». Les auteurs soulignent la nécessité pédagogique de montrer que l'eau est une solution au problème climatique et alimentaire. Ne sera-t-elle pas de plus en plus indispensable à l'indépendance alimentaire du pays, et, dans bien des espaces, à la sécurisation des revenus, à l'installation des jeunes et à la qualité et à la vie des territoires (emplois) ? L'irrigation pourrait même, comme le souligne le rapport, être mobilisée pour réduire localement les canicules annoncées (hausse de + 5°C en été) et contribuer ainsi au mieux vivre en ville. Les rapporteurs déplorent que l'eau n'ait pas été mise en avant comme un point clef dans l'*Accord de Paris* (COP 21).

Une autre innovation importante du rapport est l'invitation à *adopter une « vision écologique globale »*. En effet, le bon état écologique des eaux ne peut s'appréhender sous l'angle seulement national et les auteurs estiment qu'il serait peu responsable de « déplacer encore plus nos problèmes sur des pays qui ont moins d'eau et qui rencontrent encore bien plus de difficultés que le notre ». Ils rappellent qu'en 2007, 15 milliards de m³ d'eau ont été utilisés à l'étranger pour produire des biens et services importés par la France contre seulement 6,6 milliards de m³ utilisés en France pour produire ce qui est exporté. La France a pourtant pour elle une ressource relativement abondante puisque 97 % de ce qui s'écoule arrive à la mer.

Comment prévenir la montée annoncée des conflits d'usages et maintenir nos emplois, nos paysages et notre souveraineté alimentaire quand un quart du territoire national est classé en « zones de répartition des eaux » (zones en déficit quantitatif non conjoncturel) ? L'avenir s'assombrit encore avec la perspective des sécheresses agricoles extrêmes, de l'augmentation des besoins en eau et de la forte baisse des débits d'étiage. Les auteurs s'interrogent par conséquent sur la *Directive cadre sur l'eau* et sur les lois et textes réglementaires qui s'en sont aujourd'hui très directement inspirés en France : ne faut-il pas en effet « réfléchir autrement que sous le prisme anglo-saxon (d'une ressource abondante) au niveau européen et national » et « avoir une approche plus méditerranéenne » ? Le seul sujet à traiter n'est pas celui de la qualité. Celui de la *disponibilité* va s'imposer et la solution passera par une politique d'offre et pas seulement de demande. « S'interdire de créer des réserves serait en effet contraire à toute l'histoire de l'humanité quand elle est confrontée au risque de pénurie. Dans un contexte de survie, il paraît en effet de bon sens de constituer des stocks pour capter l'eau quand elle est abondante, et donc sans risque pour l'écosystème, afin de pouvoir la restituer quand elle vient à manquer ». Le rapport passe en revue les autres types de solutions possibles depuis l'amélioration des réseaux, l'agro-écologie et l'irrigation de précision jusqu'à la recharge des nappes et la réutilisation des eaux usées.

Pour les auteurs, il s'agit par conséquent de « faire évoluer la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 au vu des nouvelles données climatiques pour mettre en place *une politique de partage adaptant les ressources aux besoins* », les deux priorités à mettre en avant étant dans l'ordre la consommation humaine (eau potable et alimentation) et la sécurité énergétique. Ils plaident en outre pour une gestion décentralisée au niveau de chaque bassin et sous-bassin, associant l'ensemble des acteurs du territoire afin de définir les moyens d'atteindre l'équilibre entre besoins et ressources en période de crise, tout en soulignant la nécessité de véritables capacités de maîtrise d'ouvrage. Le mode de gouvernance actuel est jugé à la fois « trop centralisé et trop dispersé ». En conclusion, pour les auteurs, le temps est donc maintenant venu du « réalisme », de l'« action » et du « politique » car il est urgent d'anticiper si on ne veut pas subir.

Annexe 1 : Liste des sigles utilisés

AFEID	Association française pour l’eau, l’irrigation et le drainage
AEI	Agriculture écologiquement intensive
AEP	Alimentation en eau potable
AIRMF	Association des Irrigants des Régions Méditerranéennes Françaises
ANR	Agence nationale de la recherche
ARVALIS	Institut du végétal
ASA	Associations syndicales autorisées
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
BRL	Groupe BRL, issu de l'évolution de la Compagnie Nationale d'Aménagement de la région du Bas Rhône et du Languedoc
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CGDA	Conseil général du développement agricole (Maroc)
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
DCE	Directive cadre sur l'eau
DOE	Débits d’objectifs d’été
DRAAF	Direction Régionale de l’Alimentation, de l’Agriculture et de la Forêt
DREAL	Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EMMAH	Département de l’INRA, unité mixte de recherches (UMR) entre l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (UAPV) et l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA)
ETM	Evapotranspiration maximale effective
ETP	Evapotranspiration potentielle annuelle
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture - Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEADER	Fonds européen agricole pour le développement rural
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIS-SOL	Groupe d'Intérêt Scientifique Sol
HSM	Laboratoire HydroSciences Montpellier
INRA	Institut national de la recherche agronomique
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
IWMI	Institut international de gestion de l'eau - International Water Management Institute
JRC	Joint Research Centre
LOLF	Loi organique relative aux lois de finances

MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
ONERC	Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique
OUGC	Organisme unique de gestion collective
PAC	Politique agricole commune
P-ETP	Pluies – évapotranspiration potentielle
PFE	Partenariat Français pour l'eau
PNACC	Plan national d'adaptation au changement climatique
SAU	Surface agricole utile
SCV	Sous couverture végétale
SDAGE	Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux
SERFEL	Station expérimentale et de recherche fruits et légumes
UE	Union européenne
VP	Volumes prélevables
WOCAT	Panorama mondial des approches et des technologies de conservation
WRI	World Resources Institute
ZRE	Zones de répartition des eaux