



EVALUATION DU COÛT DES IMPACTS DU CHANGEMENT  
CLIMATIQUE ET DE L'ADAPTATION EN FRANCE  
Rapport de la deuxième phase  
Partie II – Rapports des groupes  
transversaux

## Table des matières

<b>I</b>	<b>Rapport du Groupe Eau.....</b>	<b>3</b>
I.1	Introduction .....	4
I.2	La ressource en eau : état des connaissances et impacts observés .....	6
I.3	Impacts du changement climatique futur sur la ressource en eau .....	31
I.4	L'adaptation au changement climatique appliquée au cas de l'eau .....	52
<b>II</b>	<b>Rapport du Groupe Risques naturels et assurance.....</b>	<b>60</b>
II.1	Introduction .....	61
II.2	Présentation succincte des risques étudiés (climat actuel) .....	65
II.3	Préalable méthodologique : l'évaluation de la vulnérabilité .....	68
II.4	Le risque de retrait-gonflement des sols argileux .....	69
II.5	Le risque d'inondation .....	74
II.6	Le risque côtier .....	79
II.7	Le risque gravitaire : impact du changement climatique .....	83
II.8	Analyse et discussion des résultats .....	85
II.9	Besoins spécifiques et pistes identifiées pour poursuivre l'analyse.....	91
<b>III</b>	<b>Rapport du Groupe Biodiversité.....</b>	<b>93</b>
III.1	Introduction.....	94
III.2	Chapitre I - Impacts actuels du changement climatique sur la biodiversité .	103
III.3	Chapitre II- Incidences futures du changement climatique sur la biodiversité	114
III.4	Chapitre III- Quelques clés de compréhension des changements observés et prévisibles de la biodiversité.....	132
III.5	Chapitre IV- Éléments d'évaluation économique des impacts.....	138
III.6	Chapitre V - Effets croisés entre adaptation au changement climatique de différents secteurs, atténuation et conservation-utilisation de la biodiversité	149
III.7	Chapitre VI- Stratégies d'adaptation au changement climatique favorables à la biodiversité.....	155
III.8	Conclusion générale .....	172
<b>IV</b>	<b>Rapport du Groupe Territoires.....</b>	<b>174</b>
IV.1	Introduction .....	175
IV.2	Les objectifs - la problématique territoriale dans l'adaptation au changement climatique .....	177
IV.3	Éléments de compréhension de la vulnérabilité des territoires au changement climatique .....	181
IV.4	Gestion de la transition vers une politique territoriale de l'adaptation .....	198
IV.5	Conclusion .....	213

# **I Rapport du Groupe Eau**

## **I.1 Introduction**

### **I.1.1 Composition du groupe**

Le groupe thématique, présidé par MM. Michel Le Quentrec (CGEDD) et Jean-Luc Redaud (CGAAER), s'est réuni à cinq reprises entre février et juin 2009. Le secrétariat de ce groupe a été assuré par la Direction de l'eau et la biodiversité. Du fait du délai très court imposé pour le rendu de ce rapport, seuls des experts ou personnes qualifiées des autres groupes thématiques interministériels ont été systématiquement mobilisés.

Un certain nombre d'experts du domaine de l'eau ont été interviewés :

- Représentants des bassins (Agence de l'eau et DIREN) Seine Normandie, Loire Bretagne, Adour Garonne et Rhône Méditerranée ;
- CEMAGREF : unité hydrométrie-hydrologie de Lyon ;
- INRA : N. Brisson (centre d'Avignon) et B. Itier (INRA Grignon) ;
- Météo-France : CNRM à Toulouse ;
- CERFACS ;
- EDF R&D, laboratoire du LNHE ;
- Etablissement public Loire.

### **I.1.2 Objectifs**

La mission confiée au groupe thématique « Eau et impacts du changement climatique » était de recenser et d'évaluer les impacts du changement climatique sur les différents aspects de la gestion de la ressource en eau en France métropolitaine, aux horizons 2030, 2050 et 2100.

L'exercice de quantification visait à déterminer les coûts pour les gestionnaires de la ressource et leurs usagers. Selon les disponibilités de données et de temps, l'ensemble des impacts n'a pas été systématiquement traité à ce stade. Un certain nombre de lacunes ont été identifiées à l'occasion de cette étude.

### **I.1.3 Synthèse et résultats**

La détection d'une modification notable dans les différentes chroniques de température et de précipitation des dernières décennies n'est à ce jour pas aisée. Les observations sur la température montrent une rupture nette dans les années 1980. Pour les autres paramètres, du fait de la densité du réseau de mesures, de la nature influencée des stations, des incertitudes importantes de mesure, il n'a pas été possible de déterminer si des changements significatifs avaient déjà eu lieu ou non.

Afin de caler au mieux les modèles de projection d'impact du changement climatique, un travail important est encore nécessaire en particulier au travers de l'analyse des chroniques passées, en s'efforçant de « gommer » les pressions anthropiques : approfondissement de l'expertise sur les impacts constatés sur les rivières et les milieux hydrauliques, renforcement et exploitation du réseau hydrométrique, amélioration de la connaissance relative à l'évapotranspiration (ETP et ETR), généralisation d'études du type « imagine 2030 ». Cela nécessitera de réviser certaines méthodes d'analyse qui n'ont jusqu'à présent pas permis de montrer une rupture et de prendre en compte le caractère influencé des prélèvements.

Sur la question de la quantification des impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau, la mobilisation des gestionnaires de l'eau est encore faible. L'enjeu est encore peu traité dans les projets de Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). La mobilisation des comités de bassin sur le sujet impliquera de replacer le changement climatique dans un ensemble d'enjeux auxquels ils sont d'ores et déjà confrontés : déficit quantitatif des ressources en eau en Adour-Garonne, problèmes de contamination par les toxiques des eaux superficielles et souterraines en Seine-Normandie, pollutions agricoles en Bretagne, protection des milieux littoraux sur la Méditerranée, etc.

Aujourd'hui, la plupart des stratégies engagées sont « sans regret », prioritaires et concourront à réduire les effets du changement climatique. La capacité des acteurs de l'eau à faire face aux enjeux de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) est déjà un enjeu majeur. La capacité à faire « plus » en raison du changement climatique constitue un défi supplémentaire à relever.

Les premières projections en termes d'impacts sur la France métropolitaine montrent que le travail à effectuer dans le cadre de la DCE est très important et que les premiers programmes de mesures à adopter d'ici la fin de l'année 2009 risquent de ne pas être suffisants pour faire face aux impacts du changement climatique. Une étude menée sur la Seine montre par exemple que les effets positifs attendus d'une mutation de l'agriculture conventionnelle vers une agriculture raisonnée ne permettraient que de maintenir la qualité actuelle des eaux souterraines. Les premières projections indiquent qu'il est nécessaire de réduire les incertitudes sur les modèles prévisionnels et d'élaborer un corps d'hypothèses communes afin de pouvoir renforcer le dialogue entre les équipes de recherche travaillant sur ces sujets. Ceci permettra en plus de comparer les résultats obtenus dans différents bassins versants. Un pilotage centralisé de ces questions et la coordination des actions locales apparaissent indispensables. Un outil tel qu'un GIP « eau et climat » pourrait permettre de fédérer les différentes équipes de recherche.

De nombreux secteurs économiques seront impactés par une modification du cycle de l'eau : l'agriculture, qu'il s'agisse des cultures sèches ou irriguées ; la production d'énergie pour le refroidissement des unités de production ou les volumes turbinables ; l'alimentation en eau potable ; l'alimentation des canaux, etc.

Les principaux impacts seraient :

- une augmentation de la demande en eau du fait de la hausse des températures : besoin pour l'approvisionnement en eau potable des populations et en eau des animaux, pour l'irrigation, pour le refroidissement des usines de production d'énergie, pour les transports fluviaux, etc. ;
- une modification de la ressource disponible : diminution, voire disparition des apports estivaux des glaciers et du stockage d'eau dans le manteau neigeux, modification de la distribution spatiale et temporelle des pluies, modification du débit des cours d'eau et de la recharge des aquifères, dégradation de la qualité des eaux (diffus, ponctuels), etc. ;
- une augmentation de la vulnérabilité de certains écosystèmes du fait de l'augmentation des températures et des modifications de répartition spatio-temporelle des pluies (augmentation des assecs par exemple) ;
- une augmentation du coût d'accès à l'eau, des conflits d'usage, etc.

Une extrapolation de ces projections nous permet d'évaluer un déficit, par rapport à nos besoins actuels de 2 milliards de m<sup>3</sup>. Les zones les plus touchées seraient les zones déjà concernées par des déficits structurels. Le coût du déficit atteindrait plusieurs milliards d'euros si les volumes d'eau devaient être complètement compensés et des traitements

complémentaires mis en œuvre. D'autres scénarios comprenant l'adaptation des activités économiques sont envisageables et peuvent s'avérer moins coûteux.

Les territoires ne seront pas touchés de manière uniforme par les impacts du changement climatique. La réponse aux impacts devra engager une solidarité locale dans chaque bassin entre les différents usagers et, selon des modalités encore à définir, certainement entre les bassins qui ne seront pas soumis aux mêmes contraintes climatiques.

En ce qui concerne les mesures d'adaptation, elles seront locales, toucheront les écosystèmes, l'agriculture, l'eau potable, la gestion des inondations, la démographie, l'énergie, etc. et reposeront sur une alchimie complexe entre adaptation des besoins et adaptation de l'offre.

Les mesures locales devront nécessairement prendre en compte des objectifs nationaux voir supra nationaux tels que les engagements communautaires (bon état des masses d'eau de surface et souterraines issu de la directive cadre sur l'eau, objectifs européens en matière de développement des énergies renouvelables, enjeux de production agricole destinée à l'alimentation, etc.). Localement des réallocations de la ressource entre usagers pourront être envisagées par les instances locales de gestion de l'eau.

Il faudra veiller à ne pas aggraver les impacts du changement climatique par un « déficit d'adaptation » : pour cela, les conséquences projetées du changement climatique et les objectifs d'aménagement du territoire devront être partagés par tous les usagers.

L'adaptation des usagers de l'eau devra se faire à travers les outils de planification disponibles dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE tels que les SDAGE en s'appuyant sur les comités de bassins, assemblées regroupant les différents acteurs, publics ou privés, agissant dans le domaine de l'eau. Il conviendra pour cela de mieux évaluer à l'échelle du bassin les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation les plus appropriées sur la base d'une analyse coûts-bénéfices (y compris les coûts et bénéfices environnementaux). Un certain nombre d'hypothèses communes à tous les bassins pourra être arrêté afin de rendre comparables au niveau national ces évaluations et identifications.

Ce rapport n'a pas pu traiter de tous les secteurs environnementaux ou économiques liés au cycle de l'eau. Néanmoins, il s'avère que les besoins en recherches complémentaires sont importants, en particulier sur la connaissance des milieux (zones littorales, humides, etc.), la vulnérabilité des activités économiques vis à vis du manque d'eau (agriculture, production d'énergie, etc.) ou le développement de nouvelles technologies (économies d'eau, réserves, traitement, recyclage, etc.).

## **I.2 La ressource en eau : état des connaissances et impacts observés**

### **I.2.1 État quantitatif de la ressource en eau en France**

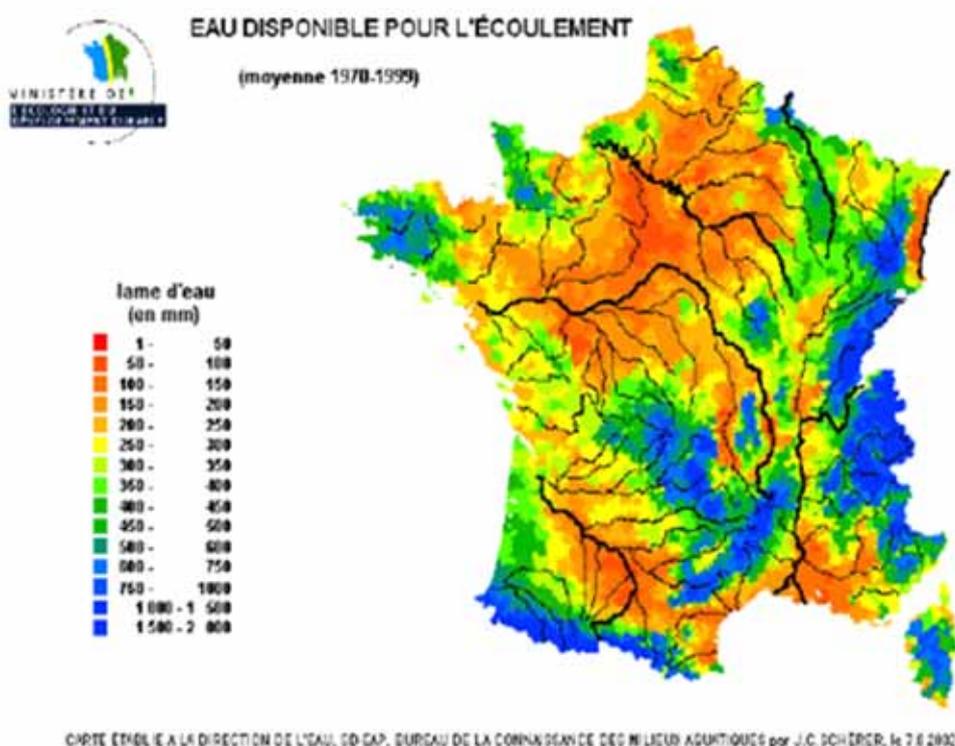
La ressource en eau douce est indispensable à la vie de la faune et de la flore aquatique et non-aquatique, à la vie quotidienne de tout individu, comme à la plupart des activités économiques. Les usages économiques les plus dépendants de la ressource en eau sont l'irrigation des cultures, la production d'énergie (hydroélectricité et refroidissement des centrales de production), certains processus industriels, le transport fluvial, l'évacuation et le traitement des effluents. La ressource en eau est également souvent utilisée pour ses capacités épuratoires. La ressource en eau permet donc de satisfaire plusieurs

fonctions : approvisionnement, productivité trophique, épuration, transport, activités récréatives et patrimoniales.

### I.2.1.1 Les précipitations

En France métropolitaine, la moyenne annuelle des précipitations depuis 50 ans est estimée à 486 milliards de m<sup>3</sup>, soit une hauteur d'eau d'environ 889mm. Sur ce volume, 311 milliards de m<sup>3</sup> rejoignent l'atmosphère par évapotranspiration. Seulement 175 milliards de m<sup>3</sup> de pluies efficaces en moyenne alimentent réellement les ressources en eau continentale : 75 milliards s'écoulent en surface et 100 milliards s'infiltrent en eau souterraine. Pour réaliser un bilan hydrique national, il convient de tenir compte de l'eau provenant des pays voisins (11 milliards de m<sup>3</sup>) et de l'eau s'écoulant de la France vers ces pays (18 milliards de m<sup>3</sup>). Le bilan annuel moyen total des ressources en eau s'élève ainsi à 168 milliards de m<sup>3</sup> pour la France métropolitaine.

Les quantités de pluie efficace moyennes sont variables selon les régions comme le montre la Carte 1. De plus, elles sont très variables d'une année sur l'autre. A la période 1999-2002 plutôt pluvieuse, ont succédé des années aux cumuls pluviométriques médiocres et parfois très inférieurs à la moyenne depuis 50 ans, comme en 2003 et 2005. Les dernières années 2006 et 2007 ont retrouvé des niveaux plus proches de la normale, sans pourtant être excédentaires.



Carte 1 - Pluie efficace, moyenne entre 1970 et 1999 (MEDDAT, 2002)

### I.2.1.2 Les prélèvements en eau douce

Pour 2004, le SOeS estime que les prélèvements en eau douce en France représentent 34 milliards de m<sup>3</sup>, dont 28 en eaux superficielles et 6 en eaux souterraines. Les eaux

prélevées dans les aquifères sont restituées dans les eaux de surface et les eaux prélevées en surface ne sont pas forcément restituées dans leur bassin versant d'origine. De plus, aucun des usages ne laissant l'eau dans son état originel, l'eau restituée subit une dégradation sur les plans physique (température), chimique (macro ou micropolluants) ou biologique (bactéries, virus ou protozoaires), ou les trois à la fois.

La Figure 1 montre que la différence entre eau consommée et eau prélevée peut être importante selon les bassins et selon le poids des différents usages.

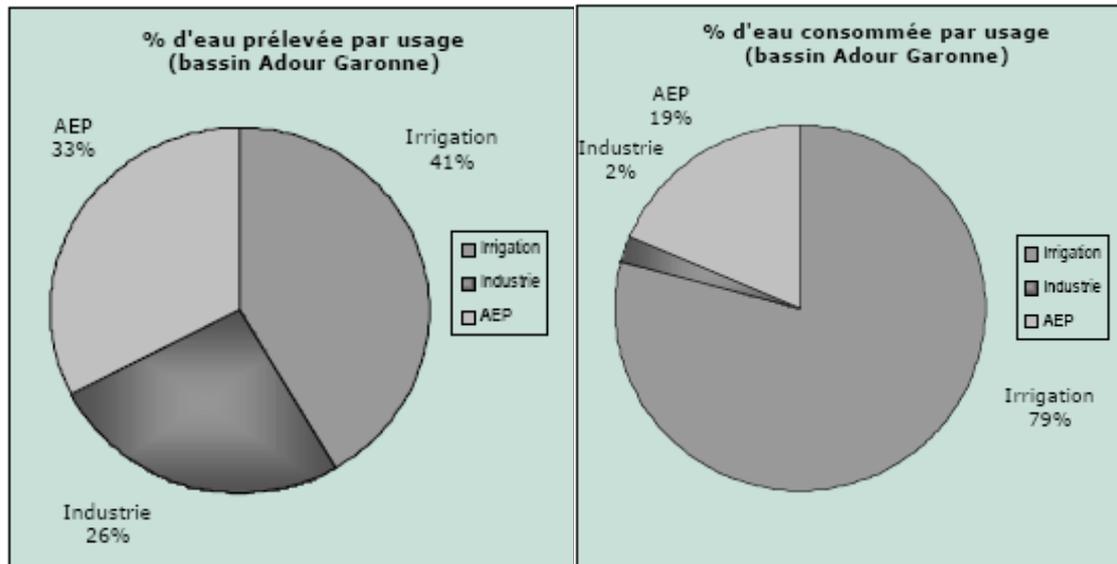


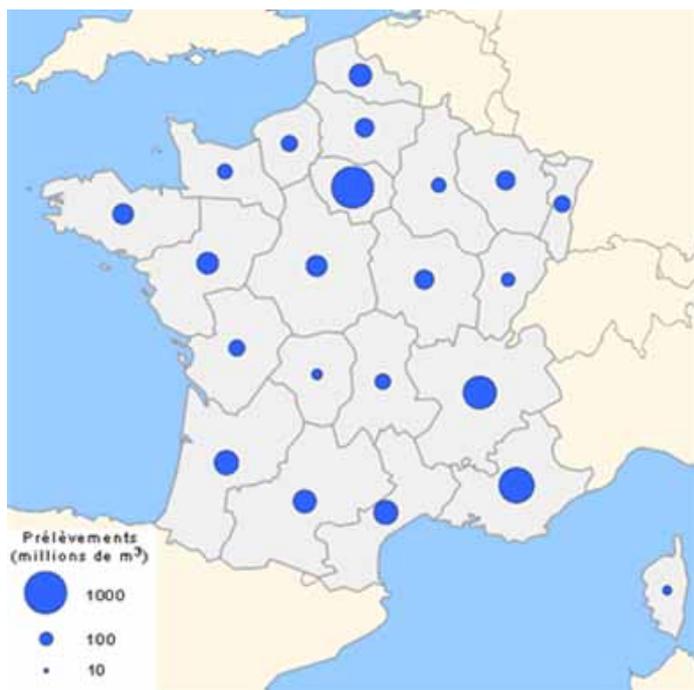
Figure 1 - Comparaison pour un même bassin versant de la répartition des prélèvements et des consommations en eau (IMAGINE 2030)

Ce chiffre de 34 milliards de m<sup>3</sup> est certainement sous-estimé, surtout pour la partie eaux souterraines.

Les volumes d'eau prélevés sont très variables selon les usages, les périodes et les régions. Par exemple, les prélèvements pour les irrigations sont concentrés sur une courte période de l'année, ce qui en terme relatif accroît encore leurs impacts sur les étiages des rivières concernées.

### Les prélèvements pour l'approvisionnement en eau potable

Sur les 6 milliards de m<sup>3</sup> prélevés pour l'AEP, 62% proviennent des eaux souterraines. La croissance des volumes prélevés s'est fortement ralentie au cours des dernières décennies mais elle reste cependant en légère progression. Ni l'augmentation de la population, ni la réduction des pertes en réseau ne permettent d'expliquer totalement ces évolutions. Chaque année, environ 100m<sup>3</sup> par habitant sont prélevés pour la production d'eau potable. Les prélèvements sont plus importants dans les régions à forte densité de population et à fort potentiel touristique (Ile-de-France, PACA, Rhône-Alpes) comme le montre la Carte 2.



Carte 2 - Prélèvements d'eau pour l'eau potable par région en 2006 (SOeS, 2008)

### Les prélèvements destinés au secteur industriel

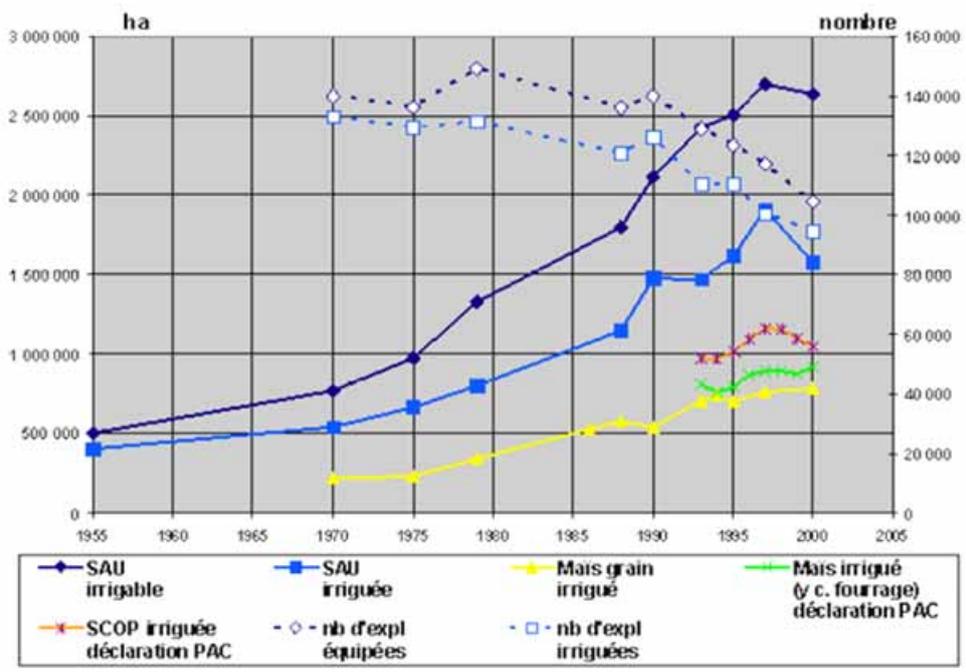
Le secteur industriel représente un prélèvement annuel de 3,5 milliards de m<sup>3</sup>, les régions de l'Est, du Nord, de la vallée du Rhône ou encore du Sud-ouest sont marquées par des prélèvements plus importants que dans des régions moins industrialisées, comme l'Auvergne ou le Limousin.

### Les prélèvements agricoles

Les volumes prélevés pour l'irrigation sont fonction de la nature des cultures, de l'importance des activités agricoles, du climat et aussi du mode d'irrigation.

L'agriculture est le plus gros consommateur d'eau avec 48% de la consommation totale. L'irrigation, avec environ 60% de la surface irriguée occupée par le maïs, a connu une forte progression entre 1988 et 1997 (+66% de surfaces irriguées). Sur les 4,7 milliards de m<sup>3</sup> prélevés pour l'irrigation, 77% proviennent des eaux superficielles.

Ces prélèvements peuvent avoir des impacts saisonniers ou chroniques très importants (perturbation de l'équilibre des milieux aquatiques et des habitats piscicoles) car ils ont lieu à 80% lors des périodes d'étiage des cours d'eau et des nappes phréatiques.



Source : AGPM 2006

Figure 2 - évolution des surfaces irriguées en France (AGPM, 2006)

La progression des surfaces irriguées (voir Figure 2) a été très forte des années 1970 à 1995 sur l'ouest de la France (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes, Pays de la Loire et Centre) qui regroupe plus de la moitié de la sole irriguée avec une culture dominante de maïs. En 2007, les sept premiers départements dépassant les 40 000 hectares irrigués (céréales, oléagineux et protéagineux) sont les Landes, le Gers, le Lot et Garonne, la Charente Maritime, la Vendée et la Haute Garonne.

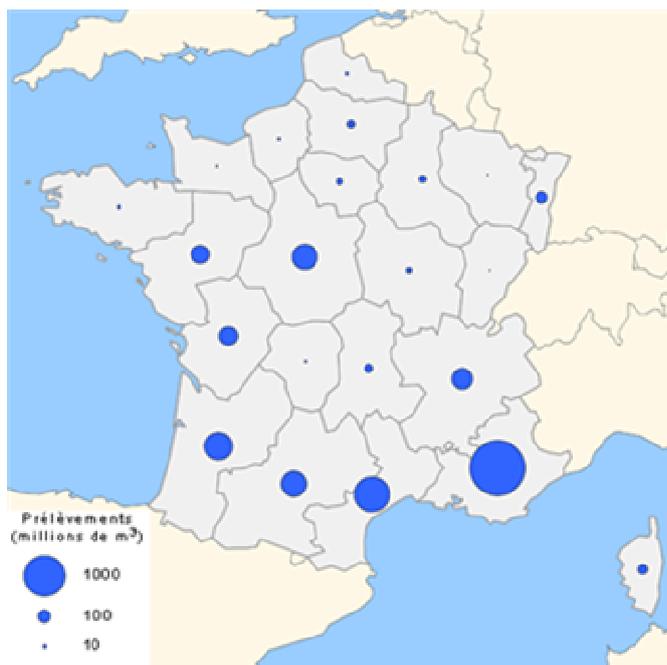
Depuis 1995, le niveau des surfaces irriguées en France (1,4 millions d'hectares) est désormais stable. Au cours des dernières années, les agriculteurs ont été conduits à adapter les quantités d'eau apportées aux cultures irriguées aux besoins des cultures. Dans le Sud-ouest qui a connu plusieurs années de sécheresse estivale (2003 et 2005), le choix des producteurs de maïs a été d'augmenter la consommation d'eau pour maintenir les rendements et réduire la sole irriguée compte tenu d'une disponibilité en eau limitée.

Le Tableau 1 illustre les besoins en eau du maïs par région pédoclimatique.

Tableau 1 - Besoin en eau d'irrigation par zone pédoclimatique : maïs consommation (Arvalis - Institut du végétal)

Régions	Type de sol	Réserve Utile mm	Moyens d'irrigation nécessaires pour couvrir les besoins de 8 ans sur 10		
			Débit mm/jour	Exemple dose/fréquence	Volume mm
Alsace	Hardt superficielle	40 à 50	5	30 mm tous les 6 jours	240
	Plaine de l'III	> 140	3.5	35 mm tous les 10 jours	180
Centre	Limons argileux profonds	> 130	3	30 mm tous les 10 jours	180
	Limons moyens	80 à 130	3.5	25 mm tous les 7 jours	200
	Argilo-calcaires	60 à 120	4 à 4.5	30 mm tous les 7 jours	240
Poitou-Charentes et Pays de la Loire	Limons profonds	> 150	3 à 3.5	30 mm tous les 10 jours	160 à 190
	Limons moyens	100 à 150	3.5 à 4	25 mm tous les 7 jours	190 à 220
	Groies moyennes	70 à 130	4 à 4.5	30 mm tous les 7 jours	230 à 270
Aquitaine	Boulbènes sableuses moyennes	140			170 à 240
	Sables du Marsan	90			190 à 260
	Alluvions de l'Adour	120	-	-	190 à 240
	Champagne moyenne	120			260 à 310
Nord Midi-Pyrénées	Boulbènes moyennes à profondes	120 à 160	4.3	30 mm tous les 7 jours	240
	Boulbènes superficielles	80 à 120	5	25 mm tous les 5 jours	270
Sud Midi-Pyrénées	Boulbènes moyennes à profondes	120 à 160	3.8	27 mm tous les 7 jours	200
	Boulbènes superficielles	80 à 120	4.5	23 mm tous les 5 jours	240
Rhône-Alpes	Graviers profonds plaine de Lyon	130 à 150	4.5	35 mm tous les 8 jours	250
	Graviers superficiels plaine de l'Ain	70 à 80	5	25 mm tous les 5 jours	300
	Graviers superficiels Drôme	70 à 80	5.5	28 mm tous les 5 jours	350 à 400
	Limons sableux terrasses Drôme	130 à 150	4.5	32 mm tous les 7 jours	320

Les plus grands volumes sont mobilisés dans le Sud de la France (avec certaines régions qui pratiquent l'irrigation par ruissellement, plus consommatrice) même si plus au nord, les prélèvements sont également importants dans certaines régions de grandes cultures (Poitou-Charentes, Centre). En Picardie ou en Alsace, malgré une activité agricole assez forte, le régime pluviométrique rend les besoins en eau moins importants. La Carte 3 reflète la répartition régionale des prélèvements.



Carte 3 - Prélèvements d'eau pour l'irrigation par région en 2006 (SOeS, 2008)

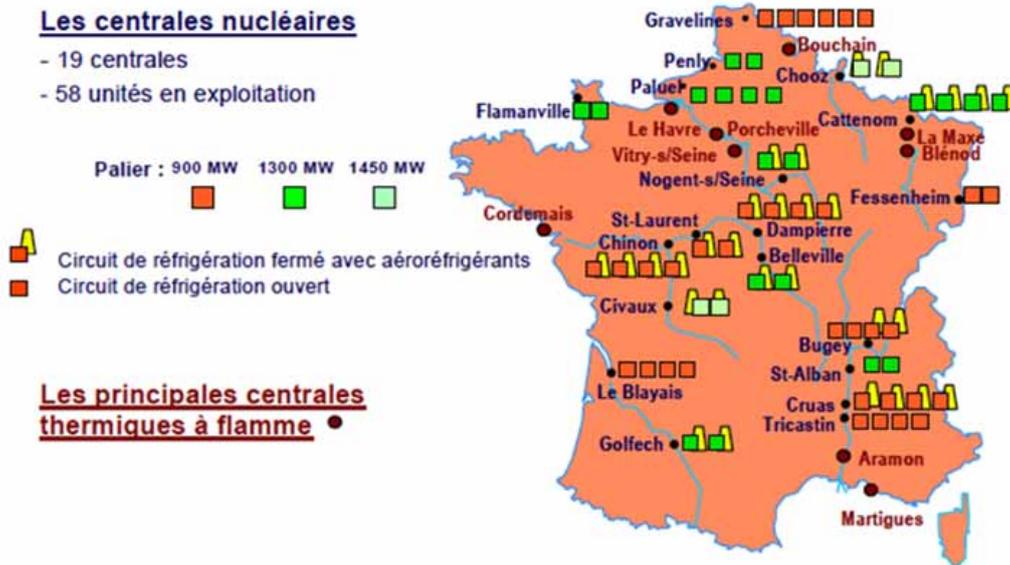
### Les prélèvements destinés à la production énergétique

Les eaux utilisées pour la production d'énergie sont présentées séparément des prélèvements pour les autres usages car leurs impacts ne sont pas comparables. Ces prélèvements pour le refroidissement sont très élevés puisqu'ils s'élèvent à 19 milliards de m<sup>3</sup>, soit 57% du volume total prélevé, mais le volume consommé représente 1,3 milliard de m<sup>3</sup>, c'est-à-dire 22% du volume consommé en France tous usages confondus (6 milliards de m<sup>3</sup>).

Les volumes prélevés n'ont pratiquement pas évolué depuis les dix dernières années. L'impact quantitatif de ces prélèvements est relativement modéré puisqu'ils ne concernent qu'un court tronçon de rivière, mais leur impact qualitatif n'est pas négligeable. Les eaux de refroidissement qui retournent au milieu ont une température plus élevée. Elles ne sont, sauf accident, pas contaminées en radioéléments. Mais elles sont contaminées par les biocides ajoutés pour empêcher l'obstruction des conduites de refroidissement par le développement des larves de mollusques qui pourraient s'y fixer et causer des accidents graves.

La répartition géographique des prélèvements liés à la production d'énergie suit celle des centrales, notamment des centrales nucléaires (voir Carte 4) : les régions du Centre, des Pays de la Loire, de la Lorraine, de l'Alsace et surtout la région Rhône-Alpes présentent ainsi les volumes les plus importants.

## Le parc de production thermique EDF en France



Carte 4 - Le parc de centrales de production d'électricité d'EDF (EDF, 2009)

Le débit prélevé dans le milieu naturel dépend directement de la puissance thermique à évacuer. Vicaud (2008) précise que les besoins pour le refroidissement en circuit ouvert est de l'ordre de  $10\text{m}^3/\text{s}$  pour une centrale thermique de  $250\text{MWe}$ , de  $40$  à  $50\text{m}^3/\text{s}$  pour les centrales nucléaires de  $900$  à  $1300\text{MWe}$ .

En circuit fermé, le débit d'eau prélevé pour une tranche nucléaire de  $1300\text{MWe}$  est de  $2\text{m}^3/\text{s}$ .

En termes d'échauffement, la variation de température de l'eau rejetée en aval d'un système de refroidissement en circuit ouvert est de l'ordre de  $10^\circ\text{C}$ , ce qui, après dilution, engendre localement un échauffement de l'ordre du degré. A l'aval d'un système de refroidissement en circuit fermé, la variation est de l'ordre du degré, soit après dilution, un échauffement local de l'ordre du dixième de degrés.

Le Tableau 2 compare la consommation en eau de différents types d'énergie. L'énergie hydroélectrique fait partie des énergies les plus consommatrices en eau, derrière la production d'agrocultures.

Tableau 2 - Consommation d'eau par type d'énergie aux USA (CERES 2009)

Type d'énergie	Volume total d'eau consommé par MWh ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ )	Consommation d'eau requise pour la production énergétique journalière aux Etats-Unis (millions de $\text{m}^3$ )
Solaire	0,0001	0,011
Eolienne	0,0001	0,011
Gaz	1	11
Charbon	2	22
Nucléaire	2,5	27,5
Fioul	4	44

Hydroélectricité	68	748
Biocarburants (1ere génération)	178	1958

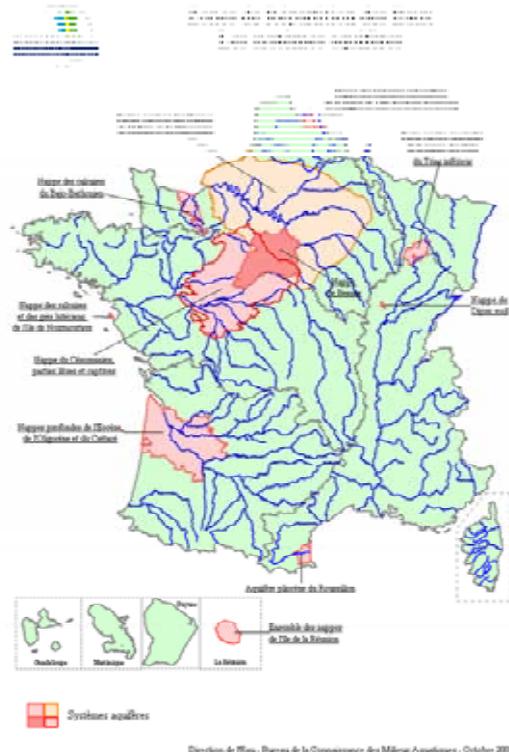
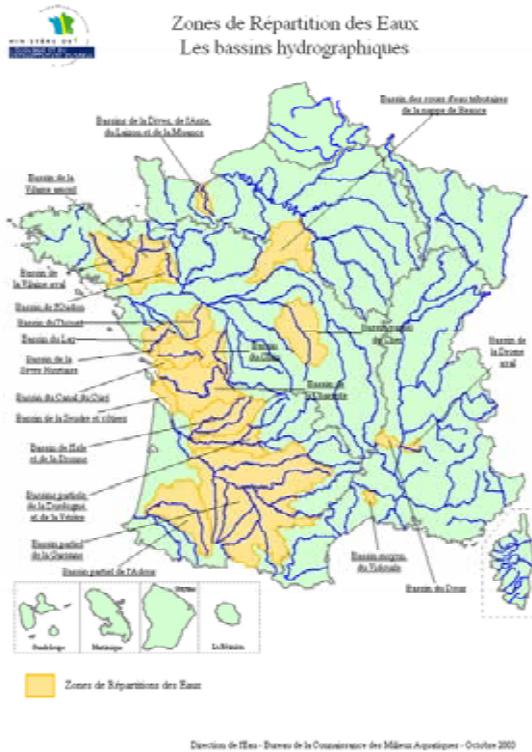
Pour la France, Vicaud (2008) évalue l'eau évaporée (donc consommée) à  $1,7\text{m}^3/\text{MWh}$ , soit du même ordre de grandeur que la valeur de CERES (2009).

Il est difficile d'envisager d'étudier, à partir de ces grands chiffres de prélèvement ou de consommation, les éventuelles modifications de la demande en eau, notamment en fonction des évolutions des paramètres climatiques car :

- les réductions de prélèvement sont parfois le résultat de considérations financières (prix du  $\text{m}^3$  d'eau) ;
- les prélèvements sont très souvent mal connus (un prélèvement pour l'eau potable, il y a des usages industriels raccordés aux réseaux communaux ; la connaissance des prélèvements pour l'irrigation risque de se limiter aux zones de répartition des eaux, etc.) ;
- les augmentations de prélèvement, notamment pour l'irrigation, peuvent être induites par d'autres considérations que les seules conditions climatiques, comme par exemple l'évolution des marchés.

De plus, des prélèvements importants sont pratiquement inconnus aujourd'hui tels que ceux pour le transport fluvial et ne sont pas comptabilisés dans les synthèses nationales.

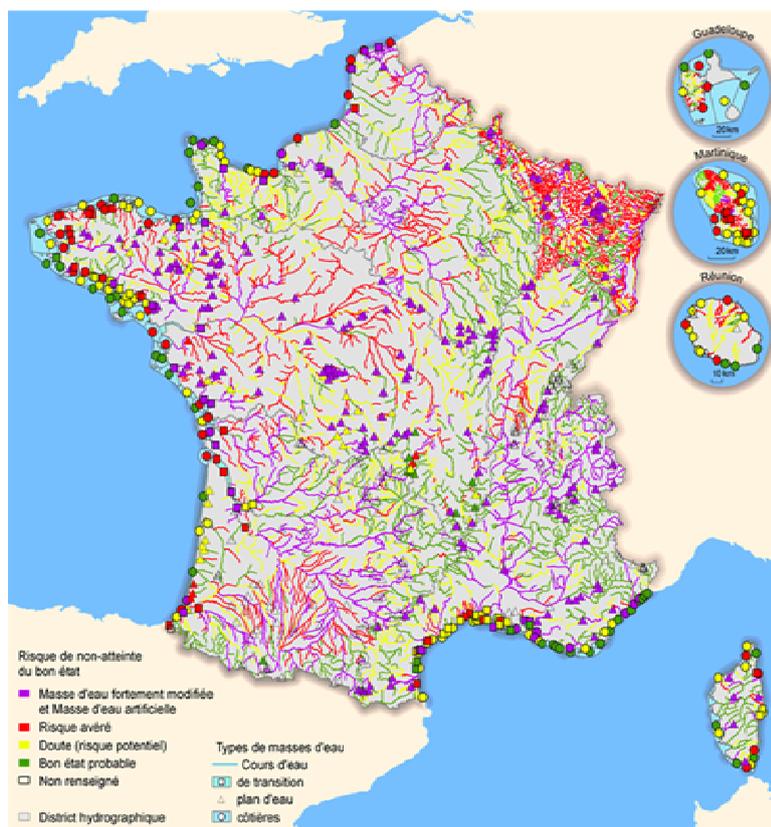
Sur le volet quantitatif, la forte pression sur la ressource en eau se résume par des zonages administratifs : les « zones de répartition des eaux » (ZRE). Elles se définissent comme des secteurs caractérisés par une insuffisance autre qu'exceptionnelle des ressources en eau par rapport aux besoins. Ce sont des zones en situation de déséquilibre structurel. Les deux cartes de la Carte 5 montrent les bassins hydrographiques et les systèmes aquifères en zone de répartition des eaux.



Carte 5 - Zones de répartition des eaux (à gauche, eaux superficielles et souterraines, à droite, eaux souterraines uniquement)

De même, la forte pression sur la ressource en eau peut se traduire par de nombreux effets sur la qualité de l'eau. Pour illustration, on peut se référer aux résultats des états des lieux réalisés dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE (cf. Carte 6)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Pour plus de précisions, le lecteur pourra se reporter aux projets de Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) qui ont été mis à la consultation du public au printemps 2008 et à la synthèse des états des lieux disponibles sur [http://www.eaufrance.fr/document.php?id\\_article=459](http://www.eaufrance.fr/document.php?id_article=459)



Carte 6 - Etat des lieux DCE, risque de non atteinte du bon état en 2015 pour les eaux superficielles (SOeS)

## 1.2.2 État des connaissances sur les impacts observés du cycle de l'eau et sur certaines fonctions

La disponibilité de la ressource en eau est fonction d'un certain nombre de variables dont celles pilotant le cycle de l'eau (ou cycle hydrologique) qui comprend les flux entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide et gazeuse sur Terre. Ce cycle se décompose en précipitations (liquide et solide), évaporation (et sublimation), évapotranspiration, ruissellement, infiltration. La pluie est un facteur majeur dans ce cycle.

L'attention portée aux impacts du changement climatique étant relativement récente, peu de tentatives de détection de signal ont eu lieu jusqu'à présent. En effet, pour la détection des impacts du changement climatique, il faut également avoir à l'esprit que le cycle de l'eau peut être très court dans une rivière, 2 semaines environ et très long dans la mer où l'eau peut rester plus de 3 000 ans. Dans une nappe souterraine alluviale, le temps de séjour de l'eau va de quelques jours à quelques mois. Il est de plusieurs centaines d'années dans les nappes des bassins sédimentaires et peut atteindre 10 000 ans ou plus dans certaines nappes profondes. Il est pratiquement infini dans les nappes fossiles. Il est de quelques mois dans les sols.

### 1.2.2.1 Évolution des précipitations au cours du XX<sup>ème</sup> siècle

Les analyses de plusieurs indices climatiques, calculés par la Direction de la Climatologie de Météo-France à partir des Séries Quotidiennes de Référence (SQR), ont été

présentées dans le rapport final du projet IMFREX soutenu par le programme GICC coordonné par le MEEDDM<sup>2</sup>.

Les principaux indices de précipitation montrent généralement peu d'évolutions significatives.

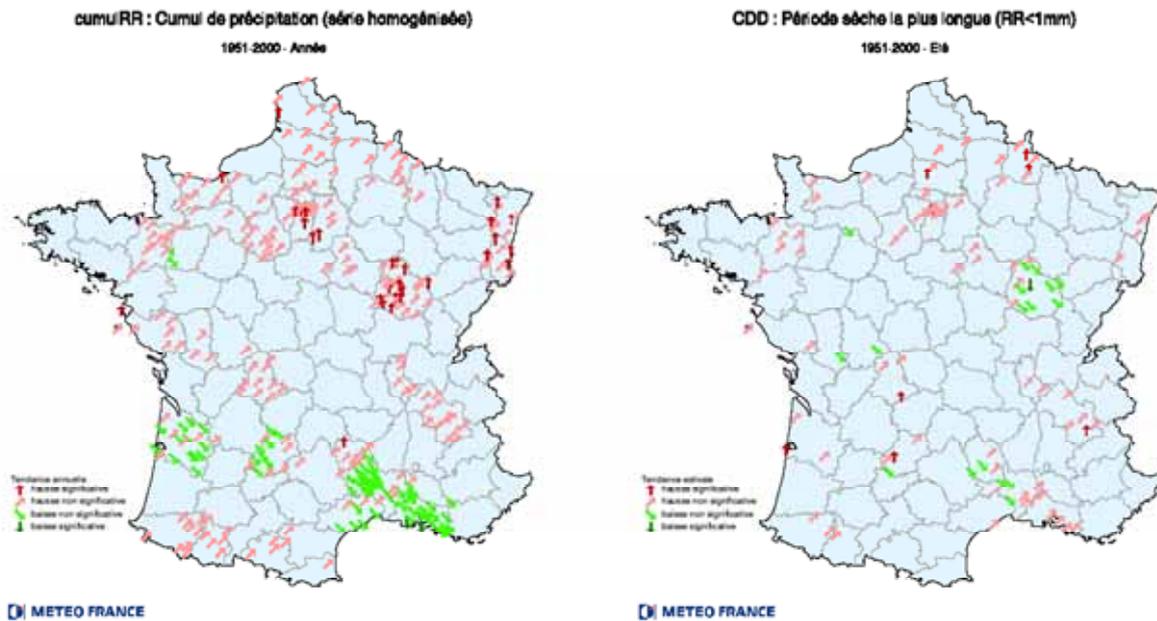
Les séries mensuelles de précipitation disponibles montrent une évolution des précipitations en France au cours du XX<sup>ème</sup> siècle caractérisée par une pluviométrie annuelle globalement à la hausse, à l'exception des stations situées dans une zone allant des Landes au bassin méditerranéen où le cumul annuel des précipitations présente une tendance à la baisse. Les indices présentent donc généralement un contraste nord-sud avec une pluviométrie plutôt en hausse sur une grande partie nord.

La tendance à la hausse est moins marquée sur la période 1951-2000 que sur l'ensemble du XX<sup>ème</sup> siècle. Ces résultats sont cohérents avec ceux du GIEC, à savoir une augmentation de 0,5 à 1% par décennie du cumul annuel sur le XX<sup>ème</sup> siècle aux moyennes et hautes latitudes continentales de l'hémisphère nord.

La Carte 7 montre l'évolution de la pluviométrie moyenne annuelle et du nombre de jours sans pluie sur la période 1951-2000.

---

<sup>2</sup> Voir le site : <http://medias.dsi.cnrs.fr/imfrex>



Carte 7 - Variation de la pluviométrie moyenne annuelle et variation du nombre de jours sans pluie observées entre 1951 et 2000. (in PROJET IMFREX)

Les observations présentent également un net contraste saisonnier été-hiver sur la période 1951-2000 avec des sécheresses estivales en augmentation :

- les précipitations hivernales sont en hausse sur les 2/3 nord du pays et en baisse sur le tiers sud ;
- le maximum des précipitations cumulées sur 5 jours consécutifs et le cumul de pluie moyen des jours pluvieux sont plutôt en baisse en été et le nombre maximal de jours secs consécutifs est plutôt en hausse en été ;
- les cumuls de précipitation en automne et au printemps sont en augmentation générale et en baisse sur le pourtour méditerranéen.

D'après Dubuisson *et al.*, une augmentation du nombre annuel de journées pluvieuses<sup>3</sup> a été observée. Cette hausse s'observe sur l'ensemble des saisons à l'exception de l'été où le nombre de journées pluvieuses est en baisse sur la majorité des stations traitées. Les périodes sèches sont plutôt en baisse annuelle (surtout au printemps) et en assez nette augmentation estivale. Leur pendant « humide » montre des évolutions nettement plus marquées sur l'année et traduisent un allongement des périodes pluvieuses. Les hausses les plus nettes se situent à l'automne et au printemps. Le signal est inversé en été.

## Sécheresse

<sup>3</sup> Les journées pluvieuses étant définies par un cumul de précipitation (rr) supérieur ou égal à 1 mm

L'Expertise Scientifique Collective (ESCo) sécheresse coordonnée par l'INRA en 2006 a étudié si la multiplication apparente des épisodes de sécheresse depuis 1976 pouvait être considérée comme significative et résulter du changement climatique.

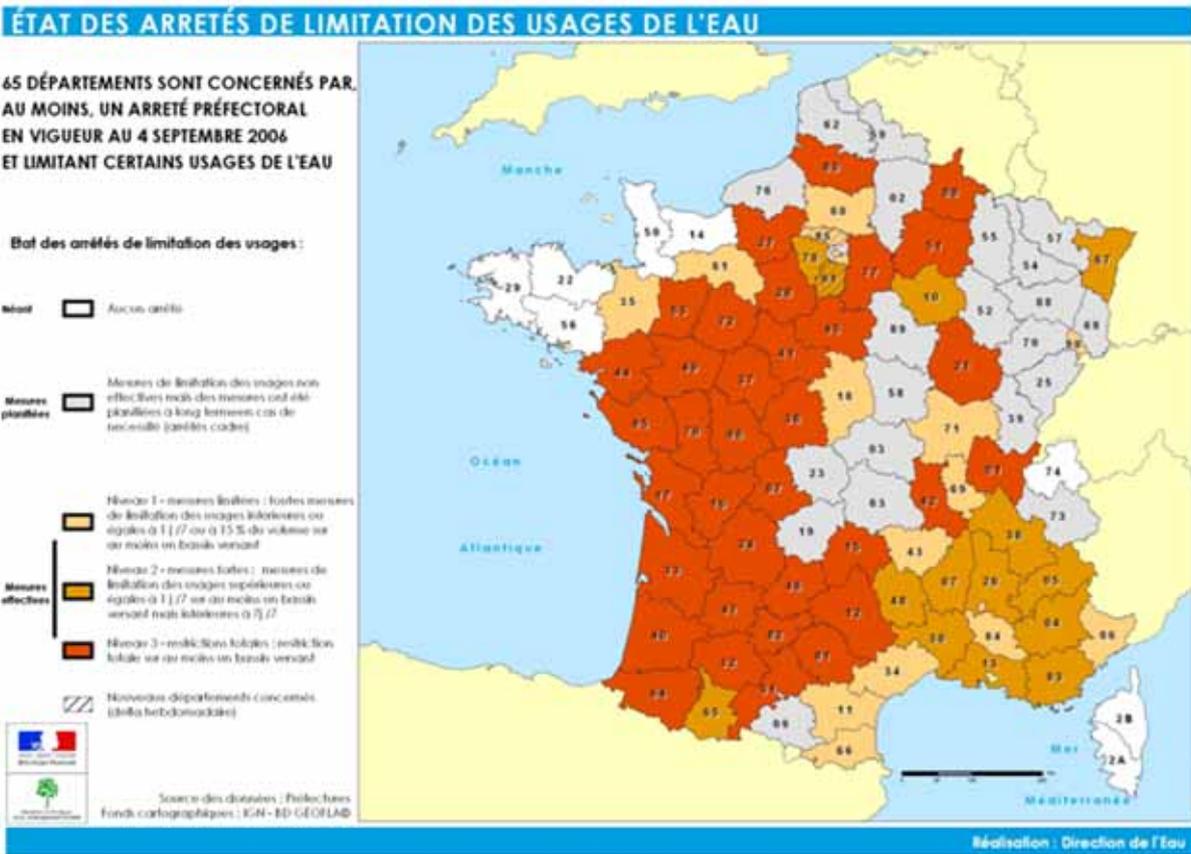
Tableau 3 - catégories des principales sécheresses depuis 1976 (ESCo Sécheresse)

Type	1976	1979	1985	1986	1989	1990	1991	1992	1996	2003	2004	2005
Hydrologique								X				
Agricole		X médit.	X centre et sud	X centre et sud		X ouest et sud	X nord			X 2/3 du territoire		
Combinée	X nord				X ouest				X nord et ouest		X sud	X 2/3 du territoire

Si les résultats du projet IMPact des changements anthropiques sur la FRéquence des phénomènes EXtrêmes de vent, de température et de précipitations (IMFREX) montrent une tendance à une légère augmentation de la durée des épisodes sans pluie, c'est encore une indication insuffisante pour porter un jugement avéré. De plus, des sécheresses ont été observées avant 1976. L'ESCo cite, en se limitant au XX<sup>ème</sup> siècle, sur tout ou partie de la France métropolitaine, les épisodes de 1906, 1911, 1921 très marquée et déjà qualifiée de sécheresse du siècle (278 mm seulement sur l'année à Paris), puis de 1932 à 1934, 1938, de 1942 à 1948, 1949, 1953, 1955, 1957, 1959, 1961, 1962, 1964 et 1969.

Météo-France commence tout juste à caractériser les épisodes de sécheresse passés : début, fin, longueur et intensité des épisodes afin de pouvoir les comparer.

Pour les derniers évènements, les subventions pour pertes de récoltes ont été en 2003 de 590 millions d'euros et de 250 millions d'euros en 2006. Pour EDF, les pertes de production d'électricité induites par les baisses de charges du fait des températures des cours d'eau élevées à l'amont des installations de production se sont élevées à 5,5TWh en 2003, à 0,9TWh en 2004, à 2,5TWh en 2005 et à autant (*i.e.* 2,5TWh) en 2006, soit une douzaine de TWh sur la période 2003-2006. Au cours de la canicule 2003, le coût de rachat d'énergie (à des tarifs très élevés, compte tenu de la situation de pénurie) par EDF sur les marchés européens pour satisfaire la demande sur le marché français s'est élevé à un peu plus de 310 millions d'euros. En 2003, 77 départements ont été en restrictions d'usage. Ils ont été 65 en 2006 (cf. Carte 8).



Carte 8 - Etat des restrictions temporaires d'usage de l'eau au 4 septembre 2006 (Direction de l'Eau, 2006)

## La neige

Le manteau neigeux, véritable stockage naturel, joue un rôle important pour la ressource en eau puisqu'il permet de stocker de l'eau pendant une partie du printemps et de l'été le cas échéant. Au Col de Porte (cf. Figure 3), Météo-France assure un suivi continu du niveau de ce manteau neigeux. Sur cette unique station, il est observé une diminution de la pluviométrie hivernale et une diminution de la hauteur de neige moyenne.

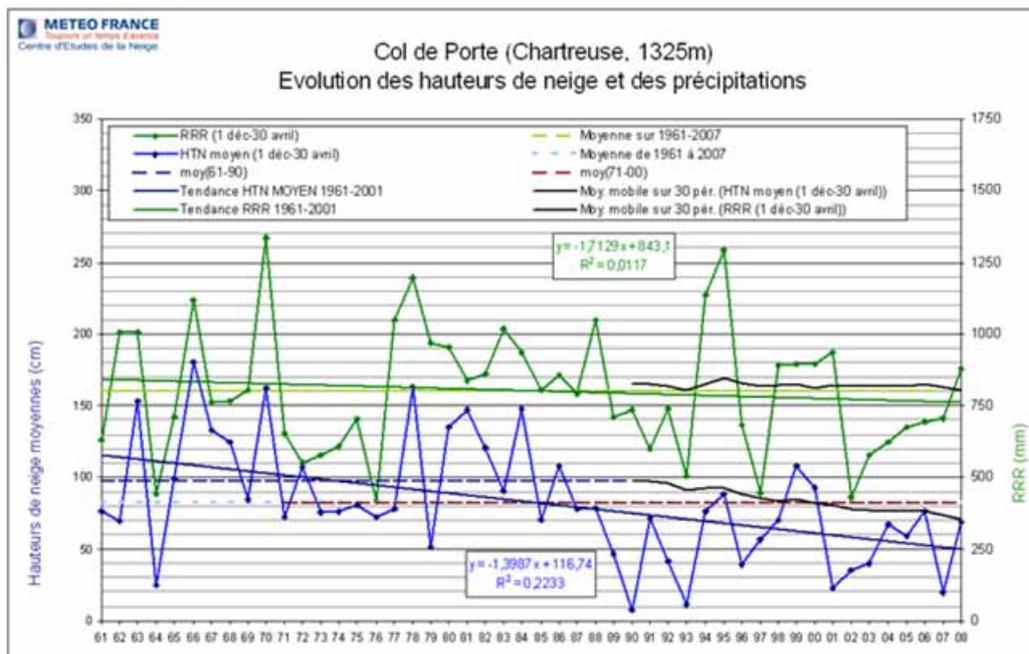


Figure 3 - Evolution des hauteurs de neige au Col de Porte (Météo-France, 2009)

Sur les Pyrénées, une régression générale des glaciers est constatée : de petite taille, les glaciers abrités par le massif pyrénéen sont particulièrement vulnérables aux variations climatiques et accusent un recul important. En effet, comme l'indique le tableau ci-dessous, la surface englacée du massif des Pyrénées ne représente aujourd'hui plus que 5km<sup>2</sup> (année 2000), alors qu'elle atteignait environ 45km<sup>2</sup> en 1870.

Tableau 4 - Evolution des surfaces englacées pyrénéennes depuis 1870 (<http://climat.sig-pyrenees.net>)

Année	Surface (en km <sup>2</sup> )	Auteur(s)
1870	40 à 45	<u>Schrader F.</u>
1890	34	<u>Schrader F.</u>
1905	25	<u>Eydoux D.</u> , <u>Maury L.</u> , <u>Gaurier L.</u>
1939	20	-
1968	15	<u>Höllerman P.</u>
1988	8,1	<u>Serrat D.</u> , <u>Ventura J.</u>
2000	5	<u>Martinez de Pison E.</u> et al., <u>René P.</u>

Source : Association. MORAINÉ

### Le potentiel hydraulique utilisé en hydroélectricité

Peu de chiffres sont disponibles. Dans le cadre de l'élaboration des SDAGE, il a été réalisé une étude des potentialités d'équipement en usine de production hydroélectrique. La Figure 4 montre la production d'EDF.

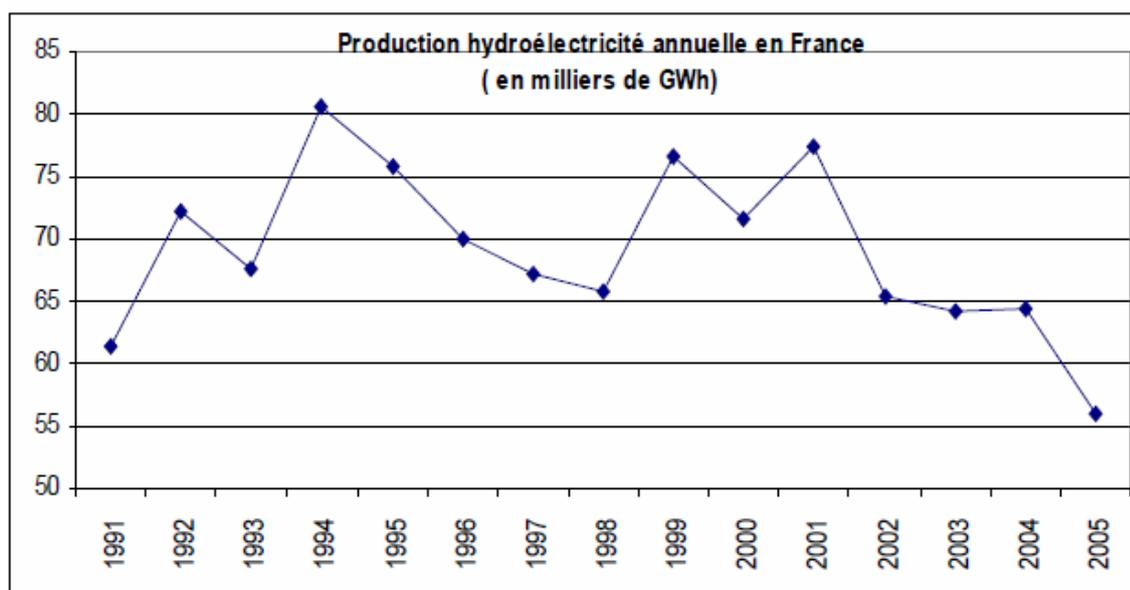
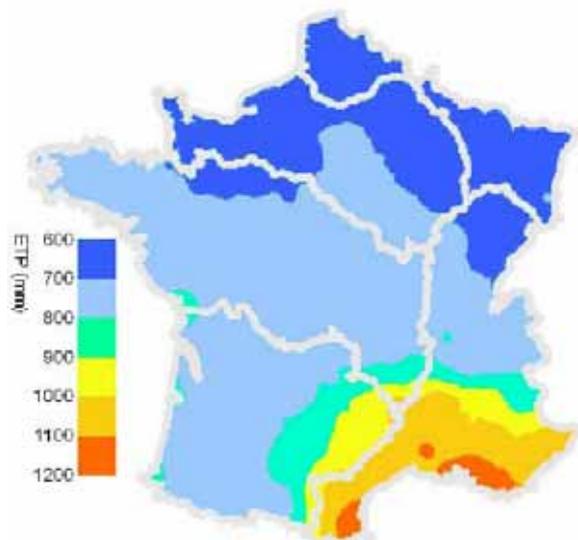


Figure 4 : Production hydroélectrique annuelle en France (source EDF)

Les réserves hydroélectriques représentent un potentiel très important de volumes d'eaux stockées comparativement à celui des réserves de soutien d'étiage. D'ores et déjà, des révisions des règles de gestion de ces réserves ont été négociées sur certains bassins versants sensibles pour soutenir les étiages de rivières déficitaires (Garonne, Ariège, Tarn, Durance, etc.).

#### **I.2.2.2 Evaporation et évapotranspiration : transferts de l'eau du sol vers l'atmosphère à partir du sol, des surfaces d'eau et des plantes**

Evaporation et évapotranspiration représentent le déficit d'écoulement entre les précipitations et les écoulements des rivières et des eaux souterraines. Ce sont des phénomènes souvent très importants. Ils peuvent atteindre 2/3 des précipitations. Les évapotranspirations potentielles (ETP) en France varient de 600mm au nord du pays à plus de 1000mm en zone méditerranéenne (cf. Carte 9).

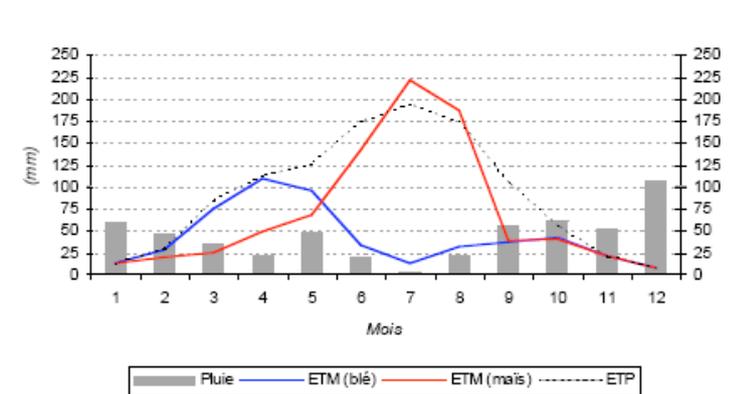


Carte 9 - Evapotranspiration potentielle (ETP) exprimée en millimètres d'eau (LEVY, 2005)

En hiver et au printemps, l'évaporation est principalement contrôlée par l'énergie radiative disponible en surface. Cette dernière étant faible en hiver, l'évaporation est limitée et le ruissellement total est important. Au cours du printemps, l'évaporation croît rapidement en raison de l'augmentation de l'énergie radiative disponible en surface et du développement de l'activité de la végétation. En outre, de l'eau est encore largement disponible dans le sol, en raison du stockage qui a eu lieu au cours de l'hiver et de l'automne précédents. L'évaporation peut d'ailleurs ainsi être supérieure aux précipitations. En réponse à l'évaporation, le réservoir d'eau du sol diminue peu à peu au cours du printemps. Au début de l'été, l'eau disponible dans le sol devient un facteur limitant de l'évaporation et la contrôle dans une large mesure. Les débits sont minimums au cours de l'été. Le stock d'eau du sol se reconstitue ensuite au cours de l'automne.

En agriculture, les besoins des plantes peuvent être très variables selon les périodes de l'année ce qui explique que certaines cultures peuvent être conduites en culture pluviale alors que d'autres nécessitent des irrigations à des périodes sensibles de leur végétation.

**Evolution des valeurs mensuelles des variables climatiques (pluie et ETP) et des besoins en eau (ETM) d'une culture d'hiver (blé) et d'été (maïs), pour Toulouse en 2003**



Les besoins en eau des cultures d'été (maïs) sont maximaux en été (juillet-août) avec des valeurs de 6 à 7 mm/jour alors que la pluviométrie est faible.

Par contre, les cultures d'hiver (blé) voient leur ETM culminer en fin de printemps, avec des valeurs nettement plus faibles (3 à 4 mm/jour), qui coïncident par ailleurs avec une période de bon apport pluviométrique.

Figure 5 - Comparaison de la demande en eau du blé d'hiver et du maïs

Les facteurs importants pour l'évapotranspiration sont : la température de l'air, le vent, l'hygrométrie et le rayonnement. Cette évapotranspiration dépend également du type de végétation (cf. Figure 5), de la saison et de l'état hydrique du sol. Ce paramètre est difficilement mesurable localement (bacs d'évaporation, lysimètres, etc.). Diverses études ont été menées à l'échelle régionale en utilisant des modèles de calcul de l'ETR plus ou moins sophistiqués et en calant ces modèles sur des données de bilans hydriques mesurés *in situ*. Elle est évaluée par différents modèles. Avec le modèle Turc qui établit une formule pour la zone méditerranéenne et l'Afrique du Nord, elle est peu sensible à la température moyenne mais varie linéairement avec le rayonnement moyen mensuel. Avec la méthode de Penman, elle dépend du rayonnement net.

L'ESCo Sécheresse (2006) rappelle que l'approche par simulation est incontournable pour l'évaluation de ces données à l'échelle régionale, très importantes dans le bilan de masse du cycle de l'eau, puisqu'elles sont totalement inaccessibles à l'expérimentation, contrairement aux données à l'échelle de la parcelle (tel le réseau de stations agroclimatiques de l'INRA). Dans ces conditions, envisager la détection d'une variation de ce paramètre est alors difficile.

Boé (2007) affirme que des tendances intéressantes dans le cadre du changement global sont détectées sur la période 1970-2005 pour l'évaporation et l'humidité des sols. L'évaporation augmente ainsi en hiver et au printemps en raison de la tendance positive de l'énergie radiative disponible, pour diminuer brutalement au début de l'été en raison de la diminution de l'humidité des sols. Ces changements sont cohérents avec ceux que l'on pourrait attendre du changement climatique, même si rien ne permet de le démontrer rigoureusement. Il précise que ces résultats sont issus de la modélisation et qu'il n'existe pas d'observations de l'évaporation et de l'humidité des sols pour les confirmer sinon quelques stations agroclimatiques de l'INRA ou d'instituts techniques.

### **I.2.2.3 Ruissellement : variation du régime hydrologique des rivières ?**

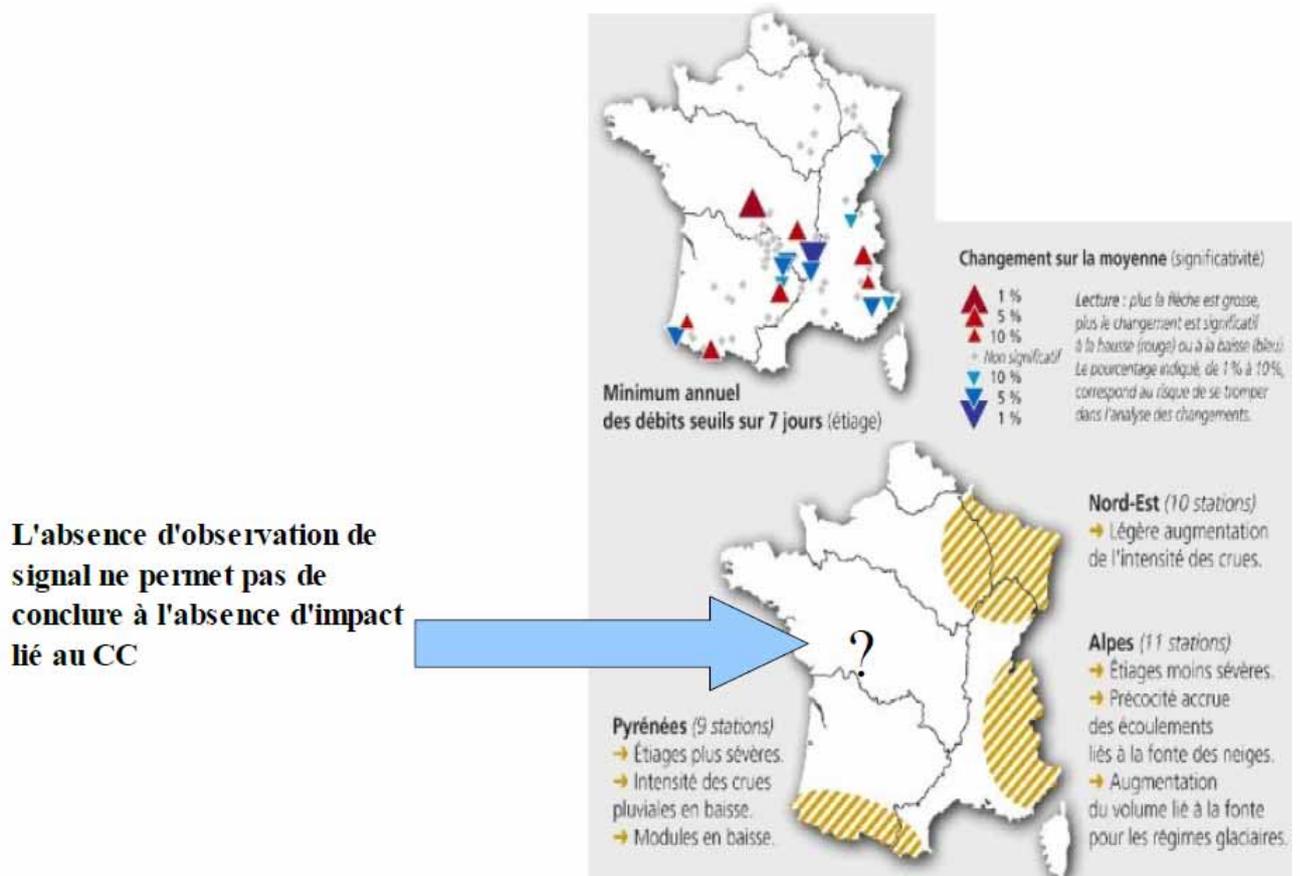
Le CEMAGREF<sup>4</sup> a cherché à mettre en évidence d'éventuelles modifications des écoulements, des crues et des étiages en France entre 1961 et 2000, liées au changement climatique. Une méthodologie a été mise au point pour détecter des

<sup>4</sup> Renard, 2006

changements dans les séries chronologiques, d'abord à une échelle locale, puis à une échelle régionale en s'intéressant à la signification et à la cohérence régionale des résultats.

Sur un millier de stations du réseau hydrométrique, 195 stations ont été retenues de part la qualité des données sur 40 ans. Après une première élimination des stations réputées influencées par des prélèvements ou des opérations de soutien d'étiage, seules 128 ont été retenues en étiage et 179 en crue.

De nombreuses évolutions ont pu être mises en évidence sur plus de 100 longues séries hydrométriques. Cependant, il s'est avéré, après examen et visite de toutes les stations de mesure concernées, que près de la moitié des évolutions provenaient de problèmes météorologiques. Pour l'autre moitié, le nombre de changements détectés n'était pas suffisant pour mettre en évidence une tendance cohérente à l'échelle de la France.



Carte 10 - Résultats des tests de détection d'évolutions sur des longues séries hydrométriques en France métropolitaine (Renard, 2006)

Pour une station prise isolément, aujourd'hui, il n'est pas possible de distinguer ce qui relève de la variabilité naturelle du climat, de problèmes météorologiques ou du changement climatique. Un signal cohérent permettant d'exclure la météorologie n'apparaît que si l'on s'intéresse à un groupe de stations voisines dans une même zone hydroclimatique. Mais le signal reste faible et on ne peut garantir qu'il s'agisse de l'effet du changement climatique, à l'exception de trois régions montagneuses où l'impact de l'augmentation de température sur la fonte nivale est assez intuitif : le Nord-est avec deux sous-zones : les Vosges et le plateau lorrain, les Alpes avec des nuances entre le nord, le centre et le sud, les Pyrénées avec deux sous-zones : une légère augmentation

du débit des rivières glaciaires en zone centrale et une diminution du débit d'étiage des rivières basques ont pu être établies sans ambiguïté. Ces sous-zones n'ont que 3 à 5 stations de mesure.

Ce faible signal ne peut pas être interprété comme une preuve de l'absence d'effet du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques sur la majeure partie du territoire. Il n'est pas possible aujourd'hui de lever l'incertitude sans poursuivre la surveillance des extrêmes de débits.

On peut en effet remarquer le taux important de stations qui n'ont pu être exploitées dès lors que des séries relativement longues, homogènes et non perturbées sont nécessaires. Aucune station n'a pu être retenue dans l'Ouest. Très peu de stations ont pu être retenues en plaine et en étiage sur les grands fleuves et leurs affluents les plus importants. Cette absence de prise en compte des rivières influencées pénalise les conclusions du travail de Renard (2006).

Tardieu (2008) compare deux bassins du Sud Ouest : le système Neste et la Midouze. Le premier est aménagé depuis 150 ans, les écoulements paraissent stables, mais une baisse des débits d'étiage est observée. De la conjonction de ces deux constats, il en conclut que le principe de l'aménagement peut être conservé. Mais pour le bassin de la Midouze, il en est autrement. Le bassin est peu aménagé, une diminution des écoulements est observée ainsi qu'une forte baisse des débits d'étiage. Or Tardieu rapporte une stabilité de l'irrigation depuis 15 ans sur ce bassin versant, il se demande alors si l'augmentation de la biomasse de la forêt ne serait pas responsable de la baisse des écoulements (il faut cependant bien noter que les forêts et prairies consomment de l'eau pendant des périodes moins critiques que certaines cultures irriguées telles que le maïs).

Cette capacité de réguler des écoulements est un critère très important à considérer avant d'envisager d'éventuels programmes d'aménagement (barrages ou transferts). Tardieu cite l'exemple d'un bassin au Maroc pour lequel les perspectives de réduction annuelle des écoulements rendraient une stratégie de création de nouvelles ressources en eau inutile ; il en est de même sur des rivières telles que l'Ebre en Espagne. Ce point mériterait un examen complémentaire pour le cas de la France, au moins au niveau de bassins déclarés dès aujourd'hui déficitaires.

#### **1.2.2.4 Infiltration : transfert de l'eau de la surface du sol vers les nappes**

L'eau infiltrée, généralement à partir de la surface du sol, permet d'alimenter les nappes d'eaux souterraines et de constituer des réserves d'eau au niveau des racines des plantes.

L'infiltration est souvent supérieure aux précipitations peu intenses, ce qui explique la rareté du ruissellement superficiel.

L'eau souterraine est un compartiment invisible mais qui joue cependant un rôle majeur : il constitue une grande réserve d'eau et il entretient un lien étroit avec les eaux de surface. Les eaux souterraines contribuent à l'alimentation des sources et des cours d'eau et régulent les mouvements des eaux de surface.

Le travail réalisé sur le ruissellement d'eau de surface n'a pas encore été fait pour les eaux souterraines. Il devrait être réalisé par le BRGM en 2009 dans le cadre d'une convention avec l'ONEMA. Il pourrait être complété par un volet d'observation de la zone de transition entre eaux douces et eaux salées dans les rivières ainsi que de la position

du biseau salé. Le BRGM entend également mettre en place un réseau spécifique de suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines (inscrit au projet de convention 2010-2012 DEB-BRGM).

De même, un volet très important sur l'alimentation des zones humides devrait également être réalisé.

### **I.2.2.5 Au delà du cycle hydrologique : l'aspect qualitatif**

La ressource en eau qui assure un certain nombre de fonctions est également suivie avec d'autres paramètres physico-chimiques.

La qualité et la quantité des eaux sont interdépendantes. Différents exemples illustrent les liens étroits entre les aspects quantitatifs et qualitatifs. Ainsi, le développement important des prélèvements depuis une trentaine d'années a parfois significativement modifié le fonctionnement des écosystèmes naturels : diminution de leur capacité d'autoépuration, détérioration de la qualité de l'eau et perte des habitats.

La prolifération des plans d'eau artificiels entraîne un accroissement de l'évaporation, une augmentation de la température de l'eau, des déficits d'oxygène dissous et souvent la pollution des milieux aquatiques par des espèces exotiques envahissantes.

La baisse du niveau des nappes phréatiques provoque un assèchement des sols et une diminution de leur capacité d'autoépuration : disparition de zones forestières, mortalité des micro-organismes et de la petite faune du sol qui permettent le bon fonctionnement des cycles des éléments. Elle peut donc compromettre la qualité des eaux souterraines.

Dans les régions côtières où les taux de pompage sont trop élevés, l'intrusion d'eau salée dans les aquifères peut poser un grave problème de potabilité.

La baisse du débit d'étiage dans un cours d'eau, à cause d'une sécheresse occasionnelle ou de la surexploitation, provoque automatiquement l'augmentation des concentrations des polluants provenant notamment des rejets des stations d'épuration. Il s'ensuit une dégradation de la qualité de l'eau qui est souvent responsable de la disparition des espèces aquatiques sensibles.

L'abaissement du niveau d'une nappe alluviale, en période d'étiage ou à cause de la surexploitation, peut entraîner une inversion du sens d'écoulement : la rivière alimente alors la nappe, avec risque de la polluer.

L'impact anthropique sur la qualité de l'eau est très important. La détection d'un signal de variation de la qualité de l'eau due à une modification du climat est donc très difficile et ne semble pas avoir été tentée pour le moment.

#### **La présence des poissons**

Les « migrateurs amphihalins », poissons qui se déplacent sur de longues distances afin d'effectuer leur cycle de vie entre la mer et la rivière, qui sont relativement bien observés pour certains, pourraient être considérés comme les témoins d'éventuels changements sur les bassins versants.

Le réseau européen Diadfish1 a retenu qu'outre la température de l'air, quatre autres facteurs connus influencent la distribution des poissons d'eau douce : la longitude à

l'embouchure du bassin versant, la superficie du bassin versant, l'altitude à la source et les précipitations.

Lassale (2008) rapporte un certain nombre de modifications d'aires de répartition d'espèces :

- L'éperlan *Osmerus eperlanus* avait, il y a encore quelques années, la Gironde pour limite méridionale de distribution. Aujourd'hui, La Loire, 3° plus au nord est la limite sud actuelle de l'espèce ;
- L'abondance du flet a diminué sur la Gironde ces 25 dernières années, entre 1979 et 2005, avec un réchauffement des eaux de l'estuaire. Parallèlement, dans le canal de Bristol (estuaire du Severn - mer Celtique), le flet fait partie des 10 espèces dont l'abondance, fortement corrélée à la température, a augmenté entre 1981 et 2002.

Lassale (2008) rapporte également des changements dans la phénologie de migration, particulièrement chez les salmonidés pour lesquels de longues séries de données existent.

Cet aspect est étudié plus en détail dans le cadre du rapport du groupe Biodiversité.

### **La température de l'eau des rivières**

Plusieurs études indiquent un réchauffement estival des rivières de plus d'un degré en 30 ans avec une rupture depuis 1988. Ce réchauffement de l'eau des rivières est corrélé significativement au réchauffement de l'air et varie avec l'altitude<sup>5</sup>.

Les recherches menées lors des 50 dernières années par l'INRA autour du Lac Léman, ont permis de mesurer dans cette région une augmentation de la température de l'air et une diminution des jours de gel. Un accroissement de l'ordre de 1°C de la température au fond du Lac Léman a pu être observé depuis 40 ans. L'inertie du Lac Léman est telle que des hivers froids ne permettent pas le retour à la situation thermique des années 60. La température annuelle moyenne de l'eau de surface a subi un accroissement de température du même ordre. Cette modification a une conséquence sur le démarrage printanier de la pousse du phytoplancton et du zooplancton, sur les périodes de reproduction de certains poissons. Des risques pèsent sur la biodiversité.

Daufresne *et al.* (2004) ont montré une augmentation de 1,5°C sur le haut Rhône entre 1979 et 1999 au niveau du Bugey. Rochart (2007) a signalé pour l'estuaire de la Gironde une augmentation de la température de 1°C sur la période 1983-2005.

En 2003, 2004 et 2006, des autorisations exceptionnelles de rejets ont du être mises en place afin d'éviter un arrêt de la production d'énergie du fait de la forte température au niveau des rejets des centrales de production d'énergie (la limite étant à 28°C). En 2003 : respectivement 19 jours à Tricastin, 14 jours à Golfech, 2 jours à Bugey de dépassement des conditions normales de rejets. En 2006, le dépassement a été respectivement de 10 jours à Tricastin, 19 jours à Golfech et 3 jours à Bugey.

Les centrales équipées de système de refroidissement en circuit fermé (cf. I.2.1.2 – Les prélèvements destinés à la production énergétique) sont moins soumis aux contraintes de variation de température entre la prise d'eau et le rejet du fait du faible échauffement

---

<sup>5</sup> Gerdeaux 2007

engendré. Néanmoins, elles sont soumises aux contraintes de température maximale de rejet (28°C). A noter que les températures de l'eau en amont des centrales dépassaient déjà dans certains cas cette limite (températures d'eau supérieures à 28°C) : il est probable que des températures en amont des installations supérieures à 28°C soient de plus en plus souvent observées et sur des périodes plus longues. Pour les fleuves et rivières peu profonds à courant relativement lent, les échanges eau-atmosphère ramènent la température de l'eau à ce qu'elle aurait été sans centrale en quelques kilomètres, une dizaine de kilomètres au plus. L'effet se fait sentir beaucoup plus loin en aval sur les fleuves à courant rapide.

### **I.2.3 Nécessité d'améliorer la connaissance des impacts observés**

La question de l'établissement de l'état zéro afin d'apprécier les effets d'un éventuel changement climatique pose la question des réseaux d'observations et de la capacité à obtenir des chroniques de bonne qualité sur des durées les plus longues possibles, principalement avant les années 1980, période de rupture des tendances de températures.

En tentant de répondre à cette question, un certain nombre de manques de connaissances ou de moyens se sont révélés importants. On les classera en deux types respectivement liés à un développement de la recherche et au questionnement sur les réseaux de mesures.

#### **Axes de recherche**

##### Caractérisation d'hydro-éco-régions

Afin de pouvoir établir des scénarios pour les gestionnaires de ressources, la caractérisation du territoire en quelques régions homogènes (selon le type de fonctionnement des rivières, des eaux souterraines, du climat, etc.) permettrait de simplifier les hypothèses dans le cadre d'études sur les impacts projetés du changement climatique.

##### Caractérisation des évènements de fréquence faible (sécheresse, variation de la période de retour d'un même événement, etc.)

Le mot sécheresse est aujourd'hui pour la France trop utilisé (pour certains, c'est pratiquement tous les ans !). Souvent, des territoires sont déclarés en situation de sécheresse (météorologique, agronomique ou hydraulique), alors que ces territoires souffrent plutôt d'une surexploitation de sa ressource en eau.

Un travail de caractérisation des sécheresses (durée\*intensité) permettrait d'évaluer des périodes de retour et donc d'observer plus finement l'aggravation ou non de ces phénomènes.

Météo-France a présenté ses travaux sur ce sujet au groupe Eau.

##### Complément sur la détection des effets du climat passé sur l'hydrologie :

Les travaux de Renard (2006) devraient être complétés, en particulier sur les cours d'eau influencés et être lancés pour les aquifères.

##### Quel est le lien entre climat et qualité de l'eau ?

Quel est le lien entre climat et capacité épuratoire de l'eau, quelles sont les capacités d'une modification du climat à faire varier les différentes réactions physico-chimiques, etc. ? Des études méritent d'être menées sur ce sujet non exploré à ce jour.

## **Réseaux de mesure**

### Métrologie des bas débits et des crues

Les travaux du CEMAGREF ont montré que le réseau de mesures ne permettait pas de montrer de ruptures dans les chroniques. De nombreux points de mesures se sont révélés inadaptés (trop influencés, problèmes de métrologie, etc.).

Un travail de réflexion sur la représentativité du réseau, sur les conditions de fonctionnement des stations, serait à relancer.

### La surveillance de la température des rivières

Les travaux de l'ONEMA relatifs à la création d'un réseau de mesure de la température des tronçons du réseau hydrographique français est à prolonger de manière à pouvoir bénéficier de plus d'information sur ce paramètre que celles issues des seules obligations réglementaires imposées aux producteurs d'énergie électrique.

### La surveillance des eaux souterraines

Une réflexion telle que celle de Renard (2006) sur les eaux superficielles est à lancer pour les eaux souterraines. Elle porterait sur la qualité du réseau d'observation et la représentativité des points de mesures par rapport à des aquifères potentiellement très importants.

### La connaissance des pressions

Afin de pouvoir corriger les chroniques de débits ou de piézométrie pour tenir compte des prélèvements, une cartographie de ceux-ci est à réaliser. Cette cartographie devra s'étendre à des usages tels que le transport fluvial qui est un préleveur mal connu et non répertorié dans les synthèses nationales actuelles. Cette connaissance permettra d'évaluer des indices de pression sur la ressource renouvelable

### La compréhension du fonctionnement hydraulique des zones humides

Les zones humides jouent un rôle essentiel d'infrastructures naturelles et doivent être pleinement intégrées dans les stratégies d'adaptation au changement climatique. Les zones humides peuvent améliorer la qualité de l'eau et limiter l'ampleur et les effets néfastes des crues et des étiages. Les ripisylves peuvent également améliorer l'ombrage des cours d'eau et limiter l'augmentation de la température de l'eau dans les rivières.

Or les zones humides sont, aujourd'hui en France, globalement en forte régression car menacées par des pressions de toutes sortes : disparition des prairies, développement des infrastructures, pression de l'urbanisation, etc. Le changement climatique va créer des contraintes supplémentaires notamment par les risques liés aux difficultés de maintenir les régimes d'écoulement et de lutter contre les effets d'une remontée du niveau de la mer. Ces problèmes sont déjà d'actualité pour les Wateringues du Nord, le delta de la Camargue, les étangs du littoral Languedoc-Roussillon et les marais de la côte Atlantique. L'impact d'un réchauffement des eaux sur ces milieux écologiquement très sensibles est mal connu. Un travail d'inventaire et de caractérisation est à réaliser.

## **I.2.4 Conclusions du chapitre**

La détection d'un changement dans les chroniques passées n'est pas aisée. Les observations sur la température montrent une rupture nette dans les années 1980. Pour les autres paramètres, du fait de la densité du réseau de mesures, de la nature influencée des stations, des incertitudes importantes de mesure, (...), il n'a pas été possible de détecter la présence ou non de ruptures dans les chroniques de relevé de données.

Afin de caler au mieux les modèles de projection, un travail important sur les chroniques passées reste nécessaire. Cela nécessitera de revoir certaines méthodes qui n'ont pas permis jusqu'à présent de trouver de rupture.

## **I.3 Impacts du changement climatique futur sur la ressource en eau**

### **I.3.1 Incidences ESTIMEES/PROBABLES du changement climatique dans les prochaines décennies (moyen à long terme et extrêmes)**

La gestion de la ressource en eau est à considérer dans un contexte difficile comme on l'a vu dans la partie I.2, où elle doit tenir compte de déséquilibres importants liés à une répartition géographique inégale des ressources (cf. Carte 1), des conditions climatiques et des variations saisonnières. Par ailleurs, la pollution, quant à elle, tend à devenir un facteur compromettant de la qualité de l'eau. Dans ce contexte, le changement climatique devrait accroître la pression exercée sur les ressources en eau, en raison de l'aggravation de l'intensité et de la périodicité de phénomènes tels que la pénurie d'eau et les sécheresses.

Au vu des observations et des simulations, le dernier rapport du GIEC (2007) conclut sur un réchauffement sans équivoque du climat actuel, se traduisant par l'augmentation des températures (océan et atmosphère), sur le recul des surfaces occupées par la neige et les glaciers et l'élévation du niveau de la mer accompagnée par une nette diminution des précipitations en été sur la France. Les conséquences sur le régime hydrologique des rivières sont loin d'être aussi nettes. Elles sont difficiles à évaluer du fait de la forte non-linéarité des processus et des rétroactions possibles, notamment par la végétation.

Les utilisations de l'eau par l'homme sont multiples (besoin vital, hygiène, énergie, production industrielle et agricole...) et la gestion des ressources est d'ores et déjà un enjeu critique de nos sociétés.

Si le changement climatique n'est pas la seule ni même peut-être la principale source d'inquiétude pour la gestion de la ressource en eau, il ne fait guère de doute que les modifications du cycle hydrologique dues au changement climatique compliqueront encore davantage sa gestion.

#### **I.3.1.1 Quantification des impacts et vulnérabilité de la ressource en eau au changement climatique**

Les ressources en eau sont à l'évidence fortement dépendantes de variables climatiques qui en déterminent les apports (précipitations, températures). Consécutivement à l'augmentation de la température et du rayonnement, l'évaporation plus importante des masses d'eau participera à la diminution des quantités de ressources disponibles et

exploitables. Si les tendances proposées pour les précipitations par les modèles climatiques globaux ou régionaux, sont encore relativement incertaines pour des applications à l'échelle des bassins français, ces modèles sont en revanche robustes pour les prédictions de la température. Il en résulte les conséquences suivantes pour la gestion des eaux :

- l'accroissement des températures stimulera l'évaporation ;
- même dans les régions où les précipitations ne diminuent pas, voire même augmentent légèrement, la disponibilité en eau pourra cependant reculer ;
- les tendances saisonnières jouent un rôle important. En été, notamment, le renforcement de la transpiration pourra provoquer une pénurie d'eau dans des régions qui n'en souffrent pas actuellement.

D'importantes incertitudes existent sur les changements du cycle hydrologique dans le climat futur, même dans les modèles les plus récents. Néanmoins, l'Europe est une zone où les modèles s'accordent relativement bien, avec une augmentation des précipitations au nord et une diminution au sud du continent. La limite est variable selon les saisons (plus au nord en été et plus au sud en hiver). La France se situant dans la zone de changement de signe, les incertitudes y sont fortes. Les impacts les plus importants auront lieu en été avec une importante diminution des précipitations sur le sud de l'Europe, France incluse, une forte diminution du ruissellement ainsi qu'un assèchement des sols. Ceci n'exclut pas une augmentation d'intensité des événements extrêmes : crues de type cévenoles et ruissellement urbain sous orages intenses.

Puisque les modèles climatiques permettent désormais de constituer une climatologie complète sur le siècle à venir, tout en lui donnant une perspective régionale, Météo-France a réalisé, pour le compte de l'ONERC, une étude qui présente un certain nombre d'indices climatologiques concernant les gelées, les fortes précipitations ou les vents maximums pour les scénarios A2 et B2 aux échéances 2030, 2050 et 2090. En valeur absolue, les pluies seront plus importantes au nord qu'au sud, mais, en valeur relative, les diminutions seront plus importantes à l'ouest qu'à l'est<sup>6</sup>.

### **I.3.1.2 Études réalisées**

Différentes études des impacts du changement climatique sur le cycle hydrologique de grands bassins versant français ont déjà été réalisées. On peut notamment mentionner les projets du programme « Gestion des Impacts du Changement Climatique » (GICC) pour la Seine et le Rhône. Les principaux résultats sont présentés dans Ducharne *et al.* (2004) pour la Seine et Etchevers *et al.* (2002) pour le Rhône.

Pour la Seine, l'étude conclut principalement à une diminution très probable de l'humidité des sols et des débits d'étiage en été. En hiver, la situation est moins claire. La majorité des modèles prévoit une augmentation des précipitations, mais celle-ci ne se traduit que rarement par une augmentation des débits en raison notamment d'une augmentation d'évaporation. Ainsi, dans la majorité des cas, l'écoulement diminue en hiver. Cette étude souligne l'impact de la grande dispersion des scénarios de précipitations sur les débits simulés. Elle montre qu'une forte incertitude existe et qu'il est donc absolument nécessaire de considérer un ensemble de scénarios climatiques. Cette étude est sur le point d'être réactualisée (projet Rexhyss). Les premiers résultats confirmeraient une diminution généralisée des débits en hiver et des baisses très importantes du niveau des

---

<sup>6</sup> Les résultats sont disponibles sur <http://www.ecologie.gouv.fr/-Climat-futur-en-France-.html>

eaux souterraines (de l'ordre de plusieurs mètres). L'étude a aussi montré une diminution systématique de l'humidité de la zone racinaire (-31mm soit -9%, en moyenne annuelle sur les 12 scénarios retenus), qui est plus prononcée en été. L'étude initiale est la seule à s'être intéressée au volet qualitatif de l'eau. Sous condition de mise en œuvre d'une politique de progrès visant à une généralisation « d'une agriculture raisonnée », l'étude montre que les effets négatifs du changement climatique (scénario A2) annulent en grande partie l'influence positive de l'agriculture raisonnée sur la pollution azotée des aquifères du bassin, les impacts de l'agriculture raisonnée et du changement climatique étant opposés et de même ordre de grandeur.

En ce qui concerne le Rhône, où le relief et la composante neigeuse jouent un rôle important, Etchevers *et al.* (2002) notent une grande variabilité spatiale des résultats. Dans le nord du bassin, une augmentation relative importante des débits annuels (40%) due en partie à l'augmentation des précipitations (+25%) et à une plus faible augmentation de l'évapotranspiration (+13%) est constatée. Dans le sud du domaine, on note par contre une diminution de 10% à 30% des débits, associée à une faible augmentation de l'évapotranspiration due à un sol très sec. Cette étude met aussi en avant la diminution importante du couvert neigeux (en quantité et en durée) dans les régions de moyenne et basse altitudes, ce qui a évidemment un impact sur les régimes hydrologiques neigeux, avec un pic de débit au printemps avancé d'un mois.

Pour le bassin de la Garonne, plusieurs études menées par Météo-France et le CERFACS sont disponibles et montrent une forte sensibilité des étiages liée à la fragilité de la ressource en eau que constitue le massif pyrénéen (anticipation des étiages et forte réduction des apports de juin à septembre).

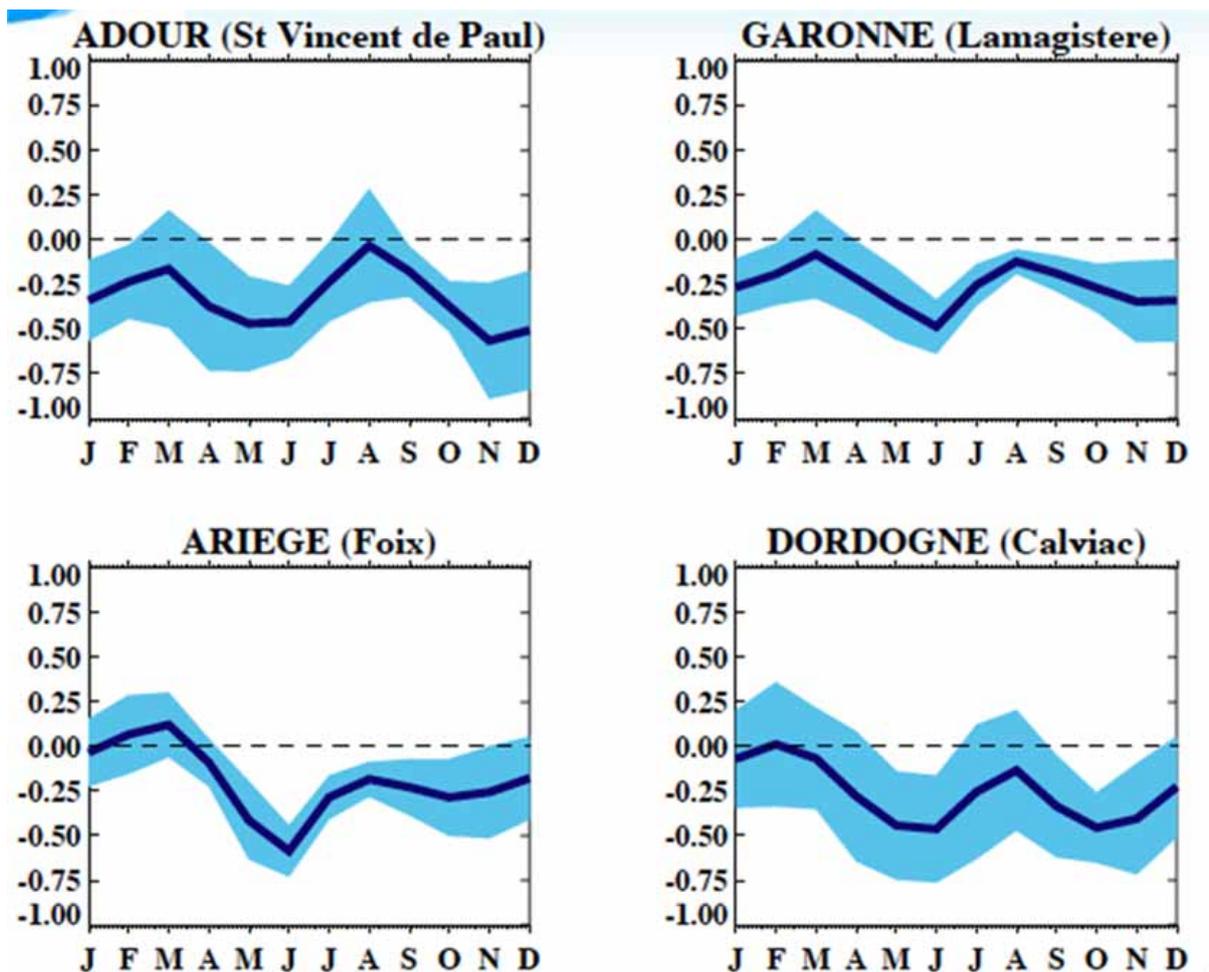


Figure 6 - Rapport entre les débits projetés à l'échéance 2050 et ceux actuels (TERRAY, 2007)

Les projections pour le sud ouest de la France indiquent qu'en 2050 les débits de nombreuses rivières en été pourraient être de l'ordre de 25% inférieurs à ceux d'aujourd'hui (cf. Figure 6), que la fréquence et la durée des périodes d'étiages sévères pourraient doubler. Les étiages seraient anticipés d'un mois avec des baisses de débit très marquées dès le printemps, de l'ordre de 36%. Le nombre de jours de canicule serait aussi doublé avec des étés beaucoup plus secs.

### 1.3.1.3 Impacts sur les écoulements

Pour la France métropolitaine, Boé (2007) a proposé un travail assez complet en hydraulique de surface :

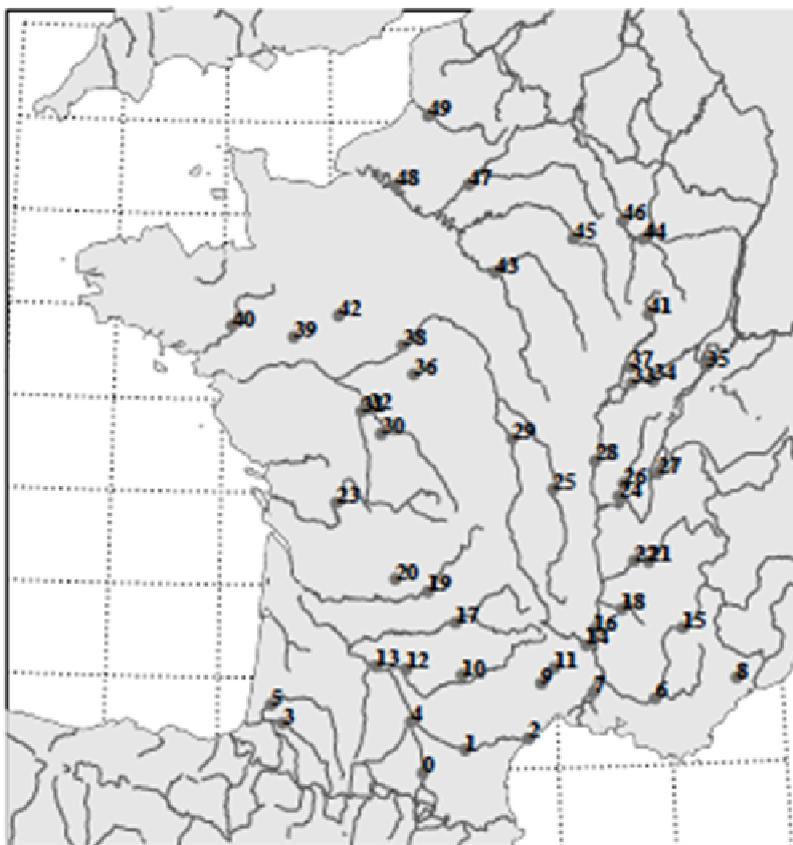
- Traitement de l'ensemble du territoire français métropolitain (à l'exception de la Corse) de façon homogène ;
- Les études précédentes se sont attachées à des bassins versant particuliers ;
- Développement et utilisation de nouvelles méthodes de régionalisation ;
- Utilisation de plusieurs modèles de climat ;
- Prise en compte et analyse de l'incertitude.

Il a utilisé le système de modélisation hydro-météorologique SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM en abrégé). Ce système fonctionne maintenant sur l'intégralité du territoire français métropolitain. SIM est notamment utilisé pour l'estimation en temps réel de l'humidité

des sols, pour des études rétrospectives du bilan en eau et en énergie, ou bien dans le cadre d'études des impacts du changement climatique.

Avec MODSCOU dans la version de SIM utilisée, les aquifères sont simulés sur uniquement deux bassins. On retrouve l'aquifère à trois couches du bassin de la Seine et l'aquifère à une couche du bassin du Rhône. Pour les écoulements superficiels, BOÉ précise que l'erreur sur le débit moyen de SIM, à l'exutoire des quatre principaux bassins français (Seine, Rhône, Loire, Garonne), se situe entre -10% et +6%.

La Carte 11 présente les stations de mesures de débits utilisées par la suite. Elles ont été sélectionnées dans la banque de données HYDRO pour couvrir le territoire et les principaux cours d'eau français, en prenant en compte la durée des séries et les différents régimes hydrologiques.



Carte 11 - Localisation géographique des stations utilisées dans l'étude Boé (Boé, 2007)

Boé (2007) s'est focalisé plus particulièrement sur la période 2046-2065. Le choix de la période est justifié par la demande sociétale qui concerne surtout les prochaines décennies. Il a préféré se focaliser sur un seul scénario d'émission, intermédiaire (SRES-A1B), sur la période 2046-2065 et maximiser le nombre de modèles climatiques traités, source majeure d'incertitude sur cette période. Sur la période 2046-2065 les concentrations en GES associées aux scénarios SRES-A1B et SRES-A2 sont encore assez similaires.

Ses principales conclusions sont :

- En hiver, en moyenne d'ensemble, les débits diminuent modérément, excepté sur le sud-est du pays et les Alpes où ils augmentent. Au printemps, les changements sont en général faibles ;
- En été et en automne, des impacts forts sont à attendre sur les débits, même dès le milieu du XXI<sup>ème</sup> siècle, avec des diminutions importantes ;
- Il faut s'attendre à une forte augmentation du nombre de jours d'étiage. Les débits intenses diminuent bien moins que la moyenne, voire augmentent dans certains cas. Le bilan environnemental négatif lié aux étiages plus sévères ne sera donc vraisemblablement pas « compensé » par le bilan environnemental lui aussi négatif, lié aux inondations (cf. Figure 6) ;
- L'évaporation diminue en été mais augmente durant les autres saisons ;
- L'humidité des sols diminue quelle que soit la saison, excepté sur des zones de montagnes en hiver et/ou printemps ;
- Les précipitations neigeuses diminuent fortement à basse altitude et moins à mesure que l'on s'élève, voire augmentent dans certains modèles en haute altitude, sur certaines zones géographiques. Les hauteurs maximales de neige accumulée diminuent à toutes les altitudes, mais les diminutions sont aussi de moins en moins fortes à mesure que l'on s'élève (cf. Figure 7).

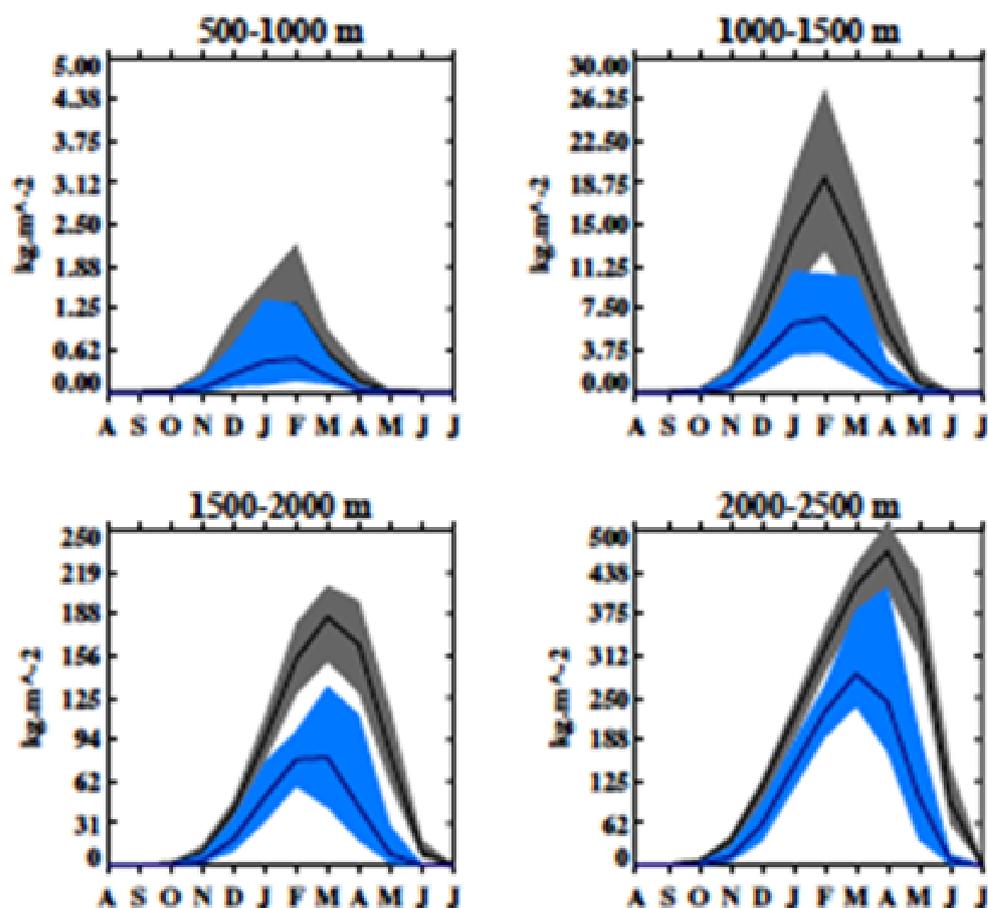


Figure 7 - Cycle saisonnier de la quantité d'eau du manteau neigeux ( $\text{kg/m}^2$ ) dans les Pyrénées par tranches d'altitude de 500m pour le climat présent (1970/1999, gris et noir) et le climat futur (2046/2065 bleu clair et bleu foncé) (Boé, 2007)

Dans le domaine de l'hydrologie, l'incertitude liée au modèle d'impact est souvent considérée comme limitée. La simulation climatique constitue le plus souvent l'étape où l'incertitude est la plus forte. Si on considère en plus l'étape de régionalisation où l'incertitude est importante, il est clair que les changements du climat régional sont très incertains. Ces incertitudes du forçage hydro-météorologique sont ensuite transmises aux indicateurs d'impact par le modèle d'impact (les débits et autres variables hydrologiques simulées dans notre cas). Quintana Segui (2008) précise que les différences entre méthodes de régionalisation sont importantes et donc que les résultats peuvent être très différents : par exemple, sur la Saône, la diminution peut être de 10% pour une méthode et de 50% pour l'autre.

Les résultats de Boé seront utilisés par la suite. Néanmoins, il faut souligner qu'outre le fait que MODCOU ne simule que les aquifères de la Seine et du Rhône, de nombreuses rivières étudiées par Boé sont en fait fortement modifiées par la main de l'homme et sont déjà équipées de nombreux ouvrages de régulation de débit par exemple.

### **I.3.1.4 Extrapolation des résultats de BOE**

Dans cette partie, les changements relatifs mensuels des débits, établis par Boe (2007), entre les périodes 2046/2065 et 1970/1999 pour les cinquante stations sélectionnées ont été utilisés. Les 14 modèles du GIEC ont été considérés.

#### **Variation de la ressource disponible**

La ressource disponible est considérée arbitrairement ici comme étant la différence entre le débit moyen mensuel et le débit biologique minimum pour la survie piscicole. En l'absence de Débit d'Objectif d'Étiage (DOE), il a été pris égal au 1/10ème du module observé (cette valeur est celle qui en l'absence d'étude est retenue par le code de l'environnement, article R 214-18).

Cet objectif environnemental de préservation des milieux est supposé maintenu entre 2009 et l'échéance de 2050 prise par Boe. En effet, la demande environnementale en eau, destinée au bon fonctionnement des écosystèmes, est une composante importante de la directive cadre sur l'eau (DCE). Les prélèvements dans le milieu naturel doivent respecter le maintien d'un « niveau minimum acceptable » pour la préservation des écosystèmes.

Les débits moyens mensuels et les modules ont été extraits de la banque HYDRO aux points initialement sélectionnés par Boe.

De cet exercice de comparaison de la ressource disponible, en année moyenne, entre maintenant et 2050, on peut observer :

- qu'à l'automne et en hiver, périodes où les précipitations contribuent fortement à la reconstitution des stocks dans l'année hydrologique, les rapports sont rarement supérieurs à 1 ;
- que les résultats moyens sont en automne, soit juste à la fin de l'étiage actuel, de l'ordre de 2/3, avec des valeurs minimales atteignant 0,30, soit un déficit de 70% par rapport à maintenant, mais des valeurs maximales proches de 1 ;
- qu'en moyenne, la ressource en eau en hiver serait très proche de celle que l'on connaît actuellement, le rapport étant de l'ordre de 0,95. Les rivières de la moitié nord de la métropole montreraient potentiellement des déficits pouvant atteindre 50% ;
- qu'au printemps, le déficit serait, pour les valeurs moyennes, de 30% mais pourrait dépasser 50% sur certaines rivières. Les résultats les plus optimistes montrent un déficit de l'ordre de 20% et mêmes des situations plus favorables que maintenant pour des rivières de la moitié nord de la métropole ;
- qu'en été, tous les résultats montrent des déficits en moyenne qui peuvent atteindre 50%. La situation moyenne future serait comparable aux situations exceptionnelles actuelles.

#### **Tentative d'évaluation du déficit pour les usages de l'eau**

Certains usages sont décrits, selon les grandes catégories « alimentation en eau potable », « industries », « irrigation » et « énergie », en termes de prélèvements d'eau grâce aux déclarations faites par les préleveurs auprès des agences de l'eau dans le cadre de la perception de la redevance prélèvement.

En supposant que les ressources en eau soient aujourd'hui totalement exploitées en zones de répartition des eaux (ZRE) durant le printemps et l'été et que partout ailleurs,

la ressource permette de doubler les prélèvements, il a été estimé, en utilisant les résultats précédents, que le déficit en eau pour satisfaire les besoins actuels des usages eau potable, industries et irrigation serait de 2 milliards de mètres cube (500 millions de m<sup>3</sup> en hypothèse basse et 3 milliards de m<sup>3</sup> en hypothèse haute). L'évaluation pour l'énergie n'a pas été faite, cet usage ayant une consommation relativement faible et un besoin non pas en volume mais en débit<sup>7</sup>. Il est bien évident que ce chiffre aggloméré à l'échelle nationale ne représente pas les inégalités territoriales. Une grande difficulté pour établir ce type de bilan vient du fait que les ressources en eau sont peu connues, peut être du fait du sentiment d'abondance vis à vis de cette ressource naturelle. La généralisation de l'évaluation de la ressource disponible, pour les territoires en stress, a été demandée aux agences de l'eau par circulaire en juin 2008.

Ce déficit de l'ordre de 2 milliards de m<sup>3</sup> par rapport au prélèvement actuel à économie constante est :

- à comparer aux prélèvements actuels cumulés de ces secteurs, à savoir 14 milliards de m<sup>3</sup> (respectivement 6 pour la distribution des collectivités, 5 pour l'irrigation, 3 pour les usages industriels) ;
- à reconsidérer en fonction d'une prise en compte de la réalité de la future demande végétale en eau d'irrigation des cultures.

#### *Encadré 1 - Exemple du Sud-ouest*

Pour le bassin Adour-Garonne :

- La valeur du déficit structurel actuel est estimée à 250Mm<sup>3</sup> ;
- Le déficit prévisionnel complémentaire à long terme d'alimentation des rivières sur la période d'étiage que l'on peut estimer à partir des simulations de BOE (débit moyen d'été de référence de la Garonne réduit de 25m<sup>3</sup>/s à Toulouse voire plus à l'aval, 40m<sup>3</sup>/s à Lamagistère, soit respectivement sur 3 mois 250 à 400Mm<sup>3</sup>) ;
- Le volume 2006 des prélèvements est de l'ordre de 850 millions de m<sup>3</sup> tous usages confondus (dont pour 600 000 ha irrigués, soit plus de 80% des prélèvements totaux en période d'étiage et 40% des prélèvements annuels) ;
- Maintenir une sole de maïs de 600 000ha en Adour -Garonne impliquerait, au vu des simulations INRA, de mobiliser environ 500Mm<sup>3</sup> d'eau en plus d'aujourd'hui.

Pour le sud-ouest, le besoin en eau moyen annuel des cultures est de l'ordre de 500mm/an. Dans les conditions actuelles climatiques, un maïs doit recevoir en situation de moyenne vallée de la Garonne un apport de 150mm en irrigation pour accomplir son cycle végétatif (valeur cohérente avec les doses d'irrigation de 2000 à 3000m<sup>3</sup>/ha selon efficacité des systèmes constatées régionalement).

Les simulations conduisent sur un maïs irrigué à un déficit supplémentaire de 50mm à 2030 et 80mm au delà de 2050 qui devra être compensé par des irrigations complémentaires.

Au total ces études convergent pour conduire à penser que le déficit actuel du bassin Adour-Garonne de 250Mm<sup>3</sup> pourrait être porté à 500 voire 800Mm<sup>3</sup> au delà de 2050 dans les conditions de maintien d'un système actuel prenant pour base la monoculture de maïs.

*(Source : Agence de l'eau Adour Garonne)*

---

<sup>7</sup> Le rapport du groupe Energie propose une estimation de l'impact de l'évolution des débits sur la production hydroélectrique, sur la base des travaux de Boe (2007)

### I.3.1.5 Impacts sur la qualité de l'eau

Pour Ducharne *et al.* (2004), le changement climatique entraîne une minéralisation accrue de l'azote du sol en nitrates, qui contribue à l'augmentation d'une part des rendements et d'autre part du flux de nitrates du sol vers les nappes, modulée par les changements de pluviométrie et par l'activité agricole. Le couplage du modèle agricole STICS spatialisé avec le modèle de transport souterrain MODCOU/NEWSAM a permis de quantifier l'influence de ces changements sur la concentration en nitrates dans les nappes. Le Tableau 5 présente leurs résultats. En moyenne sur les nappes libres, celle-ci augmente à l'horizon 2100, de 0 à 33% par rapport à la concentration actuelle selon les scénarios de changement climatique. Sous scénario A2, la concentration moyenne atteint 77 mgNO<sub>3</sub>/l en moyenne sur les nappes libres.

Tableau 5 - Synthèse des simulations STICS/MODCOU/NEWSAM en termes de pollution nitrique des aquifères (Ducharne *et al.*, 2004)

Simulations STICS/MODCOU/Newsam	Caractéristiques des simulations			Concentration moyenne en nitrates (mg/l)	Fraction (%) où la concentration dépasse 50 mg/l
	Climat	Agriculture	Horizon		
« état zéro »	Actuel	Actuelle	2000	39	30
Référence	Actuel	Actuelle	2100	60	48
CC A2	Arp new A2	Actuelle	2100	77	65
CC B2	Arp new B2	Actuelle	2100	67	57
AR	Actuel	Raisonnée	2100	38	28
AR + CC A2	Arp new A2	Raisonnée	2100	53	47

Les résultats sont relatifs aux aquifères modélisés les plus proches de la surface et donc les plus accessibles par forage (Craie sauf où recouvert par Eocène sauf où recouvert par Oligocène)

Cet impact du changement climatique a été comparé à celui du scénario d'agriculture raisonnée. Celui-ci présente un réel intérêt du point de vue environnemental, car il permet de réduire notablement la concentration nitrique moyenne de l'eau infiltrée (-32% en climat actuel) et d'obtenir une concentration inférieure à la norme (50 mg/l) en zone cultivée. Il entraîne donc une diminution de la concentration en nitrates dans les aquifères à l'horizon 2100, de 37% en moyenne sur les nappes libres, pouvant localement atteindre plus de 50% par rapport à la simulation de référence en 2100 sans modification des pratiques agricoles ni modification du climat.

Les impacts de l'agriculture raisonnée et du scénario A2 sont donc opposés et de même ordre de grandeur : le changement climatique annihile en grande part l'influence positive de l'agriculture raisonnée sur la pollution azotée des aquifères du bassin (elle n'est plus réduite que de 12% par rapport à la simulation de référence à l'horizon 2100, qui présente une concentration moyenne dans les nappes libres de 60 mgNO<sub>3</sub>/l donc largement supérieure à la norme).

Ducharne (2004) s'est également intéressée aux rejets ponctuels : la réduction générale des rejets ponctuels venant de la poursuite de la politique de réduction des rejets et de l'amélioration des techniques d'épuration projeté à l'horizon 2050 doit en effet entraîner une amélioration drastique de la qualité des cours d'eau. Cette hypothèse de progrès

technologique pèse pour beaucoup dans l'amélioration de la qualité annoncée. Une question se pose pour les nouvelles substances et toxiques pour lesquels cette hypothèse technologique n'est peut être pas fondée : la diminution des débits entraînera une augmentation des concentrations.

En ce qui concerne la teneur en nitrates dans les cours d'eau, le changement climatique exerce son impact via les apports diffus depuis les nappes et le bassin versant agricole (modulés par la rétention dans les zones ripariennes). L'impact du changement climatique se traduit donc par une augmentation de la concentration, mais moins importante que dans les aquifères. A l'horizon 2100, le scénario de changement climatique entraîne ainsi une augmentation de la teneur en nitrates, qui passe de 31 à 40 mgNO<sub>3</sub>/l en moyenne annuelle à Poses (sur la Seine, en amont de Rouen) et atteint 50 mgNO<sub>3</sub>/l, *i.e.* la norme de potabilité, en hiver. Cette augmentation est supérieure à celle qui résulte de l'inertie des aquifères et de la zone saturée entre 2000 et 2100 (+7 mgNO<sub>3</sub>/l). L'agriculture raisonnée et la réduction des rejets ponctuels ont un impact du même ordre de grandeur (10 mgNO<sub>3</sub>/l environ), mais opposé et comme dans les aquifères, l'impact du CC (scénario A2) limite fortement celui de l'agriculture raisonnée.

En ce qui concerne le fonctionnement des zones humides, il semble que, pour la France, seuls les aspects submersion marine et inondations aient été étudiés pour le moment pour la Camargue et les Wateringues du Nord de la France<sup>8</sup>.

### **I.3.1.6 Les impacts sur les usages de l'eau dans le scénario de référence (sans mesures d'adaptation)**

Rappel des aléas :

- Tous les bassins versants devraient faire l'expérience de changements dans la recharge des rivières et dans le stress hydrique ;
- L'écoulement fluvial et l'alimentation des nappes souterraines seraient réduits ;
- Les étiages seraient plus prononcés en automne et plus prolongés, augmentant les problèmes d'utilisation de l'eau ;
- La diminution du niveau et du débit des rivières associée à une hausse du niveau de la mer pourrait favoriser la pénétration saline dans les aquifères d'eau douce ;
- Une baisse de la qualité de l'eau : elle serait affectée par la concentration des polluants notamment d'origine agricole (ruissellement des pesticides) et par l'affaiblissement des capacités d'auto-épuration dû au réchauffement et à la moindre dilution (réduction des débits des cours d'eau, eutrophisation).

L'évolution socio-économique comme la croissance démographique et/ou l'augmentation de la prospérité et du niveau de vie, les modifications de l'occupation du sol et le changement climatique (provoqué par l'homme) conduiront à une augmentation du besoin en eau et, ainsi, à une pénurie d'eau dans certains bassins versants. La variabilité climatique et les changements du climat peuvent encore renforcer la pénurie d'eau en rendant les ressources moins exploitables.

Un premier recensement des impacts sur les usages de l'eau a été tenté. Selon les secteurs environnementaux, ou économiques, ils sont potentiellement très importants.

---

<sup>8</sup> <http://pagesperso-orange.fr/institutionwateringuesnpc/Page%20Web/Etudes.htm>

*Encadré 2 - Les principaux impacts recensés dans le scénario de référence (sans mesures d'adaptation)*

- Augmentation de la demande en eau due à l'augmentation des températures et à la réduction dans certains cas des précipitations : alimentation en eau potable de la population et en eau des animaux, pour l'irrigation, pour le refroidissement des usines de production d'énergie, pour les transports fluviaux, etc. ;
- Modification de la ressource disponible : diminution, voire disparition des apports estivaux des glaciers et du stockage d'eau dans le manteau neigeux, modification de la distribution spatiale et temporelle des pluies, modification du débit des cours d'eau et de la recharge des aquifères, dégradation de la qualité des eaux (diffus, ponctuels), etc. ;
- Augmentation de la vulnérabilité de certains écosystèmes du fait de l'augmentation des températures et des modifications de répartition spatio-temporelle des pluies (augmentation des assecs par exemple) ;
- Augmentation du coût d'accès à l'eau, des conflits d'usage, etc.

## **Des contraintes pour l'agriculture**

La ressource en eau est très fortement dépendante de l'aménagement des sols. Pour l'agriculture, Brisson (2008) rapporte que les sécheresses estivales et l'augmentation des températures entraîneront des fins de cycle végétatif difficiles pour les cultures d'hiver, avec une occurrence de températures échaudantes accrue et une moindre satisfaction des besoins en eau. Les cultures pluviales seront plus difficiles dans le sud de la France dans un contexte de ressources en eau limitées.

Les premiers résultats du programme Climator de l'INRA<sup>9</sup> (voir Encadré 3) sur le blé et le maïs montrent que la plus grande partie de la baisse des pluies va se traduire pour l'essentiel par une sécheresse hydrologique (ruissellement et alimentation des nappes) et pour partie par une sécheresse édaphique en culture pluviale (blé) comme irriguée (maïs). Selon certains scénarios, les rapports de réductions pluviométriques estivales pourraient être particulièrement marqués sur la partie ouest de la France où se trouvent une grande partie des zones déficitaires en ressources en eau aujourd'hui. Le confort hydrique des plantes baissera quelque soit le système, annuel ou pérenne, pluvial ou irrigué. Pour le maïs le maintien des besoins de la plante à 80% de l'ETM impliquerait une augmentation des doses de l'ordre de 40 à 60 mm dans le sud-ouest et l'ouest de la France. Cela donne un ordre de grandeur de ce que pourraient être les besoins supplémentaires en eau liés à un maintien de la sole de maïs du grand-ouest (environ 750 000 ha) dans les conditions actuelles de culture. Il ne s'agit là que d'une hypothèse car d'une part les tendances pour les scénarios pluviométriques sont encore relativement incertaines pour des applications régionales et d'autre part de nombreuses alternatives culturelles à des systèmes de monoculture à base de céréales sont possibles et peuvent, même être facilitées par le changement climatique<sup>10</sup>.

La demande agricole est beaucoup plus sensible au changement climatique que les autres demandes.

Pour Brisson et Caubel (2008), les conséquences agricoles des changements annoncés sont multiples et parfois antagonistes<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Brisson et Itier, 2009

<sup>10</sup> cf. ESCo Sécheresse

<sup>11</sup> Voir le rapport du groupe Agriculture pour plus d'éléments sur les impacts du changement climatique pour le secteur

- Si l'augmentation des températures tendra à accélérer la phénologie des cultures (chronologie des étapes biologiques des plantes), ce qui se traduirait par exemple pour les cultures de printemps par un raccourcissement de leur phase de remplissage des grains (donc possible baisse des rendements), la moindre satisfaction des besoins en froid (vernalisation) des cultures d'hiver pourra limiter cette accélération.
- Les sécheresses estivales et l'augmentation des températures entraineront des fins de cycle végétatif difficiles pour les cultures d'hiver, avec une occurrence de températures échaudantes accrue et une moindre satisfaction des besoins en eau. Néanmoins, l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique aurait pour effet une fermeture stomatique et donc une diminution de la demande climatique des cultures à long terme (le besoin en eau des cultures pourrait diminuer).
- Le nombre de jours disponibles pour réaliser les semis des cultures d'été ou d'hiver et les récoltes des cultures d'été pourrait avoir tendance à diminuer du fait de l'augmentation des pluies hivernales. En effet, le passage d'engins sur des sols trop humides risque de tasser les sols, et compromet, de ce fait, la réussite de la culture et la qualité des sols (érosion des sols).
- En ce qui concerne les maladies des cultures, la tendance à plus de sécheresse pendant le cycle végétatif diminuerait les durées d'humectation et donc les fréquences d'infestation. Par contre, les températures douces représenteraient des conditions favorables au développement des populations de pathogènes et favoriseraient les « développements explosifs » au cours d'événements pluvieux. Ce type de perspective peut s'étendre à la relation culture/adventices.

*Encadré 3 - Résultats préliminaires du projet CLIMATOR sur le comportement hydrique à l'horizon 2035 de deux cultures emblématiques : blé pluvial et maïs irrigué en monocultures (Nadine Brisson et Bernard Itier, INRA)*

Demain, s'il fait plus chaud et si la pluie diminue, on peut s'attendre, d'une part, à une évolution de la demande climatique (ETo : effets antagonistes des augmentations de température et de CO<sub>2</sub>), et d'autre part à une diminution de l'offre en eau, tant pour le sol, et donc les cultures, que pour les aquifères.

Pour étudier ces phénomènes, on s'intéresse :

- d'une part à la restitution d'eau aux aquifères ;
- et d'autre part à la différence entre l'évapotranspiration maximale d'une culture (ETM) et son évapotranspiration réelle (ETR).

### **1. Evolution de la restitution d'eau aux aquifères**

La restitution d'eau au milieu est calculée comme le bilan entre le ruissellement, le drainage et l'irrigation, comptée négativement.

Même si les différentes méthodes de projection du climat dans le futur produisent des résultats différents en termes d'évolution de la pluviométrie, on constate que les relations obtenues par modélisation agro-environnementale entre la baisse de restitution au milieu et la baisse de pluie sont robustes :

- pour le blé, de l'ordre de 75% à 80% de la baisse de pluie contribue à la sécheresse hydrologique et de 20 à 25% à la sécheresse édaphique (valeurs obtenues par le modèle STICS et confirmées par l'utilisation du modèle CERES) ;
- pour le maïs, de l'ordre de 90% de la baisse de pluie contribue à la sécheresse hydrologique et de 10% à la sécheresse édaphique malgré l'irrigation ; il en résulte que sans modifications de doses d'irrigation, la baisse de pluviométrie va se traduire par une baisse d'alimentation des nappes conséquente.

Ainsi, une combinaison de cultures d'hiver (pluvial) et de cultures irriguées d'été, conduit à des baisses de l'ordre de 80mm de restitution aux nappes pour 100mm de baisse de pluie.

### **2. Evolution du confort hydrique des plantes**

Le confort hydrique pendant la période de production baisse de façon générale pour tous les systèmes, qu'ils soient annuels ou pérennes, pluviaux ou irrigués.

Cette baisse du confort hydrique peut être mise en relation avec l'augmentation du déficit hydrique climatique (P - ETo). Pour l'ensemble du territoire français, une augmentation du déficit climatique P-ETo de 100mm conduit à une augmentation de l'ordre de 5mm du déficit (ETM - ETR) tant pour le blé malgré l'esquive phénologique que pour le maïs malgré une irrigation à 80% de l'ETM (il s'agit d'une moyenne sur 30 ans qui cache une grande variabilité interannuelle).

En matière d'irrigation, la Figure A indique l'augmentation moyenne de la dose qui permet d'atteindre ces 80% d'ETM. On note qu'il peut exister jusqu'à 20mm d'écart entre valeurs résultant de l'application de différentes méthodes de régionalisation climatique (CERFACS et CNRM) ; c'est le cas de Dijon. Il faut signaler par ailleurs que, pour ce futur proche, et comme pour d'autres variables, la variabilité interannuelle des besoins en irrigation est du même ordre de grandeur que la valeur absolue.

Ceci étant, pour le Sud Ouest où la tension sur la ressource est déjà élevée, les deux méthodes de régionalisation conduisent à des valeurs moyennes proches de 40mm supplémentaires par an, à l'horizon 2035 (Bordeaux 30-44, Lusignan 45-47, Toulouse 44-54).

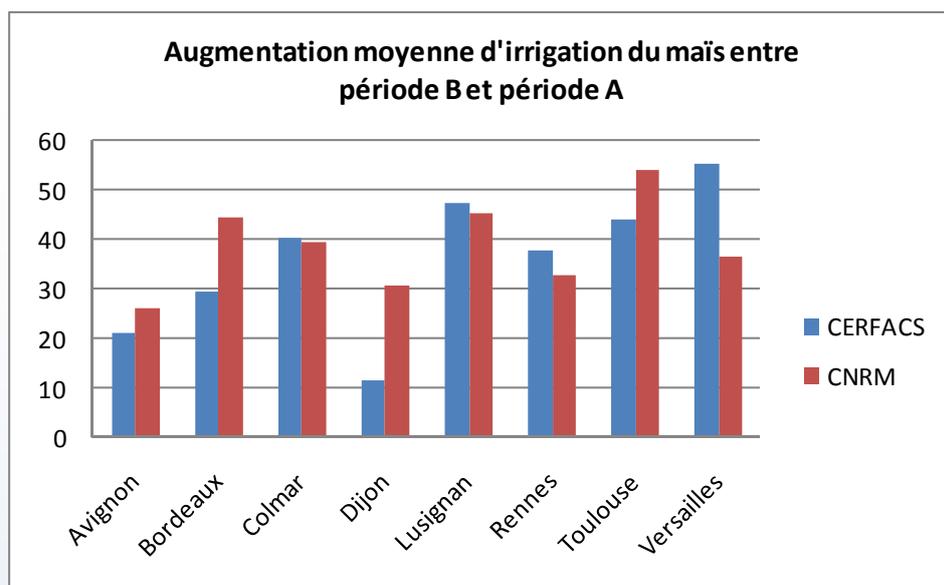


Figure A : Augmentation moyenne des besoins en irrigation du maïs pour parvenir à 80% ETM, entre la période 1970-2000 (A) et la période 2020-2050 (B) pour deux méthodes de régionalisation climatique : CERFACS et CNRM

### Conclusion

Ces résultats ont été obtenus avec le modèle STICS à partir des valeurs de variables climatiques résultant de la simulation grande échelle du modèle ARPEGE de Météo-France, pour le scénario socio-économique A1B (version du projet « ENSEMBLE »). Comme nos résultats sont robustes aux méthodes de régionalisation et, sur les quelques cas testés, aux scénarios retenus (A1B, B1, A2), tout changement dans les prévisions des modèles climatologiques pourrait être pris en compte rapidement, pour ce qui concerne les ordres de grandeurs, via la correspondance établie avec les indicateurs climatiques. Pour les besoins d'irrigation, c'est un peu moins précis comme le montre la Figure B : on peut dire très grossièrement, que le besoin d'irrigation supplémentaire prévisible pour conduire le maïs à 80% de l'ETM correspond au moins à la moitié de la baisse prévue de (P-ETo) (droite marquée sur chacune des figures B a&b).

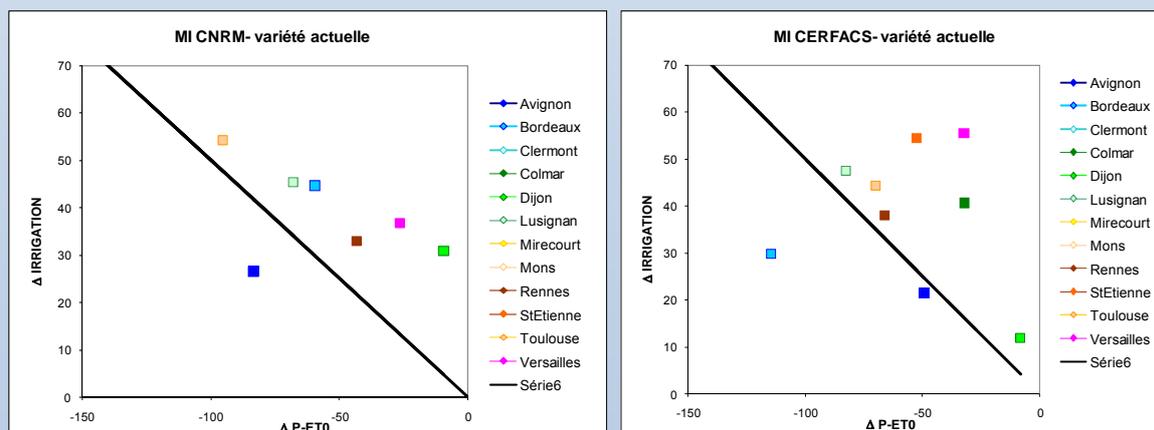


Figure B : Variation des besoins en irrigation du maïs pour parvenir à 80% ETM, entre aujourd'hui et la période 2020-2050, en fonction de l'augmentation du déficit hydrique climatique  $\Delta(P-ET_0)$ . La droite représente les valeurs 1 :0.5 pour a) CNRM et b) CERFACS

Les modifications du régime des pluies pourraient accentuer les risques de sécheresse aux périodes cruciales des cycles des cultures.

Les besoins nets et globaux en irrigation pourraient augmenter, par rapport à une situation sans changement climatique.

L'efficacité des barrages-réservoirs serait réduite par la forte évaporation.

Le facteur pluviométrique constitue une contrainte forte pour les calendriers culturaux et les pratiques agricoles.

Parallèlement, la réduction des disponibilités en eau devrait engendrer des contraintes de prélèvement plus importantes pour l'ensemble des usagers, particulièrement en période d'étiage. Cela implique une évolution encore plus défavorable pour l'agriculture irriguée et des contraintes financières dues aux politiques de sécurisation de la ressource mises en place pour s'adapter. La surexploitation des ressources risque de s'intensifier alors qu'elle est déjà importante dans certains bassins.

Aujourd'hui seuls 10% de la surface agricole utile (SAU) sont irrigués. Il se peut que les cultures « en sec » soient plus touchées que celles irriguées. Il est probable que le nombre de préleveurs d'eau augmente : en plus des systèmes totalement irrigués, l'irrigation de complément pourrait se développer sur des surfaces importantes.

### **Des contraintes pour l'eau potable**

Aujourd'hui, il n'y a pas de problèmes majeurs d'alimentation en eau potable. Depuis 1976, de nombreux projets d'interconnexion ou de sécurisation pour l'accès à la ressource ont été faits. Depuis 1987 en France plus de 5,3 milliards d'euros ont été investis sur les « déséquilibres de long terme » (260 millions/an), 30% environ financés par les agences de l'eau. Néanmoins, les projections sous tendent une augmentation des conflits d'usages. Aujourd'hui, l'eau potable est considérée comme l'usage prioritaire de la ressource en eau avec les milieux aquatiques<sup>12</sup>.

Les bassins vont être confrontés à de plus fréquentes pénuries d'eau en raison du changement climatique même en l'absence d'une hausse de la demande. Satisfaire les besoins en eau potable des populations devrait être plus difficile. Les restrictions des usages de l'eau touchant plus ou moins directement le tourisme (piscine, espaces verts) devraient être de plus en plus fréquentes pour satisfaire l'accès à l'eau potable. Une mobilisation moins évidente des ressources en eau pourrait avoir des répercussions sur le prix de l'eau. L'augmentation des prix pourrait déboucher sur des prélèvements plus importants sur des ressources alternatives : développement de citernes privées, recours aux eaux souterraines (forages individuels). La dégradation de la qualité de la ressource, accentuée par le changement climatique (dont l'augmentation de la température de l'eau qui entraînera un développement de cyanobactéries par exemple), réduirait encore l'offre en eau douce utilisable à des fins domestiques et pourrait accroître le coût du traitement. Un traitement de potabilisation plus poussé serait alors nécessaire, pour répondre à des exigences de qualité et au renforcement des normes. Or les pollutions régresseront peu, voire s'aggraveront et tendront aussi à faire croître les coûts de production de l'eau potable. L'efficacité des barrages-réservoirs serait réduite par la forte évaporation qui affecte les plans d'eau, réduisant les ressources en eau potable.

---

<sup>12</sup> art L 211-1 du code de l'environnement

Dans certaines conditions locales et en particulier dans des contextes de forts stress hydriques répétés, l'approvisionnement en eau au niveau local conduira à mettre en balance les ressources traditionnelles (eaux de surface et eaux souterraines) avec l'intérêt de développer des ressources alternatives (recyclage d'eaux usées à un niveau adapté aux usages qui en sont faits, récupération d'eaux de pluie, recharge d'aquifère, dessalement, etc.).

Du point de vue quantitatif :	
Le niveau des eaux souterraines diminue	Des puits ne sont plus alimentés. Le fonctionnement des exhaures sont modifiés (perte de production)
Le débit des rivières diminue	Des prises d'eau sont dénoyées, des arrêtés de restrictions sont plus fréquents.
Du point de vue qualitatif :	
La qualité des cours d'eau diminue (voir 1.7.2.), de nouveaux polluants apparaissent (cf. Santé)	Les traitements de potabilisation ne sont plus suffisants
La température de l'eau de surface augmente	En été, la température de l'eau est supérieure aux normes de potabilisation de l'eau (arrêté du 11 janvier 2007: 25°C).

### Des contraintes pour l'assainissement des eaux usées

Les normes de rejet pour le traitement des eaux usées dépendent de l'affluent dans lequel les eaux usées vont être rejetées. Si le régime des cours d'eau baisse, le traitement devra être intensifié pour maintenir les mêmes standards environnementaux. La collecte et le traitement des eaux usées sont l'investissement le plus coûteux pour les municipalités ou collectivités. Le coût du traitement augmente exponentiellement avec le degré de traitement attendu. Ainsi, pour maintenir les concentrations à leur niveau actuel, à l'endroit où les eaux usées sont rejetées dans une rivière, si le débit du cours d'eau est réduit de 30%, la quantité de polluant rejeté devra être réduite de 30%.

Hédouit *et al.* (2007) ont examiné les répercussions du changement climatique sur les systèmes d'assainissement : certaines seront positives (réactions biologiques accélérées), d'autres négatives (consommations énergétiques supplémentaires). Ils considèrent que le réseau d'assainissement sera plus affecté que les stations d'épuration, en particulier au niveau de la gestion des temps de pluie. Les problèmes liés aux odeurs et à une accélération des phénomènes de corrosion se poseront également avec acuité. Enfin, les politiques de gestion des crises (préservation du patrimoine et des équipements, sécurité, prévention des risques sanitaires) devront être mises en place localement pour faire face à des accidents météorologiques plus aigus et plus fréquents.

Les débits des rivières diminuent	Les objectifs de rendement épuratoire des stations de traitement des eaux usées sont aujourd'hui définis sur la base du QMNA5. La modification de ce débit caractéristique entraînera une modification des conditions du rejet et donc de la dilution en aval de la station de traitement des eaux usées.
Augmentation des orages violents	Les agglomérations qui sont encore en unitaire sont sensibles aux coups hydrauliques. Des rejets directs sont possibles.
Si la quantité d'eau potable mise en distribution diminue, les rejets d'eaux usées vont diminuer.	Les effluents seront plus concentrés. Les modifications de fonctionnement entraîneront un vieillissement prématuré de certains équipements (suppresseurs d'air...). formation de dépôts dans les réseaux, la septicité des eaux donc les émissions d'odeurs en période de sécheresse associée à la canicule augmentent.

## **Des contraintes sur assainissement pluvial**

Le ruissellement urbain, une préoccupation des rapports des groupes « Risque naturels et Assurance » et « Infrastructures de transport et cadre bâti », se manifeste lorsque l'eau de pluie ne peut s'infiltrer du fait de l'imperméabilisation des sols et lorsque le réseau d'évacuation des eaux pluviales est engorgé. L'eau reflue alors dans les rues, le courant emporte des véhicules et divers objets qui forment des embâcles. Les points bas sont submergés, l'eau boueuse envahit le rez-de-chaussée des bâtiments où elle provoque des dégâts et parfois des victimes. Ce phénomène, non étudié dans le présent document, aura certainement un coût très important dans le futur du fait de la densité de population dans les zones fortement urbanisées et du changement climatique.

Il sera nécessaire et ceci sans regret, de revoir les règles de dimensionnement des ouvrages d'évacuation et de récupération des eaux pluviales. Ceci est à coordonner avec la révision des règles d'urbanisation et de construction des infrastructures. Quelques villes, telles que Bordeaux et Nancy, ont déjà pris en compte ces enjeux.

## **Des contraintes pour industries et production d'énergie**

Ce thème est traité par le groupe Energie. En cas d'augmentation combinée de la température de l'air et de la température de l'eau, associée à un faible débit, le rendement du refroidissement sera diminué. En 2003, 2004 et 2006, des autorisations exceptionnelles de rejet ont dû être délivrées afin d'éviter un arrêt de la production d'énergie.

Les unités de refroidissement en circuit ouvert doivent être améliorées afin de minimiser les conditions de rejets dans les conditions futures. L'augmentation de température des cours d'eau nécessitera également de renforcer les systèmes de traitement sur les unités de refroidissement ; algues, légionelles, etc. L'hypothèse d'une installation de tranches supplémentaires de centrales nucléaires de production, y compris les tranches initialement prévues mais non réalisées, le long des cours d'eau sera à étudier finement en fonction des projections de débits. EDF R&D met en œuvre un important potentiel de recherche sur les perspectives de ressource en eau (Impact du Changement Climatique (ICE)) et sur les perspectives d'usage de l'eau (Partage de la Ressource en Eau : Scénarios d'Avenir de Gestion (PRESAGE)). Pour ce faire, il s'appuie sur plusieurs modèles de climat et de méthodes de désagrégation en liaison avec la communauté scientifique. Il s'intéresse également aux méthodes de refroidissement, au potentiel et aux disponibilités de sources froides alternatives ou complémentaire à l'eau.

Les conflits d'usage auront des répercussions sur la gestion des ouvrages hydroélectriques. Les règlements d'eau seront un outil d'adaptation.

## **Des contraintes pour la gestion des grands ouvrages**

La modification des écoulements et des débits extrêmes est susceptible d'affecter la gestion des grands barrages. Ceci nécessiterait une prospective spécifique.

Le potentiel hydro-électrique pourrait être conduit à évoluer avec le changement climatique en fonction des contraintes de remplissage des retenues et de nouveaux accords de déstockage visant à généraliser des fonctions complémentaires de soutien des étiages aux réserves hydroélectriques.

### **I.3.1.7 Évaluation du coût induit par le changement climatique dans le scénario de référence**

Les coûts dépendront :

- De l'ampleur de la diminution de la ressource moyenne ;
- De la fréquence, de l'intensité et de la durée, des événements climatiques du type sécheresse ou inondation ;
- De la capacité de stockage existante (sur les eaux superficielles ou dans les eaux souterraines) ;
- De la réaffectation des « quotas » d'eau ;
- Des modifications des pratiques de la part des acteurs dont il n'est plus possible de satisfaire les besoins en eau ;
- De la vulnérabilité des secteurs économiques vis à vis de l'eau ;
- Du besoin de développement de nouvelles ressources ;
- Des capacités à « perdurer » pendant les périodes de restriction.

A économie constante et sans adaptation, selon les principaux impacts recensés au I.3.1.6, les différents usages sont touchés de manières différentes.

#### **Discussion méthodologique**

La partie basse de la fourchette du coût de la non-action sera estimée en calculant les volumes nécessaires à chaque catégorie de consommateurs et en leur affectant les coûts de production et accession propres à chacune des catégories.

La partie haute de la fourchette sera elle calculée en considérant le coût moyen d'une fourniture alternative du volume d'eau déficitaire, par exemple un coût de stockage. Dans le cas où ce coût de stockage serait considéré comme non-représentatif du maximum possible (pour des raisons locales, par exemple saturation du bassin versant en équipement de retenues d'eau), on pourra se référer à d'autres pratiques comme le dessalement ou le pompage d'eaux souterraines.

Ce calcul très simple permet d'obtenir un ordre de grandeur des coûts et ne permettra en aucun cas :

- De donner les coûts exacts, bassins par bassin, des impacts du changement climatique ;
- De prendre en compte, même à une échelle très large, les coûts imputables aux modifications qualitatives de l'eau ;
- De donner les mesures exactes à prendre pour gérer les conséquences du changement climatique.

Une hypothèse supplémentaire est que les prises d'eau actuelles auront accès à la ressource future. Cette hypothèse ne sera certainement pas vérifiée du fait de la forte variation attendue de la piézométrie des eaux souterraines et de la baisse du tirant d'eau attendu du fait de la baisse des débits des rivières. En l'absence de connaissances précises de la situation de chaque ouvrage, il est impossible d'évaluer le nombre de points d'eau où il serait nécessaire d'investir afin de pouvoir à nouveau accéder à la ressource en eau.

#### **Répartition des efforts**

Le coût unitaire d'investissement pour la création de barrage : 3 euros par m<sup>3</sup> stocké (pour le barrage sur l'Auzance (2008), le coût des travaux a été estimé à 60 millions d'euros et le coût environnemental entre 28 et 47 millions d'euros). A ces coûts, il faut rajouter :

- Les frais pour les réseaux d'adduction entre les barrages et le point d'usage ;
- Les frais de fonctionnement.

Le coût d'accès à de l'eau dû à la non-action, pour un déficit de l'ordre de 2 milliards de m<sup>3</sup>, serait de l'ordre de 5 à 10 milliards d'euros.

Mais la question de la quantité d'eau n'est pas le seul aspect à considérer. A ces coûts, il faudrait donc pouvoir rajouter ceux induits par la qualité dégradée de l'eau qui concernera principalement les collectivités et les industries pour l'alimentation en eau potable et les process industriels.

En ce qui concerne l'évaluation du coût pour le ruissellement urbain, l'évaluation du patrimoine « eau » des collectivités territoriales réalisée en 2007 pour la DEB montre que la valeur du réseau unitaire d'évacuation est comprise entre 25 et 30 milliards d'euros. Ces coûts sont nettement supérieurs à ceux de l'accès à la ressource.

### **I.3.2 Moyens de la connaissance des impacts prévus**

Les projections des changements de températures ou de précipitation calculées par les modèles régionaux s'accompagnent de nombreuses incertitudes (choix des modèles, choix du scénario d'émission des gaz à effet de serre, rétroaction des systèmes...) qui s'ajoutent à la variabilité naturelle du climat. Une ou deux décennies peuvent montrer une évolution régionale en sens contraire à l'évolution générale à l'échelle globale et séculaire. Ces incertitudes montrent l'intérêt de progresser dans la modélisation du système climatique. Cela apparaît essentiel pour améliorer la compréhension des observations récentes et pour affiner les scénarios d'évolution future, notamment par le développement de la prévision décennale.

Un certain nombre de besoins d'acquisition de connaissances supplémentaires ou de manques de moyens se sont révélés importants dans l'étude des impacts induits par le changement climatique.

#### **Axes de recherche**

##### Amélioration de la prévision des bas débits

Les travaux de régionalisation de la pluviométrie ne permettent pas actuellement de fournir des gammes de faibles précipitations avec des notions de variabilités interannuelles suffisamment fines pour que les gestionnaires des ressources puissent étudier les impacts induits par le changement climatique. Un effort doit être fait en ce sens.

##### Amélioration des modèles de transformation pluie-débit et prise en compte des transferts vers les eaux souterraines

Les premiers résultats des impacts sur l'hydrologie montrent des projections dont les valeurs moyennes sont régulièrement en dehors des plages de la variabilité interannuelle (des baisses de piézométrie comprises entre 5 et 25m pour les bassins de la Seine et de la Somme pour Rexhyss par exemple). Un travail de réflexion sur le calage des modèles

utilisés est à envisager avec une contrainte forte puisque les conditions projetées ne seront observables que dans un futur plus ou moins proche.

La prise en compte des transferts vers les eaux souterraines doit être améliorée. Pour mémoire, le modèle MODCOU utilisé par Boe (2007) ne simule que le fonctionnement des aquifères de la Seine et du Rhône.

#### Régionalisation des études d'impacts

Le territoire français n'est pas encore totalement couvert par des projections. De plus, les études existantes ne sont pas coordonnées (hypothèses, modèles, objectifs, etc.). La fourniture pour un certain nombre de territoires à enjeux (tel le pourtour méditerranéen qui est protégé des pénuries aujourd'hui grâce à l'apport des eaux des Alpes), de données climatiques simulées pour un nombre de scénarios finis (?) serait à privilégier de façon à ce que les acteurs de terrain puissent étudier les conditions de prise en compte de ces changements. Un pilotage national permettrait de vérifier la bonne prise en compte des grands engagements nationaux ou supranationaux tels la directive cadre sur l'eau ou les engagements en terme d'agriculture ou d'énergie renouvelable.

#### Connaissance des usages de l'eau

Afin de pouvoir envisager la mise en œuvre d'un plan d'adaptation réaliste, une amélioration de la connaissance de la vulnérabilité des usagers de l'eau est à améliorer. « Quel est l'impact d'une diminution de l'offre en eau pour chaque usage économique (dont les entreprises agro-alimentaires qui dépendent de l'activité agricole) ? », « quels sont les seuils de rupture qui pourront entraîner des changements? »... sont des questions qui mériteront d'être abordées plus finement.

### **I.3.3 Conclusions du chapitre**

Une mobilisation encore faible des gestionnaires de l'eau est constatée dans le contenu actuel des SDAGE en préparation. La mobilisation de ces partenaires impliquerait de replacer le changement climatique en rapport avec un ensemble de changements globaux auxquels ils sont confrontés dès aujourd'hui ; déficit des ressources en eau en Adour-Garonne, réduction des contaminations par les toxiques des eaux superficielles et souterraines en Seine-Normandie, pollutions agricoles en Bretagne, protection des milieux littoraux sur la méditerranée, etc.

De ce point de vue la plupart des stratégies actuelles engagées sont « sans regret » et prioritaires et concourront à réduire les effets du changement climatique. La capacité des acteurs de l'eau à faire face aux enjeux de la DCE est déjà un enjeu majeur. La capacité de faire « plus » en raison du changement climatique constitue un autre défi à relever.

Ces premières projections montrent que le travail à effectuer dans le cadre de la DCE est très important et que si l'on n'y prend pas garde, les programmes de mesure risquent de ne pas être suffisants à la vue des effets du changement climatique.

## I.4 L'adaptation au changement climatique appliquée au cas de l'eau

### I.4.1 Stratégie d'adaptation

#### I.4.1.1 Rappel

##### Rappel des phénomènes

Tableau 6 - Récapitulatif

▲ ▼	Précipitations annuelles
▼	précipitations estivales
▲	Évènements type orage soudain
▲	Périodes sans pluie
▼	durée, extension et quantité d'eau du manteau neigeux
▲ ▼	écoulements annuels
▼	débits moyens estivaux
▼	niveau des eaux souterraines

▲ : augmentation, ▼ : diminution, ▲ ▼ : incertitudes régionales

##### Rappel des principaux impacts estimés dans le scénario de référence (sans mesures d'adaptation)

La tendance générale est à l'augmentation des besoins et la diminution de la ressource disponible :

- Augmentation de la demande en eau du fait de l'augmentation des températures : besoin pour l'approvisionnement en eau potable des populations et en eau des animaux (pour se désaltérer), pour l'irrigation, pour le refroidissement des usines de production d'énergie, pour les transports fluviaux, etc. ;
- Modification de la ressource disponible : diminution, voire disparition des apports estivaux des glaciers et du stockage d'eau dans le manteau neigeux, modification de la distribution spatiale et temporelle des pluies, modification du débit des cours d'eau et de la recharge des aquifères, dégradation de la qualité des eaux (diffus, ponctuels), etc. ;
- Augmentation de la vulnérabilité de certains écosystèmes du fait de l'augmentation des températures et des modifications de répartition spatio-temporelle des pluies (augmentation des assecs par exemple) ;
- Augmentation du coût d'accès à l'eau, des conflits d'usage, etc.

##### Les changements globaux

Dans le futur, il n'y aura pas que les effets du changement climatique qui pourront avoir des conséquences sur notre mode de vie en général et sur la ressource en eau en particulier.

Une augmentation de la démographie associée à des mouvements de population principalement vers les zones littorales sont annoncés, il y aura l'apparition de nouvelles substances toxiques, etc. Les impacts de ces changements s'ajouteront à ceux du changement climatique.

Néanmoins, un certain nombre de politiques sont engagées afin d'essayer de limiter les impacts de ces changements globaux: la directive cadre sur l'eau, les engagements de l'agriculture (Objectifs terres 2020 : pour un nouveau modèle agricole français), etc.

#### **I.4.1.2 Quelles sont les réponses possibles ?**

Plusieurs options d'adaptation sont envisageables :

- Adaptation des besoins en modifiant nos pratiques ;
- Adaptation de l'offre en agissant sur la ressource.

Les mesures locales devront nécessairement prendre en compte des objectifs nationaux voir supra nationaux tels que les engagements communautaires (bon état des masses d'eau de surface et souterraines, énergie renouvelable, alimentation, etc.).

Localement des réallocations de la ressource pourront être envisagées par les instances locales entre les usagers.

Il faudra veiller à ne pas aggraver les impacts du changement climatique par un « déficit d'adaptation » : pour cela, les conséquences projetées du changement climatique et les objectifs d'aménagement du territoire devront être partagés par tous les usagers.

#### **Les pistes de réflexion**

Nous devons privilégier des orientations mixtes, éviter les aggravations, favoriser la sobriété et l'optimisation des équipements. La reconnaissance de la divergence des intérêts des différents acteurs concernés permettra d'avancer dans la recherche de gains mutuels. Cependant, Laurans (2007) met en garde de ne pas réitérer l'erreur des accords de Yalta : il n'y a pas que l'eau potable, l'agriculture et l'énergie qui se partagent les ressources en eau. N'oublions pas dans nos réflexions, l'aménagement de l'espace et la gestion des milieux naturels.

#### **Une adaptation du besoin en eau**

Les mesures d'adaptation peuvent se classer selon la typologie suivante :

- Diminution du besoin des activités par économie d'eau ;
- Modification des activités ;
- Substitution à une ressource d'une autre qualité.

Les économies d'eau sont des mesures sans regret, les autres doivent être planifiées.

Les mesures d'adaptation doivent être compatibles avec les dispositions de la DCE. Les mesures de la DCE sont généralement sans regret.

Une gestion économe de la demande permettra de dégager de nouveaux volumes d'eau disponibles qui pourront compenser les déficits projetés. Cette démarche doit s'appliquer à tous les acteurs et prioritairement aux plus importants consommateurs d'eau en période de sécheresse. Lorsque les besoins en eau potable ne pourront être satisfaits autrement, une réattribution de volumes actuellement consacrés à différentes activités économiques pourra être faite en faveur de l'eau potable. Néanmoins, l'alimentation en eau potable devra elle même faire un effort de rationalisation de son usage. La réponse aux impacts du changement climatique nécessite une solidarité locale entre les différents

usagers d'un même bassin et, selon des modalités à définir, certainement entre les bassins qui ne seront pas soumis aux mêmes contraintes climatiques.

Le principal défi sera de faire converger une offre qui va diminuer avec une demande, qui par endroit, n'est déjà pas satisfaite.

Tous les secteurs économiques devront mettre en place des pratiques et des technologies permettant une utilisation rationnelle de l'eau. Cette utilisation pourrait encore être considérablement améliorée. Dans certaines régions, jusqu'à 30% du volume d'eau consommé dans les bâtiments pourrait être économisé. Dans certaines villes, les pertes au niveau des réseaux publics de distribution d'eau peuvent dépasser les 50%. Des gaspillages d'eau similaires ont été constatés dans les réseaux d'irrigation. Outre l'amélioration des technologies, la modernisation des pratiques de gestion de l'eau est nécessaire dans tous les secteurs où de grandes quantités d'eau sont utilisées (par exemple, agriculture, industrie ou tourisme).

### Aménagement du territoire

L'aménagement du territoire est certainement l'un des facteurs déterminants de l'utilisation de l'eau. Une répartition inadéquate de l'eau entre les secteurs économiques se solde par des déséquilibres entre les besoins en eau et les ressources en eau existantes. Un changement pragmatique s'imposera pour modifier les schémas d'élaboration des politiques et promouvoir une planification efficace de l'aménagement du territoire aux niveaux appropriés.

### Adaptation de la demande domestique

C'est certainement celle où l'action peut être la plus aisée. La consultation du public réalisée au printemps 2008 à l'occasion de la préparation des SDAGE (devant être adoptés d'ici fin 2009) a montré que de nombreux particuliers sont prêts à mettre en place des mesures de réduction de leur consommation.

Entre économies actives (écogestes) et économies passives (réducteurs de débits, etc.), des économies importantes sont réalisables à très faible coût. Une modification des standards de fabrication pourrait très simplement répondre à la demande.

### Adaptation de la demande agricole en eau

L'ESCo Sécheresse (2006) a classé les stratégies d'adaptation au stress hydrique pour l'agriculture en 4 groupes d'intérêt décroissant (efficacité potentielle et probabilité d'obtenir le résultat voulu par rapport à l'objectif de conservation de l'eau pour la culture) :

- Esquive (cultures d'hiver) ;
- Tolérance (cultures d'été) ;
- Esquive (variétés de cultures d'été précoces) ;
- Evitement (rationnement de la culture), cette dernière étant la plus aléatoire et d'efficacité réduite.

Plusieurs voies peuvent être explorées pour adapter la nature des systèmes de culture et leur conduite à des disponibilités en eau d'irrigation limitées ou pour réaliser des économies d'eau même là où la ressource est aujourd'hui encore accessible :

- Réduire le besoin en eau d'irrigation de la culture, en acceptant une perte de rendement (mais pas obligatoirement de revenu) moins que proportionnelle à la réduction du volume apporté ;
- Réduire le volume d'irrigation en ne satisfaisant pas complètement le besoin de la culture ;
- Optimiser la valorisation de l'eau disponible en diversifiant les calendriers d'arrosage et les cultures irriguées ;
- Optimiser l'efficacité de l'eau apportée dès lors que l'arrosage est justifié.

L'efficacité des propositions de l'ESCo Sécheresse est caractérisée dans le Tableau 7.

Tableau 7 - palette de mesures agronomiques d'efficacité variable par rapport à la réduction du besoin en irrigation (INRA, 2009)

Objectifs	Méthodes	Efficacité
Mieux utiliser l'eau d'irrigation disponible (assolement inchangé)	Limiter les pertes par évaporation	+
	Choix des matériels + réglages	++
	Suivi des avertissements irrigation (tactique)	+
	Outils d'aide à la décision (stratégie pilotage)	++
Réduire le besoin en irrigation (assolement inchangé)	Calendriers restrictifs	++
	Variétés précoces	++
Diversifier l'assolement	Cultures d'été à plus faible besoin	+++
	Cultures d'hiver à irrigation décalée	++++

Le système agricole actuel, s'il est maintenu en l'état conduira à afficher un besoin supplémentaire en eau de l'ordre de 1 à 1,5 milliards de m<sup>3</sup> comme vu en partie I.3, sur un territoire qui est déjà pour l'essentiel en ZRE (cf. Carte 5). Une variante est d'imaginer des systèmes agricoles alternatifs plus robustes et moins exigeants en ressources en eau tels que proposés par l'ESCo Sécheresse.

Une solution technologique pour l'irrigation serait d'augmenter la durabilité des systèmes de micro-irrigation, pour la rendre équivalente à celle des autres techniques d'irrigation : cela permettrait d'en développer la pratique et d'aller vers une meilleure maîtrise des apports. Des travaux réalisés au Cemagref montrent que des techniques d'irrigation innovantes comme le goutte à goutte enterré sur grande culture peuvent générer de substantielles économies d'eau de l'ordre de l'ordre de 10 à 20% par rapport à l'aspersion conduite dans des conditions supposées quasi optimales<sup>13</sup>.

L'ESCo Sécheresse conclut qu'il ne faut pas attendre de « miracles » de la génétique pour obtenir une production abondante en situation de sécheresse bien que des marges de manœuvre existent pour conférer à des espèces existantes des caractéristiques de tolérance.

#### Adaptation des pratiques agricoles

Les travaux de Ducharne *et al.* (2004) sur la Seine ont montré que les efforts du type « mise en œuvre d'une agriculture raisonnée » ne seront certainement pas suffisants pour reconquérir la qualité des eaux souterraines.

<sup>13</sup> Mailhol *et al.*, 2009

La politique de diminution des intrants azotés est une politique sans regret vers laquelle il faut continuer à avancer.

Les efforts à réaliser en termes de diminution des usages des intrants dans le cadre des programmes de mesures de la DCE devront être prolongés afin d'éviter une nouvelle dégradation de la qualité des eaux.

### Adaptation de la demande énergétique

Énergie et eau sont intimement liées : la production d'électricité nécessite de l'eau (cf. Tableau 2) et l'exhaure, le traitement et la distribution d'eau pour la consommation humaine par exemple nécessite de l'énergie, voire énormément d'énergie dans le cas du dessalement de l'eau de mer (autour de 4kW/h/m<sup>3</sup>, DG ENV 2008).

Une amélioration des rendements des centrales de production pourrait être recherchée (environ un tiers pour les centrales nucléaires d'après Vicaud, 2007). Une gestion par chaîne d'ouvrage hydro-électrique serait à envisager. L'éventualité d'une installation systématique des nouvelles centrales thermiques ou nucléaires de production d'électricité dans les zones littorales avec des prélèvements et rejets en mer serait à étudier (mais il faudrait également dans cette hypothèse mener un bilan environnemental global intégrant la consommation d'énergie).

### **Une adaptation de l'offre en eau**

#### Développement de nouvelles infrastructures : la solution miracle ?

Dans les régions où toutes les mesures d'adaptation des besoins ont été mises en œuvre conformément à la hiérarchisation des solutions possibles (des économies d'eau à la politique de tarification de l'eau et autres solutions) en tenant dûment compte de l'aspect coût-avantage et où la demande reste supérieure aux ressources hydriques disponibles, la mise en place d'infrastructures supplémentaires d'approvisionnement en eau pourra, dans certaines circonstances, être aussi envisagée pour atténuer les effets de sécheresses sévères.

Il existe plusieurs façons de concevoir des infrastructures supplémentaires d'approvisionnement en eau (par exemple le stockage des eaux de surface ou souterraines, les transferts d'eau ou le recours à d'autres sources).

La construction de nouveaux barrages pour l'approvisionnement en eau et les transferts d'eau auront un impact sur le bon état des eaux. L'interruption du débit d'un cours d'eau ou les transferts d'eau modifient inévitablement l'état des masses d'eau et sont soumis en tant que tels à des critères spécifiques et stricts. Par ailleurs, les grands projets provoquent souvent des conflits sociaux et politiques entre les bassins donateurs et récepteurs, qui compromettent leur durabilité. Ces infrastructures ne pourront pas être envisagées comme seule solution. En effet, on a vu en partie I.3 que de nombreux bassins verront certainement leurs écoulements annuels diminuer. Même si on arrivait à compenser les impacts environnementaux de tels ouvrages, le risque de ne pas réussir à les remplir est fort. De plus, il se peut que la grande majorité des sites facilement utilisables aient déjà été équipés.

Des options alternatives telles que le dessalement de l'eau de mer ou la réutilisation des eaux usées apparaissent de plus en plus comme des solutions envisageables localement en Europe. Il faudra veiller à ce que tous les effets préjudiciables liés à des infrastructures d'approvisionnement en eau supplémentaires telles que barrages ou

installations de dessalement soient pleinement pris en compte dans l'évaluation environnementale. Les modifications susceptibles de découler du changement climatique et les objectifs à atteindre dans le cadre de la politique énergétique devront être parfaitement pris en considération pour éviter toute incompatibilité.

Il faudra être vigilant : si l'adaptation de l'offre est retenue, elle ne doit pas être spontanée mais planifiée.

### **Intervention sur les débits d'objectif**

Les SDAGE des principaux bassins déficitaires s'appuient dès aujourd'hui sur des débits objectifs d'étiage et de crise (en vigueur dans les bassins Adour-Garonne et Loire-Bretagne, en cours de définition dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse).

L'augmentation de la température des cours d'eau, la modification de la répartition des poissons, l'augmentation des besoins en prélèvements, le besoin de dilution des eaux de rejets des stations d'épuration, (...), nécessitent de stabiliser au niveau national des lignes directrices claires pour la définition des objectifs de débit en période d'étiage d'autant plus que la discussion locale sur la ressource exploitable fera certainement resurgir cette question. Les impacts du changement climatique sur les ressources en eau pourraient imposer de réviser à la hausse ces objectifs de débit en période d'étiage afin de réduire la pression sur les milieux aquatiques et de respecter les dispositions de la directive-cadre sur l'eau. A l'inverse, toute réduction des débits objectifs d'étiage associée au maintien voire à l'augmentation des prélèvements d'eau ne peut à ce stade être considérée comme une option d'adaptation au changement climatique, du fait de son incidence sur la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau (risque de non atteinte des objectifs de la DCE) et en particulier des impacts environnementaux qu'elle engendrerait. Les objectifs de débit en période d'étiage devant être des outils efficaces de gestion durable des ressources en eau en période de stress hydrique, il serait pertinent de mener une évaluation des méthodes retenues au niveau des bassins pour la définition et le suivi de ces objectifs.

Les recherches liées à l'évaluation des débits environnementaux doivent être prolongées.

## **I.4.2 Moyens de la connaissance**

La politique d'adaptation nécessitera de lancer un certain nombre de programmes de recherche dans des domaines très variés et en particulier technologiques pour la réalisation d'économies d'eau.

Néanmoins un certain nombre de points peuvent d'ores et déjà être mis au programme des investigations.

### **I.4.2.1 Prolongement des études spécifiques croisant les distributions climat x sols x systèmes de culture**

Afin de donner une visibilité à la profession agricole, en prolongement des travaux de l'ESCo Sécheresse, des études du type CLIMATOR de l'INRA, devront être poursuivies au fur et à mesure de l'amélioration de la connaissance climatique de manière à réorienter la politique agricole locale en fonction des capacités de production (sol, eau, etc.).

#### **I.4.2.2 Connaissance des réactions des milieux au changement climatique**

Des programmes d'études ont été engagés récemment sur quelques bassins importants (Meuse Loire, Garonne amont, Gironde) ou se poursuivent dans le cadre de programmes anciens (Piren Seine, GICC Rhône). Ces programmes devraient être multipliés à l'avenir en ciblant les milieux déficitaires en ressources en eau mal connus (zones humides littorales).

#### **I.4.2.3 Évaluation des gains des milieux aquatiques**

Les évaluations financières des gains des milieux (selon les fonctions de ceux-ci) devront être prolongées de manière à pouvoir comparer le plus justement possible les différents scénarios d'adaptation.

#### **I.4.2.4 Évaluation des débits d'objectifs**

Pour pouvoir répondre aux demandes de révision des classes de qualité, débits d'objectifs, minimum biologique, etc., il est nécessaire de stabiliser au niveau national des lignes directrices claires pour la définition des objectifs de débit en période d'étiage d'autant plus que la discussion locale sur la ressource exploitable fera ressortir cette question. Les recherches liées à l'évaluation des débits réservés doivent être renforcées.

#### **I.4.2.5 Prise en compte de la non-stationnarité du climat dans les projets**

Les procédures administratives ne prennent pas encore en compte la non-stationnarité du climat. L'évaluation des projets devra prendre en compte les changements projetés. Les modalités de cette prise en compte devront être insérées dans la réglementation environnementale.

### **I.4.3 Conclusions du chapitre**

Les territoires ne seront pas touchés de manière uniforme par les impacts du changement climatique (et même ceux des changements globaux). La réponse aux impacts devra engager d'une certaine manière une solidarité locale dans chaque bassin entre les différents usagers et, selon des modalités à définir, certainement entre les bassins qui ne seront pas soumis aux mêmes contraintes climatiques.

L'adaptation des usagers de l'eau devra se faire à travers les outils de planification disponibles tels les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

Ces derniers sont élaborés par les comités de bassin, assemblées regroupant les différents acteurs, publics ou privés, agissant dans le domaine de l'eau. L'objet de ces assemblées est de débattre et de définir de façon concertée les grands axes de la politique de gestion de la ressource en eau et de protection des milieux naturels aquatiques, à l'échelle de grand bassin versant hydrographique.



Carte 12 - découpage territorial des comités de bassin  
(([http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/france/02\\_instances\\_carte.htm](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/france/02_instances_carte.htm)))

La mise en œuvre de la DCE nécessitera une révision des SDAGE en 2015 puis en 2021. Ces révisions s'accompagneront d'une prise en compte accrue du changement climatique dans les documents de planification. Elles seront l'occasion d'un débat sur les objectifs de répartition des ressources en fonction des demandes et des capacités des milieux dans un contexte de changement climatique.

Aujourd'hui, la mobilisation des gestionnaires de l'eau est encore faible vu le contenu actuel des SDAGE en préparation. Leur mobilisation impliquera de lier le changement climatique avec un ensemble de changements globaux auxquels ils sont confrontés dès aujourd'hui: déficit de ressources en eau en Adour-Garonne, problème de contaminations par les toxiques des eaux superficielles et souterraines en Seine-Normandie, pollutions agricoles en Bretagne, protection des milieux littoraux sur la méditerranée, etc.

De ce point de vue on peut observer que la plupart des stratégies actuellement engagées sont « sans regret », prioritaires et concourent à réduire les effets du changement climatique. Il faudra néanmoins s'assurer de la capacité des acteurs de l'eau à faire face aux enjeux de la DCE tout en répondant avec cohérence au défi de l'adaptation au changement climatique.

Les incertitudes actuelles liées au changement climatique, en particulier à horizon 2030 plutôt qu'au delà de 2050 expliquent, aussi en partie, la difficulté de mobiliser aujourd'hui les acteurs de l'eau. La capacité de répondre avec des outils de planification pour le monde de l'eau supposerait que les prévisions à long terme soient rapidement complétées par des prévisions à moyen terme.

## **II Rapport du Groupe Risques naturels et assurance**

## II.1 Introduction

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) définit un événement météorologique extrême comme un événement rare à un endroit donné et une période de l'année donnée (en-deçà du 10ème ou au-delà du 90ème quantile de la fonction de distribution de probabilité observée). Quand on observe une certaine persistance dudit événement (sur une saison par exemple), il devient un événement climatique extrême, notamment quand sa moyenne ou son cumul sont également extrêmes (sécheresse, cumul de précipitations).

Selon le 4ème rapport du GIEC, le changement climatique aura une incidence sur la fréquence, l'intensité et/ou la durée de nombreux événements météorologiques ou climatiques extrêmes, tels que inondations, sécheresses hydriques, tempêtes, canicules. La qualification de cette incidence (positive ou négative, significative ou non) dépend de la région concernée<sup>14</sup>. Des effets dérivés comme les changements progressifs et non linéaires dans les écosystèmes ainsi que l'augmentation de la vulnérabilité pourront aggraver les conséquences des événements extrêmes.

Le GIEC a également retenu, lors de son assemblée générale d'avril 2009, la proposition de la Norvège d'un rapport spécial sur la gestion des risques d'événements climatiques extrêmes et de catastrophes avec l'objectif identifié de faire avancer la question de l'adaptation au changement climatique. Les stratégies et les pratiques actuelles dans le domaine de la gestion des risques de catastrophes sont en effet les premières approches de réduction de l'exposition ou de la vulnérabilité et d'augmentation de la résilience face aux événements climatiques extrêmes actuels et futurs. La proposition, élaborée par un panel d'experts pluri-disciplinaires, prévoit en premier lieu de comprendre les facteurs qui rendent les personnes et les infrastructures vulnérables aux événements extrêmes, avant d'aborder les changements récents et futurs dans la relation entre climat et événements extrêmes et enfin la gestion des risques de catastrophes à différentes échelles spatiales et temporelles.

Par ailleurs, le rapport norvégien « Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security »<sup>15</sup> met en avant le rôle critique de facteurs tels que le niveau de développement, les inégalités et les pratiques culturelles dans la gestion des risques et l'adaptation au changement climatique et souligne que la sécurité des hommes est liée au niveau de développement de leur capacité à être confronté au changement et à l'incertitude. La question de l'adaptation au changement climatique est notamment prise en compte par l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) dans le cadre de l'orientation de la coopération pour le développement<sup>16</sup>.

Le groupe thématique « Risques naturels et assurances » du Groupe interministériel sur « impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés » (GT RNACC) se trouve donc au cœur des préoccupations internationales actuelles à la fois comme récepteur (les aléas tels que les événements météorologiques extrêmes sont une composante essentielle des risques naturels, la vulnérabilité et les enjeux étant l'autre)

---

<sup>14</sup> Les impacts du changement climatique sur les aléas inondation, retrait-gonflement des sols argileux, submersion marine et érosion et gravitaires en France seront décrits brièvement dans les chapitres suivants sur la base des connaissances disponibles.

<sup>15</sup> O'Brien *et al.*, 2008

<sup>16</sup> OCDE, avril 2009

et comme source de stratégies et bonnes pratiques en matière de gestion des risques. Il se focalise sur l'étude de l'impact du changement climatique sur les risques naturels, combinaison d'un aléa météorologique et d'enjeux exposés et sur les dommages associés. Les aléas, résultant « d'agent naturel présentant une intensité anormale », qui correspondent à un événement météorologique ou climatique extrême tel que défini par le GIEC, retiennent particulièrement l'attention. Cette définition de l'aléa est inscrite dans le code des assurances (cf. Encadré 4), assurances qui, en France, assurent le « portage » de la politique d'indemnisation et de solidarité des catastrophes naturelles. Les systèmes assuranciers et de mutualisation/solidarité constituent par ailleurs un des moyens possibles de la gestion des impacts du changement climatique. C'est pourquoi le groupe a été chargé d'étendre sa réflexion aux conséquences en matière d'assurances. Sa réflexion est d'ailleurs aidée par l'existence de données économiques liées à ce « marché du risque ».

#### *Encadré 4 : le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles*

Le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles est institué en métropole par la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. Sont considérées comme des catastrophes naturelles au sens du régime CatNat les « dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel » (article L.125-1 du code des assurances). Ce régime est dit « à péril non dénommé » : il n'existe pas de liste exhaustive des périls qu'il couvre.

Ce régime est financé par une prime additionnelle (surprime) appliquée à tout contrat d'assurance de dommages aux biens dont le taux est uniforme et fixé par l'Etat. Les assureurs ont la possibilité de se réassurer auprès de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), qui peut faire appel à la garantie de l'Etat lorsque ses provisions accumulées ne lui permettent pas de faire face à la totalité des sinistres.

L'objectif du groupe va être de caractériser, en France métropolitaine uniquement<sup>17</sup>, les variations en fréquence et/ou en intensité des aléas introduites par le changement climatique et d'évaluer l'impact de ce « delta » sur les enjeux exposés et les coûts associés en termes de dommages ; puis de proposer, en conséquence et si nécessaire, des mesures d'adaptation pertinentes, notamment de la politique actuelle de prévention des risques naturels et de les évaluer. Dans la suite, l'hypothèse de non évolution voire de réduction d'un aléa donné sous l'effet du changement climatique n'est pas *a priori* écartée, mais évaluée au vu des connaissances disponibles.

### **II.1.1 Quels sont les aléas étudiés par le groupe ?**

Le GT RNACC étudie donc en particulier le risque d'inondation, le risque côtier (submersion et érosion) et le risque lié au retrait-gonflement des sols argileux sous l'effet de la sécheresse (RGA). Il n'a pas retenu, au-delà de la phase 1 et à ce stade, le risque de tempête, considérant, au vu de la connaissance actuelle sur le sujet, une hypothèse de non évolution de l'aléa considéré (cf. Encadré 5 p. 1). Il a en revanche porté une attention particulière aux aléas gravitaires<sup>18</sup> (les avalanches, les crues et laves torrentielles, les coulées boueuses ainsi que les glissements et mouvements de pentes

---

<sup>17</sup> Les départements d'Outre-mer sont dans un premier temps écartés même si les risques naturels catastrophiques y sont élevés : la prise en compte correcte de leurs spécificités n'est pas envisageable dans les temps impartis.

<sup>18</sup> Voir le rapport général (Partie I) pour une présentation détaillée de la méthode

constituées de sols, les éboulements de masses rocheuses, les effondrements d'origine souterraine) concernant en particulier les zones de montagne. En effet, malgré des difficultés d'évaluation certaines liées à la nature des aléas en jeu et notamment leur caractère très discontinu dans le temps et dans l'espace, compte tenu de leur importance socio-économique, l'objectif était de faire le point sur les interactions possibles entre changement climatique et aléa gravitaire, sans à ce stade envisager de quantification.

L'impact du changement climatique sur les incendies de forêt a fait l'objet d'un échange avec le groupe thématique « Forêt ». Les travaux en cours seront présentés, dans le cadre de ce groupe. Il apparaît que cet aléa est lié à la sécheresse hydrique et à l'extension de l'écosystème méditerranéen qui lui-même pourrait évoluer.

La question des extrêmes de température et canicules associées est abordée dans ce rapport uniquement sous l'angle de son impact sur l'aléa RGA : les groupes santé, énergie et territoire l'abordent sous des angles qui leur sont propres, avec cependant cohérence dans le choix des hypothèses. Enfin, la question de la sécheresse au sens de pénurie d'eau n'est pas traitée dans ce rapport; elle est abordée dans les groupes eau et agriculture notamment.

Sont exclus du travail présenté ci-après les inondations par remontées de nappes et le ruissellement. Les inondations urbaines liées au ruissellement pluvial pourraient voir leur fréquence et leur intensité augmenter comme conséquence du changement climatique. Or très peu de données économiques relatives à ce type d'événements, qui peuvent pourtant créer des dommages importants pour des occurrences décennales ou vingtennales (précipitation), sont disponibles. Il est donc difficile, dans l'état actuel de la connaissance, de les intégrer dans l'évaluation de l'évolution des coûts, alors qu'ils pourraient avoir un impact significatif. Pour le ruissellement urbain, un scénario est présenté uniquement à titre expérimental dans le rapport du sous-groupe inondation.

#### *Encadré 5 - Pourquoi n'avons-nous pas retenu l'aléa tempête ?*

La survenue de la tempête Klaus du 24 janvier 2009 dans le sud-est de la France et en Espagne, presque dix ans après les deux tempêtes Lothar et Martin qui ont marqué la fin de l'année 1999, a soulevé la question de l'augmentation de la fréquence sur la France des événements de ce type liée au changement climatique.

Le 4ème rapport du GIEC indique que l'on pourrait assister à un déplacement vers le nord des trajectoires des dépressions mais sans donner d'indication sur l'augmentation des intensités des vents associés. Les travaux menés récemment en France dans le cadre du projet IMFREX sont assez concordants avec les résultats précédents et montrent une augmentation faible du risque de tempête sur la partie Nord de la France et aucune modification sur la partie Sud.

Il paraît donc légitime, au vu de ces résultats, de ne pas prendre en compte cet aléa dans le cadre de cette étude sur les impacts du changement climatique sur le territoire métropolitain.

## **II.1.2 Objectifs et organisation des travaux**

La commande repose sur un objectif d'estimation des coûts (des impacts et de l'adaptation au changement climatique) à fournir dans un délai réduit. Le sujet lui-même du changement climatique repose sur le 4ème rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dont les hypothèses ont pu être nourries au cours du travail.

Compte tenu des marges d'incertitude, de la multiplicité des hypothèses et de la diversité des débats et discussions relatifs aux impacts du changement climatique, aux échelles d'observation, à l'évolution probable mais imprévisible des enjeux, à la difficulté de retenir une méthode spécifique d'évaluation, le groupe de travail a fait des choix sans doute réducteurs par rapport à l'ampleur de la question, mais nécessaires pour formuler une réponse cohérente dans un cadre bien défini.

Ont ainsi été retenus :

- le cadre de travail fixé par le groupe plénier ;
- en l'absence d'une prospective socio-économique de long terme (2100), régionalisée et par secteur en France, le travail est effectué en conservant la situation socio-économique française actuelle (scénario dit à économie constante). Ainsi l'effet « changement climatique » peut être isolé ;
- sont utilisés principalement deux scénarios de changement climatique issus du 4ème rapport du GIEC présentant deux visions contrastées (A2 et B2) et deux simulations (Météo-France et Institut Pierre-Simon-Laplace), à trois horizons différents : 2030, 2050 et 2100 ;
- l'utilisation des données de dommages des assureurs ;
- la détermination des principaux aléas concernés par une aggravation potentielle en conséquence du changement climatique ;
- une méthode d'évaluation par grandes tendances du « delta » introduit par le changement climatique sur les aléas naturels.

Le groupe de travail aboutit ainsi à une première estimation du coût des dommages, pour les aléas principaux concernés par le changement climatique, qui permet de déterminer des tendances d'évolution qui ne devront être exploitées qu'en tenant compte des hypothèses retenues.

Pour ce faire, les travaux du groupe ont été organisés comme suit. Des sous-groupes par aléa (inondation, risque côtier, RGA et aléas gravitaires) ont été constitués. Dans un premier temps, chaque sous-groupe a établi une synthèse des résultats existants :

- d'une part en termes d'impacts du changement climatique sur les aléas considérés ;
- d'autre part sur les enjeux actuellement exposés (population, logements, entreprises) et sur les coûts actuels des dommages correspondant.

Dans un deuxième temps, des scénarios ou des hypothèses « raisonnables » d'impacts du changement climatique sur les aléas naturels sont proposés et appliqués à des territoires d'échelles variées selon les aléas (France, région Languedoc-Roussillon, bassins versants). L'objectif est *in fine* de proposer des éléments méthodologiques permettant d'arriver à terme à l'estimation du coût du « delta » introduit par le changement climatique sur les aléas naturels.

L'établissement de résultats chiffrés à l'échelle du territoire national s'avère souvent trop incertain compte tenu des connaissances actuelles sur les impacts du changement climatique sur les aléas et sur les aléas et les enjeux eux-mêmes. Il est important de souligner ici plusieurs limites de l'exercice :

- les scénarios de changement climatique fournissent des indications relativement claires sur des tendances globales et régionales, mais qui sont très difficilement applicables à l'échelle très locale de certains aléas ;
- les scénarios de changement climatique n'ont pas le même niveau d'incertitude en fonction de la région considérée et de la variable choisie : ainsi l'analyse des

simulations réalisées pour le 4ème rapport du GIEC montre sur la France une bonne cohérence des modèles dans leur simulation de l'évolution des températures ; les modèles sont beaucoup plus divergents pour les précipitations, une variable pourtant essentielle pour les aléas étudiés ici.

Les travaux réalisés enfin sur le volet « mesures d'adaptation et coûts associés » sont en premier lieu méthodologiques et sont partis d'un examen des différents volets de la politique actuelle de prévention des risques naturels.

Le groupe plénier RNACC s'est réuni régulièrement pour suivre et coordonner et, en tant que de besoin, orienter les travaux des sous-groupes.

### **II.1.3 Composition du groupe**

Le GT RNACC associe notamment les établissements publics compétents (BRGM, INERIS, CEMAGREF, Météo-France, ONF, CSTB), les administrations concernées (CNRS, DGPR/SRNH, CGDD, CETMEF, CETE Lyon et Méditerranée, Direction régionale de l'équipement Languedoc-Roussillon), la Mission risques naturels (MRN), l'Association française de prévention des catastrophes naturelles (AFPCN), le Centre européen de la prévention du risque d'inondation (CEPRI) et des Établissements publics territoriaux de bassin (EPTB).

La composition des 4 sous-groupes est présentée en Annexe D.2.

Après un rapide panorama des risques étudiés, en climat actuel, le rapport présente l'évaluation du coût des impacts du changement climatique sur chaque risque (RGA, inondation, côtier et de manière plus restreinte, gravitaire) pris séparément. Il s'attache ensuite à analyser et discuter les résultats notamment en questionnant la durabilité de la politique actuelle de gestion et en dressant des perspectives relatives à l'adaptation au changement climatique. Il présente enfin les besoins et pistes identifiées pour poursuivre la démarche.

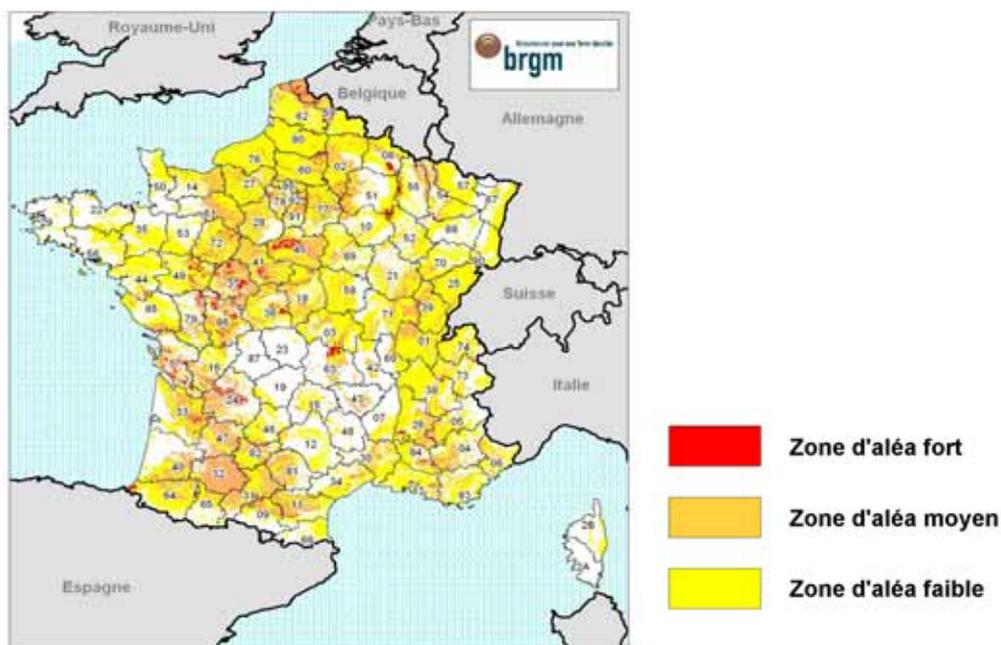
## **II.2Présentation succincte des risques étudiés (climat actuel)**

On présente ici quelques éléments généraux de contexte sur l'exposition actuelle de la France aux différents aléas naturels étudiés puis une rapide présentation de ce que l'on entend par vulnérabilité.

### **II.2.1 Retrait-gonflement des sols argileux**

L'aléa retrait-gonflement des sols argileux est un phénomène naturel dû pour l'essentiel à des variations de volume de sols argileux sous l'effet de l'évolution de leur teneur en eau. Ces variations de volume, hétérogènes au niveau du sol d'assise des bâtiments, se traduisent notamment, en période de sécheresse, par des tassements différentiels susceptibles de provoquer des dommages affectant principalement le bâti individuel.

En climat tempéré, le phénomène peut se déclencher, sous certaines conditions préalables concernant la nature du sol, le contexte hydrogéomorphologique, la végétation et la qualité de la construction, notamment lors des sécheresses estivales qui sont responsables de la majorité des sinistres liés au RGA. La quasi-totalité des départements sont concernés à des degrés divers (cf. Carte 13) et près de 400 000 maisons individuelles (sur un total de 16 millions) sont situées en zone d'aléa fort.



Carte 13 - Carte provisoire de l'aléa retrait-gonflement des argiles (BRGM)

Le coût d'indemnisation de ces sinistres (CatNat) s'élève à près 3,9 milliards d'euros sur la période 1989-2003, dont 1,3 milliard en 2003 (source : Caisse centrale de réassurance, septembre 2008) ; selon le rapport de la FFSA, ce coût représente environ 18% du montant total des indemnisations versées par les assurances pour des catastrophes naturelles (50% de ce montant est dû aux tempêtes, aléa hors système CatNat).

## II.2.2 Inondations

L'aléa inondation concerne des surfaces relativement modestes mais très attractives (les vallées sont des axes de développement et d'échanges) ; 5 à 6 millions de personnes y résideraient. Au-delà de la typologie physique des écoulements facteurs d'aléas, il faut prendre en considération aussi bien des phénomènes locaux que des événements globaux touchant un ou plusieurs bassins. Le potentiel catastrophique de cette deuxième catégorie d'événements est insuffisamment connu et estimé.

Le coût CatNat d'indemnisation des sinistres liés aux inondations s'élève à près de 11 milliards d'euros sur la période 1988-2007<sup>19</sup> ; il représente un tiers du montant total des indemnisations versées par les assurances pour des catastrophes naturelles sur cette période.

## II.2.3 Submersion et érosion

L'aléa côtier concerne par définition les zones côtières. Il regroupe les submersions marines et l'érosion. Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière, conséquences de la concomitance de phénomènes météorologiques et

<sup>19</sup> rapport FFSA

marins défavorables. L'érosion des côtes est un phénomène naturel répandu qui à certains endroits est aggravé par les activités humaines. Les côtes sableuses sont les plus affectées par ce phénomène ainsi que les falaises de roche tendre. Un quart du littoral métropolitain recule en conséquence d'un phénomène d'érosion.

La pression démographique est très forte sur les zones côtières. Sur un peu plus de 4% du territoire se concentre près de 10% de la population, soit environ 6 millions d'habitants. A cela, il faut ajouter une très forte pression touristique.

A cette forte densité humaine, correspond un haut niveau d'artificialisation des territoires. Les terres urbanisées représentent près de 10% du territoire des communes littorales contre un peu moins de 4% sur l'ensemble de la métropole. Plus on se rapproche de la mer, plus ces territoires artificialisés occupent une part importante du territoire : près de 30% à moins de 500 mètres contre 6% entre 5 et 10 kilomètres.

Ces territoires artificialisés jouxtent des milieux naturels ouverts et des zones humides très présents en bord de mer alors que les terres agricoles sont sous-représentées par rapport à la moyenne métropolitaine.

Il s'agit donc d'un espace où se concentrent des enjeux économiques, des infrastructures de transport et une urbanisation importante et des milieux très riches sur le plan écologique. Il est donc largement vulnérable aux aléas côtiers (cf. l'étude de la vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux pilotée par le CETMEF).

Lors des tempêtes, le choc mécanique des vagues ou les submersions temporaires induisent des dégâts et des dommages sur les installations et les activités humaines. A titre d'illustration, le Tableau 8 ci-après reprend l'évaluation financière des dommages réalisée par la DRE Languedoc-Roussillon pour deux événements significatifs à l'échelle du Golfe du Lion (tempêtes de 1997 et 2003).

*Tableau 8 - Evaluation financière des dommages des tempêtes de 1997 et 2003 (DRE Languedoc-Roussillon).*

Catégories de dommages	Tempête 1997 (en millions d'€ 2007)	Tempête 2003 (en millions d'€ 2007)
Cordon dunaire	5,3	3,7
Digues	4,2	0,3
Embâcles	1,3	0,6
Infrastructures portuaires	6	7,1
Ouvrages de protection en mer	1,8	1,6
total	18,6	13,4

Les estimations ont été réalisées peu de temps après les événements et ont été ramenés en euros valeur 2007 en utilisant l'évolution de l'indicateur du pouvoir d'achat. Les données ne donnent en aucun cas les investissements réellement réalisés.

## II.2.4 Aléas gravitaires

Concernant principalement les territoires de montagne, les aléas gravitaires n'ont pas le caractère destructeur et l'ampleur territoriale d'une inondation majeure ou une tempête. Cependant la France métropolitaine a, depuis le début du vingtième siècle, été le lieu d'une vingtaine d'événements qualifiés de « très graves » et plus ou moins directement associés à des aléas gravitaires (notamment les crues torrentielles du Gard en 2001, les avalanches de Montroc en 1999 et Val d'Isère en 1970, la coulée boueuse du plateau d'Assy en 1970, l'effondrement de Clamart en 1961). Ces événements ont soit causé plus de 10 victimes, soit engendré plus de 30 millions d'euros de dommages matériels.

A ces désordres importants, ayant marqué la mémoire collective régionale, s'ajoute l'aspect récurrent de nombreux événements de gravité moindre mais pouvant faire des victimes ou des dégâts matériels conséquents.

## **II.3 Préalable méthodologique : l'évaluation de la vulnérabilité**

### **II.3.1 L'évaluation de la vulnérabilité : une approche simplifiée pour des résultats de référence**

Sur quoi s'appuie dans ces travaux l'évaluation de la vulnérabilité ? Les enjeux considérés dans la suite sont les personnes, les logements et les entreprises. Une évaluation quantitative des enjeux exposés (nombre) est effectuée ensuite pour les territoires concernés (pour chaque aléa). Concernant les dommages associés aux différents risques étudiés, ils concernent uniquement les coûts directs aux logements, évalués à partir des données CatNat. Les coûts directs aux entreprises et aux infrastructures, ainsi que les coûts indirects ne sont pas pris en compte.

Conformément à l'hypothèse d'économie constante, l'évolution temporelle des enjeux n'est pas prise en compte, en termes quantitatifs, à l'exception d'une étude relative à l'impact du changement climatique sur le risque de retrait-gonflement des sols argileux à l'horizon 2030, qui concerne les maisons individuelles et prend en compte l'évolution de l'urbanisation. Il faut souligner cependant que, dans bien des cas, on s'attend à ce que cette évolution des enjeux ait un impact plus conséquent sur l'évolution des risques que celui du changement climatique ; c'est ce que l'on observe ces dernières années (cf. « Le point sur : Croissance du nombre de logements en zone inondable »). Ce point sera abordé dans la partie II.9.

### **II.3.2 Méthode employée**

Le modèle d'estimation du nombre d'habitants et de logements soumis aux aléas considérés<sup>20</sup> utilise des données nationales de l'IGN (Corine Land Cover, BD Carto) et de l'INSEE (contours Iris 1999 et BDCOM 1999). Différentes données cartographiques (occupation du sol, population des communes, administratives) sont croisées pour estimer, au moyen d'un modèle linéaire, la population et le nombre de logements dans chaque zone délimitée. Ce modèle ne tient pas compte du caractère principal ou secondaire de la résidence, ni de la hauteur des immeubles, ni de la hauteur des planchers des bâtiments, ni des protections locales.

Le modèle d'évaluation du nombre d'établissements publics et privés soumis aux aléas considérés utilise notamment le répertoire SIRENE 2008 de l'INSEE : les établissements publics et privés sont géocodés et leur position est croisée avec les couches géographiques utilisées, lorsqu'elles existent, pour caractériser l'aléa. Les principales incertitudes des résultats tiennent au caractère non exhaustif et imprécis de la base de données utilisée.

---

<sup>20</sup> Dorelon et Poupat, 2008

## II.4 Le risque de retrait-gonflement des sols argileux

### II.4.1 Les impacts du changement climatique sur l'aléa

Les sécheresses estivales, responsables en climat tempéré de la majorité des sinistres liés au RGA, risquent de devenir plus fréquentes en raison du changement climatique ce qui devrait conduire à une augmentation du nombre des années présentant une sinistralité importante. Par ailleurs, du fait des épisodes de sécheresse estivale supposés plus longs et plus intenses, la profondeur du sol affectée par le phénomène de RGA pourrait être plus importante ce qui serait de nature à amplifier encore l'intensité du phénomène en termes de sinistralité voire à provoquer des modifications plus durables de l'état du sol (par exemple densification) dont les conséquences sont difficilement prévisibles.

### II.4.2 Évaluation quantifiée des impacts

#### II.4.2.1 Périmètre

L'évaluation quantifiée des impacts du changement climatique sur le risque de retrait-gonflement des sols argileux a été réalisée à l'échelle départementale et à l'échelle de la France entière ; les horizons temporels 2030, 2050 et 2100 ont été étudiés avec des enjeux supposés constants. On considère ici uniquement l'impact de l'évolution du risque de retrait-gonflement des sols argileux sur les logements individuels. La France compte environ 11,2 millions de maisons individuelles exposées au risque de RGA sur un total de 15,9 millions, dont près de 400 000 en aléa fort ; 2,5 millions en aléa moyen et 8,2 millions en aléa faible.

Une évolution du nombre de logements individuels a également été modélisée pour l'horizon temporel 2030.

#### II.4.2.2 Scénarios

Au vu des connaissances actuelles sur le phénomène, il est supposé que l'extension géographique du phénomène telle que délimitée par la carte d'aléas (cf. Carte 1) n'évoluera pas.

En l'absence de modélisation hydro-météorologique permettant de comprendre plus précisément l'évolution du front de dessiccation et ses conséquences sur l'amplitude des mouvements du sol disponible dans le cadre de cette étude, il est supposé que le changement climatique ne modifie pas l'intensité du phénomène.

L'approche retenue consiste à tenter de déterminer l'évolution de la période de retour d'une sécheresse géotechnique de type 2003 au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle et ce, en se basant uniquement sur l'évolution de la fréquence des épisodes caniculaires. La température est donc la seule variable climatique prise en compte, même si notamment l'humidité du sol joue sans doute un rôle important.

Une méthode générale et commune<sup>21</sup> de dénombrement des canicules (ou de leur fréquence), basée sur l'utilisation d'une seule simulation du modèle Arpège pour chaque scénario (A2 et B2), a été retenue. Les événements de type « canicule 2003 » sont d'abord comptés dans chaque simulation. Pour palier le manque de définition

---

<sup>21</sup> Voir le rapport général pour une présentation détaillée de la méthode

standardisée de la canicule, un critère fondé sur une restriction de l'indice Stardex<sup>22</sup>, incluant la canicule 2003, a été retenu : une canicule correspond à une période de 12 jours continus où les températures ont dépassé d'au moins 5°C la moyenne.

Ensuite, à partir de ce comptage, deux types de régressions ont été effectuées, en partant du principe que l'incertitude sur les résultats d'Arpège est d'autant plus faible que le nombre d'épisodes de canicule est important :

- une régression linéaire entre la fréquence moyenne actuelle de canicule et celle calculée sur la période 2071-2100, simplificatrice mais présentant l'avantage de se baser sur les données d'incertitude minimale (en fin de siècle) ;
- une régression non linéaire entre les fréquences sur 20 ans à trois horizons (2070, 2080 et 2090) et la fréquence moyenne actuelle, permettant d'avoir une courbe de croissance plus progressive mais s'appuyant sur des moyennes sur 20 ans, plus incertaines que celle sur 30 ans.

Ces deux types de régression à partir des comptages Arpège sont utilisés pour borner le nombre de canicules (hypothèse de travail) aux horizons 2030, 2050 et 2100. Le Tableau 9 présente les résultats obtenus en fonction du scénario.

Tableau 9 - Nombre de canicules sur la période indiquée

Scénario	2000-2030	2000-2050	2000-2100
A2	(0-3)	(2-11)	(32-51)
B2	(0-1)	(1-4)	(18-25)

### II.4.2.3 Méthodologie

(1) La répartition des maisons individuelles par zone d'aléa et par département est établie en utilisant la méthode présentée au paragraphe II.3.2.

(2) L'estimation du nombre (et du pourcentage) de sinistres par zone d'aléa est effectuée à l'échelle départementale à partir des coûts d'indemnisation comptabilisés par la Caisse centrale de réassurance (CCR) et du recensement des sinistres par le BRGM dans le cadre de sa cartographie de l'aléa. L'année 2003 est distinguée des autres.

(3) Les données (1) et (2) ci-dessus (répartition des maisons et estimation du nombre de sinistres par zone d'aléa) permettent de calculer le pourcentage de maisons individuelles sinistrées dans chaque zone d'aléa. On supposera qu'il reste constant.

On suppose que, pour la modélisation du coût moyen des dommages annuels, chaque année peut se décrire comme la combinaison linéaire de deux années-type : une année de type « bruit de fond » (caractérisée par un coût annuel moyen de 200 millions d'euros) et une année exceptionnelle de type 2003 (caractérisée par un coût annuel de 1350 millions d'euros). On suppose également que le paramètre lié à la température (fréquence des canicules) permet de quantifier, chaque année, la probabilité d'avoir une année type « bruit de fond » et la probabilité d'avoir une année de type 2003. Le coût CatNat moyen d'un sinistre est fixé à 10 200€ et 1 500€ de franchise<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> Une forte chaleur selon Stardex correspond à 5 jours consécutifs dépassant d'au moins 5°C la moyenne.

<sup>23</sup> source CCR

Deux évaluations du coût de l'impact du changement climatique à différents horizons temporels sont effectuées :

1 - Évaluation à l'échelle nationale selon une méthode calquée sur la méthode mise en œuvre dans l'annexe technique du rapport « Financial risk of climate change » (ABI),

2 - Évaluation à l'échelle départementale s'appuyant sur les données aléas à cette échelle (susceptibilité au retrait-gonflement, nombre de sinistres et localisation, nombre de maisons individuelles et évolution du nombre de maisons individuelles selon des données INSEE 1990-99).

L'évaluation à enjeux constants est effectuée aux horizons 2030, 2050 et 2100.

Des simulations prenant en compte une hypothèse d'évolution du nombre de maisons individuelles sont réalisées à l'horizon 2030 (selon des données INSEE 1990-99). On pose alors l'hypothèse que le nombre de maisons individuelles croît de 0,925% par an dans l'estimation à l'échelle nationale. A l'échelle départementale, on considère une poursuite linéaire de l'urbanisation par extrapolation de la croissance observée entre 1990 et 1999, sans distinction de la zone d'aléa.

#### **II.4.2.4 Limites**

Les effets cumulatifs de sécheresses successives rapprochées qui pourraient se traduire par une intensification du phénomène sont négligés et l'évolution de la fréquence des canicules est le seul facteur considéré pour évaluer le « delta » des dommages dû au changement climatique (et pas par exemple les précipitations). Enfin, il est important de souligner la rusticité d'un modèle à deux états (2003 ou « bruit de fond ») et l'incertitude importante concernant l'évolution du bruit de fond (qui pourrait modifier les résultats de manière significative).

L'évolution de l'urbanisation est supposée soit homogène à l'échelle nationale, soit de progression linéaire à l'échelle départementale, ce qui constitue des approximations fortes. Par ailleurs, le fait de supposer que la fraction de maisons sinistrées par zone d'aléa et par département est constante (3), permet d'avancer parmi les multiples hypothèses mais conditionne largement les résultats.

#### **II.4.2.5 Résultats**

##### **Coûts à enjeux constants (2030, 2050, 2100)**

Si on fait l'hypothèse de l'absence d'urbanisation nouvelle, le coût moyen annuel des dommages (exprimé en millions d'euros) passe environ de 220 (référence sur la période 1989-2003) à 700 (B2) ou 1300 (A2) en 2100 ; il est donc multiplié par un facteur compris entre 3 et 6. Il est important de souligner que les départements ne connaissent pas tous la même évolution du nombre de sinistres et ce, en fonction de leur situation initiale (notamment de la différence en nombre de sinistres entre 2003 et les autres années).

##### **Coût avec évolution de l'urbanisation (2030)**

Si on prend en compte une évolution des enjeux d'ici 2030 (urbanisation) et donc une augmentation de l'exposition à l'aléa RGA, malgré les efforts d'adaptation, on s'aperçoit que les coûts augmentent significativement. Le coût augmente d'environ 17% sur la période 2010-2030 lorsque le nombre de maisons individuelles croît de 0,925% (évaluation à l'échelle nationale quelle que soit l'hypothèse retenue). Avec une évolution de l'urbanisation différenciée selon les départements, le coût des dommages pourrait être multiplié par 10 sur certains départements, plus couramment par 4 ou 5 dans l'hypothèse de changement climatique la plus défavorable.

#### **II.4.3 Évaluation quantifiée de scénarios d'adaptation à ces impacts**

L'objectif de cette étude vise à comparer les coûts relatifs à deux types d'adaptation au changement climatique envisagés, en dehors de toute considération de leur efficacité, au coût des dommages potentiels « sans adaptation » et ce afin d'identifier les zones sur lesquelles une telle adaptation se justifie.

Les deux types d'adaptation étudiés sont :

- une adaptation des fondations des maisons individuelles ;
- des dispositions plus globales telles que celles préconisées dans les règlements des Plans de prévention des risques naturels (PPRN).

Ces deux voies complémentaires sont explorées car elles ne se traduisent pas nécessairement par le même type d'approche en termes de stratégie d'adaptation au changement climatique.

Dans l'optique d'un traitement purement géotechnique du problème de RGA, qui consiste à concevoir le mode de fondation le plus adapté pour permettre à la construction de résister quelle que soit l'amplitude des mouvements du sol d'assise, la connaissance de l'augmentation de l'amplitude des mouvements du sol est effectivement cruciale. Différentes solutions techniques d'adaptation des modes de fondation des habitations individuelles sont comparées et leurs coûts et conditions de mise en œuvre évalués. Elles consistent à concevoir des fondations superficielles différemment, réaliser un sous-sol complet ou utiliser des fondations profondes protégées. Ces propositions n'en sont pas au même stade de maturité ; elles sont brièvement présentées en Annexe E.1

Dans le cas d'une démarche préventive plus globale, conforme à celles préconisées par les mesures forfaitaires des actuels PPRN sécheresse géotechnique qui prévoient à la fois l'amélioration de la qualité de la construction, fondations et structure et la diminution de

l'ampleur des sollicitations par une meilleure maîtrise des variations hydriques du sol, l'adaptation des fondations est accompagnée de diverses mesures préventives pour que les bâtiments résistent aux effets du retrait-gonflement.

#### **II.4.3.1 Méthodologie**

On s'intéresse ici à une nouvelle maison individuelle construite en France entre 2010 et 2030. Le coût moyen de la construction considéré s'élève à 100 000€ et le coût moyen d'un sinistre est considéré égal à 11 700€. Pour ces nouvelles maisons individuelles, il est considéré que le surcoût de l'adaptation s'élève à 15% dans l'hypothèse d'adaptation des fondations et de 8%, dans l'hypothèse de dispositions globales (ce surcoût demanderait à être réévalué). Aucune actualisation des coûts n'a été considérée pour la période 2010-2040.

La méthode employée consiste à définir un seuil (niveau d'aléa) au-dessus duquel les mesures se justifient en termes de coût.

Il convient de bien garder à l'esprit que le recul manque pour juger de la validité et de l'efficacité en termes de rapport coûts/bénéfices des mesures constructives préventives actuellement préconisées, ce qui incite à une certaine prudence quant à leur extrapolation ou leur adaptation éventuelle.

L'étude concernant les mesures d'adaptation ne s'intéresse qu'aux constructions futures (aux maisons individuelles dont les fondations sont souvent plus légères et qui subissent le plus souvent les conséquences du risque de RGA) et aux mesures planifiées. Elle ne prend pas non plus en compte les avantages générés par les mesures de prévention du risque de RGA, comme par exemple une meilleure résistance aux tempêtes ou à d'autres sollicitations mécaniques.

#### **II.4.3.2 Résultats**

##### **En climat actuel**

Pour un coût moyen des sinistres d'environ 11 700€, il faut descendre à des sous-zones de la carte, par exemple « les Alpes de Haute-Provence en zone d'aléa fort », pour trouver des périmètres au sein desquels la prévention systématique serait rentable (pour la prévention « dispositions globales » et « adaptation des fondations »).

Par contre, si le coût moyen d'indemnisation d'un sinistre lié au RGA augmente (en raison de la valeur du bâti ou si des désordres structurels cachés apparaissent), la mise en œuvre des mesures d'adaptation se justifie sur des zones plus vastes, comme la zone d'aléa modéré (pour la prévention « dispositions globales », avec un sinistre moyen à 60 000 euros correspondant à une reprise en sous-œuvre par pieu ou micro-pieu en Ile-de-France d'après Arbizzi et Kreziak, 2009).

##### **Avec changement climatique**

Ces zones sont encore élargies si on prend en compte le changement climatique et l'accroissement du nombre de sinistres potentiels qu'il engendrera. Dans le cas d'un

scénario de type « B2 max<sup>24</sup> », l'approfondissement des fondations, sous l'hypothèse d'un sinistre moyen à 60 000 euros, devient rentable en zone d'aléa « fort ».

## II.5 Le risque d'inondation

### II.5.1 Les impacts du changement climatique sur les inondations

#### II.5.1.1 Précipitations

A la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle, selon les simulations réalisées dans le cadre du 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC, les précipitations diminueront (en valeur moyenne) sur les régions du sud de l'Europe et augmenteront au nord de l'Europe. La France se situerait dans la zone de transition présentant une incertitude sur le signe des changements prévus. Toutefois, en été, il ressort un bon accord des modèles sur un futur assèchement estival.

L'impact du changement climatique sur les précipitations extrêmes est plus délicat à évaluer à partir de simulations de modèles climatiques. Il est cependant attendu une augmentation de la variabilité des précipitations.

#### II.5.1.2 Débits

Les évolutions du régime hydrologique dépendent de la nature des précipitations (pluie ou neige), de l'évapotranspiration et de l'aménagement du territoire (occupation du sol, infrastructures hydrauliques). La plupart des études existantes ont été réalisées à l'échelle de bassins versants, par application de scénarios climatiques, élaborés à partir de simulations désagrégées de modèles de circulation générale, alimentant un modèle hydrologique. On présente ci-après les principales conclusions de ces projets, sur lesquelles se basera la définition des scénarios raisonnables d'évolution des crues et des inondations.

Une étude multi-modèles et globale à l'échelle de la France<sup>25</sup> prévoit<sup>26</sup> :

- Une diminution de la moyenne des débits avec plus précisément une faible diminution des débits en hiver excepté sur le sud-est et une diminution importante en été et en automne, plus marquée sur le sud du pays ;
- Des changements moins clairs pour les débits intenses qui diminuent bien plus faiblement que la moyenne et peuvent même augmenter dans certains modèles, voire en moyenne d'ensemble.

Une étude sur la zone méditerranéenne française<sup>27</sup> a confirmé le fait que, même dans un climat plus sec, les précipitations et les débits extrêmes pouvaient augmenter en automne, sans qu'il soit possible de localiser précisément les zones concernées.

Le projet en cours sur les bassins versants de la Seine et de la Somme (Rexhyss) montre un assèchement prononcé des deux bassins au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, qui s'exprime sur les débits et les niveaux piézométriques, en période d'étiage et de crue. Ces résultats suggèrent notamment une réduction importante de la fréquence des crues débordantes.

---

<sup>24</sup> Borne supérieure de l'intervalle du comptage du nombre de canicules

<sup>25</sup> Boé, 2007

<sup>26</sup> Voir le rapport du groupe Eau pour plus de précisions

<sup>27</sup> Quintana-Seguí, 2008

L'impact du changement climatique sur les rivières à caractère nival a été discuté dans les projets « Rhône » et « Garonne ». La température étant le paramètre le plus influent pour l'évolution du manteau neigeux, les résultats présentés dépendent peu de l'évolution des précipitations. Il apparaît notamment que :

- Le pic printanier de débit dû à la fonte de la neige sera avancé d'un mois environ, le volume total étant constant ou en légère baisse (pour des rivières de moyenne montagne, le caractère nival pourrait disparaître complètement).
- De par la réduction des précipitations sous forme de neige et du manteau neigeux, le risque de crues pourrait être augmenté en automne (crues liées à des précipitations intenses méditerranéennes par exemple), les débits d'étiages estivaux réduits et les débits d'étiages hivernaux augmentés.
- Pour des petits bassins versants englacés, il est possible d'avoir temporairement une forte augmentation des débits moyens et de crue en été liées à la fonte accélérée des glaciers.

## II.5.2 Évaluation quantifiée des impacts

### II.5.2.1 Périmètre

L'horizon temporel considéré est 2100 uniquement : aux autres horizons (2030 ou 2050) pour cet aléa, le signal du changement climatique se distingue mal du bruit.

L'évaluation quantifiée est effectuée sur les bassins versants sur lesquels des données relatives aux dommages observés existent, choisis à titre d'illustration : la Seine en Ile-de-France, la Meuse dans le département des Ardennes, la Loire moyenne entre Nevers et Angers, le Rhône et l'Orb.

On se concentre ici sur les impacts des inondations sur les logements et les établissements publics et privés. Les impacts « intangibles », tels que ceux sur la santé humaine ne sont pas considérés<sup>28</sup>.

### II.5.2.2 Scénarios

On cherche des relations locales entre fréquence et débit maximum des crues « avec ou sans changement climatique », sachant que :

- 1 - Les impacts hydrologiques du changement climatique sont *a priori* variables selon les climats et présentent des incertitudes importantes ;
- 2 - Au vu des impacts prévus notamment sur la température de l'air, il convient de distinguer les rivières où la composante neige est importante ;
- 3 - Les impacts seront également différents selon les bassins versants et les processus à l'origine des événements susceptibles de les affecter (pluies convectives) ;
- 4 - Les corrélations existant entre bassins voisins pour les événements océaniques et convectifs sont difficiles à quantifier<sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> Le lecteur est invité à se reporter au rapport du groupe Santé pour une évaluation de l'impact de l'inondation du Gard (2002) sur la santé.

Le sous-groupe propose donc de définir, à dire d'experts et au vu de la connaissance actuelle, des scénarios raisonnables d'impacts du changement climatique sur l'hydrologie, à l'échelle de quelques bassins versants choisis à titre d'illustration.

Des hypothèses d'évolution sont donc proposées, pour les crues de périodes de retour actuelles 10 et 100 ans (Q10 et Q100), sur les bassins versants (ou secteurs) choisis. Ces hypothèses permettent de faire, sur les bassins versants choisis, des tests de sensibilité « orientés ».

### II.5.2.3 Méthodologie

Une synthèse de l'existant en matière d'évaluation des dommages a été réalisée<sup>30</sup>. Il n'existe pas de méthode standardisée d'évaluation des dommages et de recensement des enjeux en France. Parmi la trentaine d'études répertoriées dans le manuel sus-cité, sept fournissent des résultats à peu près comparables. Elles ne couvrent pas l'ensemble du territoire, sont plus ou moins anciennes, prenant en compte des hypothèses variées et générant un certain niveau d'incertitude inhérent à toute évaluation.

On utilise le critère du dommage moyen annuel (DMA), espérance statistique qui, par construction, « atténue » fortement les événements très rares et leur potentiel catastrophique, au bénéfice des crues plus fréquentes. Ce critère intégrateur et représentatif est fort utile, mais il ne permet pas d'aborder la question spécifique des événements très rares.

On suppose également que le référentiel typologique des crues n'évolue pas, c'est-à-dire que l'effet du changement climatique se traduit uniquement par une translation de la relation entre débit maximum et période de retour d'une crue.

Trois cas vont être analysés, tels que présentés dans le Tableau 10.

Tableau 10 - Hypothèses basse, moyenne et haute retenues sur les bassins versants d'illustration

	Hypothèse basse	Hypothèse moyenne	Hypothèse haute
Loire	+ 5%	+ 10%	+ 20%
Seine	- 10% (à partir de Q100)	+ 10% (à partir de Q100)	
Rhône	5% (à partir de Q100)	10% (à partir de Q100)	20% (à partir de Q100)
Meuse	10%		
Orb	10%	25%	50%

La méthode de travail a consisté à partir des variations de débit (Q10 et Q100), à déterminer les variations de périodes de retour de crue. Ces nouvelles périodes de retour ont ensuite été associées aux dommages calculés dans les études.

Le fait de constituer une hypothèse basse par juxtaposition des hypothèses basses sur les bassins versants et une hypothèse haute par juxtaposition des hypothèses hautes, conduit mécaniquement à minorer le résultat global d'une hypothèse basse et à majorer le résultat global d'une hypothèse haute.

<sup>29</sup> Cette quantification et la modélisation des cohérences entre événements sur des bassins versants différents seraient indispensables pour établir une statistique nationale des impacts des inondations, respectivement en l'absence et en présence du changement climatique.

<sup>30</sup> Manuel des pratiques existantes, Centre européen de la prévention des inondations - CEPRI

#### II.5.2.4 Limites

Dans les études considérées, l'enjeu « réseau »<sup>31</sup> est peu analysé et les dommages subis par celui-ci ne sont que très rarement estimés. Pourtant, cet enjeu est essentiel dans le retour à la normale et serait une source très importante de dommages indirects, y compris en dehors de la zone inondable. Ces derniers devraient également être évalués pour approcher un DMA plus conforme à la réalité. Cette prise en compte passe certainement, dans un premier temps, par l'intégration d'éléments qualitatifs, permettant une mise en lumière des dommages difficilement monétarisables à l'heure actuelle.

La connaissance imprécise des dommages liés aux inondations limite l'évaluation de leur évolution liée au changement climatique. A moyen et long terme, ce type d'étude devra intégrer les inondations généralisées sur les grands bassins fluviaux qui sont survenues au XVIII<sup>ème</sup>, XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles sur la Seine, la Loire, le Rhône ou la Garonne, l'identification qualitative et l'estimation quantitative de leur potentiel catastrophique et des effets macroéconomiques. Or si nous disposons aujourd'hui d'outils – certes imparfaits – pour évaluer les dommages correspondant à des événements localisés d'inondation, nous ne savons pas prendre en compte dans cette évaluation l'amplification des dommages que représente un événement généralisé.

Par ailleurs, on dispose de très peu de données sur les inondations urbaines consécutives au ruissellement pluvial qui peuvent déjà créer de très forts dommages pour des occurrences décennales ou vicennales et qui en conséquence modifient la « géographie », la typologie et la structure de coûts des inondations. Nous avons rencontré des difficultés, compte tenu de l'état actuel de la connaissance, à intégrer ce type de scénario dans l'évaluation de l'évolution des coûts, alors qu'il peut profondément influencer sur cette évaluation.

Pour de multiples raisons, il n'est pas aujourd'hui possible d'obtenir de données de dommages sur l'ensemble du territoire français. Le recours à des illustrations issues d'études locales apparaît donc incontournable. Cependant, comme le montre le manuel des bonnes pratiques sus-cité, les méthodes d'évaluation des enjeux et des dommages sont très variables selon les études considérées. Il convient donc de rappeler qu'il demeure non pertinent de comparer les résultats obtenus.

Enfin, les dommages intangibles (atteinte à la vie humaine, perte de qualité de vie) n'ont pas été évalués<sup>32</sup>.

#### II.5.2.5 Résultats

Plus de 390 000 établissements publics et privés (hors habitat) sont exposés à l'aléa inondation (par débordement de cours d'eau) en France métropolitaine, soit 8% du nombre total. Les bassins versants côtiers du sud de la France et des grandes fleuves (Garonne amont, Seine et Marne, Loire, Rhône) concentrent près de 80% du nombre total d'établissements exposés.

Des études existantes ont chiffré les dommages pour les logements, les entreprises et selon les cas l'agriculture, les établissements recevant du public, les campings, les réseaux (diversité des champs considérés ; les valeurs sont réactualisées).

---

<sup>31</sup> Il s'agit des enjeux en termes d'interruption de service pour les réseaux d'eau, d'électricité, de communication et de transport.

<sup>32</sup> Ils le sont partiellement dans le cadre du travail effectué par le groupe « santé ».

Tableau 11 - Les dommages moyens annuels (arrondis)<sup>33</sup> exprimés en millions euros 2007 – sans changement climatique

	Dommmages moyens annuels
Loire moyenne	35,00
Rhône	77,00
Seine	174,00
Meuse	11,00
Charente	0,54
Orb	12,00
Labergement-lès-Auxonne	0,08

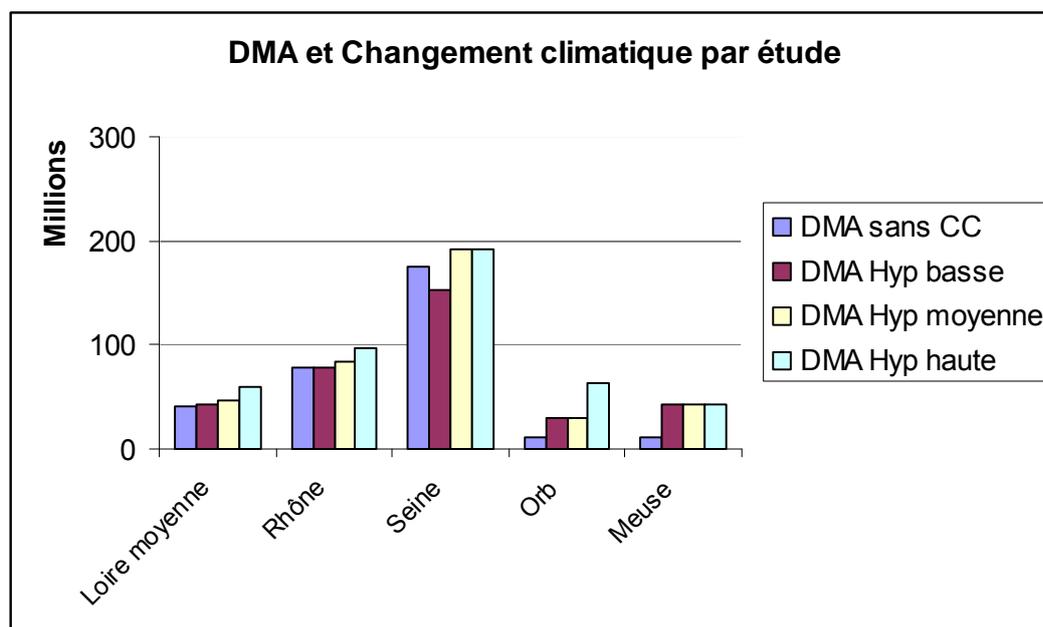


Figure 8 - Somme des DMA sur les sept bassins versants et changement climatique par étude (millions d'euros 2007)

On constate le poids non négligeable du DMA de petits bassins tels que l'Orb (cf. Tableau 11), ce qui met l'accent sur la difficulté d'évaluer un DMA national.

<sup>33</sup> Trois principales hypothèses ont été formulées :

- Entre deux niveaux de crue pour lesquels nous disposons de dommages, nous supposons que la courbe de dommage est linéaire ;
- En fonction de notre connaissance des bassins versants et de l'exposition des biens à l'inondation, nous supposons que le niveau de dommage est nul pour une crue de période de retour 5 ans, 10 ans ou 25 ans ;
- Nous supposons que le dommage maximal se produit pour la crue la plus importante dont on dispose de données (centennale ou cincentennale en fonction des études), on suppose que ce dommage maximal reste constant jusqu'à la crue de période de retour millennale (dernière crue considérée pour les calculs) ;
- Les enjeux habitat, entreprise, agriculture, ERP et établissements publics, camping et/ou réseaux sont pris en compte par les études retenues.

L'évolution relative des DMA sur la Seine, comme conséquence du changement climatique, serait comprise entre -12 et +10%. Le changement climatique fait en revanche évoluer les DMA sur la Loire moyenne entre 6% et 46% et sur le Rhône entre 1% et 23%. Ces résultats sont à prendre avec précaution.

En effet, les bassins versants ne réagissent pas de la même façon en fonction de la structuration des dommages associés à chaque période de retour. De plus, une crue de période de retour 100 ans est en réalité peu distinguable par un hydrologue d'une crue de période de retour 80 ans ou 120 ans. Pour autant, le DMA calculé sera fortement influencé par le choix de cette période de retour (le calcul du DMA prend en compte l'expression « 1/période de retour »).

Les fortes croissances des DMA sur l'Orb (comprise entre 150 et 450 %) et sur la Meuse (+285%) dépendent très fortement des hypothèses des hydrologues pour les raisons suivantes concernant :

- le choix de la période de retour : suivant que les hydrologues décalent une crue décennale vers une crue de période de retour 2, 3, 4 ou 5 ans, le DMA évolue dans un rapport allant de 1 à 4 ;
- la répartition des dommages sur le bassin versant : une décennale génère sur ces deux bassins des dommages comparables à une centennale.

Ces résultats montrent ici les précautions qu'il est indispensable de prendre pour l'interprétation des évolutions des DMA consécutives aux évolutions des débits. Il serait nécessaire d'affiner ce travail avec un panel d'experts de chacun de ces bassins pour mesurer la pertinence de certaines périodes de retour considérées et de leurs niveaux de dommage.

La question de la défaillance des systèmes de protection (rupture de digues) a été abordée par le groupe, mais n'est pas traitée de manière développée ici. Il apparaît que les ruptures de digues n'ont pas d'impact significatif sur le DMA (variations de moins de 10%), mais il est essentiel de souligner qu'elles pourront devenir importantes voire essentielles si d'autres critères sont considérés (probabilité de dépassement d'un seuil critique par exemple) pour l'étude spécifique des événements extrêmes.

## **II.6 Le risque côtier**

### **II.6.1 Les impacts du changement climatique sur l'aléa côtier**

Au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, le changement climatique jouera un rôle prépondérant sur l'évolution de la morphologie et de la dynamique côtière et partant, des aléas côtiers (érosion et submersion). En effet, la morphologie des systèmes côtiers dépend des courants, des marées, de la géomorphologie de la côte, des sédiments à disposition, mais aussi d'un certain nombre de paramètres hydro-climatiques qui influent sur le niveau moyen de la mer, les régimes de tempêtes, le climat des vagues, le régime des surcotes et des précipitations, l'acidité et la température des océans. Ces paramètres sont susceptibles d'évoluer en conséquence du changement climatique.

A partir d'observations à l'échelle globale, le GIEC (2007) estime qu'à la fin du siècle l'élévation du niveau moyen de la mer sera comprise entre 18 et 59 cm. Ces estimations ne tiennent pas compte des incertitudes liées à la dynamique de la fonte des calottes polaires continentales. De nouvelles publications plus récentes et étayées par des observations préoccupantes de l'accélération de la fonte des glaces continentales au Groenland et en Antarctique, indiquent que le niveau moyen des océans pourrait augmenter de 80 à 150 cm, estimation qui se situe donc au-delà du consensus de 2007.

Sous l'hypothèse d'une élévation du niveau marin de 1 mètre, les aléas côtiers s'aggraveront sensiblement notamment pour les côtes sableuses et les falaises de roches tendres. Les côtes basses subiront une érosion ou des submersions définitives (liées à la hausse du niveau marin) et de nouvelles zones seront l'objet de submersions temporaires.

## **II.6.2 Liste des impacts retenus pour la quantification**

Les aléas étudiés ensuite sont l'érosion marine (dite « irréversible, car causant la destruction des enjeux dans la zone érodée), la submersion permanente (nouvel aléa consistant en l'élévation du plan d'eau subi par le littoral de manière passive, dit « irréversible ») due à l'élévation du niveau de la mer et la submersion temporaire (hauteur d'eau, durée de submersion et choc des vagues) lors des tempêtes.

## **II.6.3 Évaluation quantifiée des impacts du changement climatique**

### **II.6.3.1 Périmètre de l'évaluation**

L'évaluation est réalisée à l'échelle de la région Languedoc-Roussillon ; des éléments sont proposés pour un passage à une évaluation à l'échelle nationale.

Seuls les impacts sur les logements sont considérés. Enfin, compte tenu des connaissances actuelles, on ne s'intéresse qu'à l'horizon 2100.

### **II.6.3.2 Scénarios et hypothèses climatiques**

Les hypothèses suivantes d'évolution des forçages côtiers en conséquence du changement climatique ont été retenues :

- Pour des raisons de faisabilité, on considère une élévation du niveau de la mer de 1 mètre en 2100. Ce choix s'appuie notamment sur les travaux du GIEC mais aussi sur des publications plus récentes, les incertitudes associées et les limites des données topographiques disponibles ;
- Le régime des tempêtes, les climats de vagues<sup>34</sup>, le régime des précipitations sont inchangés en 2100 ;
- Le régime des surcotes (élévation temporaire du niveau de la mer lors des tempêtes) est principalement affecté par l'élévation du niveau marin en 2100, les effets du changement climatique sur les régimes de temps sont négligés.

### **II.6.3.3 Méthodologie**

#### **Aléas**

Les données utilisées sont le trait de côte Corine Land Cover sur lequel ont été reportées les données EuroSION, la BD Topo ALTI et la BD Carto de l'IGN. Ces données sont publiques et disponibles sur l'ensemble du territoire national. La plupart ne sont utilisables qu'à l'échelle régionale et ne conviennent pas pour des études locales.

---

<sup>34</sup> Le climat de vagues est un forçage morphogène important des systèmes côtiers, dont les paramètres (période, hauteur et direction des vagues) dépendent du régime des vents en Atlantique Nord pour les façades atlantique et nord de la France. Sa modification peut entraîner des réorientations de plages, des changements dans leurs profils et des franchissements de défenses côtières artificielles (digues) ou naturelles (dunes).

La méthodologie développée dans le cadre du projet EuroSION a été utilisée, une fois adaptée, pour identifier les enjeux actuellement localisés dans les nouvelles zones qui seraient exposées aux aléas côtiers futurs.

La zone d'aléa pour l'érosion en 2100 est représentée par une zone tampon de 500 mètres autour des côtes susceptibles d'être érodées, cette valeur étant fixée arbitrairement au vu d'un certain nombre de paramètres.

Par ailleurs, on suppose que les zones situées en-deçà de la cote 1m NGF seront submergées de manière permanente en 2100, c'est-à-dire que le littoral n'est pas en mesure de s'adapter et que les ouvrages de défense côtière sont défectueux. Enfin, on suppose que l'aléa submersion temporaire, atteignant actuellement en Languedoc-Roussillon +1m NGF avec une occurrence décennale et +2m NGF avec une occurrence centennale, se translate verticalement de 1m en 2100.

**Enjeux (exposition aux aléas) :** la méthode employée est présentée au paragraphe II.3.2.

### **Évaluation des coûts**

L'estimation concerne les coûts liés aux dommages (directs et tangibles) aux logements (poste principal de dommages économiques privés lors des inondations). Le coût moyen d'un sinistre (submersion temporaire), estimé à partir du coût moyen d'un sinistre inondation (eau douce), est supposé de 5000€.

Pour les aléas submersion définitive et érosion, on ne tient pas compte d'une possible anticipation/adaptation (si l'adaptation est parfaite, en effet, le coût est nul) ; on utilise soit le coût de reconstruction (100 000€) si phénomène de compensation perte/augmentation de valeur, soit le coût du logement et du terrain si le terrain érodé constitue une perte financière pour son propriétaire (valeur vénale logement + terrain estimée à 250 000€).

### **Limites et incertitudes**

Au stade de l'estimation de l'évolution de l'aléa, les incertitudes sont liées :

- Aux hypothèses faites quant aux effets du changement climatique (élévation du niveau de la mer) ;
- Au manque de précision des données altimétriques (résolution, précision) ;
- Aux approximations faites lors de la délimitation de la zone de l'aléa ;
- Aux approximations faites pour l'occurrence de l'aléa submersion temporaire ;
- Aux nécessaires simplifications induites par un traitement semi-automatique ;
- Dans le cas des submersions temporaires, au fait que les protections éventuelles contre l'inondation situées à l'intérieur des terres ne sont pas visibles sur le MNT.

Ces hypothèses correspondant à une ouverture partielle des lidos et à un début d'érosion de certains rivages en arrière des étangs ne correspondent pas nécessairement à un scénario pessimiste.

L'étude porte uniquement sur l'estimation du coût des dommages potentiels aux logements et ne prend pas en compte, entre autres, les coûts aux infrastructures, aux entreprises ainsi que toutes les pertes indirectes et intangibles (pertes d'exploitation, emplois et revenu des taxes pour les collectivités, mais aussi impacts sur la santé, la communauté, le patrimoine historique et culturel, la biodiversité).

#### II.6.3.4 Résultats

##### Exposition des personnes et des logements

140 000 logements (80 000 personnes)<sup>35</sup> sont situés dans une zone affectée par un aléa submersion définitive ou érosion d'ici 2100 dans la région Languedoc-Roussillon. A titre de comparaison, les submersions temporaires centennales concernent aujourd'hui 15 000 logements (8 000 personnes).

##### Exposition des établissements publics et privés

10 000 établissements (employant 26 000 salariés) sont situés dans une zone affectée par un aléa submersion définitive ou érosion d'ici 2100 dans la région Languedoc-Roussillon. Il s'agit majoritairement (à 75%) d'artisans, de commerçants et de prestataires de services.

##### Première estimation des coûts induits (impacts)

Ils sont dominés par les coûts des dommages liés aux aléas « submersion permanente » et érosion. Le coût cumulé sur 100 ans des dommages potentiels aux logements (aléa submersion permanente ou érosion) est évalué entre 15 et 35 milliards d'euros 2008. Ce coût correspond à la destruction des logements de la zone concernée par l'aléa irréversible, en l'absence de politique de défense du trait de côte et ce sur l'ensemble du siècle à venir.

L'estimation des dommages est limitée à la région Languedoc-Roussillon. Pour faire cette estimation à l'échelle de la France, il conviendrait de tenir compte des éléments suivants :

- A l'issue du projet européen EuroSION, quatre régions françaises ont vu leur susceptibilité aux risques côtiers placée au niveau le plus élevé (Nord Pas-de-Calais, Poitou-Charentes, Aquitaine, Languedoc-Roussillon) ; 5 régions étaient au niveau élevé (régions PACA, Pays de la Loire, Bretagne, Basse et Haute Normandie) ;
- Par ailleurs les statistiques établies par le MEEDDAT/CGDD/SOeS montrent que :
  - Le littoral du Languedoc-Roussillon ne représente que 230km sur les 5500km de linéaire côtier de la France métropolitaine, soit 0,5%, mais il s'agit essentiellement de zones basses pouvant être submergées. Les autres zones basses sont assez nombreuses et bien réparties sur les différentes façades maritimes ;
  - Outre les zones basses, les falaises de roches tendres pourraient être fragilisées par une élévation du niveau de la mer qui sapera plus fréquemment le pied de falaises, mais surtout, les plages situées entre des caps rocheux (composés de roche dure) seront affectées par la remontée du niveau de la mer et subiront une accélération de l'érosion voire disparaîtront ;
  - Enfin, la densité de population dans les communes littorales est très variable d'une région à l'autre avec 726 hab./km<sup>2</sup> pour la région Provence Alpes Côte d'Azur qui représente à elle seule près du tiers de la population

---

<sup>35</sup>On remarque que le nombre de logements est supérieur à la population alors que le ratio habituel est de deux habitants par logement. Ce résultat est caractéristique des zones touristiques littorales, où les résidences secondaires sont très nombreuses, surtout en bord de mer.

littoral, la plus forte densité étant enregistrée dans les Alpes-Maritimes avec 2 653 hab./km<sup>2</sup>.

## **II.7 Le risque gravitaire : impact du changement climatique**

### **II.7.1 Les avalanches**

De nombreux facteurs, à la fois liés aux conditions météorologiques (forte chute de neige, redoux,...) et à la qualité du manteau neigeux (liée aux températures et précipitations sur quelques jours, à l'exposition, la pente et le vent,...), interviennent dans le déclenchement des avalanches. Il est difficile de quantifier l'impact du changement climatique sur l'activité avalancheuse : un plus grand nombre d'avalanches de neige humide (difficiles à déclencher préventivement) et une diminution de l'activité aux basses et moyennes altitudes constituent les scénarios les plus probables d'évolution, au vu de la connaissance actuelle.

Les conséquences sur la viabilité des voies de communication pourraient être sensibles, surtout en période de congés, du fait d'une forte pression économique pour la réouverture des routes d'accès aux stations touristiques (et des domaines skiables).

### **II.7.2 Les crues et laves torrentielles**

Les crues et laves torrentielles se distinguent des inondations de plaine par la charge solide qui accompagne leurs écoulements et aggrave significativement les impacts sur les biens et personnes exposés. Quelle que soit la hauteur de l'écoulement, tout déplacement humain est impossible dans une crue ou une lave torrentielle. Les impacts du changement climatique envisagés tels que recul des glaciers, disparition du pergélisol et de glaciers rocheux pourraient augmenter le volume de sédiments disponibles et seraient susceptibles d'aggraver l'aléa. Ce premier effet devra être combiné à l'éventuelle évolution du volume d'eau disponible (si pluies plus intenses, par exemple), autre composante de l'aléa considéré.

### **II.7.3 Les glissements de terrain**

Les glissements de terrain sont des aléas particulièrement complexes, souvent abordés qualitativement, qui dépendent de facteurs de prédisposition (géométrie du versant, caractéristiques mécaniques et géométriques des matériaux et occupation des sols) et de facteurs de déclenchement tels que précipitations, sollicitations sismiques ou actions anthropiques. Les seconds jouent plutôt à court terme (quelques années) sur la fréquence des glissements. Pour les glissements de terrain superficiels, on constate une influence directe et presque immédiate des précipitations ; pour les glissements de grande ampleur, plus profonds, l'impact des précipitations (abondantes, car c'est le volume d'eau qui joue) est différé (retardé, amorti). Le changement climatique pourrait donc avoir un impact négatif sur les glissements superficiels dans le cas où les pluies augmentent en hiver et positif sur les glissements plus profonds, en limitant leur fréquence si le niveau des nappes baisse, mais il convient de rester extrêmement prudent sur le sujet.

### **II.7.4 Les éboulements rocheux**

Les éboulements rocheux d'ampleur très variée proviennent de massifs présentant des facteurs de prédisposition (réseau de fractures, lithologie favorable) et des indices précurseurs de rupture, l'eau étant le principal facteur d'accélération des mouvements jusqu'à la rupture.

L'accroissement attendu des précipitations hivernales devrait être responsable d'une augmentation des chutes de blocs, habituellement plus fréquentes en périodes de pluie intense ou en période de gel/dégel et de l'instabilité de certains massifs rocheux plus prédisposés que d'autres à l'altération.

L'augmentation des températures, que l'on estime plus sensible dans les Alpes qu'ailleurs, sera à l'origine du recul très probable des glaciers, libérant progressivement les blocs emprisonnés dans les glaces et de la remontée du permafrost, qui favorise la décompression des parois rocheuses et la chute de blocs et de pans rocheux importants.

### **II.7.5 Les effondrements de cavités souterraines**

Même si ce ne sont pas des risques liés aux territoires de montagne, les effondrements de cavités souterraines doivent être signalés car ils occasionnent des désordres certes limités mais qui peuvent être meurtriers et dont l'impact psychologique est important.

Pour les cavités peu profondes, très représentées dans le nord et l'ouest de la France, le rôle de la pluviométrie sur leur instabilité est assez clair, même s'il est très peu quantifié. De longues périodes pluvieuses hivernales ont pour conséquences actuelles la remontée du niveau des nappes dans les cavités et la saturation des terrains de recouvrement, facteurs importants d'instabilité.

A l'horizon 2100, la répartition des pluies et le comportement des nappes en hiver, après de fortes périodes de sécheresse, sont les inconnues qui empêchent de juger de l'augmentation ou non du risque d'effondrement. Il convient de se pencher davantage sur ce sujet car de très nombreuses cavités supposées ou avérées concernent des zones de fort potentiel urbain.

### **II.7.6 Synthèse**

L'impact du changement climatique sur les aléas gravitaires est difficile à apprécier, du fait de la nature même des phénomènes en jeu, de la complexité des liens entre les aléas considérés et les divers facteurs de prédisposition et de déclenchement et de la somme des incertitudes relatives :

- Aux scénarios climatiques annoncés, donnant des indications relativement claires sur des tendances globales et régionales, mais qui sont insuffisants dès lors que l'on se penche sur un secteur très localisé où des aléas peuvent se produire (exposition d'un versant en montagne, par exemple) ;
- A la réponse en termes de localisation et de délais des écosystèmes aux variations climatiques saisonnières : on pense notamment au temps de rechargement des nappes pouvant concourir aux instabilités, au temps de transfert dans les terrains géologiques ;
- A la réelle part des variations climatiques sur le changement de composition, l'altération, l'endommagement, la fatigue mécanique du matériau : on peut s'attendre à ce que les phénomènes cycliques soient plus brutaux sur des périodes plus restreintes ; mais encore faut-il tenter de le quantifier.

En première approximation, on peut cependant retenir la possible augmentation des événements superficiels et/ou fréquents les plus directement reliés aux précipitations hivernales (avalanches de neige humide, glissements superficiels, chutes de blocs...) avec celle des précipitations hivernales et les conséquences financières potentiellement importantes en cas de blocage de voies de communication en montagne et en hiver. On peut aussi noter l'influence de l'impact potentiel du changement climatique sur les

glaciers et sur le pergélisol sur l'intensité des crues et laves torrentielles et sur la stabilité des parois rocheuses.

## **II.8 Analyse et discussion des résultats**

Il est important de rappeler ici une des limites de l'exercice réalisé liée à la situation de la France dans une zone de transition climatique, avec en conséquence des impacts du changement climatique sur les précipitations assez incertains et sensibles à la qualité de la descente d'échelle opérée (au contraire des résultats concernant les températures). Il convient également de souligner de manière plus générale la nécessité d'un travail avec des données/prévisions climatiques d'échelles cohérentes entre elles et par rapport aux aléas étudiés.

### **II.8.1 Synthèse des résultats : qu'est-ce qui attend les acteurs en charge de la prévention et de la gestion des risques naturels d'ici la fin du 21ème siècle ?**

A l'échelle de la France entière, l'augmentation significative et bien établie de la fréquence des canicules entrainera l'augmentation des dommages liés au phénomène de RGA, avec un coût moyen des dommages multiplié par un facteur compris entre 3 et 6. Des mesures d'adaptation simples peuvent être envisagées. Le renforcement de la politique actuelle de prévention, notamment l'usage obligatoire de techniques particulières pour les fondations des pavillons, accompagné de mesures intégrées de gestion de l'humidité du sol, pourrait s'avérer rentable si elle est appliquée sur des secteurs particulièrement exposés.

S'agissant des inondations par débordement de cours d'eau, qui concernent des surfaces modestes mais très attractives, de nombreuses incertitudes demeurent quant à l'impact du changement climatique sur l'aléa. Il ne se dégage pas vraiment, dans les exemples retenus à titre d'illustration, de signal très fort sur la variable étudiée (le dommage moyen annuel - DMA), même si, sur certains bassins (Orb, Meuse), l'augmentation des dommages moyens annuels est marquée. Cependant, cette variable (le DMA), très utile par exemple pour l'analyse de l'assurance, ne représente qu'un aspect des dommages, globalement leur niveau moyen. Elle ne permet pas, par exemple, d'isoler les aléas extrêmes au-delà de certains seuils sensibles pour la gestion du risque. Comme il pourrait y avoir une amplification des précipitations extrêmes en conséquence du changement climatique, il convient de souligner l'importance de compléter les travaux menés en introduisant des critères relatifs plus spécifiquement aux événements extrêmes et de prendre en compte l'aléa ruissellement pluvial, ce qui pourrait avoir des conséquences importantes sur l'estimation des coûts. En termes d'adaptation, outre l'amélioration de la connaissance, il est à ce stade uniquement envisagé la poursuite et le renforcement de la politique actuelle par une gestion territoriale prenant en compte le risque et recherchant des compromis acceptables.

Une question essentielle se pose pour les risques côtiers, sachant que l'élévation du niveau de la mer est une prévision robuste même si son ampleur reste à préciser : comment gérer le recul de la côte en conséquence du changement climatique, recul qui devrait concerner *in fine* plusieurs centaines de milliers de personnes (par érosion et/ou submersion définitive) et coûter plusieurs dizaines de milliards d'euros à la société à l'échelle du siècle ? Des mesures sont à choisir et à prendre (recul stratégique, protection localisées,...) pour anticiper l'impact du changement climatique, dans le cadre de l'élaboration d'une stratégie globale et partagée d'adaptation planifiée.

Concernant les aléas gravitaires enfin, l'impact du changement climatique reste incertain, du fait d'un fort besoin de connaissances ; à ce stade, il n'est pas proposé d'évolution de la politique de gestion de ces aléas. Il est cependant à souligner le fort impact sociétal qu'ont les catastrophes associées à ces aléas, entraînant des pertes de vies humaines et des coûts importants très localisés, impact qui justifie la poursuite de la mise en œuvre de mesures de prévention.

Enfin, en regard des travaux internationaux sur le sujet, il est essentiel de souligner une nouvelle fois le caractère crucial de la vulnérabilité et de son évolution à venir, même si les travaux réalisés tentent, en travaillant à économie constante, d'isoler le facteur changement climatique.

En conclusion, un des phénomènes les plus « nouveaux » et délicats à gérer dans les 100 prochaines années semble être le recul généralisé des côtes basses. La sécheresse géotechnique ne doit cependant pas être négligée, en termes de coûts, mais des solutions d'adaptation (coûteuses) existent déjà. Quant aux aléas gravitaires et inondation, un des facteurs-clé semble être l'impact de l'évolution de la variabilité des précipitations (extrêmes) et températures (amplitude journalière) qui reste à approfondir.

### **II.8.2 Caractérisation de l'incertitude**

Les études menées ne donnent pas d'évaluations fines. Elles nous conduisent à des ordres de grandeur, des tendances, des indices de sens d'évolution, d'impacts et de coûts possibles. Les valeurs absolues restent très incertaines et demanderaient des approfondissements divers. Cela dit, il serait illusoire de rechercher une précision extrême compte tenu des éléments par nature complexes et incertains en présence (les aléas naturels, le référentiel des enjeux et des dommages, le changement climatique).

Il ressort cependant que notre référentiel habituel de travail dans le domaine de la gestion des risques naturels n'est, à ce stade, pas remis en cause. Le travail, en univers incertain, se poursuit. Il conviendrait cependant d'envisager une prise en compte plus documentée des événements exceptionnels compte tenu de leur potentielle aggravation comme conséquence du changement climatique.

S'il existe une certaine « robustesse » des projections, en tendance, pour des paramètres comme la température et le niveau de la mer, la concordance entre les modèles pour les tendances pluviométriques est bien moindre et ils ne donnent au mieux que des éléments d'information extrêmement partiels sur l'évolution de la variabilité des aléas fréquents ou rares. Cette incertitude a été traitée comme suit :

- Pour les aléas côtier et RGA, n'ont été considérés respectivement que l'impact d'une élévation du niveau de la mer et d'une élévation des températures sur la fréquence des phénomènes considérés, sans prendre en compte des changements possibles dans l'amplitude des aléas (effets de surcote pour le premier, d'alternances accentuées pour le second) ;
- Pour les inondations, les experts se sont référés aux indications du projet IMFREX relatives à l'accroissement de la variabilité, sans disposer d'éléments sur les configurations météorologiques génératrices de grandes crues.

Il faut aussi noter, comme mentionné en introduction, que des effets indirects du changement climatique comme la diminution de la fonction protectrice et/ou régulatrice d'écosystèmes affaiblis pourraient se révéler significatifs. Ce pourrait être une cause de

sous-estimation des aléas (rares ou imprévus) dont les impacts seraient démultipliés par l'accroissement des vulnérabilités.

### II.8.3 Limites

Les études ont été réalisées à des échelles spatiales diverses empêchant toute agrégation à l'échelle de la France. Les connaissances des impacts du changement climatique sont progressivement désagrégées mais restent à des échelles spatiales parfois grossières par rapport aux phénomènes en jeu.

Les études portent uniquement sur l'estimation du coût des dommages potentiels aux logements qui pourraient être imputés aux risques considérés dans le contexte du changement climatique et ne prennent pas en compte, entre autres, les coûts aux entreprises ainsi que toutes les pertes indirectes (pertes d'exploitation, emplois et revenu des taxes pour les collectivités, mais aussi impacts sur la santé, les communautés, le patrimoine historique et culturel, la biodiversité). Les données utilisées sont uniquement les données CatNat. Or les pertes assurées représentent une fraction des pertes économiques totales directes (de l'ordre de 50% dans les économies développées où le taux de couverture par l'assurance est important) et la connaissance des pertes indirectes en France est très limitée.

### II.8.4 L'adaptation au changement climatique : un renforcement de la politique actuelle de prévention et de gestion des risques naturels ?

*A priori* on ne s'intéresse ici, en matière d'adaptation, qu'aux mesures publiques planifiées qui seraient prises par anticipation.

En premier lieu, il apparaît essentiel d'examiner les différents volets de la politique de gestion actuelle des catastrophes naturelles et d'évaluer qualitativement l'opportunité de poursuivre sa mise en œuvre en climat changé. Il ressort des différents travaux menés en sous-groupes qu'il convient de :

- Développer la connaissance des aléas, de la vulnérabilité et des coûts (production et capitalisation de données) ;
- Poursuivre et développer la mise en place de réseaux de mesures pérennes sur des sites représentatifs et d'indicateurs de suivi ;
- Renforcer l'approche multirisques (une zone exposée aux inondations peut également, par exemple, être soumise à la sécheresse géotechnique) ;
- Poursuivre et renforcer la politique actuelle de gestion des risques naturels, par des stratégies « sans regret »<sup>36</sup> (exploitant les volets connaissance, surveillance et prévision, information et mémoire, prise en compte dans l'aménagement, réduction de la vulnérabilité et développement de la résilience, gestion de crise) et établir une gestion globale et coordonnée à l'échelle des bassins de risque les plus sensibles.

---

<sup>36</sup> Les mesures dites « sans regret » sont celles qui sont justifiées en toute hypothèse relative au futur. Voir définition dans la Partie générale du rapport.

#### II.8.4.1 Risque d'inondation

La politique actuelle de gestion de l'aléa inondation par débordement de cours d'eau se traduit par une approche globale et intégrée à l'échelle de bassins versants. Ses différentes composantes sont programmées sur certains territoires, dans des plans du type Programmes d'actions de prévention des inondations, plans grands fleuves (plans de gestion). La volonté de prise en compte des coûts au regard des bénéfices attendus des opérations de prévention des inondations est présente même si elle demande à être davantage et plus largement formalisée.

La politique actuelle de prévention s'intéresse en priorité aux inondations par débordement de cours d'eau ; elle devra s'intéresser de plus en plus au risque de ruissellement urbain dont la connaissance est plus difficile à établir. Cette politique a privilégié de se prémunir contre un aléa de type centennal ; elle devra aussi faire évoluer le « traitement » des aléas extrêmes. Pour les niveaux de crues plus rares, voire exceptionnelles, sont privilégiés la prévision, la gestion de crise, l'information, la réduction de la vulnérabilité et le développement de la résilience.

Cependant, les exigences en matière de prévention d'un événement exceptionnel s'accroissent : ainsi, la directive européenne n°2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation demande explicitement la représentation des aléas exceptionnels dans la cartographie des aléas sur les territoires présentant un risque important d'inondation et la prise en compte du changement climatique. Cela exige un suivi plus structuré des actions de prévention et de gestion du risque d'inondation, nécessitant des moyens renforcés, compte tenu de la complexité des phénomènes à appréhender.

Le changement climatique est bien susceptible de faire évoluer l'aléa inondation. Compte tenu des fortes incertitudes existant sur les impacts attendus et de la spécificité des phénomènes considérés (variabilité interannuelle importante, aléa « rare »), il convient d'anticiper l'adaptation aux impacts du changement climatique sur cet aléa, par une approche globale et diversifiée.

En premier lieu, il est important de souligner que les réponses adaptées changent en fonction des caractéristiques actuelles de chaque bassin versant. Les politiques actuelles sont souvent liées au choix d'un aléa de *référence*, mais elles sont en général adaptées « par construction » à la prise en compte de son évolution (en termes de connaissance et donc aussi intrinsèque, - en revanche, les éventuelles évolutions « brutales » en lien avec le changement climatique ne sont pas forcément prises en compte à l'heure actuelle), à l'exception des actions de protections des lieux habités et de la réglementation de l'occupation des sols. Elles s'accommoderont donc du contexte du changement climatique. Sauf à ce qu'on observe une extension spatiale sensible des zones exposées à des aléas de référence, un certain nombre de politiques ne devraient pas avoir de surcoûts très sensibles (préparation à la gestion de crise, prévision, sensibilisation...), à l'exception notamment des ouvrages de protection et de la réglementation de l'usage des sols si l'ensemble des PPRN devait être révisé. Sur ces décisions qui engagent fortement le moyen et le long terme, on risque aussi bien « trop » que « trop peu » de prudence. Il faudra avancer, en termes de méthodologie comme de références, sur la question de la prise en compte de projections d'évolution de l'aléa sur la durée de vie des projets.

#### II.8.4.2 Risque côtier

La politique actuelle de gestion des risques comporte « d'abord » un fort volet aménagement avec :

- Les actions de défense contre la mer, en général conduite par les collectivités locales ;
- La réglementation par les plans de prévention des risques littoraux en nombre encore limité (85 Plans de prévention des risques approuvés, 113 prescrits) ;
- Les outils d'encadrement et mise en perspective de l'aménagement qui permettent une prise en compte du risque dans le développement des territoires : la loi littoral, les schémas de mise en valeur de la mer, les DTA et les SCOT (au titre de la planification on peut aussi citer les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux).

Le développement des systèmes de vigilance et d'alerte se poursuit, avec un travail de Météo-France avec le Ministère de l'intérieur et le MEEDDM pour développer une vigilance « risques littoraux ».

Parmi les manques et limites des politiques on relèvera en particulier :

- Le besoin d'améliorer encore les connaissances sur les phénomènes, les évolutions générales et locales, l'analyse des impacts des politiques ;
- Une vision encore partielle et morcelée des politiques d'aménagement, qui n'intègrent pas toujours le risque dans leurs considérations stratégiques ;
- Les limites intrinsèques, malgré les progrès en cours, de systèmes d'alerte ;
- Une réflexion encore très orientée « protection contre la mer » avec des protections qui se font le plus souvent à l'échelle administrative et non à l'échelle des phénomènes considérés ;
- Une approche multirisques à développer.

Le changement climatique devrait être pris en compte dans les documents d'aménagement et de planification. La stratégie d'adaptation au changement climatique dépend du contexte local ; il n'existe pas de solution unique à appliquer partout, les enjeux économiques, environnementaux n'étant pas uniformément répartis. Une stratégie pourrait être définie à moyen terme par l'étude globale et partagée de mesures de type recul stratégique<sup>37</sup>, restauration du fonctionnement naturel et maintien du trait de côte et la combinaison retenue des différentes mesures rendue publique (pour permettre ensuite adaptation, anticipation).

La restauration du fonctionnement naturel (revégétalisation, encadrement de la fréquentation touristique, suppression d'ouvrages de protection) peut être utilisée comme mesure de prévention, là où les enjeux sont peu nombreux et le risque modéré.

Les ouvrages de défense contre la mer maintiennent le trait de côte, mais ils sont à réserver aux zones à forts enjeux car ils modifient le transit sédimentaire.

#### II.8.4.3 Risque RGA

En partie II.4, une première étude compare les coûts relatifs aux deux types d'adaptation envisagés (adaptation des fondations des maisons individuelles et dispositions plus

---

<sup>37</sup> Le recul stratégique consiste à déplacer des enjeux existants sur une zone où les risques sont plus faibles.

globales qui prévoient à la fois l'amélioration de la qualité de la construction et la diminution de l'ampleur des sollicitations par une meilleure maîtrise des variations hydriques du sol) au coût des dommages potentiels sans adaptation et ce pour une maison individuelle. Il en ressort que le changement climatique renforce le besoin d'une politique de prévention de ce risque et sa mise en œuvre sur des zones plus vastes, avec l'accroissement du nombre de sinistres potentiels.

#### **II.8.4.4 La garantie des dommages dus aux catastrophes naturelles au regard du changement climatique**

La Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) et le Groupement des entreprises mutuelles d'assurance (GEMA) ont présenté en avril 2009 les résultats de leur étude relative à « l'impact du changement climatique et de l'aménagement du territoire sur la survenance d'événements naturels en France ». Les principaux résultats avancés pour les trois aléas considérés (inondations, sécheresse géotechnique et tempêtes), à partir de fourchettes d'hypothèses, de leurs évolutions à l'horizon 2030 sont présentés en Annexe E.2.

En raison des différences notamment dans les horizons, les aléas et les hypothèses climatiques retenus, les résultats obtenus ne peuvent être comparés directement. Il s'agit de dégager les points communs dans les recommandations formulées.

#### **Des approches et méthodes sensiblement différentes**

Le GT RNACC a choisi de mener une évaluation à enjeux constants<sup>38</sup> (approche qualifiée « d'aléa centrée »). Les assureurs ont opté pour l'approche qualifiée « d'enjeux centrée », combinant l'évolution des deux facteurs générateurs de risques, l'aléa et la vulnérabilité des enjeux exposés. En effet, il est avéré que l'accroissement des dommages est actuellement principalement dû à la concentration des richesses dans les zones d'aléa. L'assurance étant le principal outil de financement de ces dommages, cette approche est la plus adaptée aux travaux de cette profession.

Les méthodes de quantification mises en œuvre sont très différentes. A la méthode ex-post de projection statistique de données agrégées sur les sinistres<sup>39</sup> réalisée par les assureurs<sup>40</sup>, s'oppose la méthode ex-ante adoptée par le GT RNACC<sup>41</sup> consistant à déterminer à l'aide d'outils géomatiques (SIG), de données socio-économiques et de données géographiques sur les aléas d'une part, l'exposition actuelle des biens des particuliers et des professionnels et d'autre part, cette exposition aux horizons retenus, sous contrainte d'évolution climatique.

#### **Des points communs dans les recommandations formulées**

Certaines préconisations pour la poursuite des travaux et la prise en compte du changement climatique dans les politiques publiques de prévention et de gestion des risques naturels sont partagées par les deux rapports :

---

<sup>38</sup> Exception faite de la tentative de mesurer le coût supplémentaire de l'évolution urbaine face au risque de RGA.

<sup>39</sup> Fréquences et coûts moyens par département et par année.

<sup>40</sup> Pour les événements dits « locaux » et une partie des événements dits « extrêmes ». En effet, dans le cas des inondations, une crue de la Seine, de la Loire et de la Garonne a été intégrée à partir d'une méthode d'évaluation fondée sur l'appréciation de l'exposition.

<sup>41</sup> A défaut de données sur les sinistres.

- Développement et partage de la connaissance des phénomènes et du risque ;
- Développement de la prise en compte des risques dans l'aménagement et la construction et évaluation du rapport coût/efficacité des techniques de réparation des constructions existantes sinistrées ;
- Réduction de la vulnérabilité et le développement de la résilience, avec priorisation des dépenses de prévention et notamment l'accélération de la mise en place de PPR sur les territoires le nécessitant vraiment et une meilleure prise en compte de l'existant.

Les assureurs montrent par cette étude l'intérêt qu'ils portent à l'étude de l'impact du changement climatique sur la survenance de catastrophes naturelles et donc sur les dommages à indemniser ensuite. Il est essentiel de souligner à ce stade le rôle important que pourraient jouer les assureurs pour *in fine* garantir les risques naturels en tenant compte de l'impact du changement climatique et auparavant, participer à une éventuelle adaptation du régime CatNat si cela s'avérait nécessaire.

## II.8.5 Conclusion

Le changement climatique a un impact certain sur les risques naturels, mais il devrait toucher davantage des territoires spécifiques (littoral, zones d'argiles,...) que l'ensemble du territoire métropolitain. Sur ces territoires, des mesures d'adaptation devront être envisagées.

Les dommages potentiels dus aux risques naturels ne sont pas tous liés au changement climatique. Les inondations, par exemple, sont une question très importante, mais leur gestion ne se justifie pas seulement par la prise en compte du changement climatique, loin s'en faut.

Il convient enfin de rester très prudent sur l'usage des chiffres et résultats produits, compte tenu des nombreuses incertitudes et de poursuivre l'action de prévention, voire la renforcer par la mise en place de stratégies « sans regret ».

## II.9 Besoins spécifiques et pistes identifiées pour poursuivre l'analyse

### II.9.1 Pour affiner la méthodologie

Ce rapport montre à la fois des manques de données et des incertitudes au niveau :

- De la cartographie de l'aléa ;
- Du recensement des enjeux ;
- De l'évaluation des dommages et des enjeux à protéger ;
- Des hypothèses d'évolution du changement climatique et de ses effets sur les inondations terrestres et marines et sur les dommages associés.

Il est, dans un premier temps, nécessaire de consolider les méthodes de recensement des enjeux et d'évaluation des dommages et leur pérennité. Un cadre commun et partagé par tous aiderait à aboutir à une démarche commune et à une meilleure connaissance du territoire actuel. Des bases de données nationales et évolutives d'enjeux et de dommages, voire un observatoire, devraient notamment être mises en œuvre pour atteindre cet objectif, comme par ailleurs une base de données actualisée régulièrement des études d'évaluation économique des dommages réalisées sur différents secteurs géographiques. Le changement climatique n'est en fait qu'une motivation et un degré de

complexité supplémentaires qui justifie un travail sur l'estimation des dommages dus aux phénomènes naturels.

L'hypothèse d'enjeux constants : elle a le bénéfice certain d'accroître la faisabilité de la démarche et l'on pourrait s'y ranger sans trop d'états d'âme si toute l'économie et l'activité non économique se développait de façon identique entre différents secteurs géographiques d'une part, entre différents types d'actions et de coûts d'autre part. Mais rien ne dit que les zones à risque et leur occupation vont évoluer (en densité, en valeur unitaire exposée...) comme le reste du territoire en moyenne, en particulier dans les plaines alluviales et les zones côtières. De même, rien n'indique que les coûts de prévention et de protection (infrastructures...) vont évoluer comme le reste de l'économie. Les travaux récents ont par ailleurs montré, sur un grand nombre de bassins et sur une durée révolue de 30 ans, que les actions anthropiques locales induisaient autant de cas d'instationnarité avérée des débits de crue ou d'étiage que les évolutions climatiques. Le même constat s'impose pour les risques côtiers.

Il est également important de bien distinguer les adaptations de la prévention et de la protection liées au changement climatique, de l'évolution de la politique publique liée à d'autres causes (« rattrapage » par rapport aux objectifs antérieurs, nouveaux objectifs dans l'absolu...). En d'autres termes, les coûts d'adaptation sont alors ceux qu'il faudrait mettre en œuvre, au travers d'actions de prévention et de protection, pour conserver globalement et individuellement les mêmes niveaux d'exposition aux risques qu'aujourd'hui.

### **II.9.2 Pour élargir le champ des impacts et des mesures**

Les travaux réalisés révèlent la difficulté de connaître clairement l'impact du changement climatique sur les dommages. Il semble indispensable de poursuivre ces réflexions avec l'appui d'un groupe d'experts pour mieux apprécier la pertinence des hypothèses et les disparités du territoire français.

Les phénomènes de ruissellement urbain auraient tendance à augmenter avec l'évolution du changement climatique et l'augmentation d'évènements pluviométriques intenses. Peu de données sont disponibles sur ces phénomènes. Nous savons que, pour certains bassins, ces phénomènes peuvent provoquer autant, sinon plus de dommages que ceux liés aux premiers débordements de crues en milieu urbain. Ils alourdiraient donc les dommages liés uniquement aux inondations et devraient dès aujourd'hui être pris en compte.

## III Rapport du Groupe Biodiversité

*« C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain n'écoute pas. »*

Victor Hugo

Président : Jean-François LERAT

Vice-président : Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS

Rapporteur : Vanessa NUZZO

Auteurs : Badeau Vincent, Berthault Daniel, Berthon Caroline, Blanc Cécile, Bouget Christophe, Chevassus-au-Louis Bernard, Chuine Isabelle, Courdille Jacques, Couvet Denis, Dubois Philippe-Jacques, Dupouey Jean-Luc, Edelist Cécile, Galliot Michel, Gouletquer Philippe, Gritti Emmanuel, Gros Philippe, Lerat Jean-François, Loquet Maryline, Mauchamp Luc, Meignien Pierre, Métais Michel, Nuzzo Vanessa, Reysset Bertrand, Russo Lisa, Salmona Marie-Christine, Salvat Bernard, Séon-Massin Nirmala, Thiry Emmanuel, Thuiller Wilfried, Trouvilliez Jacques, Tuffery Laëtitia, Zagatti Pierre.

Remarque préalable : « \* » signifie une référence au glossaire (Annexe C.1).

## III.1 Introduction

### III.1.1 Mandat du groupe et champ de l'expertise

Le groupe « Biodiversité » a été constitué en janvier 2009, c'est-à-dire en début de phase 2 du Groupe interministériel Impacts du changement climatique en France. Il s'est réuni six fois.

Le mandat du groupe « Biodiversité » lui confère un double rôle, tant transversal que thématique (ayant sa dynamique propre) par rapport aux autres groupes. Les objectifs du groupe consistent, à partir des données existantes, à produire des éléments de synthèse ou d'illustration sur :

- les impacts présents et futurs du changement climatique sur la biodiversité en France et leurs conséquences en termes de services écosystémiques\* ;
- les impacts sur la biodiversité des mesures d'adaptation proposées au regard des autres thématiques (énergie, transports, territoire, agriculture, forêt, santé, tourisme, etc.) ;
- les mesures proposées d'adaptation au changement climatique pour la biodiversité.

Le champ de l'expertise est vaste, puisqu'il comprend<sup>42</sup> :

- la France métropolitaine et outre-mer ;
- la biodiversité terrestre, aquatique et marine ;
- la biodiversité remarquable (espèces et espaces protégées comme Natura 2000) ;
- les services écosystémiques ;
- les pays voisins lorsque cela est pertinent (migrations transfrontalières)

### III.1.2 Composition du groupe Biodiversité (non détaillée)

Le groupe « Biodiversité » est composé d'une vingtaine de personnes (sa composition est détaillée en Annexe D.3) expertes de la biodiversité et du changement climatique, principalement membres de l'administration et scientifiques. La Direction générale énergie climat (DGEC) a mandaté la Direction de l'eau et de la biodiversité (DGALN / DEB) pour le pilotage général des travaux.

La présidence du groupe est assurée par Jean-François LERAT, ingénieur général du GREF, membre du CGAAER.

La vice-présidence est assurée par Bernard CHEVASSUS-au-Louis, inspecteur général de l'agriculture, membre du CGAAER.

Le rapporteur du groupe est Vanessa NUZZO, chargée de mission à la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du MEEDDM.

---

<sup>42</sup> En raison des spécificités de la thématique « biodiversité », le champ d'investigation est plus vaste que le champ choisi par le groupe interministériel : prise en compte de l'outre-mer et des pays voisins lorsque pertinent.

Un groupe de « grands relecteurs » a permis une lecture critique du projet de rapport et une validation par la DEB :

- Jean-Claude VIAL : adjoint à la Directrice de l'eau et de la biodiversité du MEEDDM.
- Jean-Jacques LAFITTE : ingénieur général du GREF, membre du CGEDD.

### III.1.3 Résumé exécutif

#### III.1.3.1 Impacts actuels du changement climatique sur la biodiversité

1. Il est délicat de séparer ce qui constitue une réaction au changement climatique de ce qui est dû aux changements d'usages des ressources ou de comportements de nos concitoyens. Les fortes interactions entre le changement climatique et d'autres volets des changements globaux (démographie, migrations, modifications des usages du territoire) incitent à analyser l'ensemble des facteurs qui influencent la biodiversité.
2. Néanmoins, on observe d'ores et déjà des signes de modification de la biodiversité attribuables aux changements graduels induits par le changement climatique. Ils concernent les différents niveaux d'organisation de la biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique) en France métropolitaine et outre-mer, tant sur le domaine terrestre, dulçaquicole que marin. En particulier, les limites entre les zones climatiques se déplacent actuellement sur le territoire métropolitain et entraînent le déplacement des cortèges et espèces qui leur sont inféodés.
3. Les événements extrêmes, dont la fréquence et l'intensité sont susceptibles d'être accrues, ont également des effets sur la biodiversité, de nature à perturber les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements graduels.
4. La question de l'évolution de la biodiversité sous l'emprise du changement climatique concerne souvent la réponse directe des espèces aux modifications des principaux paramètres physiques du climat (température, pluviométrie...) ou des paramètres chimiques associés (composition de l'atmosphère, pH des milieux aquatiques...).
5. Sur ce point, les connaissances du comportement des différentes espèces sont extrêmement fragmentaires et limitées à quelques espèces « modèles », la notion de modèle étant plus liée à une facilité d'étude qu'à une représentativité vis-à-vis de l'ensemble des espèces. En particulier, pour les espèces mobiles, le rôle que pourra jouer leur adaptation sur place par rapport à leur déplacement potentiel reste une question ouverte.
6. Les changements directs déjà observés relèvent de modifications de :
  - la physiologie des individus ;
  - leur comportement (ex. sédentarisation versus migration) ;
  - la diversité et l'abondance d'espèces ;
  - leur distribution géographique (ex. déplacement en altitude et vers le nord d'espèces terrestres) ;
  - la structure des communautés (ex. espèces généralistes prenant parfois le dessus sur des spécialistes) ;
  - la phénologie\* (ex. asynchronie\* entre les cycles des proies et des prédateurs) ;
  - la surface occupée par des milieux naturels.

Ces modifications sont variables en ampleur et rapidité.

7. Les évolutions au sein même des espèces (modifications des traits de vie, des comportements ; diminution de la diversité génétique) sont moins documentées, mais des observations sont néanmoins disponibles.

8. Il paraît important d'élargir la problématique en montrant que les effets indirects du changement climatique sont sans doute au moins aussi importants que les effets directs, d'une part via la modulation d'autres pressions ayant des effets négatifs sur la biodiversité et, d'autre part, du fait des conséquences sur la biodiversité de l'adaptation de différents secteurs d'activités au changement climatique.
9. L'analyse des effets du changement climatique implique donc *a minima* de mieux identifier ces effets indirects et, dans une logique de prévention, de tout faire pour minimiser rapidement ces pressions actuelles et futures, afin de permettre à la biodiversité d'affronter « sans handicap » le changement climatique.

### **III.1.3.2 Incidences futures du changement climatique sur la biodiversité**

10. Le Groupe interministériel a choisi de se focaliser sur les scénarios climatiques A2 et B2 du GIEC, aux horizons temporels 2030, 2050 et 2100. Néanmoins, il semble qu'on s'achemine vers le pire des scénarios, selon laquelle la vitesse des changements futurs dépasse celle des références connues dans l'histoire passée.
11. La connaissance des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité repose sur des scénarios d'évolution tendancielle entachée d'incertitude. Il convient de les considérer comme des éléments de prospective\* et non comme des prédictions\*.
12. De fortes incertitudes sont attachées aux résultats des modélisations : incertitudes liées aux modèles d'impacts calibrés sur les données actuelles, au climat futur (modèles climatiques, scénarios d'émission et méthodes de désagrégation), aux interactions entre la biodiversité future et le climat futur.
13. Néanmoins, les résultats des différents modèles d'impacts disponibles aujourd'hui convergent sur le sens des évolutions à venir.
14. On anticipe non pas une simple modification des limites des grandes zones biogéographiques et des changements d'aires de répartition d'espèces, mais aussi une dissociation des communautés d'espèces animales et végétales (*i.e.* les espèces associées et co-adaptées dans un écosystème se retrouveront séparées) et leur recomposition (*i.e.* de nouvelles associations d'espèces ayant parfois antérieurement des aires de répartition disjointes apparaîtront).
15. Le taux de renouvellement pour les différents groupes d'espèces sera probablement important sur l'ensemble du territoire français y-compris dans les aires protégées.
16. En un lieu donné, du fait des différences de capacité de colonisation des espèces, on peut s'attendre à une latence entre la disparition des cortèges actuels et l'arrivée de nouveaux, se traduisant par des « effets de trous » (d'où une forte diminution de la biodiversité) ou au contraire « d'encombrement », plus ou moins transitoires.
17. Certaines populations isolées le seront davantage, ce qui pourrait induire la perte définitive d'écotypes\* (sous-populations originales). De tels phénomènes sont déjà documentés (ex. peuplements piscicoles des lacs alpins, flore alpine).
18. La notion d'espèce envahissante\* est conservée dans son acceptation d'espèce exotique\* introduite artificiellement. Est ici exclue de cette notion l'extension « naturelle » d'une aire de répartition, sans intervention humaine directe (ex. espèces thermophiles\*).

### **III.1.3.3 Quelques clés de compréhension des changements observés et prévisibles de la biodiversité**

19. La description objective des réactions des écosystèmes et de leurs composantes doit être distinguée de la question, plus subjective, du caractère « adaptatif » ou non de ces réactions (viabilité à long terme).

20. Il est donc nécessaire de relier les évolutions observées des écosystèmes à un « système de valeur » explicite qui définira les critères de référence du caractère adaptatif ou non de ces évolutions. Il apparaît que ce système est le plus souvent anthropocentrique.
21. Dans une vision anthropocentrique, une des principales conséquences de la perte de biodiversité sera la diminution éventuelle des services écosystémiques et, corrélativement, du bien-être humain. Trois types de services sont retenus : services d’approvisionnement, de régulation et à caractère social.

#### **III.1.3.4 Éléments d’évaluation économique des impacts**

22. Il est aujourd’hui admis que les services écosystémiques sont en grande partie des services de régulation (ex. stockage de carbone, régulation de la qualité de l’eau) et que ceux-ci ne sont que très partiellement intégrés dans une logique marchande.
23. La quantification économique des impacts futurs du changement climatique est délicate pour des variations de grande ampleur de la biodiversité. Par contre, il est possible de faire des prévisions à économie constante pour des variations marginales des services écosystémiques.
24. Le groupe « Biodiversité » a choisi une démarche générale d’évaluation économique fondée sur les services écosystémiques de la biodiversité générale, qu’il a appliquée aux services rendus par les écosystèmes coralliens et forestiers, pour lesquels on dispose de données fiables.
25. Cette approche ne considère donc pas les multiples valeurs associées aux apparitions et disparitions d’espèces ou autres composantes de la biodiversité remarquable\*.
26. Des pertes économiques significatives liées à la diminution voire la disparition de services de régulation sont à attendre en particulier dans la seconde moitié du 21ème siècle.
27. Les récifs coralliens ne sont aucunement menacés par l’élévation du niveau de la mer, mais vont subir des blanchissements\* de plus en plus fréquents du fait de l’augmentation de température de l’eau. En outre, leur capacité de calcification pourrait diminuer en raison de l’acidification\* de l’eau. Ces phénomènes mettent en péril ces écosystèmes fragiles et les services qu’ils rendent.
28. On montre finalement que l’évolution quantitative des espaces occupés par des écosystèmes à haute production de services sera un facteur plus déterminant de perte (ou de gain) de tels services que la fluctuation par hectare de ces mêmes services sur les surfaces restantes.
29. Il s’agira de tirer des recommandations en termes de politiques territoriales pour conserver et améliorer ce potentiel d’offre de services (ex. par le maintien voire la reconquête des surfaces à couvert végétal permanent).

#### **III.1.3.5 Effets croisés entre adaptation au changement climatique, atténuation et conservation-utilisation de la biodiversité**

30. On étudie les effets croisés entre la biodiversité et différents secteurs d’activités, eux-mêmes touchés par le changement climatique, afin de préciser dans quelle mesure les stratégies d’adaptation – tant spontanées\* que planifiées\* – de ces secteurs peuvent avoir des conséquences, notamment négatives, sur la biodiversité.
31. Cette analyse transversale amène à considérer les représentations de la biodiversité que peuvent avoir les différents acteurs concernés.
32. On constate aujourd’hui que les politiques publiques intègrent peu la biodiversité, malgré les impacts du changement climatique – combinés aux autres pressions existantes – d’une part ; et la sensibilité accrue au rôle de la biodiversité générale\* d’autre part.
33. L’hypothèse de travail à économie constante s’avère contraignante et peu réaliste : le groupe « Biodiversité » recommande de prendre en compte de façon plus détaillée

- entre autres - les impacts indirects du changement climatique, la politique française d'atténuation\*, les évolutions probables de l'occupation du sol.
- 34. Dans plusieurs domaines comme l'agriculture et la foresterie, les interdépendances avec la biodiversité sont jugées particulièrement fortes.
- 35. La notion de services écosystémiques permet d'éclairer ces interdépendances.
- 36. S'achemine-t-on vers une multifonctionnalité des territoires ou bien au contraire vers une plus grande spécialisation ? Quels sont les facteurs déterminant l'option future dominante (ex. volonté politique) ?
- 37. L'adaptation spontanée de certains secteurs (ex. urbanisme, énergie, transport) n'a-t-elle pas potentiellement plus d'impacts sur la biodiversité que l'adaptation planifiée ? Cet aspect mérite d'être analysé en profondeur.
- 38. Il est nécessaire d'accompagner - voire d'orienter - les évolutions en cours de la politique de protection de la biodiversité au vu de ces éléments et, parallèlement, de renforcer l'intégration de l'enjeu de conservation de la biodiversité dans les politiques sectorielles.
- 39. Privilégier la gouvernance territoriale peut permettre de faire la synthèse des différents enjeux aux échelles spatiales pertinentes.
- 40. Il conviendra également d'analyser l'ensemble des mesures d'adaptation et d'atténuation, afin de promouvoir celles qui exploitent le maximum de synergies et de minimiser les conflits entre stratégies d'adaptation / stratégies d'atténuation / protection de la biodiversité.

### **III.1.3.6 Stratégies d'adaptation favorables à la biodiversité**

- 41. L'objectif est de procéder à un premier recensement des stratégies d'adaptation au changement climatique favorables à la conservation de la biodiversité, puis d'identifier les mesures « sans regret »\* (bénéfiques à la biodiversité même hors contexte du changement climatique), les plus opérationnelles possibles.
- 42. Ces mesures doivent s'inscrire dans la perspective de l'application du principe de précaution\* (face à des risques graves et irréversibles), ce qui signifie en particulier que les actions mises en œuvre doivent être accompagnées de moyens d'acquisition de connaissances complémentaires.
- 43. Cette question couplée - adaptation au changement climatique et biodiversité - fait l'objet de plus en plus de discussions dans les multiples lieux de prise de décision, qu'ils soient internationaux, communautaires, nationaux ou locaux. Il convient donc de renforcer la cohérence globale de la gouvernance au sein de cet emboîtement d'échelles et de reconnaître et coordonner les responsabilités aux différents niveaux d'intervention.
- 44. On distingue plusieurs catégories de mesures d'adaptation planifiée pour la biodiversité, mutuellement complémentaires :
  - l'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles (ex. dispositifs d'observation et de suivi, modélisation) ;
  - l'intégration des enjeux du changement climatique dans les politiques publiques de conservation et de gestion de la biodiversité ;
  - l'intégration de nouveaux principes et outils dans ces mêmes politiques ;
  - la promotion d'une gouvernance intégrée ;
  - la sensibilisation et la mobilisation de l'ensemble des acteurs.
- 45. Ces mesures s'inscrivent dans un large continuum allant du maintien de certains éléments de la biodiversité sur place jusqu'à l'accompagnement des changements en cours et anticipés. Des options de gestion contrastées en découlent, plus ou moins dirigistes.
- 46. La piste de la gestion adaptative semble prometteuse et « sans regret » : il s'agit de privilégier les itinéraires de gestion pouvant être modifiés au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances.

47. Sachant que la meilleure connaissance scientifique disponible des impacts du changement climatique sur la biodiversité sera toujours entachée d'incertitude, les politiques d'adaptation privilégieront la gestion adaptative, l'analyse de risque et l'application du principe de précaution.
48. Une autre recommandation porte sur le renforcement de la « résilience fonctionnelle »\* des écosystèmes et de la connectivité\* (développement d'infrastructures vertes, réseaux d'aires marines protégées), aux échelles adaptées. L'enjeu réside dans l'utilisation de la capacité d'adaptation des espèces et des écosystèmes en place plutôt que dans leur modification et leur remplacement anticipé.
49. Le changement climatique ne doit pas occulter l'enjeu tout aussi prioritaire de réduction des nombreuses autres pressions exercées sur la biodiversité. C'est là un domaine d'investigation pour des mesures sans regret visant conjointement à l'adaptation au changement climatique et à la réduction des pressions.
50. Le développement d'une gouvernance intégrée (insérée dans chaque politique sectorielle) est nécessaire.
51. La sensibilisation et la formation des acteurs doivent être renforcées et évaluées.
52. Toutes ces pistes doivent faire l'objet d'une discussion collective, concertée, avec l'ensemble des acteurs.
53. Le groupe « Biodiversité » a choisi de ne pas aborder le chiffrage du coût des mesures d'adaptation, l'importance des incertitudes sur les connaissances et les hypothèses laissant présager des résultats inexploitable.

### III.1.4 Concepts-clés sur la biodiversité

La Convention sur la diversité biologique (1992) fournit la définition communément admise de diversité biologique comme étant la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie : cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ». Cette définition introduit deux notions importantes :

La biodiversité prend en compte de façon simplifiée trois niveaux d'organisation du vivant : génétique, au sein des espèces ; spécifique, entre espèces ; écologique, entre les associations d'espèces caractérisant les écosystèmes. On pourrait introduire de nombreux autres niveaux, comme celui des populations d'une espèce – qui sont souvent adaptées à des conditions particulières – ou celui des paysages – assemblage spatial d'écosystèmes. La biodiversité est donc un objet multidimensionnel, dont chaque niveau est caractérisé par des phénomènes biologiques spécifiques. En corollaire, soulignons le caractère extrêmement partiel de la connaissance de ces différents niveaux : même en se limitant aux êtres « organisés » (constitués de nombreuses cellules différenciées), on avance souvent le chiffre de 5 à 10% comme proportion des espèces aujourd'hui décrites<sup>43</sup>.

La biodiversité n'est pas une collection d'entités indépendantes mais un ensemble d'interactions entre ces entités. La notion de « complexes écologiques » traduit cette vision d'un système dont les propriétés dépendent moins des caractéristiques propres à chaque entité que des multiples échanges (de matière, d'énergie, d'information) qui s'établissent entre elles. La biodiversité est donc un système complexe. En corollaire, se limiter à des entités particulières ne permettra pas de comprendre et, a fortiori, de gérer la biodiversité.

À différentes échelles de temps, la structure de la biodiversité évolue, qu'il s'agisse de déplacements, de variations d'abondance des espèces ou d'adaptation aux changements de l'environnement. La notion d'équilibre, souvent associée implicitement à l'absence d'interventions humaines, est donc le plus souvent une notion théorique non pertinente pour analyser les situations concrètes. La biodiversité est un système dynamique et sa conservation passe d'abord par celle de ses capacités d'évolution. Ceci amène aujourd'hui à considérer avec prudence les stratégies de conservation du type « arche de Noé » (conservation d'un nombre nécessairement restreint d'entités dans des milieux « protégés »).

Enfin, il est nécessaire de considérer non seulement la diversité au sens strict (nombre d'entités distinctes) mais également de prendre en compte l'abondance absolue de ces entités pour décrire effectivement la biodiversité. En effet, même si le nombre d'entités n'est pas affecté, au moins dans un premier temps, par un changement quelconque, une diminution de leur abondance absolue se traduira le plus souvent par des modifications du fonctionnement des écosystèmes.

#### III.1.4.1 État de la biodiversité en France

Présente dans quatre régions biogéographiques au niveau métropolitain (cf. carte en Annexe F.1) et dans huit régions biogéographiques outre-mer, la France possède un

---

<sup>43</sup> S'y ajoutent les êtres unicellulaires, encore moins connus mais qui constituent, en terme de quantité de matière vivante mais sans doute aussi de diversité, la très grande majorité des êtres vivants.

patrimoine biologique exceptionnel et extrêmement varié, tant en matière d'espèces que de milieux naturels. En métropole, on recense actuellement 135 espèces de mammifères, 38 espèces de reptiles et autant d'amphibiens, 34 600 espèces d'insectes et plus de 6000 plantes vasculaires<sup>44</sup>. On recense 561 espèces d'oiseaux au total en France, dont 287 nicheuses régulières et 16 nicheuses occasionnelles<sup>45</sup>. Le territoire hexagonal est couvert à plus de 42% par des espaces naturels, dont 12,6% sont protégés (cf. carte en Annexe F.1). L'insularité et l'endémisme bouleversent les relations d'ordre et confèrent à la France outre-mer des nombres très élevés (et donc une responsabilité importante) d'espèces connues à ce jour (par ex. 60 fois plus d'oiseaux et jusqu'à 100 fois plus de poissons d'eau douce dans ces zones qu'en métropole). Néanmoins, plusieurs menaces occasionnent une perte importante de biodiversité, telles que :

- la surexploitation des ressources naturelles renouvelables ;
- la dégradation des habitats par la pollution physico-chimique ;
- la réduction de la taille et la fragmentation des habitats favorables à la biodiversité ;
- les invasions biologiques ;
- le changement climatique.

L'Europe s'est engagée à stopper la perte de biodiversité d'ici à 2010, objectif repris par la Stratégie nationale de la biodiversité (SNB)<sup>46</sup>. Cette dernière fournit le cadre général des politiques de conservation de la biodiversité en France.

#### **III.1.4.2 Tendances progressives versus aléas ponctuels**

Les impacts du climat sur la biodiversité relèvent de deux grandes catégories : les tendances à long terme d'une part (ex. élévation progressive de la température annuelle moyenne de l'air), les aléas ponctuels d'autre part, dont les événements extrêmes (ex. sécheresse, tempête). Dans le premier cas, les modifications sont graduelles et dépendent à la fois de la capacité d'adaptation des individus ou des écosystèmes, mais aussi de leur possibilité (et capacité) de dispersion. Dans le second cas, les phénomènes de crise peuvent annihiler ou au contraire augmenter l'impact de changements graduels. Ainsi des printemps plus chauds et plus précoces ne sont pas synonymes d'un meilleur succès de reproduction des oiseaux si d'intenses phases pluvieuses perturbent la saison à certains moments clés du cycle biologique. Ces deux phénomènes complexifient la lecture de la réaction potentielle ou observée de la biodiversité, les aléas pouvant être d'une ampleur telle qu'ils peuvent bouleverser les processus d'adaptation de la biodiversité aux changements de long terme.

#### **III.1.4.3 Changement climatique et changements globaux**

Le changement climatique interagit avec l'ensemble des autres modifications d'origine anthropique de la biosphère : on parle alors de « changements globaux ». Outre le changement climatique, ceux-ci regroupent – entre autres – le changement d'occupation des sols (urbanisation, agriculture intensive, déforestation...), le changement des pratiques, la multiplication des espèces envahissantes, la surexploitation des ressources naturelles renouvelables, la mondialisation des échanges.

---

<sup>44</sup> MEDD, IFEN, 2004

<sup>45</sup> Dubois, com. pers

<sup>46</sup> MEDD, 2004

#### III.1.4.4 Adaptation de la biodiversité / Mesures d'adaptation pour la biodiversité

Lorsqu'on parle d'adaptation\* de la biodiversité, il s'agit de phénomènes biologiques ayant lieu face à des événements extérieurs, en particulier influencés par le changement climatique. Par contre, lorsqu'il s'agit d'actions humaines, sera utilisé le terme de mesures d'adaptation, que cette adaptation soit spontanée\* ou planifiée\*.

#### III.1.4.5 Typologie des impacts du changement climatique sur la biodiversité : vers une problématique systémique

La question de l'évolution de la biodiversité sous l'effet du changement climatique est souvent posée sous l'angle d'une réponse directe des espèces aux modifications des principaux paramètres physiques du climat (ex. température, pluviométrie) ou des paramètres chimiques qui y sont directement associés (ex. composition de l'atmosphère, pH des milieux aquatiques). Il est important d'élargir cette problématique, en montrant que les effets indirects du changement climatique, via la modulation d'autres facteurs agissant sur la biodiversité, sont sans doute plus importants que les effets directs. La Figure 9 représente le modèle formel proposé par le groupe Biodiversité, en distinguant quatre types d'effets (détaillés dans la partie III.2).

##### *Encadré 6 - Typologie des différents impacts du changement climatique sur la biodiversité*

1. Les effets directs (de type I) relèvent de l'action de modifications climatiques sur les caractéristiques d'espèces, écosystèmes et fonctionnalités écologiques. Ils sont les moins difficiles à déceler et décrire, conditionnellement à l'identification de leurs interactions avec les autres catégories d'effets et avec les autres types de changements.
2. Les effets indirects de type II sont les effets du changement climatique sur les principales pressions identifiées aujourd'hui comme étant à l'origine de l'érosion de la biodiversité (pollutions, etc., ici représentées sans hiérarchie particulière).
3. Les effets indirects de type III sont les conséquences sur la biodiversité de la réaction des différents secteurs d'activité, qu'il s'agisse d'atténuation\*, d'adaptation spontanée\* ou planifiée\*. Ce point est particulièrement important à souligner pour inciter les différents groupes de travail sectoriels à identifier non seulement les possibilités et les coûts d'adaptation de leur secteur mais aussi de telles externalités.
4. Les effets de type IV sont, par rétro-action, les impacts de la biodiversité sur le changement climatique, tant en matière d'atténuation\* (ex. captage des gaz à effet de serre par certains écosystèmes) que d'adaptation\*.

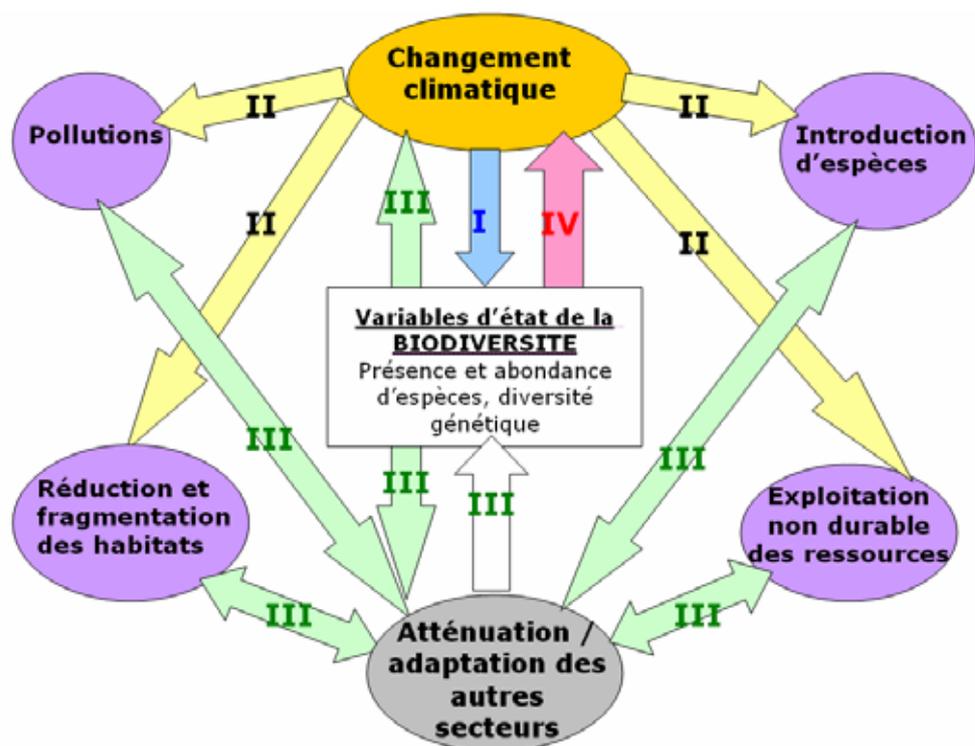


Figure 9 - Modes d'action du changement climatique sur la biodiversité (Chevassus-au-Louis, 2009. Com. pers.)

### III.2 Chapitre I - Impacts actuels du changement climatique sur la biodiversité

Dans le cadre du Groupe interministériel, il s'agit de dresser une synthèse de l'état des connaissances des impacts actuels et à venir du changement climatique sur la biodiversité, sous-entendu impacts *directs* sur la biodiversité.

Le groupe Biodiversité a ainsi cherché à mettre en regard, à dire d'expert et à partir de la bibliographie, les différents aléas climatiques (liste complète en Annexe C.3) et leurs impacts directs (effets de type I cités ci-dessus) sur différents compartiments de la biodiversité. À la description de ces impacts peuvent être affectés divers critères de pondération, à savoir : la plausibilité d'occurrence de l'impact, son ampleur lorsqu'il s'exerce effectivement et l'importance à lui accorder (plus subjectif).

Bien qu'il ne soit pas possible dans les délais impartis de fournir une vision exhaustive de l'ensemble des impacts en France, un fait est avéré : le changement climatique produit déjà des effets sur la biodiversité, à tous les niveaux d'organisation (génétique, spécifique, écosystémique), dans tous les milieux (terrestres, aquatiques, marins).

Le groupe Biodiversité s'inscrit dans une perspective systémique. Cette analyse implique *a minima* de mieux identifier les effets indirects et, dans une logique de prévention, de tout faire pour minimiser rapidement l'ensemble des pressions afin de permettre à la biodiversité d'affronter « sans handicap » le changement climatique.

Ce premier chapitre vise donc à préciser les différents types d'impacts directs et indirects du changement climatique sur la biodiversité, puis à donner quelques exemples concrets d'effets directs déjà observés sur la biodiversité.

### **III.2.1 Impacts directs du changement climatique sur la biodiversité (type I)**

Les changements directs déjà observés relèvent de modifications de (liste non exhaustive) :

#### *Encadré 7 - Changements directs constatés sur la biodiversité*

- la physiologie des individus ;
- leur comportement (ex. sédentarisation versus migration) ;
- la diversité et l'abondance d'espèces ;
- leur distribution géographique (ex. déplacement en altitude et vers le nord d'espèces terrestres) ;
- la structure des communautés (ex. espèces généralistes prenant parfois le dessus sur des spécialistes) ;
- la phénologie\* (ex. asynchronie\* entre les cycles des proies et des prédateurs) ;
- la surface occupée par des milieux naturels.

Ces modifications sont d'ampleur et de rapidité diverses.

La phénologie\* étudie la répartition dans le temps des phénomènes périodiques caractéristiques du cycle vital des organismes. Cela va de la floraison des plantes à l'arrivée des oiseaux migrateurs.

La modification des aires de répartition des espèces est observée chez de nombreux groupes, tant terrestres que marins et pas seulement ceux qui à première vue semblent les plus mobiles. Ce changement d'aire de répartition joue sur l'ensemble des espèces, entraînant en général un glissement des aires vers le nord ainsi qu'en altitude (ou en profondeur dans le domaine marin). Cependant, extrapoler à un glissement d'ensemble des communautés écologiques est trop simpliste, car les variations d'aires dépendent de nombreux facteurs (espèce généraliste/spécialiste...) et il est difficile de décrire l'évolution des peuplements. On assiste plutôt à leur recombinaison par apparition ou disparition d'espèces et modification d'abondance des populations.

### **III.2.2 Impacts du changement climatique sur les autres pressions pesant sur la biodiversité (type II)**

Si l'on s'interroge sur l'effet du changement climatique sur les quatre principales pressions (surexploitation des écosystèmes terrestres et marins, pollution, fragmentation des milieux et espèces envahissantes) qui pèsent sur la biodiversité (Figure 9), on est amené à constater qu'ils conduiront souvent à renforcer ou à augmenter les impacts de ces dernières.

La canicule de 2003 a permis d'étudier les effets de ce type d'accident climatique. Pour ne donner que quelques exemples :

#### *Encadré 8 - Quelques conséquences des événements extrêmes : cas de la canicule*

- L'augmentation de la température de l'air provoque d'une part un stress hydrique pour les plantes et d'autre part un accroissement des incendies, perturbation bien étudiée dans le bassin méditerranéen. De naturelle, elle est devenue anthropique et de plus en plus fréquente. Un changement de cortège végétal, au profit des espèces buissonnantes pyrophytiques\* est en cours ;
- L'augmentation de l'ampleur ou de la durée des étiages des cours d'eau augmente la concentration et donc l'effet, des substances toxiques ;
- La présence de matières organiques dans l'eau diminue, pour une température donnée, la concentration en oxygène et peut donc conduire à éliminer des espèces pourtant considérées comme tolérantes à ces températures ;
- Le réchauffement favorise l'arrivée de nouvelles espèces ou augmente la probabilité d'acclimatation des espèces introduites, notamment d'agents pathogènes. Ainsi, certains dépérissements des coraux sont dus à la fois à des apports de champignons pathogènes liés à l'augmentation de la turbulence atmosphérique et à des effets directs de la température qui créent un stress pour les micro-organismes qui constituent le corail, diminuant par exemple leur capacité de résistance aux agents pathogènes (champignons ou bactéries).

Le changement climatique contribue à faire disparaître ou à morceler certains habitats (zones humides, prairies d'altitude, reliques glaciaires), ce morcellement augmentant la probabilité d'extinction des espèces. Il diminue également l'abondance de certaines espèces exploitées ou restreint leur aire de répartition, conduisant ainsi, à pression d'exploitation inchangée, à des risques de surexploitation.

### **III.2.3 Impacts sur la biodiversité de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique de différents secteurs d'activités (type III)**

Les « externalités négatives »\* dues aux réactions des divers secteurs d'activité face au changement climatique (politiques d'atténuation\*, adaptation spontanée\* et planifiée\*) peuvent être nombreuses. On peut évoquer :

- le recours à l'irrigation des cultures<sup>47</sup> (par le prélèvement en période d'étiage) et à la création de retenues agricoles, avec leurs effets sur les cours d'eau et sur les nappes superficielles, essentielles par exemple pour l'alimentation des peuplements forestiers comme pour le maintien des zones estuariennes et la productivité des zones côtières ;
- l'augmentation du fret maritime et son effet sur les introductions d'espèces, via l'augmentation de la « pression de propagules » lors des déballastages ;
- la densification urbaine, objectif louable en termes d'économies d'énergie, mais qui peut se révéler antagoniste d'un objectif de préservation de la biodiversité dans les zones urbaines et périurbaines en créant des ruptures, des coupures limitant les déplacements d'espèces ;

---

<sup>47</sup> Un développement de l'irrigation n'est pas évident : certaines zones marqueront d'eau, tandis que d'autres connaîtront une élévation de température se traduisant par une augmentation de la pluviométrie.

- les risques, pour certains éléments de biodiversité forestière, dus à l'augmentation des prélèvements de biomasse en forêt, notamment de bois énergie pour substitution aux énergies fossiles<sup>48</sup>.

### III.2.4 Impacts de la biodiversité sur le changement climatique (type IV)

La biodiversité peut tout d'abord être considérée comme un facteur d'atténuation\*<sup>49</sup>.

Au niveau global, la régulation du climat par différents écosystèmes se fait grâce à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et grâce à la séquestration de carbone (Tableau 12). Les travaux du GIEC ont montré que 40% du CO<sub>2</sub> émis restent dans l'atmosphère, 25% sont absorbés par les océans et 35% par les écosystèmes terrestres. La capacité de stockage de carbone des océans, forêts, prairies, tourbières et sols s'avère donc essentielle. Si les écosystèmes sont la plupart du temps des puits nets de dioxyde de carbone et d'ozone, ils sont en revanche des émetteurs nets de méthane et d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O).

Au niveau local, la régulation du climat se fait principalement par l'augmentation ou la diminution des températures locales via la régulation grâce à l'évapotranspiration, l'effet albédo, etc.

Tableau 12 - Service de régulation du climat global (MEEDDM, 2009a)

Grands écosystèmes	Différentes formes prises par le service		
	Séquestration de carbone dans la biomasse	Séquestration de carbone dans sol, fonds marins, sédiments	Emissions de gaz à effet de serre
Ecosystème littoral	0 (peu de végétaux)	X (ZH riches en matière organique)	X (CH <sub>4</sub> zones humides)
Ecosystème forestier	X	X	0
Ecosystème forestier pionnier	X	X	0
Ecosystème montagneux	X	X	0
Ecosystème agricole	0 (stockage compensé par récolte)	X ou 0 (selon pratiques agricoles)	X (si trop fertilisants, ruminants)
Ecosystème urbain	0	0	X
Mers et océans	X	X	0
Surfaces d'eau stagnantes (plans d'eau, étangs, lacs)	X	X	X (CH <sub>4</sub> zones humides)
Zones humides (ZH)	X	X (ZH riches en matière organique)	X (CH <sub>4</sub> zones humides)

<sup>48</sup> Bouget *et al.*, 2009 ; Gosselin, 2009

<sup>49</sup> Le rôle des écosystèmes dans l'atténuation du changement climatique, popularisé par le rapport Stern sur les coûts de l'inaction, fait l'objet actuellement de négociations dans le cadre de la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, à travers le thème des changements d'utilisation des sols et celui de la forêt, notamment concernant le mécanisme REDD+ (Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement).

Ainsi, des travaux récents menés sur des prairies permanentes dans le cadre des programmes européens « GreenGrass » et « Carbo-Europe » montrent que ces prairies sont d'autant plus aptes à stocker le CO<sub>2</sub> qu'elles ont une diversité floristique, favorisée par une gestion plus extensive. À l'inverse, une gestion intensive de ces prairies en réduit le rôle de puits de carbone<sup>50</sup>.

Les zones humides jouent un rôle dans l'émission / le stockage de gaz à effet de serre (en particulier le dioxyde de carbone et le méthane). Une récente publication<sup>51</sup> recense les zones humides en fonction de leur « bilan carbone » : mangroves ; estuaires et marais tidaux ; zones humides d'eau douce intérieures - prairies humides - ; herbiers marins ; permafrost, toundras, tourbières ; lacs et réservoirs d'eau ; récifs coralliens.

La biodiversité peut également jouer un rôle important dans l'adaptation\* au changement climatique<sup>52</sup>, à savoir dans la limitation de ses effets négatifs et l'accroissement de ses effets positifs. En voici quelques cas concrets :

#### *Encadré 9 - Adaptation et zones humides*

Elles fournissent aussi les premières lignes de défense du littoral et de l'arrière pays, à mesure que se font sentir les effets du changement climatique (fréquence accrue des tempêtes, structure des précipitations modifiée, élévation du niveau et de la température de surface des mers).

#### *Encadré 10 - Adaptation et forêt*

Le rôle des forêts dans les stratégies d'adaptation est de plus en plus reconnu (Eliasch, 2008), par exemple dans la défense contre les vents, la réduction de l'érosion et la régulation de l'eau.

Le service de Restauration des terrains en montagne (RTM) de l'Office national des forêts a été mis en place sur 11 départements alpins et pyrénéens à fort relief (MAP, 2005). Les forêts publiques ayant pour fonction principale la protection du milieu physique représentent aujourd'hui 6% de la surface totale boisée des forêts publiques. Ces forêts jouent un rôle important de protection des infrastructures et des habitants contre les risques naturels : mouvements de terrain, avalanches, séismes, incendies de forêts, coulées de boue, etc.

---

<sup>50</sup> Soussana *et al.*, 2004, 2007 ; Seguin *et al.*, 2007

<sup>51</sup> Comité français UICN, Danone, 2008

<sup>52</sup> UNEP-WCMC, 2009

#### *Encadré 11 - Adaptation et espaces verts et bleus en milieux urbains*

Le développement d'espaces verts et espaces bleus en milieu urbain permet de rafraîchir ces zones, de réguler les crues de rivières et les inondations en ville, ou encore, par l'implantation d'arbres, de réduire les polluants dans l'atmosphère (Grimm *et al.*, 2008).

Le programme AMICA initié sur l'agglomération Lyonnaise vise à identifier de « bonnes » mesures d'adaptation, qui combineront baisse des émissions et baisse de la vulnérabilité locale, dans un but de renforcer le volet adaptation du plan climat du Grand Lyon. Exemples de mesures-clés identifiées : toitures végétalisées ; plantation d'arbres en fonction des zones de chaleur les plus importantes sur le Grand Lyon.

### **III.2.5 Impacts déjà observés sur la biodiversité terrestre**

L'Annexe F.2 détaille les différents outils disponibles pour connaître, suivre et évaluer les impacts en milieu terrestre, aquatique que marin : observations de terrain, mise au point d'indicateurs d'état, expérimentations de terrain ou en laboratoire, modélisations...

On rappelle qu'il s'agit ici de fournir quelques exemples concrets et non un panorama exhaustif des impacts sur l'ensemble de la biodiversité.

#### **III.2.5.1 Modification de la physiologie des individus**

Bien que l'évolution génétique soit un processus naturel normal, des altérations morphologiques exceptionnellement rapides ont été observées chez les insectes sur des périodes brèves (de l'ordre d'une décennie). Il s'agit d'altérations liées à la capacité de vol<sup>53</sup>, aux stratégies de survie, à l'induction de la diapause (dormance), au développement physiologique et à la résistance au froid chez des espèces qui modifient leur aire de répartition.

#### **III.2.5.2 Modification de la diversité d'espèces en un lieu donné**

La richesse en espèces végétales des sommets suisses s'est accrue au cours du siècle dernier de 10 à 20 espèces selon les sommets<sup>54</sup>.

#### **III.2.5.3 Modification de la distribution géographique**

On constate dorénavant un déplacement des aires de distribution vers les latitudes et altitudes plus élevées, déplacement particulièrement bien documenté chez les oiseaux et les papillons :

- expansion altitudinale d'espèces de plaine,
- expansion latitudinale d'espèces méridionales,
- rétractation altitudinale d'espèces orophiles\* (comme le papillon apollon ou certaines espèces nivicoles\*)...

---

<sup>53</sup> Hill, Thomas et Blakeley, 1999

<sup>54</sup> Walther *et al.*, 2005

Si les aires de distribution des oiseaux communs se sont déplacées en moyenne vers le nord de 100 km en 20 ans en France (statistique basée sur le comptage de plusieurs millions d'oiseaux, représentant les 100 espèces les plus communes), ce n'est que la moitié de ce qui était attendu en réponse au réchauffement constaté, en supposant que ces espèces n'ont pas modifié leurs exigences climatiques.

Le moustique *Aedes albopictus*, vecteur du Chikungunya est apparu en région méditerranéenne française et se trouve dans toute la péninsule italienne. Les tiques vecteurs de la maladie de Lyme progressent vers le nord de l'Europe et en altitude.

Le front d'expansion de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) actuellement présente au sud du Bassin Parisien, montre une progression à la fois latitudinale et altitudinale (Figure 10), parallèlement à une augmentation moyenne de la température hivernale de 1,1°C dans la même zone. De plus, cette progression s'est notablement accélérée au fil des années (passage d'un rythme moyen de déplacement de 2,7km/an entre 1972 et 1992 à 5,5km/an durant les 10 dernières années).

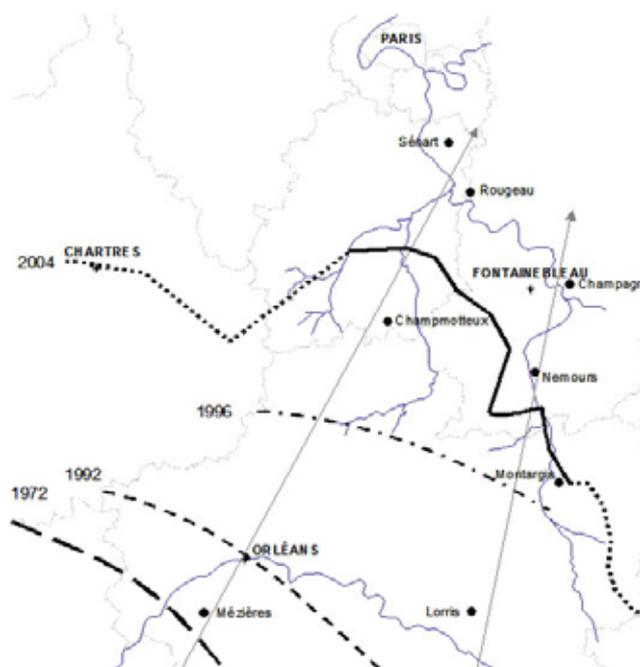


Figure 10 - Évolution du front d'expansion de la chenille processionnaire du pin dans le Bassin Parisien entre 1972 et 2004 (INRA-Orléans)

Toutefois, face à la modification observée des biocénoses, il est parfois délicat de séparer ce qui est une réaction au changement climatique de ce qui est dû aux changements d'usages ou de comportements de nos concitoyens.

*Encadré 12 - Changements de l'aire de répartition du Monarque africain : quelles conséquences du changement climatique ?*

Un exemple concret est donné par la progression vers le nord du monarque africain (*Danaus chrisippus*). Ce papillon tropical a progressivement colonisé l'Espagne pour arriver en France dans les années 1990 où il se rencontre désormais sur la côte méditerranéenne et en Corse (d'après Office Pour les Insectes et leur Environnement). Nul doute que le changement climatique a joué un rôle déterminant dans le succès de cette implantation, mais il apparaît également que les chenilles de cette espèce ne se nourrissent que d'Asclépiadacées tropicales absentes d'Europe. Effet de mode ou sélection de variétés plus résistantes, ces plantes (*Asclepias curassavica* notamment) sont apparues aux catalogues des horticulteurs dans les années 1990 également et ont aujourd'hui beaucoup de succès auprès des jardiniers du littoral méditerranéen.

#### **III.2.5.4 Modification de la structure des communautés**

Le déclin général constaté des espèces spécialistes pourrait être dû en partie au changement climatique, car ces espèces ont plus de difficulté à se déplacer, étant plus exigeantes vis-à-vis de leur habitat.

#### **III.2.5.5 Modification de la phénologie\***

Avec le changement climatique, la répartition et le cycle vital des espèces se modifient, chaque espèce à son rythme (Figure 11).

La période de reproduction des oiseaux se modifie. En Angleterre, sur 65 espèces d'oiseaux étudiées, 20 ont avancé leur date de ponte de 8,8 jours et seule une espèce a retardé son calendrier de reproduction (période d'étude 1971-1995)<sup>55</sup>. Chez les espèces migratrices, les terrains de nidification peuvent devenir accessibles plus tôt dans la saison. Ainsi dans le nord-est du Groenland, la date de fonte des neiges est plus précoce de 14,6 jours depuis 1995, entraînant des dates de pontes plus précoces. En forêt, plusieurs perturbations du développement physiologique des arbres liées au décalage phénologique induit par le réchauffement général des températures peuvent être citées : débourrement plus précoce des arbres qui deviennent alors plus sensibles aux gels tardifs, difficulté de levée de dormance des graines liée à l'absence de période de froid suffisantes, perturbation observées dans le développement des bourgeons.

---

<sup>55</sup> Crick, Sparks, 1999

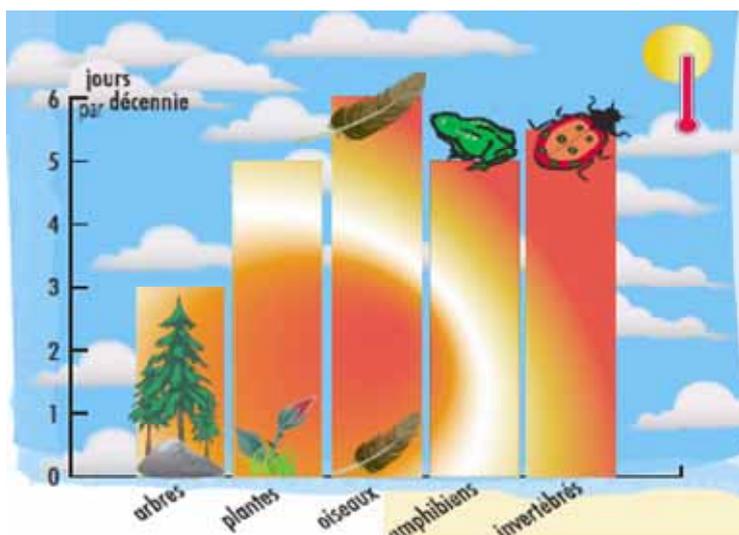


Figure 11 - Variations de la phénologie des groupes d'espèces (ATEN, 2006 : 12)

Les cycles vitaux sont plus ou moins avancés en fonction des groupes d'espèces. Aux extrêmes, les oiseaux connaissent une avancée moyenne de 6 jours par décennie, seulement 3 jours pour les arbres.

Ces décalages provoquent des bouleversements dans le fonctionnement des chaînes alimentaires. Ces difficultés d'adaptation pourraient se traduire par des extinctions et une réorganisation du fonctionnement des communautés.

Il est à noter que les nombreux phénomènes recensés ces dernières années et hâtivement attribués au seul changement climatique se révèlent bien souvent être d'origine plus complexe, souvent étrangère au changement climatique qui, intervenant en révélateur, s'en voit bien souvent attribuer la cause première !

*Encadré 13 - Changement climatique et révélation de dysfonctionnements au sein des écosystèmes forestiers*

C'est le cas des nombreux dépérissements observés sur des stations forestières sensibles au stress hydrique et qui concernent très majoritairement des peuplements implantés en limite de leur résistance écologique aux facteurs du milieu. En ce sens, on peut considérer que l'impact essentiel du changement climatique sur les forêts à ce stade est lié à ce rôle de révélateur des dysfonctionnements des sylvicultures peu précautionneuses de l'adéquation peuplement / station.

### III.2.6 Impacts déjà observés sur la biodiversité aquatique

#### III.2.6.1 Impacts sur les milieux aquatiques d'eau douce

L'augmentation des espèces d'eau chaude au sein de communautés de poissons peut être attribuée au changement climatique, ainsi que des changements dans la structure de taille des communautés, les espèces comme les individus les plus petits étant favorisés<sup>56</sup>. En particulier, dans le bassin du Rhône, on observe au sein des communautés

<sup>56</sup> Daufresne et Boët, 2007

(poissons comme invertébrés) le remplacement progressif d'espèces d'eau froide ayant des exigences élevées en oxygène (chevesne, les Insectes Plécoptères Chloroperla et Protonemura...) par des espèces thermophiles (barbeau, vandoise...) <sup>57</sup>. Lors de la vague de chaleur de 2003, la diminution de la teneur en oxygène dans les couches inférieures des masses d'eau a entraîné le déclin des mollusques de la Saône et un lent retour à la normale a été observé ensuite <sup>58</sup>. Cependant, une espèce défavorisée dans un bassin peut au contraire s'étendre dans un autre : ainsi le chevesne se multiplie en Basse-Normandie et dans le Rhin.

Dans les lacs, des modifications de la stratification thermique sont déjà observées, ainsi qu'un réchauffement progressif de l'eau, y compris les couches les plus profondes (+0,1°C par an pour le lac Léman) et une avancée de la période de mise en place de la stratification (-1 mois en 30 ans pour le lac Léman). Ceci a entraîné un décalage correspondant à la période de boom du phytoplancton et ainsi du maximum du zooplancton herbivore (Daphnies). Les espèces de poissons montrent quant à elles des réactions variables, notamment quant à leur période de reproduction. Ainsi, le corégone, pourtant une espèce d'eau froide, rencontre une conjoncture plus favorable au stade larvaire qui pourrait expliquer pour partie l'augmentation récente du stock de cette espèce (augmentation des captures d'un facteur 6 en 30 ans) <sup>59</sup>.

### III.2.6.2 Impacts sur les milieux aquatiques d'eau de transition

Dans les eaux de transition, la baisse des débits conjuguée à l'élévation du niveau marin conduit globalement à une marinisation des estuaires. Par exemple, l'estuaire de la Gironde a vu la température augmenter de 1°C et les débits diminuer de 260m<sup>3</sup>/s depuis 27 ans, avec pour conséquence l'augmentation des espèces marines (anchois, syngnathe, maigre, sprat et crevette grise) aux dépens d'espèces amphihalines\* comme l'éperlan et le flet.

En plus des changements de distribution et dans la structure des communautés, l'évolution du climat peut également entraîner des modifications des traits d'histoire de vie et de la structure démographique des populations. Par exemple, le Saumon atlantique en France a vu depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle son aire de répartition et l'abondance de ses populations diminuer (disparition des saumons dans la plupart des grands bassins fluviaux). Plus récemment, des modifications de certains traits d'histoire de vie ont été observées : nombre d'hivers passés en mer, âge de smoltification\*, survie marine. Ces modifications peuvent être attribuées à la conjonction des pressions anthropiques et du changement climatique.

### III.2.7 Impacts déjà observés sur la biodiversité marine

On retrouve en mer des types d'impacts du changement climatique comparables à ceux qui s'exercent sur la biodiversité terrestre. Ainsi, les maxima d'abondance du plancton de la mer du Nord font apparaître des désynchronisations entre cycles de développement dus à des décalages temporels qui varient selon les espèces. Dans les mers européennes, le réchauffement des eaux a provoqué des changements d'aires de répartition et d'abondance locale de nombreux organismes (invertébrés planctoniques et benthiques, poissons). L'huître creuse japonaise, dont l'aire de répartition traditionnelle est en sud-

---

<sup>57</sup> Daufresne *et al.*, 2004

<sup>58</sup> Mouthon et Daufresnes, 2006

<sup>59</sup> Gerdeaux, 2007

Loire, est devenue envahissante, colonisant les côtes de Bretagne et de Normandie comme les habitats en Mer du nord jusqu'en Norvège. La morue *Gadus morhua* est une espèce boréale largement répandue dans l'Atlantique nord. En mer du Nord, elle est en limite sud de son aire de répartition. À la fin des années 1980, « l'écosystème mer du Nord » a changé sous l'effet de facteurs climatiques, tandis que l'exploitation de la morue s'est intensifiée. La conjugaison de ces deux pressions a entraîné l'effondrement d'abondance de la morue de mer du Nord au début des années 2000. A contrario, des espèces lusitaniennes (rouget) ou subtropicales (anchois), peu ou pas observées en mer du Nord il y a 30 ans, y sont désormais installées. L'Annexe F.4 fournit d'autres exemples d'impacts sur le milieu marin.

L'outre-mer français abrite 10% des récifs coralliens de la planète. Ce sont, avec les forêts tropicales, les écosystèmes les plus diversifiés au monde. Les effets observés du changement climatique sont les suivants :

### **III.2.7.1 élévation du niveau des océans**

En dehors d'une érosion constatée partout dans le monde et de l'ordre de la vingtaine de centimètres au cours du siècle passé, aucun effet de l'élévation du niveau de la mer sur les récifs et les mangroves n'a été constaté à ce jour. Cette même élévation du niveau des océans a des effets sur d'autres types de milieux que les récifs coralliens.

### **III.2.7.2 élévation de la température de surface des océans**

Les trois dernières décennies sont parmi les plus chaudes depuis plus d'un siècle, ce qui s'est traduit en de multiples endroits par des températures estivales de l'eau de mer anormalement élevées. Ces températures, proches de la limite que peuvent supporter les coraux constructeurs de récifs, causent leur blanchissement\* (rupture de la symbiose avec les microalgues qu'ils hébergent dans leurs tissus) suivi de mortalité si le stress se prolonge. De tels événements se sont multipliés ces dernières années à grande échelle : dans le Pacifique en 1991, 1998 et plus récemment en 2005 dans les Caraïbes. Les conséquences ont été des mortalités importantes de coraux et de récifs, suivies de modalités de récupération variables selon les zones affectées.

### **III.2.7.3 augmentation de la fréquence et/ou intensité des tempêtes et cyclones**

L'augmentation de fréquence des cyclones au cours des trois dernières décennies dans les Caraïbes et dans l'Océan Indien a été néfaste au bon état de santé des écosystèmes coralliens. Ces cyclones rabetent la pente externe des récifs et causent de fortes pertes de biodiversité. Dans le Pacifique central, en Polynésie, on ne peut pas faire ce constat : les cyclones destructeurs sont rares ; ils ne se produisent qu'en périodes El Niño fortement marquées. Les périodes cycloniques ont été 1878, 1901-1903 et 1982-83 et les récifs récupèrent entre temps des dégradations qu'ils subissent<sup>60</sup>.

---

<sup>60</sup> Les récifs récupèrent complètement et sans séquelle. Le cyclone provoque une casse mécanique et laisse le substrat calcaire sur lequel s'implantent des algues et de jeunes larves de coraux. Peu à peu, en 10-15 ans, un récif complètement abrasé se retrouve florissant, à condition qu'entre temps ne surgisse pas un autre cyclone. Le problème du changement climatique réside dans l'augmentation de fréquence des cyclones.

#### III.2.7.4 acidification\* des eaux océaniques

Plusieurs travaux font état d'une diminution de la calcification des coraux depuis un siècle. L'analyse du récent déclin du taux de calcification de coraux massifs de la Grande Barrière (Australie) illustre la pluri-causalité de ce phénomène. L'acidification est l'un des plus grands risques que courent non seulement les coraux, mais aussi les mollusques pour le développement de leurs coquilles ou encore tous les organismes à squelette calcaire.

### III.3 Chapitre II- Incidences futures du changement climatique sur la biodiversité

Le changement climatique produit déjà des effets sur la biodiversité, partout dans le monde. Quelles seront les incidences à venir selon les différents scénarios climatiques ?

Le Groupe interministériel a choisi de se focaliser sur les scénarios climatiques A2 et B2 du GIEC. Toutefois, il convient de noter que ces deux scénarios n'englobent pas la totalité de la variation explorée dans le rapport du GIEC. Les scénarios A1FI et B1 sont les deux extrêmes opposés<sup>61</sup> les plus couramment utilisés dans les études de biodiversité. La spécification du modèle climatique et du scénario employé<sup>62</sup> est donc primordiale : les résultats présentés dans ce chapitre sont systématiquement assortis du nom du modèle, du scénario et de l'horizon utilisés.

De plus, il semble qu'on s'achemine vers le pire des scénarios climatiques du GIEC<sup>63</sup> : dans ce cas, la vitesse des changements futurs dépasse celle des références connues dans l'histoire passée.

Le Groupe s'attache à l'étude des impacts aux horizons temporels 2030, 2050, 2100 : néanmoins, l'évolution de la biodiversité dépendra largement des scénarios à très long terme (22ème et 23ème siècle).

Comme détaillé dans l'Annexe F.2 à propos des outils de connaissance des impacts futurs, de fortes incertitudes sont attachées aux résultats des modélisations :

- incertitudes liées aux modèles d'impacts calibrés sur les données actuelles ;
- au climat futur (modèles climatiques, scénarios d'émission et méthodes de désagrégation) ;
- aux interactions (positives ou négatives, encore inconnues) entre la biodiversité future et le climat futur.

De ce fait, seuls des scénarios d'évolution peuvent être proposés. Ils donnent des tendances générales de ce que pourrait être le devenir d'une espèce particulière, d'un habitat ou d'un espace plus vaste en fonction d'un certain nombre de paramètres amenés à être modifiés dans le futur. En aucun cas les résultats obtenus avec ces outils ne doivent être utilisés tels quels sans connaître les différentes incertitudes inhérentes à ce

---

<sup>61</sup> A1FI est un scénario global d'utilisation massive d'énergie fossile, tandis que le B1 est un scénario global de développement durable avec utilisation maximum d'énergie renouvelable.

<sup>62</sup> On relèvera tout de même qu'un modèle climatique X appliqué au scénario A1FI peut annoncer des valeurs de températures similaires à un modèle Y appliqué au scénario A2 ou B2.

<sup>63</sup> Du fait de la divergence constatée entre les émissions réelles et les émissions prévues par les différents scénarios, entraînant des hausses de température et du niveau de la mer plus importantes qu'imaginées antérieurement. Cf. <http://climatecongress.ku.dk/>

type d'approche. Par conséquent, la connaissance des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité repose sur des éléments de prospective\* et non de prédiction\*. L'interprétation et l'utilisation des résultats (par exemple des cartes) dans l'aide à la décision devront être prudentes.

Néanmoins, on constate que les résultats issus de différents modèles d'impacts aujourd'hui disponibles convergent sur le sens des évolutions à venir (l'Annexe F.3 présente le cas du hêtre).

### III.3.1 Impacts futurs sur la biodiversité terrestre

Les différents types de modèles sont présentés en Annexe F.2 : modèles de niche ou d'habitat ; modèles de dynamique de la végétation ; modèles individus-centré.

#### III.3.1.1 Quelques résultats d'impacts futurs issus de modèles de niche

La plupart des données disponibles ou des modèles élaborés pour caractériser la réponse de la biodiversité à ces changements s'appuie sur la connaissance des paramètres physico-chimiques de la niche écologique\* des espèces, définie en particulier par des préférences thermiques (extrêmes et/ou moyennes annuelles, exigences particulières à certains stades du cycle biologique).

Le changement climatique devrait entraîner une modification substantielle de l'aire de distribution des espèces. Une partie de la biodiversité terrestre française a été modélisée par des modèles de niche pour 1062 espèces végétales, 328 oiseaux nicheurs en France, 106 reptiles ou amphibiens et 139 mammifères selon les scénarios A2 et B2, avec une simulation d'évolution à horizon 2080 (modèle climatique anglais HadCM3)<sup>64</sup>. Un tiers des espèces végétales, des mammifères et des oiseaux (Tableau 13) pourraient voir leur aire de distribution diminuer d'au moins 20%. On prévoit que près de 62% des reptiles ou amphibiens perdront au minimum 20% de leur aire actuelle de répartition. Cette réduction devrait augmenter significativement les risques d'extinction pour de nombreuses espèces – une fraction d'autant plus élevée que celles-ci auront du mal à se déplacer.

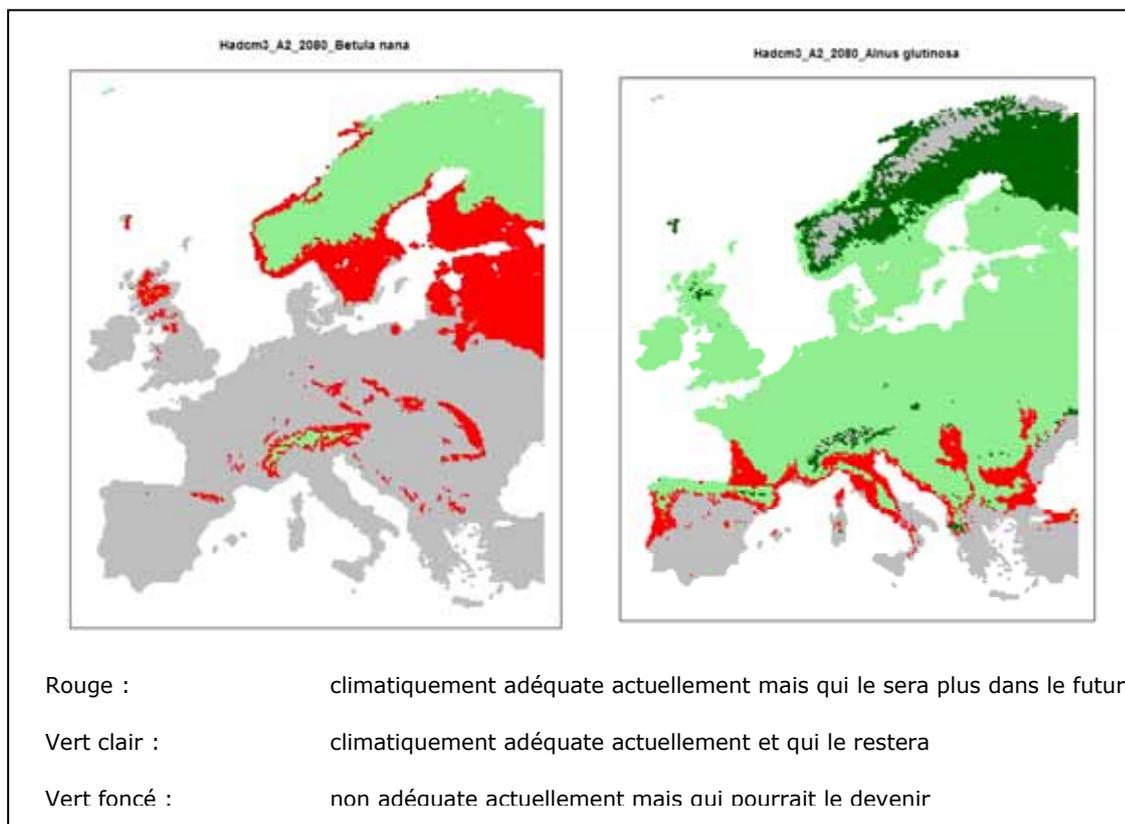
Tableau 13 - Nombre prédit d'espèces ayant perdu ou gagné 20% de leur aire de répartition actuelle (Thuiller et al., 2008)

	A2			B2		
	perte	stable	gain	perte	stable	gain
<b>Plantes</b>	30%	13%	57%	31%	17%	52%
<b>Oiseaux</b>	32%	24%	45%	33%	27%	40%
<b>Reptiles/amphibiens</b>	62%	21%	17%	62%	22%	16%
<b>Mammifères</b>	33%	19%	48%	35%	23%	42%

Colonne stable : espèces prédites gagnant ou perdant entre 0 et 20%.

<sup>64</sup> Thuiller et al., 2005 ; 2008

L'aire de répartition des espèces méditerranéennes pourrait fortement s'étendre vers le nord dans le futur. À l'inverse, celle des espèces boréo-alpines\* et tempérées pourrait diminuer. Le cas du bouleau nain (*Betula nana*) (Carte 14), espèce boréo-alpine, est particulièrement démonstratif du risque encouru par nombre d'espèces reliques glaciaires, aux populations isolées sur les derniers espaces aux conditions extrêmes favorables : sommets montagneux, combes froides... Le phénomène s'accroît avec le réchauffement : les modèles montrent une différence significative entre les scénarios A2 et B2.



Carte 14 - Aires de répartition du bouleau nain (*Betula nana*) et de l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), projections A2 pour 2080 (Thuiller, 2008)

L'impossibilité de migrer vers des zones plus nordiques devenant favorables risque de conduire à l'extinction ou la très forte régression de populations entières, comme celles des Pyrénées et du massif central pour la France. Des outils tels que les corridors de migration seront inopérants pour les espèces présentant ces caractéristiques.

La Carte 14 illustre également l'évolution de la probabilité de rencontrer de l'aulne glutineux sur le territoire européen à l'horizon 2080. Elle cherche à délimiter les zones climatiquement compatibles avec les exigences écologiques de ces essences. L'aulne glutineux est inféodé aux ripisylves\*, forêts fraîches ou marécageuses, dont il constitue une espèce clef de voûte (ex. aulnaies, aulnaies-frênaies). La régression dans les parties les plus méridionales de l'aire de répartition s'explique surtout par un déficit de pluviosité estivale entraînant l'assèchement temporaire ou permanent de multiples milieux humides. Il est intéressant de mentionner la différence de réaction simulée de l'aulne aux deux scénarios : la régression du Sud-Ouest est par exemple spectaculairement accentuée sous A2 par rapport à B2, mais le gain potentiel d'habitat favorable en Scandinavie compense théoriquement très largement les pertes dans le Sud.

Concernant les espèces forestières européennes, le changement climatique pourrait surtout affecter les marges sud de leurs aires de répartition, par un accroissement des risques de dépérissement et d'incendie, entraînant à terme une dégradation des peuplements en place, par une diminution de la biodiversité<sup>65</sup>.

Ces changements entraîneraient de fortes modifications dans la composition des communautés dans les zones d'écotone\* comme le nord de la zone méditerranéenne ou les pré-Alpes où se rencontrent à la fois des espèces méditerranéennes, montagnardes ou tempérées. On irait donc vers une homogénéisation des peuplements avec une explosion des espèces généralistes et pouvant supporter de fortes variations des conditions climatiques et une rétraction, voire une disparition des espèces spécialistes avec des exigences particulières.

Du fait du changement climatique, certaines populations isolées le seront davantage, ce qui pourrait induire la perte définitive d'écotypes\* (sous-populations originales). De tels phénomènes sont déjà documentés (ex. peuplements piscicoles des lacs alpins, flore alpine).

En un lieu donné, du fait des différences de capacité de colonisation des espèces, on peut s'attendre à une latence entre la disparition des cortèges actuels et l'arrivée de nouveaux, se traduisant par des « effets de trous » (d'où une forte diminution de la biodiversité) ou au contraire « d'encombrement », plus ou moins transitoires.

Finalement, on anticipe non pas une simple modification des limites des grandes zones biogéographiques et des changements d'aires de répartition d'espèces, mais également une dissociation des communautés d'espèces animales comme végétales (*i.e.* les espèces associées et coadaptées dans un écosystème se retrouveront séparées) et leur recomposition (*i.e.* de nouvelles associations d'espèces ayant parfois antérieurement des aires de répartition disjointes vont voir le jour).

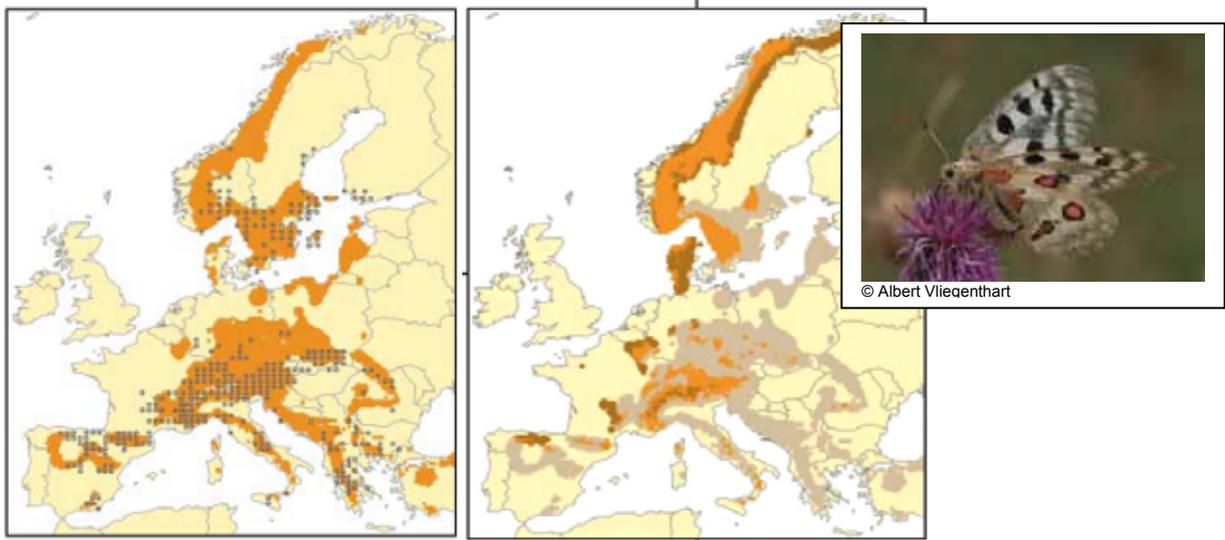
### **III.3.1.2 Les systèmes multitrophiques et les interactions entre organismes**

Toutes les interactions entre organismes quels qu'ils soient seront perturbées par le changement climatique. Les invertébrés terrestres, comme les insectes, ont ceci de particulier qu'ils combinent une vie très brève – notamment au stade adulte – avec un potentiel reproducteur considérable. À tout moment, une population d'insectes donnée exploite au maximum les ressources disponibles dans son milieu, à la fois en termes de nourriture et de compétition (prédateurs, parasites, espèces exploitant les mêmes ressources, gîtes disponibles). Même dans les systèmes apparemment les plus simples – ex. un phytophage\* consommant une espèce végétale –, l'analyse révèle une coïncidence phénologique stricte des cycles de vie.

L'exemple de l'apollon, papillon de montagne, est illustratif de ce phénomène et, par conséquent, des limites des modélisations décrites précédemment. Effectivement, une simulation uniquement climatique conclut (Carte 15) que l'apollon devrait voir son altitude moyenne augmenter.

---

<sup>65</sup> Thuiller *et al.*, 2005



Observed species distribution (50 x 50 km<sup>2</sup> UTM grid; black

A gauche : Distribution actuelle observée (cercles noirs) et niche climatique potentielle (orange)

A droite : Niche climatique en 2080 sous le scénario A2

Carte 15 - Aire de répartition de l'apollon (*Parnassius apollo*, Lépidoptères), projection A2 pour 2080 (Settele et al., 2008 : 114-115)

Toutefois, les relations insecte- plante jouent un rôle essentiel dans la distribution géographique des espèces, interactions ne pouvant être appréhendées en termes purement climatiques mais aussi en termes d'interactions et de phénologie (encadré ci-dessous).

*Encadré 14 - Relations entre la modification des aires de répartition et les changements phénologiques : cas de l'apollon*

Une chenille de premier stade larvaire ne pourra consommer la plante à condition qu'elle ne présente pas d'obstacles physiques pour ses mandibules (taille, dureté de la cuticule, pilosité, etc.) et qu'elle ne soit pas toxique. C'est le cas pour le couple formé par l'apollon, papillon montagnard bien connu (dont la modélisation de changement d'aire de répartition est présentée en Carte 15) et les Crassulacées du genre *Sedum* dont il se nourrit (Deschamps-Cottin et al., 1997).

Que la chenille éclore en retard par rapport au débourrement de la plante, celle-ci devient physiquement inaccessible et a déjà synthétisé des métabolites secondaires toxiques pour l'insecte. Comment pourra-t-il réagir à un tel système face au changement climatique ? Si les deux protagonistes, insecte et plante, répondent de manière similaire, en avançant date d'éclosion et date de débourrement\*, le système demeurera viable tant que chaque espèce supportera physiologiquement la température.

Dans bien des cas, les organismes réagissent différemment à une augmentation de la température (d'autant que certains cycles sont régulés par la photopériode plutôt que par la température). Un réchauffement brutal comme celui attendu se traduira plutôt par une maladaptation et, à terme, par une disparition d'au moins une des espèces même si la température convient toujours à sa survie. Même les changements progressifs finissent

par se traduire par des espèces mal adaptées à leur environnement et appelées à régresser localement, voire à disparaître.

Il existe plusieurs exemples bien documentés de ces désynchronisations phénologiques, découplages temporels entre espèces et ressources (plantes/insectes, proies/prédateurs, hôtes/parasites). La complexité de ces interactions est illustrée ci-dessous par le système chêne–bombyx–mésanges en milieu méditerranéen<sup>66</sup>.

*Encadré 15 - Changement climatique et désynchronisations phénologiques : perturbations de la chaîne trophique chêne-bombyx-mésanges*

En situation normale, les feuilles de chêne débourent en même temps qu'éclosent les chenilles de bombyx, précédant de peu l'éclosion des poussins de mésange. Diverses mesures de biomasse montrent que c'est au moment où elles en ont le plus besoin, juste avant l'envol des jeunes, que les mésanges trouvent le maximum de chenilles. Si la température augmente de quelques degrés, le chêne et le bombyx s'adaptent de manière comparable en commençant leurs cycles plus tôt, mais les mésanges ne compensent qu'imparfaitement le décalage et lorsque les poussins ont besoin du maximum de nourriture, la majorité des chenilles s'est déjà transformée en nymphes, inaccessibles pour les parents mésanges.

La modélisation du bilan démographique de populations soumises simultanément à l'influence de plusieurs phénomènes – parfois antagonistes – demeure difficile. Pour les insectes, par exemple, en particulier les ravageurs d'importance agronomique et forestière, le niveau des populations fondatrices à la sortie de l'hiver dépendra à la fois (i) de la réduction du nombre de jours de gelées, qui lève les seuils thermiques létaux et diminue la mortalité hivernale des stades hivernants et (ii) de l'augmentation de l'humidité hivernale qui accroît la susceptibilité et donc la mortalité de ces stades hivernants aux virus et champignons entomopathogènes.

Finalement, les modèles actuels n'intègrent pas ces interactions complexes entre espèces. De surcroît, on ignore tout des capacités d'adaptation, des processus régulateurs des cycles de vie et même des exigences écologiques de la plupart des espèces.

### **III.3.2 Impacts futurs sur la biodiversité aquatique et marine**

Sont présentés ici plusieurs exemples d'impacts sur des espèces d'eau douce, d'eau de transition, de mer, ainsi que sur les récifs coralliens et les milieux littoraux.

#### **III.3.2.1 Impacts futurs sur les poissons d'eau douce de France**

35 espèces communes de poisson de rivière ayant un intérêt écologique, patrimonial et économique ont été modélisées pour évaluer l'influence du changement climatique sur leur distribution à l'horizon 2080 selon le scénario A1FI (le plus extrême, modèle HadCM3) (Figure 12).

---

<sup>66</sup> Thomas *et al.*, 2001

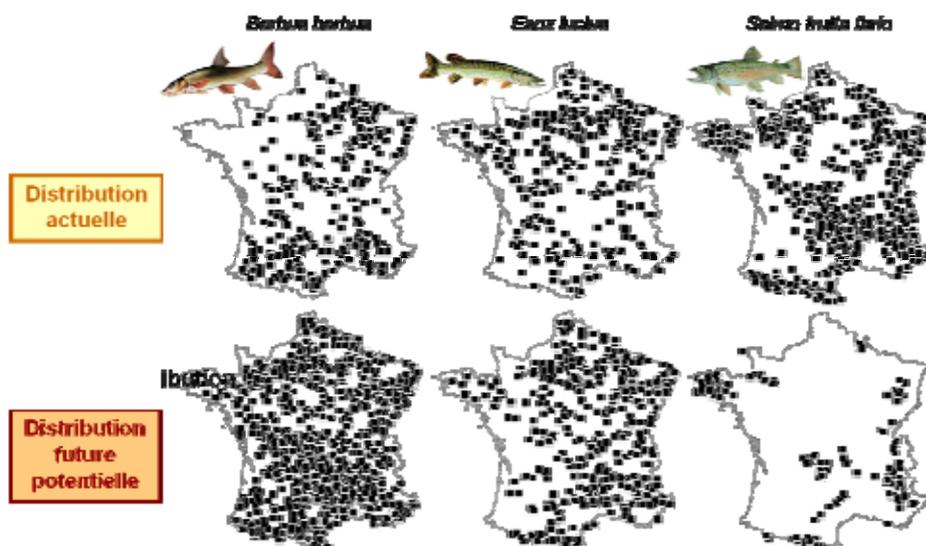
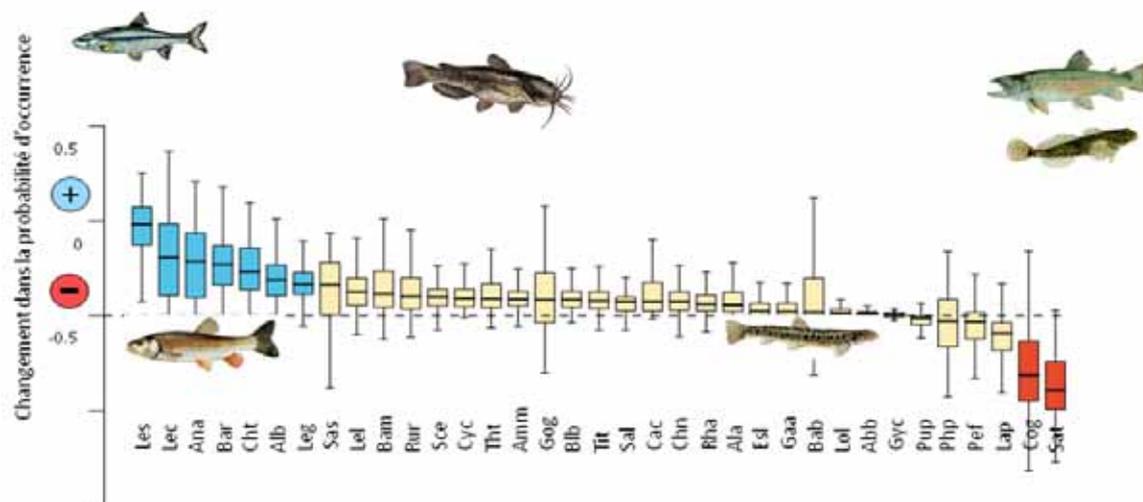


Figure 12 - Modélisation des changements de distribution de quelques espèces de poissons d'eau douce en France à l'horizon 2080 selon A1FI (Buisson et al., 2008)

Les résultats indiquent des réponses contrastées selon les espèces, avec une prolifération des espèces communes et généralistes (*Barbus barbus*) au détriment d'espèces plus emblématiques et spécialisées (*Salmo trutta fario*).

### III.3.2.2 Impacts futurs sur les poissons migrateurs amphihalins

Les poissons amphihalins\* ont comme particularité d'utiliser à la fois les eaux douces et les eaux marines pour accomplir leur cycle vital. Les migrations entre ces différents biomes\* sont réalisées à des saisons et à des stades de vie précis. Sur les 28 000 espèces de poissons identifiées dans le monde, ce groupe représente une petite minorité, avec seulement 250 espèces. Au-delà de leur intérêt écologique, ces poissons ont aussi une très forte valeur patrimoniale et économique dans de nombreuses régions du globe. Pour l'Europe et plus particulièrement la France, un modèle prévisionnel d'évolution de la distribution a été construit pour chacune des espèces migratrices identifiées sur le continent européen. Les conditions climatiques de la période investiguée (2070-2099)

ont été calculées et introduites dans les modèles pour projeter la distribution « 2100 » des espèces selon le scénario A2 (modèle HadCM3). Trois grands types de scénarios d'évolution des distributions ont été identifiés (Figure 13)<sup>67</sup>.

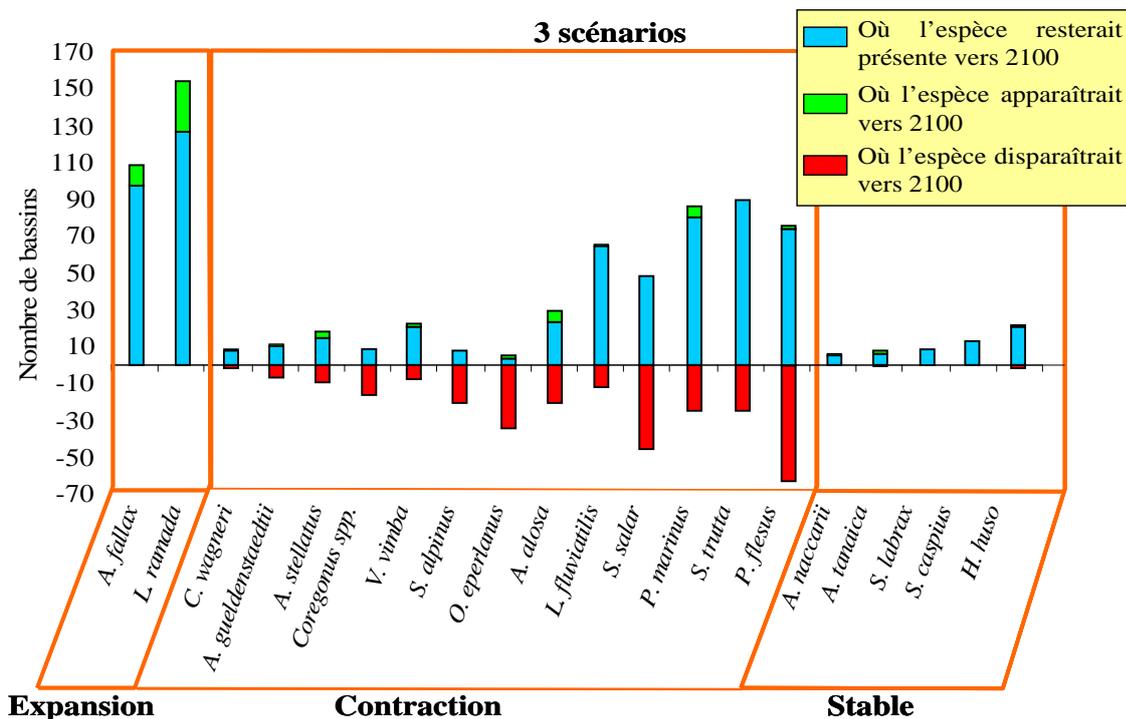


Figure 13 - Trois types de scénarios d'évolution des distributions des espèces de poissons migrateurs amphihalins (Lassalle et al., 2008)

Les résultats indiquent une forte sensibilité des poissons migrateurs amphihalins aux perturbations climatiques de leur environnement. Deux espèces pourraient étendre leur aire de distribution en ne perdant aucun bassin favorable et en gagnant principalement vers les îles britanniques et autour de la mer baltique. Il s'agit du mullet porc (*Liza ramada*) et de l'aloise feinte (*Alosa fallax*). Cependant, l'aire de distribution de plus de 60% des espèces étudiées se contracterait. Des bassins favorables seraient perdus aux limites sud de répartition sans que ces pertes soient compensées par des gains de bassins favorables au nord d'un point de vue climatique. Enfin, l'aire de distribution de cinq espèces, principalement localisées dans la région ponto-caspienne, demeurerait inchangée face au réchauffement envisagé.

Ces conclusions doivent être lues (1) en gardant à l'esprit les incertitudes inhérentes aux approches prévisionnelles à large échelle et (2) en référence à l'échelle spatiale à laquelle les analyses ont été réalisées. En effet, il s'agit ici de dégager de grands scénarios d'évolution et non pas de fournir une synthèse bassin par bassin.

### III.3.2.3 Impacts futurs sur les poissons et invertébrés marins exploités

Élaborer des scénarios de la modification des distributions géographiques des espèces marines requiert une connaissance de ce qu'ont été jusqu'à présent les principaux

<sup>67</sup> Lassalle et al., 2008

caractères biotiques et abiotiques de leurs habitats. Le plus généralement, c'est pour répondre aux besoins de la gestion des populations exploitées par la pêche que ces informations ont été progressivement acquises depuis plusieurs décennies. Ainsi, en utilisant entre autres les données de FishBase et de SeaLifeBase, il est possible d'inférer – à l'échelle de l'océan mondial – certaines évolutions biogéographiques de ce groupe d'espèces-cibles comme le montre la Figure 14.

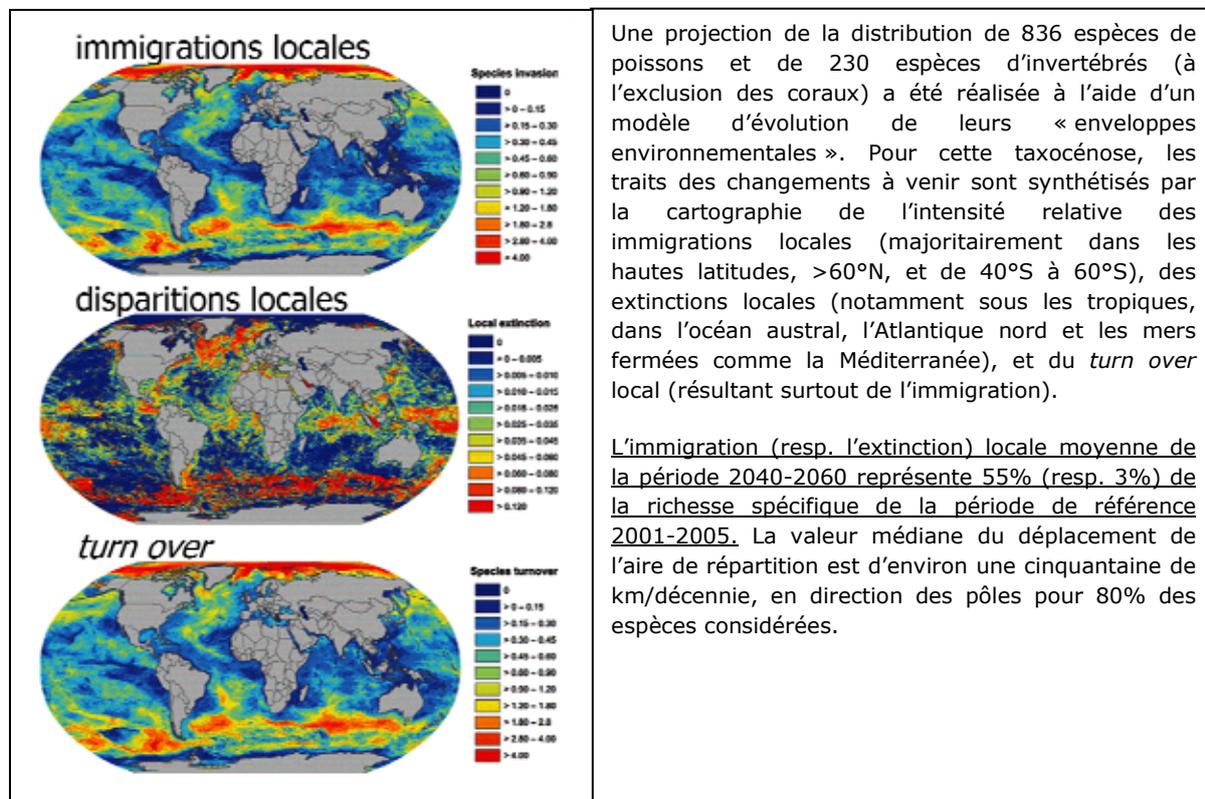


Figure 14 - Impact du réchauffement de l'océan (scénario A1B) sur la répartition de 1066 poissons et invertébrés marins à l'horizon 2050 (Cheung et al., 2009)

Conditionnellement aux hypothèses simplificatrices de la démarche de Cheung et al. (2009) (connaissance lacunaire des dynamiques migratoires, non prise en compte des interactions biologiques, du potentiel plastique et/ou évolutif des espèces, de l'acidification de l'océan, des synergies climat × pressions anthropiques), les résultats – comparés à ceux obtenus en domaine continental – suggèrent un moindre taux global d'extinction et un déplacement supérieur d'un ordre de grandeur. Par ailleurs, l'analyse des interactions « environnement-pathogènes-espèces exploitées » suggère des modifications d'équilibre pouvant impacter les rendements de production notamment chez les invertébrés benthiques.

### III.3.2.4 Impacts futurs sur les récifs coralliens

#### A. élévation du niveau des océans

On s'attend à ce que l'élévation du niveau de la mer soit profitable aux récifs coralliens qui gagneront en surface avec la recolonisation des platiers abrasés et le retrait de la ligne de rivage. Ils croîtront en hauteur au fur et à mesure de la montée des eaux mais avec un certain retard. Entre les récifs coralliens et la mangrove se situent généralement des zones lagunaires à herbiers qui se déplaceront vers la terre, de même que les

mangroves qui reculeront, perdant une surface en front de lagon et gagnant en amont, si la topographie le permet. En bref, les fronts des récifs resteront à la place qu'ils occupent actuellement et l'ensemble du système lagon-herbier-mangrove avancera vers les terres.

## **B. Elévation de la température de surface des océans**

Les prédictions indiquent une plus grande fréquence des phénomènes de blanchissements\* suivis de mortalités coralliennes. Si cette fréquence est élevée, les récifs ne pourront pas récupérer et quatre conséquences sont prévues :

1. disparition des espèces les plus sensibles au stress thermique au profit d'espèces plus robustes ;
2. changement dans la composition des communautés coralliennes ;
3. mortalité des récifs où le couvert corallien sera remplacé par un couvert algal ;
4. disparition à terme du récif par ailleurs soumis à des actions de destruction mécanique et de bio-érosion\*.

Mais, soulignons le, ces étapes ne seront atteintes que progressivement et uniquement dans les zones où les élévations de températures estivales seront fréquentes d'une année sur l'autre. En revanche, les communautés coralliennes se développeront aux marges de leur aire de répartition là où leur limite actuelle est due à la température actuelle des eaux océaniques.

## **C. Augmentation de la fréquence et/ou intensité des tempêtes et cyclones**

Il est peu probable que ce seul facteur puisse avoir des effets sur la biodiversité des récifs. Mais tous les facteurs agissant en synergie, les récifs déjà atteints par des blanchissements-mortalités n'auront pas la résilience suffisante pour se maintenir dans leur état antérieur. Aussi la destruction mécanique des récifs, par une fréquence plus élevée des cyclones et par synergies avec d'autres facteurs, mettront en péril les récifs.

## **D. Acidification des eaux océaniques**

Certaines prédictions indiquent une chute très importante de la calcification de tous les organismes benthiques\* et planctoniques\* à test calcaire. Une calcification insuffisante fragilisera les coraux et les récifs, les mettant en très fâcheuse posture relativement aux autres facteurs du changement climatique. Il a été avancé toutefois que l'augmentation de température pourrait partiellement compenser cette diminution du potentiel de calcification.

### **III.3.2.5 Impacts futurs sur les espaces littoraux**

Un niveau de la mer plus élevé, une fréquence accrue et la force plus grande des tempêtes et la modification de vents dominants pourraient altérer les écosystèmes côtiers, en accélérant l'érosion et en étendant les submersions sur les côtes. Le projet européen BRANCH (2007) a montré que les vasières et les marais salés du nord-ouest de l'Europe allaient vraisemblablement être de plus en plus menacés par la montée du niveau de la mer. En France, « les marais salés sont actuellement en expansion sur tous les sites normands, mais cette progression pourrait être freinée par la montée du niveau des mers ». « Les modèles de BRANCH démontrent que les vasières, dunes, prairies humides et plans d'eau douce sont les habitats côtiers les plus vulnérables au

changement climatique. Les dunes de sable s'érodent sur tous les sites étudiés. Elles contribuent pourtant à protéger les prairies humides et les eaux douces de la salinisation et des inondations marines et l'augmentation du niveau des mers peut aggraver cette érosion ». La combinaison de l'élévation du niveau de la mer, de l'expansion des marais salés et de l'accumulation des sédiments dans les estuaires pourrait réduire la superficie des vasières, ce qui aurait des conséquences très importantes pour les invertébrés, dont les espèces exploitées commercialement et pour les espèces limicoles côtières.

*Encadré 16 - Évolution des côtes littorales : une perte significative de surface pour les sites du Conservatoire*

Le Conservatoire du littoral a réalisé une étude sur l'évolution du trait des côtes et de l'état de submersion à l'horizon 2100 et leurs conséquences sur les sites du Conservatoire (Clus-Auby et al., 2004). Cette étude fait apparaître qu'en 2100, les sites acquis par le Conservatoire auront diminué d'une surface égale à 647 ha, soit 1,2% de la surface des sites renseignés : l'impact à attendre du fait du recul du trait de côte par érosion est faible en moyenne, même s'il est significatif pour certains sites particuliers. D'autre part, en 2100, 1 350 ha du patrimoine actuel du Conservatoire pourraient être épisodiquement submergés, soit 3% de sa surface. L'élévation du niveau de la mer attendue au cours du XXIème siècle devrait avoir un impact relativement modeste sur les terrains du Conservatoire du littoral. Celui-ci aura cependant à tenir compte de cette nouvelle conjoncture en adaptant ses modes de gestion, notamment dans les polders aux digues fragiles et en mauvais état et en modifiant éventuellement sa stratégie d'acquisition.

### **III.3.3 Notion d'espèces envahissantes dans le contexte du changement climatique**

Les introductions d'espèces<sup>68</sup> figurent parmi les cinq pressions principales pesant sur la biodiversité (Cf. Figure 9). Lorsqu'une espèce est introduite, volontairement ou non, dans une nouvelle région biogéographique et qu'elle s'y développe jusqu'à avoir un impact négatif sur le milieu, on parle alors d'espèce envahissante\*. Certaines espèces créent de véritables désordres écologiques. Par exemple la jussie, plante aquatique originaire du continent américain, se développe dans les cours d'eau et étangs jusqu'à couvrir la surface et empêcher la lumière de pénétrer la lame d'eau, créant ainsi un « désert biologique ». D'autres espèces ont des répercussions très importantes sur la santé humaine (allergies à l'ambrosie en Rhône-Alpes par exemple).

Ces invasions biologiques exotiques (1) liées à l'accroissement des déplacements et échanges entre différentes zones ne doivent pas être confondues avec les migrations (2), apparitions de nouvelles espèces liées à la modification des conditions écologiques qui contraignent ces espèces à une dispersion pour survivre et dès lors à des déplacements d'aires. De telles extensions « naturelles », sans intervention humaine directe, d'une aire de répartition auront lieu par exemple pour les espèces thermophiles\*. Dans ce rapport, le terme « espèces envahissantes » sera réservé au premier cas, à savoir d'espèces exotiques\* introduites artificiellement<sup>69</sup>.

Dans le cas du changement climatique, la perturbation originelle est bien d'ordre humain mais le déplacement est limité par les capacités intrinsèques de l'espèce à migrer. Ainsi,

---

<sup>68</sup> Il est à noter que les pressions généralement utilisées dans les modélisations sont : le changement climatique, le changement d'utilisation des terres/destruction des habitats, le gaz atmosphérique (CO<sub>2</sub>, azote) et les invasions biologiques.

<sup>69</sup> Les travaux de référence en la matière sont le programme DAISIE « Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe » : <http://www.europe-aliens.org/>

sans intervention humaine et bien que le climat soit favorable, beaucoup d'espèces terrestres du sud du bassin méditerranéen sont susceptibles de ne pas gagner les rives nord, la mer constituant une barrière biogéographique. On peut s'attendre à un phénomène de « trous », toutes les nouvelles niches écologiques, abandonnées pour certaines par les espèces disparues, n'étant pas immédiatement occupées par des espèces arrivantes aux caractéristiques plus ou moins vicariantes\*. À noter en revanche que ces barrières contribuent pour partie à la spéciation\* et donc à la diversité de la vie.

### III.3.4 Impacts futurs sur les espèces et les espaces protégés

Quels sont les impacts du changement climatique sur les espèces et les espaces faisant l'objet de protection (biodiversité remarquable\*) ? Qu'advient-il par exemple des espèces animales et végétales protégées, menacées au sens des listes rouges, spécifiques des sites Natura 2000 ou bien dites « déterminantes Trame verte et bleue » ? Si la question intéresse les décideurs politiques et le monde de la gestion et de la conservation de la biodiversité, les éléments de réponse sont encore fragmentaires, notamment pour le milieu marin dont les réseaux d'aires marines protégées sont dans leur phase initiale d'élaboration. Là encore, le Groupe Biodiversité se propose de donner des exemples.

On peut, à dire d'experts, cibler quelques impacts directs du changement climatique sur des espèces faisant l'objet de plans de restauration (aujourd'hui appelés « Plans nationaux d'action »).

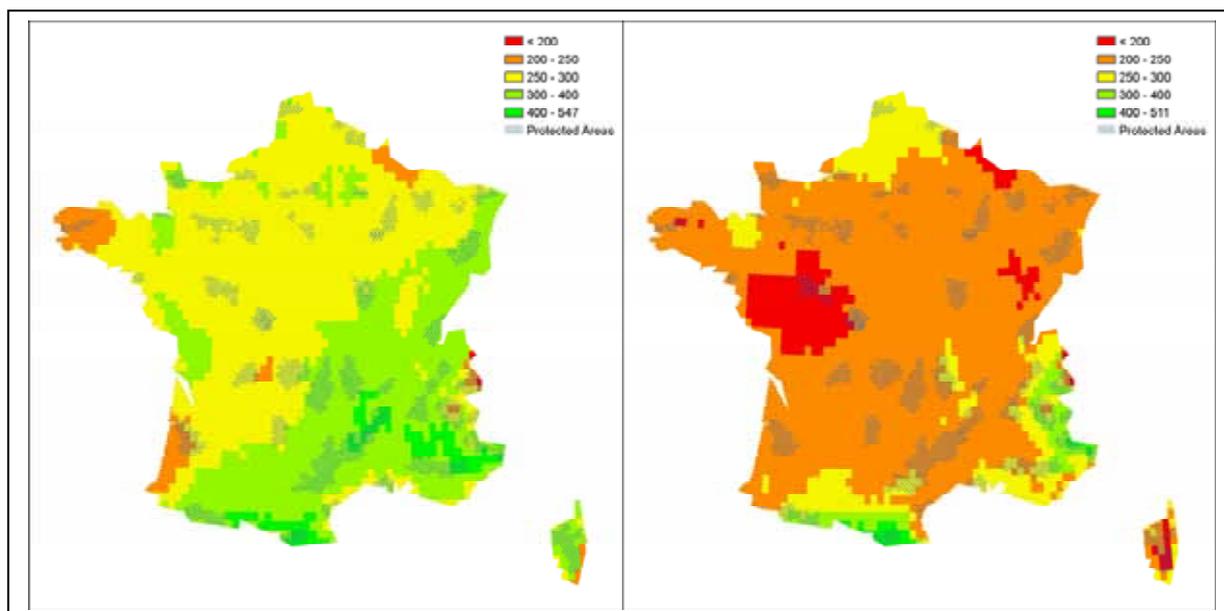
#### *Encadré 17 - Exemples d'impacts du changement climatique sur les espèces protégées*

L'assèchement des mares, lacs ou cours d'eau représentera une menace supplémentaire pour le milieu aquatique, dont la loutre tire l'essentiel de ses ressources. Ceci limitera les possibilités de déplacement de l'animal.

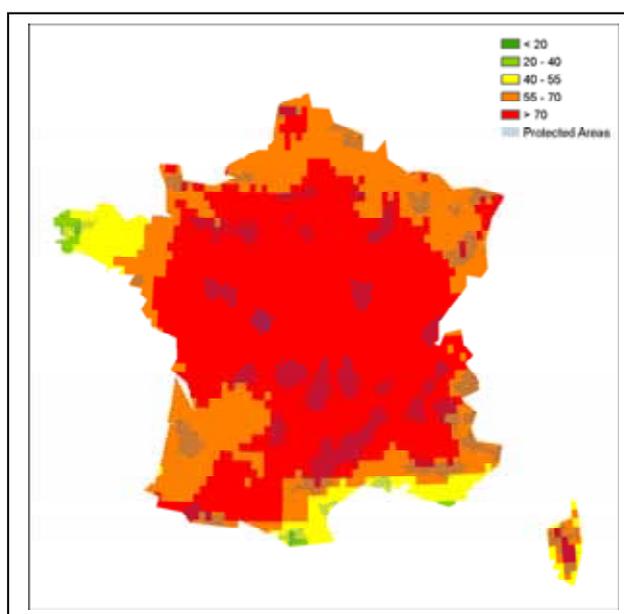
L'augmentation de la fréquence des crues créera un ennoiment des nids du butor étoilé, si la crue est subie au printemps. L'absence d'eau au printemps dans les roselières d'étangs continentaux ou les autres types de marais menacera la reproduction.

Concernant le bouquetin, la situation est plus contrastée. De plus fortes précipitations neigeuses génèreront des difficultés de déplacements et donc des dépenses d'énergie plus importantes, augmentant les risques de mortalité hivernale. Mais la limitation de la période d'enneigement aura tendance à augmenter la survie hivernale.

Une projection des richesses spécifiques actuelles et futures d'aire de répartition pour plusieurs groupes taxonomiques, sur toute la France métropolitaine, a été réalisée dans le cadre du Groupe Biodiversité (Carte 16 et Carte 17). On présente ici les résultats pour les plantes et pour le pire des scénarios climatiques (A1F1). Il s'agit des estimations des richesses actuelles, futures et taux de remplacement (turnover) potentiels, ce qui signifie que même les richesses actuelles surestiment certainement la réalité. On fait apparaître également sur les cartes les zones protégées repérables avec la résolution spatiale du modèle (16x16 km), donc ayant une surface de plus de 256km<sup>2</sup> (parcs nationaux et parcs naturels régionaux uniquement).



Carte 16 - Projection A1FI des richesses spécifiques actuelles et futures de l'aire de répartition de l'ensemble des plantes en France (Thuiller, 2009. Com. pers.)



Un taux de renouvellement de 100% dans une cellule de 16x16km signifie que toutes les espèces qui s'y trouvent actuellement devraient disparaître (de cette cellule) et qu'elles devraient être remplacées par un même nombre d'espèces venues des cellules voisines.

Carte 17 - Taux de renouvellement pour l'ensemble des plantes (scénario A1FI) (Thuiller, 2009. Com. pers.)

Ces modèles révèlent une tendance à l'homogénéisation du territoire français. Le fort taux prévu de remplacement des plantes conduirait à une perte de diversité de l'ordre de 15%. Les régions de l'ouest – avec leurs zones humides – et les moyennes montagnes perdent une partie de leur diversité liée aux prairies naturelles et aux forêts. Il y a là un enjeu particulier pour les parcs naturels régionaux qui constituent l'essentiel des espaces protégés dans ces zones (Cf. carte des espaces naturels protégés en Annexe F.1). Seules les montagnes les plus hautes conservent une diversité significative. Mais on peut espérer, dans les zones les plus basses, que le littoral, les autres reliefs et le réseau hydrographique constituent, comme c'est le cas actuellement, des zones de diversité plus

ponctuelle. Se pose la question du rôle de régulation des massifs forestiers et des bocages qui ne semblent plus créer d'hétérogénéité.

Les espaces protégés auront un rôle de refuge peut-être temporaire mais qui peut être utile au final. La notion de gestion de niches peut trouver tout son intérêt face à des évolutions massives du genre remplacement des prairies naturelles par des cultures. Les parcs nationaux devraient « sortir leur épingle du jeu » car ils sont situés en haute montagne et sur le littoral.

### III.3.5 Conséquences sur les services rendus par les écosystèmes

La partie III.2 a décrit les quatre types d'impact du changement climatique sur la biodiversité. Or du fait du lien existant entre écosystèmes, fonctions écologiques\*<sup>70</sup>, services écologiques\*<sup>71</sup> et bien-être humain (Figure 15), ces impacts auront des conséquences sur la production de services rendus par les écosystèmes.

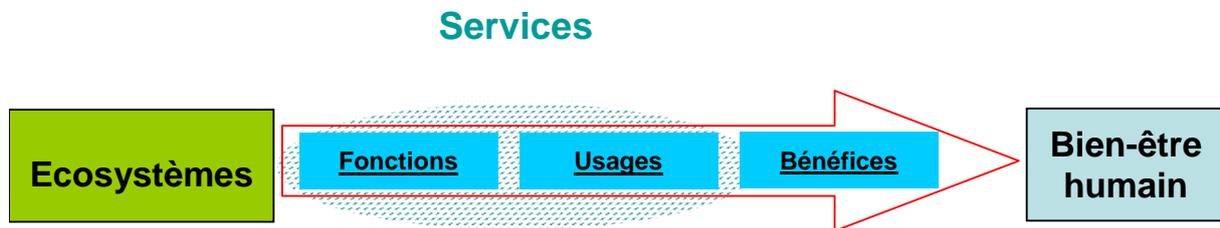


Figure 15 - Distinction entre écosystèmes, fonctions écologiques, services écologiques et bien-être humain (MEEDDM, 2009)

Le Millenium Ecosystem Assessment<sup>72</sup>, qui a réuni de 2001 à 2005 plus de 1360 experts de tous pays, a permis de souligner l'importance du rôle des services écosystémiques et l'ampleur des atteintes qu'ils subissent : ainsi, 60% des services rendus par les écosystèmes sont actuellement dégradés. Ces services sont classés par le MEA global en quatre catégories : les services de support (ex. production primaire), les services d'approvisionnement (ex. nourriture, eau, bois), les services de régulation (ex. régulation du climat, cycle de l'eau) et les services culturels (ex. pêche de loisir). Le MEA France<sup>73</sup> reprend l'approche du MEA global en adaptant sa classification. Ainsi les services écosystémiques incluent trois catégories de services :

<sup>70</sup> Les *fonctions écologiques* qui génèrent les *services* sont définies comme les processus biologiques de fonctionnement et de maintien des écosystèmes.

<sup>71</sup> Les termes *services écologiques* et *services écosystémiques* sont pris ici pour synonymes : ce sont les processus dont l'homme peut tirer profit, favorables au maintien des activités humaines.

<sup>72</sup> MEA, 2005

<sup>73</sup> MEEDDM, 2009

*Encadré 18 - Typologie des différentes catégories de services écosystémiques selon le MEA France*

- les services d'approvisionnement (production de biens) tels que : support de production agricole, aquaculture, prélèvement d'eau à usage domestique, etc. ;
- les services de régulation (production de services) tels que : prévention des crues et des inondations, régulation de l'érosion et des coulées de boues, recyclage des déchets organiques, régulation des espèces nuisibles et envahissantes, régulation du climat global et local, etc. ;
- les services à caractère social (production de services) tels que : le paysage, la valeur de la biodiversité et le patrimoine, la chasse, la thalassothérapie, etc.

Comment le changement climatique impacte-t-il les services écosystémiques ? De façon positive ou négative ? Dans quelles proportions ? Voici quelques exemples d'impacts connus du changement climatique sur les trois types de services mentionnés ci-dessus :

### Encadré 19 - Exemples d'impacts du changement climatique sur les trois catégories de services écosystémiques

Un groupe d'experts du Comité des pêches de la FAO a souligné qu'une demande croissante de produits alimentaires aquatiques devra être satisfaite dans les 2 à 3 prochaines décennies, tout en conservant les propriétés de récupération des écosystèmes. Quatre composantes de la sécurité alimentaire seront affectées par le changement climatique :

- 1) la disponibilité des ressources aquatiques (modification des aires de répartition des espèces, acidification des océans) ;
- 2) la stabilité de la production, perturbée par les changements d'intensité, de fréquence, de saisonnalité des régimes climatiques ;
- 3) l'accès aux ressources, affecté par une exacerbation vraisemblable des antagonismes entre usages, particulièrement ceux tributaires de l'eau ;
- 4) l'utilisation des produits, face à une modification de la nature de l'offre, due entre autres à la réduction des captures non directement utilisées pour l'alimentation humaine.

Le stockage du carbone est assuré par les microorganismes du sol. Dans la diversité microbienne du sol, c'est l'importance relative des champignons par rapport aux bactéries qui importe pour la séquestration du carbone, toutes choses égales par ailleurs. Les actions de gestion et les changements globaux influenceront sur la séquestration du carbone via leurs effets sur le ratio champignons/ bactéries. Ainsi, l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique devrait stimuler les activités microbiennes et se traduire par une plus grande séquestration de carbone organique dans les sols (Le Roux *et al.*, 2008).

L'élévation du niveau des océans va perturber le rôle protecteur que les récifs coralliens jouent pour les zones littorales, zones où sont concentrées les constructions et activités humaines. Ce phénomène sera particulièrement sensible dans les îles basses coralliennes (atolls) dont l'altitude n'est que de 3 à 6 mètres, laissant craindre des submersions de plus en plus fréquentes lors de périodes de mauvais temps, avant d'être submergées si la montée des eaux est de l'ordre de 50 centimètres ou plus.

Le déclin des oiseaux insectivores, pourrait entraîner un déclin du service de contrôle biologique des insectes nuisibles bénéfique à l'agriculture, la foresterie, etc.

Les incendies de plus en plus fréquents en zone méditerranéenne, en altérant les paysages forestiers ont un impact sur la fréquentation touristique.

### Conséquences en termes de services rendus par les écosystèmes forestiers :

La forêt fait partie des priorités d'études de l'impact du changement climatique, en raison de plusieurs caractéristiques. C'est l'un des écosystèmes les plus proches d'un état naturel : la forêt est le stade final des successions végétales sur la quasi-totalité des zones terrestres de France. Les forêts recèlent de larges surfaces qui n'ont jamais été mises en labour<sup>74</sup> (30-40% probablement de la surface forestière actuelle). Elles rendent de nombreux services écosystémiques et économiques : fourniture de bois-matériau et de produits forestiers non ligneux, substitution de bois-énergie aux carburants fossiles, protection contre l'érosion des sols et la pollution des nappes, séquestration de carbone, zone de chasse et de loisir...

---

<sup>74</sup> Or il a été démontré que la mise en culture modifie drastiquement et à très long terme la biodiversité.

Le potentiel de production de bois et de maintien des services liés à la forêt pourrait être affecté par divers mécanismes :

- changements de la productivité des peuplements forestiers : en un lieu donné, ce changement peut résulter soit des variations de la croissance de chaque espèce sous l'effet du changement climatique, soit du changement de la composition en essences ligneuses lié aux déplacements des aires des espèces, comme vu précédemment ;
- changement du rythme et de l'intensité des perturbations de nature biotique (maladie, attaque d'insectes, de champignons...) et abiotiques (tempête, sécheresse extrême, incendie...).
- Il ne faut pas négliger la possibilité d'un changement rapide de la disponibilité en bois des forêts françaises en cas de demande massive et mal maîtrisée de bois-énergie.

Le lecteur est invité à se reporter au rapport du groupe Forêt pour des précisions sur les impacts du changement climatique sur la production de bois.

Quelles sont les bases de connaissance pour anticiper les conséquences du changement climatique en termes de productivité ? Les modèles de niches individuelles d'espèces montrent, pour les quelques espèces étudiées, un déplacement global vers le Nord et vers des altitudes plus élevées. Pour les ligneux d'intérêt forestier<sup>75</sup>, il est intéressant de faire des scénarios plus précis.

*Encadré 20 - Distinction de deux types de niches pour les essences forestières*

1) la zone de présence/absence absolue de l'espèce, quelle que soit sa productivité potentielle, qui est celle modélisée dans les modèles précédents, mais qui n'intéresse pas vraiment le forestier. En effet, dans une large périphérie de cette zone de présence/absence, l'espèce ne peut être présente que dans des sites très favorables, discontinus et de surface totale limitée (versants nord à bilan hydrique favorable pour le hêtre dans le Sud de la France par exemple). Sa productivité y devient quasiment nulle ;

2) la zone où l'espèce acquiert un statut d'espèce forestière, c'est-à-dire là où elle peut atteindre des densités de couverts, des hauteurs et des diamètres minimaux : il s'agit d'une zone de réelle utilisation forestière.

Seules quelques essences principales ont été modélisées jusqu'à maintenant (ex. hêtre : Annexe F.3). Afin d'avoir une vue d'ensemble des évolutions à venir, on a aussi modélisé l'évolution des grands types d'habitats forestiers, en particulier méditerranéens et montagnards. Il apparaît une forte progression des zones subméditerranéennes, qui vont largement s'étendre au nord de la Loire et une forte régression des habitats montagnards. Ils sont appelés à disparaître largement des zones de plaine, où ils constituaient des zones de biodiversité remarquable (voir

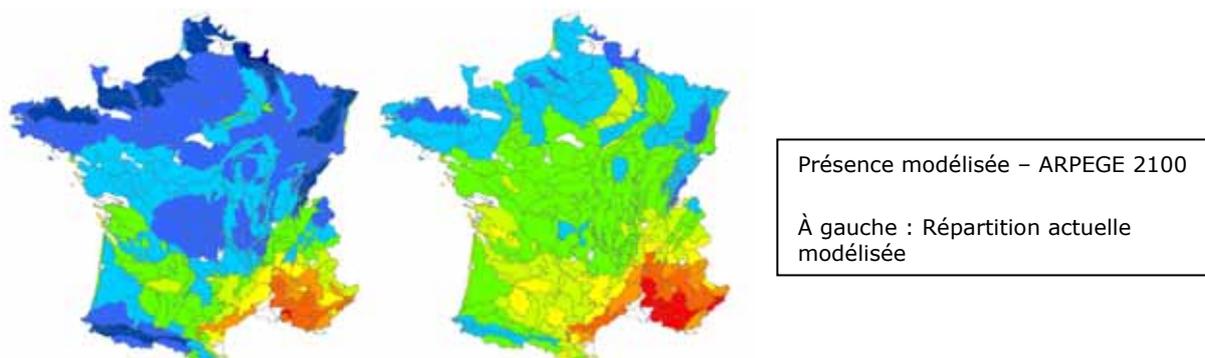
---

<sup>75</sup> Environ 65 espèces de plus de 10 mètres de hauteur en France.

Tableau 14 et Carte 18).

Tableau 14 - Evolution des surfaces des grands domaines bioclimatiques forestiers de France, en pourcentage de la surface totale du territoire national (Roman-Amat, 2007)

	Actuel	2100 scénario B2	2100 scénario A2
Méditerranéen	9,1%	28,1%	47,9%
Domaine océanique Sud Ouest	17,2%	45,9%	30,8%
Domaine océanique Ouest	35,6%	17,4%	16,4%
Montagnard	15,6%	5,4%	3,7%
Domaine continental Est	22,4%	3,2%	1,2%



Carte 18 - Évolution de la composante méditerranéenne de la végétation forestière française entre 2000 et 2100 (scénario B2) (Badeau, 2009. Com. Pers.)

La réalisation de modèles de productivité est complexe et encore à des stades d'avancement très inégaux selon les espèces. Une première approche a donc consisté à faire des modèles de niche basés sur la cartographie des zones actuelles de présence/absence de l'espèce, mais en se limitant aux forêts et en excluant toutes les présences non forestières observées. On obtient des aires actuelles et potentielles beaucoup plus petites que dans les modèles de niche « totale ».

Le développement prévu vers le nord des zones méditerranéennes suggère, à terme, une baisse globale de la productivité des écosystèmes forestiers. Mais ce n'est pas toujours ce qu'indiquent les modèles mécanistes, à base écophysologique\*, de fonctionnement des peuplements forestiers. Le projet CARBOFOR (2009) en particulier a permis de montrer que la productivité primaire nette des écosystèmes forestiers français montre des tendances, au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, différenciées selon le type d'essence, les scénarios d'évolution des pluies, les caractéristiques des sols, la zone géographique et le type de station sur laquelle on se trouve.

### III.4 Chapitre III- Quelques clés de compréhension des changements observés et prévisibles de la biodiversité

Les chapitres précédents ont montré d'une part les effets déjà constatés du changement climatique et leur conjonction avec les autres pressions qui s'exercent sur la biodiversité et d'autre part une intensification attendue de ces effets et sans doute l'occurrence d'effets inédits compte tenu de l'ampleur probable du changement climatique.

La complexité des réseaux du vivant ne rend pas aisée l'appréhension de ces phénomènes pourtant bien réels. Ce chapitre vise à donner quelques clés de compréhension des phénomènes en cours, via les mécanismes naturels d'adaptation.

La plupart des études qui documentent une réponse au changement climatique décrivent effectivement une réaction, qui mesure de manière objective un changement d'une variable - de comportement, de répartition, d'effectifs... - sans toujours pouvoir affirmer que cette réaction est liée en totalité à la cause étudiée (ici le changement climatique). Les changements attribués à l'effet du climat sur la biodiversité étant souvent liés à d'autres facteurs, faire la part des causes n'est pas chose facile, d'autant que ces facteurs agissent en interaction.

La notion d'adaptation porte, quant à elle, un jugement anthropocentrique sur le fait que cette réaction apparaît effectivement comme une « amélioration » par rapport à la situation antérieure. Cette notion d'adaptation peut avoir une définition purement biologique dans le cas des individus ou des espèces, mais elle peut difficilement être définie, pour l'ensemble de la biodiversité, sans référence aux activités humaines qui en dépendent.

Le chapitre termine sur une vision certes anthropocentrique mais fort utile pour mesurer l'ampleur de l'impact sur les biens et services rendus par la biodiversité à notre société.

### III.4.1 Comment la biodiversité réagit-elle à un changement ?

Face aux diverses pressions liées à des modifications de l'environnement ou liées par exemple à l'apparition dans le milieu d'une nouvelle espèce, trois niveaux de réaction sont à distinguer, notamment par leur ampleur potentielle et leur temps de réaction (

Figure 16). Ces réactions débouchent soit sur un équilibre dynamique, soit sur la disparition de l'élément qui n'a pas pu s'adapter.

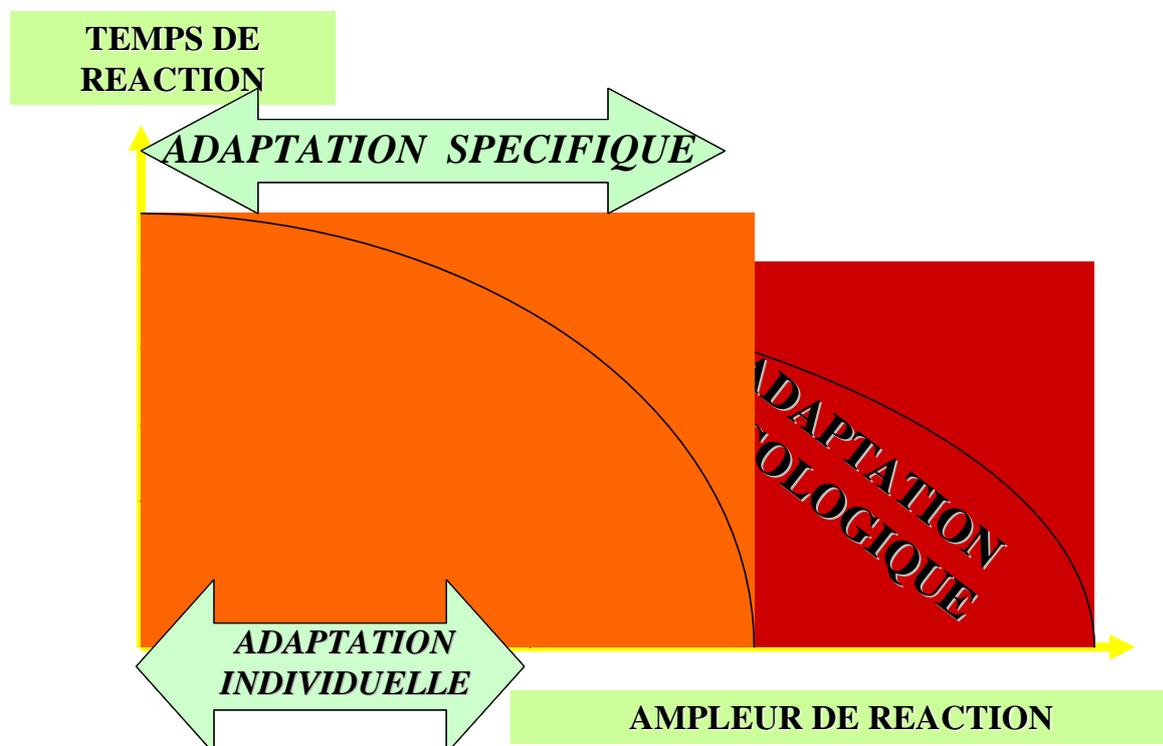


Figure 16 - Représentation schématique des différentes possibilités de réaction de la biodiversité aux changements de l'environnement (Chevassus-au-Louis, 2009. Com. pers.)

Le premier niveau est celui de la réaction des individus. Ces réactions peuvent être physiologiques, et, dans le cas des animaux, comportementales.

*Encadré 21 - La réaction des individus au changement climatique*

Les espèces végétales terrestres bloquent les échanges gazeux dans la journée par fermeture des stomates lorsque la température devient trop élevée pour éviter de trop consommer... et donc de dépérir. De même, les poissons augmentent leurs mouvements operculaires pour mieux capter l'oxygène de l'eau si celui-ci se fait rare mais on comprend bien que ces réactions ont leur limite. Au plan comportemental, les individus peuvent modifier leur cycle d'activité (ex. passage d'une activité diurne à une activité nocturne) ou migrer vers des habitats *a priori* plus favorables. Sur des pas de temps plus longs, des modifications de la phénologie sont observées : dates de floraison (ex. pour les arbres fruitiers), périodes de reproduction (ex. date de ponte des oiseaux).

Il faut souligner que nos connaissances sur le comportement des différentes espèces sont fragmentaires et limitées à quelques espèces « modèles », cette notion de modèle étant plus liée à une facilité d'étude qu'à une représentativité vis-à-vis de l'ensemble des espèces. Autre inconnue, le rôle de l'expérience précoce et, pour certaines espèces, de la transmission « culturelle » des savoirs acquis, dans la modulation des capacités physiologiques et comportementales des individus, n'a été que peu exploré et peut donner lieu à des opinions très variées sur sa contribution à l'amélioration du potentiel d'adaptation des individus.

Le second niveau concerne la réaction des populations et des espèces par le mécanisme de sélection darwinienne\*. Par ce phénomène, les populations s'adaptent à de nouvelles conditions de vie. Plus le changement est graduel, c'est-à-dire à la fois lent et régulier, plus la sélection a le temps d'opérer. Les facteurs clés sont la diversité génétique (le capital évolutif de départ) et la durée de génération des populations ainsi que la vitesse de changement des paramètres du milieu (ces deux éléments donnant le ratio temporel).

L'équilibre dans l'allocation des ressources est un élément clé. Ainsi, à la suite des hivers de plus en plus doux, des espèces d'oiseaux migratrices sont devenues de plus en plus sédentaires, des ressources alimentaires devenant disponibles durant l'hiver et la physiologie de ces espèces leur permettant de résister au froid (ex. cigogne blanche, pouillot véloce).

Par rapport aux capacités de réaction individuelle, ce mécanisme présente, face à l'enjeu d'adaptation au changement climatique, une première propriété plutôt avantageuse et une seconde plutôt handicapante :

- il est susceptible d'aboutir à des réactions de beaucoup plus grande ampleur. Les expériences de sélection artificielle montrent qu'il est possible d'obtenir après un grand nombre de générations des individus ayant des caractéristiques physiologiques dépassant les bornes des variations qui pouvaient être observées dans la population initiale ;

*Encadré 22 - Réaction des populations et espèces au changement climatique par sélection darwinienne : Cas de la fauvette à tête noire*

Les populations d'Europe centrale de fauvettes à tête noire qui hivernaient auparavant principalement sur le pourtour du bassin méditerranéen, ont – en quelques générations – modifié leur comportement migratoire et hivernent à présent en Europe du Nord-Ouest (îles Britanniques notamment) (Dubois, com. pers.). Les conditions hivernales sur place permettent leur survie et le trajet de retour sur les lieux de reproduction est plus court que pour les oiseaux hivernants en Méditerranée. Les oiseaux « britanniques » arrivent donc plus tôt que les autres, occupent les meilleurs sites et connaissent un meilleur taux de reproduction. Une étude a montré que le trajet Europe centrale-îles Britanniques était à présent inscrit génétiquement chez les oiseaux hivernant en Europe de l'Ouest.

- il présente par contre une inertie beaucoup plus grande et très variable d'une espèce à l'autre : des unicellulaires, dont les générations se succèdent en quelques heures, aux arbres et aux grands mammifères, qui ne bouclent que quelques générations par siècle, la sélection darwinienne\* pourra jouer un rôle soit majeur, soit négligeable selon le pas de temps dans lequel la réaction est attendue.

Le troisième niveau, que l'on qualifiera de réaction des écosystèmes, concerne la modification de la composition des biocénoses\*, ensemble des êtres vivants partageant un même espace, c'est-à-dire les modifications d'abondance des espèces, voire la disparition/apparition de certaines d'entre elles, entraînant également une recomposition fonctionnelle des écosystèmes. S'y ajoute le fait que les espèces ne réagissent pas uniquement à l'influence directe du changement climatique, mais aussi à la réaction d'autres espèces à ce changement, en particulier lorsque ces dernières constituent des ressources alimentaires. Un tel phénomène est donc difficilement appréhendable par des expérimentations en laboratoire.

Pour situer la dynamique de ces successions écologiques par rapport aux deux mécanismes précédents, on peut considérer qu'elle pourra être d'ampleur au moins égale à ce que peut permettre la sélection darwinienne\* tout en étant, pour beaucoup d'espèces, plus rapide. Par ex., si la température de l'eau des rivières de plaine augmente, le remplacement des truites par des cyprinidés (carpe, gardons) se fera sans doute plus vite que l'apparition de truites adaptées à des températures élevées.

**Quelques conclusions :**

- Il faut souligner que ces trois modalités ne sont pas indépendantes mais doivent être considérées dans une vision systémique : au sein d'un écosystème, les individus de la même espèce ou d'espèces différentes sont en interaction permanente et les réactions des uns constituent un « système de contraintes » pour les réactions des autres. Ainsi, si une espèce d'arbres forestiers possède une capacité de réaction individuelle forte pour grandir plus vite sous l'effet d'une augmentation de la température, de la pluviométrie ou des apports d'azote atmosphérique et capter ainsi davantage l'énergie solaire, elle « obligera » les autres espèces à s'adapter à un milieu plus sombre ou favorisera le développement d'espèces ou d'individus au sein des autres espèces ayant ces capacités. De plus, les écosystèmes ne sont pas isolés et interagissent fortement entre eux : la réaction face au même changement se traduira différemment pour deux écosystèmes à l'environnement différent.
- Les écosystèmes « transforment les contraintes » : un facteur de pression sur une espèce, par exemple l'effet de la température sur la période de prolifération des

chenilles, se traduira par un autre facteur de pression sur d'autres espèces, comme la nécessité d'une éclosion plus précoce des poussins d'oiseaux insectivores.

- Donc l'évolution d'un écosystème constitue un phénomène « émergent », c'est-à-dire qu'elle peut difficilement être prévue à partir de la simple connaissance des capacités de réaction de ses différentes composantes et qu'elle présente donc un fort degré d'incertitude. En corollaire, il n'est pas surprenant de constater que les évolutions des écosystèmes, en particulier la modification de l'aire de répartition des espèces, apparaissent parfois « inférieures » à celles que prédisent des modèles fondés sur les seuls préférendums des différentes espèces. Par exemple, les écosystèmes simplifiés que constituent les monocultures agricoles (constituées souvent en outre de variétés génétiquement homogènes), sont en quelque sorte des « individus-écosystèmes » : dans ce cas, des modèles basés sur la connaissance de la réaction des individus présentent un certain degré de pertinence.
- Dans le cas de changements rapides, il convient de ne pas surestimer la capacité de la sélection darwinienne à adapter les écosystèmes : les espèces ayant des capacités de réaction « insuffisantes » seront certainement supplantées par d'autres. Ainsi, avec la modification de la durée d'enneigement, le caractère adaptatif de changement de plumage ou de pelage perd quelque peu de son intérêt car les individus passés au blanc en période hivernale sont alors des proies plus aisément repérables. Même si ces espèces perdent peu à peu leur blancheur de pelage, ces changements ne sont pas toujours assez rapides.

### III.4.2 Les réactions sont-elles « adaptatives » ?

Il est important de distinguer l'examen des réactions des écosystèmes et de leurs composantes, de la question du caractère « adaptatif » de ces réactions. En effet, certaines réactions ne semblent pas constituer des stratégies viables à long terme.

#### *Encadré 23 - Les réactions d'adaptation sont-elles adaptatives ?*

L'adaptation du hêtre en condition xérique le conduira à produire moins de biomasse\*, car la période cumulée de croissance sera plus faible. L'espèce pourra se maintenir dans certaines conditions, mais sans être une essence forestière dominante. Il risque donc d'être éliminé par des espèces plus adaptées à de faibles pluviométries. De même, l'augmentation de la précocité sexuelle de certaines espèces de poissons marins exploités, qui se traduit par une réduction de la taille « adulte », constitue une réponse darwinienne à la capture sélective des gros animaux. Mais elle expose les animaux à une prédation accrue par des espèces de grande taille ou plus exactement, elle élargit le champ des espèces susceptibles d'être prédatrices. Il en est de même pour les changements de mode de vie, par exemple le passage d'une activité diurne à une activité nocturne, qui expose les animaux à d'autres prédateurs ou le changement d'habitats, qui conduit à interagir avec d'autres agents pathogènes ou à s'adapter à d'autres ressources alimentaires. Autre exemple bien connu, les changements de comportement des individus parasités augmentent souvent leur vulnérabilité, ce qui favorise le bouclage des cycles parasitaires mais diminue à l'évidence leur valeur sélective.

Il apparaît nécessaire de distinguer deux questions. La première est celle de l'adaptation des individus et des espèces. La question est d'estimer si les nouvelles caractéristiques induites par les facteurs de pression conservent ou améliorent la valeur sélective\*, en termes de survie ou de succès reproducteur, ces deux paramètres conditionnant

l'abondance d'une génération donnée par rapport à la précédente<sup>76</sup>. On peut considérer qu'il s'agit là d'une problématique purement biologique qui, si les paramètres pertinents sont mesurés, permet d'apporter une réponse « objective » à la question du caractère adaptatif des changements observés. La seconde est celle de l'adaptation des écosystèmes, via les successions écologiques\*. Dans ce cas, on assiste à la mise en place de nouvelles biocénoses\*. La question de savoir si elles sont mieux « adaptées » que les précédentes peut difficilement être tranchée par rapport à un référentiel purement biologique, sauf à considérer qu'il s'agit d'une question non pertinente, c'est-à-dire que la nouvelle biocénose est par définition mieux adaptée puisqu'elle a remplacé la précédente<sup>77</sup>.

### III.4.3 Quel « système de valeur » pour juger du caractère adaptatif ?

On peut certes introduire des paramètres comme la vulnérabilité ou la résilience\* pour jauger la résistance d'un écosystème à une perturbation. Mais attribuer une valeur positive à ces paramètres suppose de considérer que l'écosystème qui pourrait remplacer l'écosystème en place lui est qualitativement inférieur et donc qu'une évolution vers ce nouvel écosystème ne serait pas « adaptative ».

C'est pourquoi, sauf dans le cas extrême de disparition de toute vie, il est nécessaire, pour porter un jugement, de relier l'évolution des écosystèmes à un « système de valeur » explicite, qui définira les critères de référence du caractère adaptatif ou non des évolutions observées.

#### *Encadré 24 - Stratégie d'adaptation et rapport de l'Homme à la Nature*

À ce propos, la manière dont sera mise en œuvre la politique d'adaptation au changement climatique dépend fondamentalement du positionnement philosophique qu'adoptera notre société vis-à-vis de la Nature. C'est sur la base de motivations éthiques ou déontologiques que l'action sera décidée et que telle ou telle option sera retenue ou écartée. Ces valeurs de référence relatives à la relation Homme-Nature, trop souvent tues ou considérées comme implicites, devront être clairement explicitées (Blandin, 2009) pour donner sens à une politique globale d'adaptation, nécessairement pleine d'incertitude, vis-à-vis de la société et des générations futures.

Parmi ces systèmes, on peut en première analyse distinguer deux références extrêmes :

- les systèmes « biocentriques », qui accordent une valeur égale aux différentes espèces vivantes. Dans ce cas, la réaction sera jugée adaptative si elle conduit à préserver l'existence d'un maximum d'espèces, ou d'un maximum de groupes taxonomiques, ou dotés de pondérations liées à la rareté, l'éloignement évolutif, etc. ;
- les systèmes « anthropocentriques », qui mettent l'accent sur les interactions entre l'Homme et les écosystèmes et sur la notion de service écosystémique\*. On considérera la réaction comme adaptative si elle contribue à préserver, voire à améliorer à court terme – à long terme si l'on intègre la solidarité

<sup>76</sup> Il s'agit de comparer la valeur sélective dans le nouvel environnement et après réaction, à celle qu'avaient les individus dans la situation initiale et non à celles qu'ils auraient dans le nouvel environnement si aucune réaction n'était intervenue, auquel cas l'on pourrait certainement conclure systématiquement à une adaptation.

<sup>77</sup> En effet, le fait qu'un écosystème d'un milieu aride comporte moins d'espèces et présente globalement une biomasse plus faible qu'un écosystème de forêt tropicale humide ne permet pas à l'évidence de le qualifier de « moins adapté ».

intergénérationnelle –, les différents services écologiques contribuant au seul bien-être de notre espèce.

Le but ici n'est pas de débattre de ces différentes conceptions mais de souligner qu'une analyse de l'effet du changement climatique sur la biodiversité devra expliciter le système de valeur auquel elle fait référence. Il est par exemple évident qu'une approche par les coûts économiques des « pertes » de biodiversité suppose implicitement une philosophie anthropocentrique (voir partie III.5).

### **III.5 Chapitre IV- Éléments d'évaluation économique des impacts**

Dans le mandat du Groupe interministériel figure l'évaluation des coûts induits par le changement climatique. Le rapport de la phase 1 indique que cette quantification n'est pas nécessairement monétaire, les coûts pouvant être exprimés selon diverses métriques.

Partant des éléments de définition de l'objet complexe « biodiversité », le groupe Biodiversité développe dans ce chapitre une démarche générale qui lui est propre, fondée sur plusieurs choix successifs permettant l'application judicieuse des méthodes d'évaluation économique d'actifs environnementaux. Le groupe applique ensuite cette démarche à deux cas concrets (services rendus par les écosystèmes coralliens et forestiers métropolitains) pour lesquels des données fiables sont disponibles.

On rappelle qu'en matière d'évaluation de la valeur économique d'actifs environnementaux<sup>78</sup>, l'analyse économique a développé la notion de valeur économique totale (VET), constituée de deux grands ensembles :

- les « valeurs d'usage », liées à la consommation effective de ces actifs ou de pratiques (comme le tourisme) n'entraînant pas leur consommation ;
- les « valeurs de non-usage », valeur que l'on accorde à la simple existence de ces actifs, au fait que d'autres puissent en bénéficier (valeur altruiste) ou à la possibilité de les transmettre aux générations futures (valeur de legs).

#### **III.5.1 Évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques**

Dans le cas spécifique de la biodiversité et des services écosystémiques, le Centre d'Analyse Stratégique (CAS) a fait un état de l'art sur l'évaluation économique de ces actifs et a proposé de premières valeurs de référence pouvant être utilisées notamment dans les études socioéconomiques relatives aux projets d'infrastructure. Le CAS a pris un certain nombre d'options méthodologiques visant à réduire la complexité du problème. Ces options sont détaillées à l'Annexe F.6 et ici résumées par la Figure 17.

---

<sup>78</sup> Actifs environnementaux qui, le plus souvent, ne donnent pas lieu à des échanges marchands. Diverses autres méthodes (détaillées en Annexe) permettent de pallier l'absence de marché réel et d'établir ou au moins d'approcher un « prix » pour ces actifs.

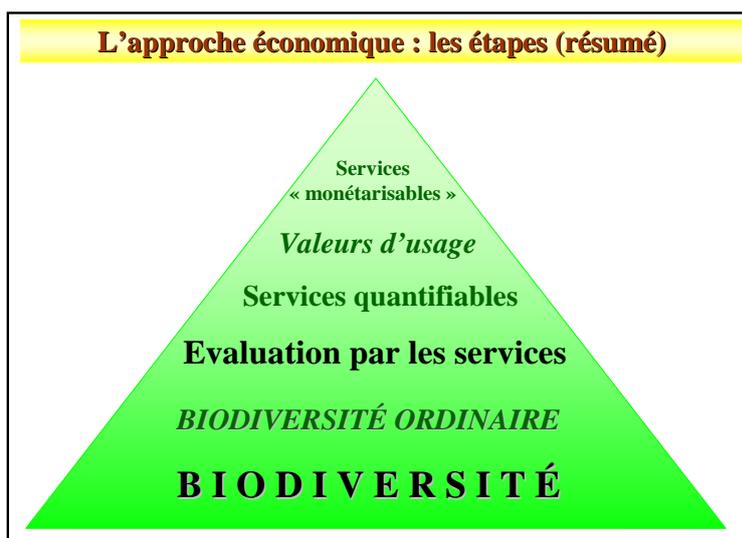


Figure 17 - Résumé des différentes restrictions du champ dans l'approche économique appliquée à la biodiversité (CAS, 2009)

Le CAS s'est concentré sur l'évaluation des services écologiques\* liés à la biodiversité générale\* actuelle, en considérant que les entités (populations, espèces, habitats, paysages) remarquables de la biodiversité étaient et devaient être gérées en prenant en compte de nombreuses autres valeurs (culturelles, éthiques, esthétiques, etc.) que la valeur économique. Il s'est en outre restreint aux seules valeurs d'usage actuelles (en négligeant donc les valeurs de non-usage) de ces services sur le territoire national, sans fournir d'estimations à des échelles plus fines ou des projections à moyen ou long terme (à part l'actualisation). Enfin, il n'a pu mener à bien l'évaluation de services comme la protection de la santé ou certaines fonctions de protection contre les risques naturels, pour lesquels les données étaient insuffisantes.

En conséquence, la démarche du CAS ne propose pas des valeurs de référence pour l'ensemble de la biodiversité mais pour les seules valeurs d'usage de services écosystémiques liés à la biodiversité générale et aujourd'hui monétarisables d'une manière qui semble robuste. De ce fait, on peut considérer que les estimations proposées sont des estimations *a minima* qui peuvent sans conteste, pallier dès maintenant l'option d'attribuer par défaut une valeur nulle à la biodiversité dans le calcul socioéconomique. Des travaux complémentaires, prenant en compte d'autres services et susceptibles de majorer significativement ces valeurs apparaissent donc indispensables.

### **III.5.2 Proposition de démarche d'évaluation économique des impacts du changement climatique sur la biodiversité**

Pour aborder l'effet du changement climatique sur la biodiversité et les services écosystémiques, le groupe Biodiversité retient, pour une première approche, les options suivantes :

1. Se centrer sur les effets directs (de type I) définis en partie III.2, à savoir les effets directs de l'augmentation des gaz à effet de serre et des variables climatiques (température, précipitations) sur les écosystèmes, mais prendre en compte également, au moins de manière qualitative, les effets indirects (de type II et III), en particulier ceux résultant des stratégies « d'adaptation » d'autres secteurs au changement climatique. Malheureusement, même s'il est légitime de penser que les effets indirects auront des

impacts au moins aussi importants, il semble difficile de développer dans l'immédiat des modèles opérationnels intégrant ces différents effets et, surtout, leurs interactions.

2. Retenir l'approche proposée par le CAS d'une monétarisation des services écosystémiques liés à la biodiversité générale. Cela signifie en particulier qu'à ce stade, les pertes de biodiversité remarquable (disparition locale ou générale d'espèces rares et emblématiques, d'habitats reliques, etc.) ne seront pas monétarisées. Il est certes envisageable de proposer des approches d'évaluation contingente pour ces pertes prévisibles de biodiversité remarquable, en estimant les consentements à payer (CAP) pour différents niveaux de perte de biodiversité et à différents horizons temporels mais les limites de ces approches, en particulier leur non-additivité<sup>79</sup> et leur sensibilité à l'information, risquent de conduire à des estimations très fragiles et « anormalement » faibles<sup>80</sup>. Une autre approche sans doute plus satisfaisante pour cette biodiversité remarquable pourrait consister à évaluer les coûts de création de nouvelles aires protégées, de gestion renforcée de ces espaces ou des politiques renforcées de préservation des espèces menacées par le changement climatique (par exemple le transfert d'espèces ou d'habitats hors des zones actuellement dédiées à leur protection).

3. Considérer que les pertes de services d'approvisionnement (aliments, eau, etc.) sont évaluées par les différents groupes sectoriels concernés (agriculture, eau, forêt...) pour les biens marchands et faire l'hypothèse que, dans le cas de la France, les biens non-marchands sont relativement secondaires pour ces services. De même, pour les services culturels, les estimations disponibles concernent surtout les valeurs récréatives, estimées le plus souvent par les coûts de transport. Il a donc été considéré qu'il n'était pas du ressort du Groupe Biodiversité d'estimer les pertes économiques éventuelles. On évoquera donc ici surtout les aspects non directement marchands (fréquentation touristique des forêts et autres usages « gratuits »).

4. Cette première étude va donc se concentrer sur les services de régulation pour lesquels (1) on dispose de modèles physiques ou biologiques prédictifs et (2) pouvant être couplés avec des modèles économiques. Il faut donc souligner que des évolutions importantes, en particulier le déplacement des espèces (en particulier des bioagresseurs) et ses effets sur la santé humaine – mais aussi sur celle des animaux et des plantes – apparaissent difficilement évaluables dans l'état actuel des connaissances.

5. Deux écosystèmes emblématiques et pour lesquels on dispose de données relativement fournies ont été retenus, 1) les massifs coralliens des départements et collectivités d'outre-mer et 2) les forêts métropolitaines. Pour chaque d'eux, on distinguera systématiquement deux aspects :

- l'évolution possible des surfaces de ces écosystèmes : cette évolution semble la plus susceptible d'influer sur les services rendus par ces écosystèmes ;
- l'évolution des différents services par unité de surface de ces écosystèmes.

### III.5.3 Cas des écosystèmes coralliens

Les récifs construits par les coraux couvrent une superficie d'environ 280 000km<sup>2</sup> à la surface de la planète mais l'écosystème corallien (récifs construits et lagons sableux)

---

<sup>79</sup> Le CAP pour un ensemble d'espèces est très inférieur à la somme des CAP obtenus pour chacune d'elle et les CAP sont assez voisins pour sauver un seul couple ou un grand nombre d'individus. Voir le rapport du CAS pour une discussion détaillée.

<sup>80</sup> Quelle que soit la question posée sur un élément de biodiversité (espèce, groupe d'espèces, habitats), le CAP dépasse rarement 100 € par ménage et par an.

couvrent quelques 600 000km<sup>2</sup> (Tableau 15 dans lequel les surfaces se réfèrent à l'écosystème). Les récifs coralliens comptent parmi les écosystèmes les plus rares et les plus diversifiés. La France héberge dans ses départements et autres collectivités d'outre-mer (DOM et COM) environ 10% des récifs et lagons et est le seul pays à posséder des récifs coralliens dans les trois grands océans.

Tableau 15 - Collectivités d'outre-mer avec récifs coralliens (Salvat, 2009. Com. pers.).

	Martinique	Guadeloupe	Réunion	Iles Eparses	Mayotte	Calédonie	Wallis & Futuna	Polynésie	Clipperton	TOTAL O-M
Surfaces terrestres (km <sup>2</sup> )	1128	1900	2512	35	374	18575	142	3726	2	28394
Surfaces ZEE (x 1000 km <sup>2</sup> )	47	91	323	692	62	1364	266	4804	434	8082,6
Nombre total d'îles	1	6 + îlots	1	5	1 + îlots	7 + îlots	3	118	1	143
Population (x 1000 hab)	399	460	777	0	187	231	13	260	0	2327
PNB 2005 (US \$)	15410	9940	15905	ND	2950	14380	4030	19350	ND	SO
Fréquentation touristique (x 1000/an)	639	665	430	0	41	100	0	220	0	2095
Surface de récifs (km <sup>2</sup> )	214	865	12	494	1500	40000	220	15047	12	58364

ND : Non Disponible ; SO = Sans Objet.

Cette situation, d'autant plus particulière que la diversité des récifs français est remarquable, confère une responsabilité certaine à la France, qui s'est engagée à conserver ces écosystèmes remarquables aux niveaux national (IFRECOR) et international (ICRI). De nombreuses pressions s'exercent en effet déjà aujourd'hui sur les récifs coralliens<sup>81</sup>, dont de nombreuses personnes dans le monde dépendent soit pour leur alimentation, soit pour leur activité économique, en sus de la protection des côtes qu'assurent les récifs et mangroves. Le changement climatique pourrait non seulement aggraver ces menaces, mais également affecter directement ces écosystèmes et leur survie. Le coût que pourrait entraîner ce phénomène planétaire apparaît potentiellement très élevé. Cette partie s'attache à proposer une méthodologie de chiffrage du coût des impacts du changement climatique sur les récifs coralliens. Si cette démarche permet d'accéder à des ordres de grandeur de coûts potentiels, il convient de lire les résultats avec toute la prudence nécessaire, étant donné notamment que l'évolution physique des récifs n'est pas évidente à appréhender et qu'on ne possède que peu de résultats d'évaluations économiques disponibles à ce jour sur des récifs français. Le transfert de résultats d'évaluations monétaires déjà menées est toutefois utilisé.

### III.5.3.1 Données disponibles sur la valeur actuelle des services pour la France

Il est proposé de se limiter ici à l'étude des services de régulation qu'offrent les écosystèmes récifaux. En particulier seront analysées la protection côtière, la fixation de carbone et l'épuration de l'eau.

<sup>81</sup> La dégradation des récifs actuellement observée est due essentiellement aux activités anthropiques, alors que les conséquences du changement climatique sont mineures, à l'exception de phénomènes extrêmes comme l'été 1998 - blanchissement et mortalité des coraux dus à des températures anormalement élevées de l'océan - ou des cyclones particulièrement violents.

De nombreuses évaluations, assises sur des méthodologies parfois différentes, donnent des estimations de la valeur des services liés aux écosystèmes récifaux. Cependant, nombre d'entre elles concernent des récifs coralliens non situés en zone française. Les récifs français sont assez bien connus quant à leur structure, composition et état de santé (avec des suivis parfois sur plusieurs décennies) mais très peu d'estimations de valeur économique existent. En Polynésie française, où c'est néanmoins le cas, les valeurs établies ne concernent qu'une île (Moorea) alors que cette collectivité en possède 118 de catégories très différentes : îles hautes et atolls, avec ou sans touristes et 31 îles basses coralliennes inhabitées.

Les surfaces récifales françaises étant connues, pour obtenir la valeur actuelle des services offerts, l'idée est – avant d'avoir de plus amples résultats dans le cadre du projet IFRECOR<sup>82</sup>, qui ne portera que sur quelques collectivités –, de transférer les résultats d'autres études en respectant les spécificités des différents récifs coralliens, notamment le type de récif et la situation géographique.

### **La valeur des récifs coralliens : cas de la Polynésie française et extrapolation à l'ensemble du territoire français**

En extrapolant à l'ensemble de la Polynésie française<sup>83</sup> les valeurs données par l'étude de Charles (2006) sur les récifs et lagons de l'île de Moorea, on peut évaluer la valeur des services offerts par les écosystèmes récifaux coralliens français de cette zone. On pose certaines hypothèses simplificatrices qui autorisent une estimation approchée. Ainsi, on suppose que la valeur calculée (à coût marginal constant) pour la réalisation d'un service écosystémique sur un hectare du complexe récifo-lagonnaire de l'île de Moorea peut être extrapolée à l'ensemble de la Polynésie. Dans ces conditions, le coût total en cas de disparition de l'ensemble de l'écosystème récifal polynésien correspond au produit de la surface totale de récifs construits qui assurent la protection des côtes (416 700 hectares) par la valeur à l'hectare (1 220\$/ha<sup>84</sup>). Le coût total est ainsi estimé à environ 510 millions de \$/an pour la protection côtière et, avec le même raisonnement, à environ 40 millions de \$/an pour le stockage de 1,8tCO<sub>2</sub>/(ha x an)<sup>85</sup>.

En appliquant la démarche à l'ensemble des récifs coralliens construits français (14 280 km<sup>2</sup>) avec les valeurs estimées par Costanza<sup>86</sup> pour les écosystèmes coralliens<sup>87</sup>, on estime à 6,3 milliards de \$/an le coût de la protection côtière et 140 millions de \$/an celui de l'épuration de l'eau (dégradation de la matière organique et filtration des matières en suspension).

Au plan méthodologique, notons que seules deux sources de valeurs ont été utilisées et une seule valeur pour chaque service évalué. Le choix s'est fait en examinant la similitude entre les récifs français et ceux considérés dans les études suscitées. La dispersion des valeurs issues de la littérature conduit à suggérer des intervalles pour chaque service : entre 100 et 10 000\$/(ha x an) (selon la densité de population et

---

<sup>82</sup> L'évaluation socio-économique des écosystèmes coralliens français correspond à l'un des cinq thèmes d'intérêt transversal dans le plan d'action 2006-2010 de l'initiative française sur les récifs coralliens. Ainsi une étude a été lancée en 2008 sur des récifs coralliens en Martinique et Guadeloupe.

<sup>83</sup> Cette étude n'est pas généralisable à l'ensemble des récifs coralliens français

<sup>84</sup> Charles, 2006

<sup>85</sup> Il conviendrait, pour l'ensemble des résultats chiffrés, de convertir les dollars de l'époque en euros actuels.

<sup>86</sup> Costanza *et al.*, 1997

<sup>87</sup> Rappelons ici que cette étude donne des valeurs moyennes mondiales.

d'aménagements) pour la protection côtière et entre 75 et 100\$/(ha x an) pour l'épuration de l'eau.

### III.5.3.2 Evolution possible des surfaces

Il est assez délicat de prévoir l'évolution des surfaces des récifs due au changement climatique à un horizon d'un siècle.

L'élévation du niveau de la mer leur permettra de gagner en surface en colonisant des platiers actuellement émergents. Cependant, l'augmentation des températures et l'acidification de l'eau des océans, que le changement climatique est présumé provoquer, devraient conduire à une réduction de la taille des récifs, voire à une disparition dans certains cas. Toutefois, aux marges latitudinales de leur aire de répartition, les récifs pourraient gagner en surface, avec le réchauffement des eaux<sup>88</sup>, sauf si l'acidification des eaux est générale<sup>89</sup>.

En supposant une relation linéaire entre la valeur des services écosystémiques et la taille des récifs coralliens, on peut aisément estimer le coût de leur disparition. *A priori*, ces services perdus ne devraient pas être remplacés, ce qui donne donc un coût absolu du changement climatique. Un cas extrême, qui verrait la disparition de la totalité des récifs coralliens, conduirait ainsi à une perte monétaire nette s'élevant *a minima* à  $6,3 + 0,14 + 0,04$  soit environ 6,5 milliards de \$/an pour les seuls services de régulation étudiés ici. Cette valeur correspond à la somme des valeurs actuelles des services de protection côtière et d'épuration de l'eau de l'ensemble des récifs français, à laquelle s'ajoute le service de stockage de carbone pour les récifs polynésiens, services pour lesquels on a suffisamment de données pour faire une estimation. C'est donc très probablement une valeur inférieure à celle que donnerait la valorisation de tous les services offerts par les écosystèmes récifaux français. Néanmoins, le plus probable est une dégradation continue de l'ensemble des récifs qui conduise à une réduction de la surface totale et à une dégradation des services offerts.

### III.5.3.3 Evolution possible des services

Le changement climatique, comme les nombreuses autres pressions qui menacent aujourd'hui les récifs coralliens, dégradera vraisemblablement les services offerts par cet écosystème. En particulier la hausse de la température des océans devrait conduire à un blanchissement\* des coraux, suivi de leur mortalité. Par ailleurs, une augmentation des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> et donc du CO<sub>2</sub> océanique, pourrait réduire le taux de calcification des coraux et d'autres organismes récifaux à test calcaire et diminuer la capacité du récif à croître en hauteur et à s'adapter à l'élévation du niveau de la mer. Enfin, ces effets conjugués pourraient conduire à un appauvrissement de la biodiversité des écosystèmes récifaux et à une aggravation des infestations de parasites et des maladies.

On trouve dans la littérature des relations entre l'état des récifs et le niveau de service rendu. En extrapolant à l'évolution attendue de l'état des récifs français due au changement climatique, on pourrait ainsi déterminer l'évolution potentielle des services si l'on parvenait à estimer l'état des récifs à la fin du siècle. En faisant l'hypothèse d'une linéarité entre le changement de niveau de service et le coût monétaire, une estimation

---

<sup>88</sup> La température optimale pour les coraux sclératiniens\* est comprise entre 22 et 28°C

<sup>89</sup> Ce développement devrait néanmoins être limité en raison de conditions d'énergie lumineuses insuffisantes en période hivernale pour les algues symbiotiques qu'hébergent les coraux constructeurs de récifs.

du coût du changement climatique lié à la dégradation des services serait également possible. À noter que cet exercice a de nombreuses limites et qu'il ne prend en compte que les impacts directs sur les services de régulation offerts par les écosystèmes récifaux coralliens et présentement analysés.

### III.5.4 Cas des écosystèmes forestiers métropolitains

#### III.5.4.1 Données disponibles sur la valeur actuelle des services pour la France

Une analyse détaillée des différents services de la forêt française métropolitaine (Tableau 16)<sup>90</sup> montre que l'essentiel des services d'approvisionnement est représenté par la production de bois (y compris l'autoconsommation). Les produits de cueillette divers (champignons, fruits, fleurs...) ne représente en moyenne qu'environ 10 à 15% de la valeur du bois produit. La chasse a par contre été considérée comme un service récréatif et évaluée à ce titre. Les services de régulation représentent une valeur économique majeure, même si plusieurs d'entre eux (effets sur la santé, fonctions de protection...) ne peuvent être évalués précisément. En effet, si l'on se limite aux seuls services de fixation et de stockage du carbone et de production d'eau potable, on atteint une valeur<sup>91</sup> d'au moins 600€/ (ha x an), soit près de 8 fois la valeur moyenne de la seule production de bois. Les services culturels peuvent représenter une composante importante des valeurs d'usage. La fréquentation touristique a été évaluée en moyenne à 200€/ (ha x an) mais peut atteindre 1 000€, voire plus, pour les forêts périurbaines. S'y ajoute la chasse qui, si l'on l'évalue à travers l'ensemble des dépenses engagées par les chasseurs, atteint une valeur moyenne proche de celle de la production de bois sur pied.

Tableau 16 - Valeurs de référence proposées pour les différents services écosystémiques de la forêt française (en €/hectare et /an) (CAS, 2009)

Services	Valeur proposée (par hectare et par an)	Remarques
Services d'approvisionnement - bois	75 (75 à 160€) <sup>92</sup>	Selon méthode d'estimation (bois sur pied ou après exploitation)
- autres produits forestiers (hors gibier)	10 à 15€	
Services de régulation - fixation du carbone - stockage du carbone - autres gaz atmosphériques	115€ 414€ (207 à 414€) Non évaluée	360€ en 2030 650 à 1 300€ en 2030 Manque de bilans quantitatifs fiables
Services de régulation (suite) - eau (quantité annuelle)	0€	Hypothèse d'absence d'effet majeur des forêts sur le bilan hydrologique annuel Manque d'études pertinentes
- eau (régulation des débits)	Non évaluée	
- eau (qualité)	90€	

<sup>90</sup> CAS, 2009

<sup>91</sup> La valeur de la tonne de CO<sub>2</sub> retenue est la valeur tutélaire retenue par le récent rapport Quinet du Centre d'Analyse Stratégique (2008), c'est-à-dire 32 €<sub>2008</sub>. À noter que ce rapport propose une augmentation progressive de cette valeur, pour atteindre 100 €<sub>2008</sub> en 2030.

<sup>92</sup> Voir le rapport Forêt pour une évaluation plus précise du coût des impacts du changement climatique sur la production de bois.

<sup>93</sup> Une valeur *a minima* de 25,4 millions d'€ par an pour l'ensemble de la forêt métropolitaine - correspondant au budget alloué par l'Etat aux opérations de restauration des terrains de montagne - est proposée dans le rapport du groupe Forêt

<sup>94</sup> Une enquête axée sur le consentement à payer fait néanmoins état d'une valeur moyenne de 22,8 euros par hectare pour la préservation de la biodiversité forestière (voir rapport Forêt)

- protection (érosion, crues) - biodiversité - autres services de régulation (santé, etc.)	Non évaluée <sup>93</sup> Non évaluée directement <sup>94</sup> Non évaluée	Manque d'études pertinentes Evaluée via les autres services Manque d'études pertinentes
Services culturels - promenades (hors cueillette et chasse) - chasse - autres services culturels	200€ (0 à 1 000€) 55-69€ Non évaluée	Selon fréquentation Externalités négatives à déduire Manque d'études pertinentes
TOTAL* (min-max)**	968€ 500 à plus de 2 000€	

\* en prenant la valeur indiquée ou la moyenne de la fourchette indiquée.

\*\* en additionnant simplement les valeurs minimales et maximales

Ce rapport du CAS (2009) souligne que les écosystèmes forestiers sont nettement plus productifs, en termes de services écosystémiques, que les prairies permanentes et, surtout, que les zones de cultures annuelles (sans parler bien sûr des zones urbanisées). La perte de surfaces forestières – et, plus généralement, de surfaces à couvert végétal permanent – au profit d'autres usages se traduirait donc par une perte notable de services écosystémiques.

### III.5.4.2 Evolution possible des surfaces

Si l'on considère l'évolution spontanée des peuplements forestiers, la partie la plus méridionale de la forêt métropolitaine est et restera en zone euméditerranéenne, c'est-à-dire une zone ayant vocation à être naturellement boisée. Les zones non boisées du territoire sont liées à des défrichements plus ou moins anciens et ne se maintiennent que grâce aux activités humaines qui s'y sont développées, ou éventuellement par des blocages évolutifs (sols érodés en zone d'incendie répétés, tourbières...)<sup>95</sup>.

Par contre, des modifications notables de la part relative des grands domaines bioclimatiques forestiers vont se produire d'ici à 2100. La part cumulée des domaines méditerranéen et océanique Sud-Ouest, actuellement de 26%, pourrait dépasser 70% à cette échéance. En conséquence, on peut admettre que, même si des évolutions de sa composition en espèces pourront être observées<sup>96</sup>, la forêt conservera globalement un potentiel spontané d'extension dont la régulation quantitative et qualitative sera exercée par l'évolution des activités humaines. Parmi ces activités, citons en particulier :

- les pratiques sylvicoles, qui pourront hâter la disparition d'une espèce pouvant subsister mais ayant perdu son intérêt économique (cas du hêtre), ou, à l'inverse, accélérer la colonisation par de nouvelles espèces plus adaptées (cas du remplacement éventuel du pin maritime dans les Landes) ;
- la poursuite ou la réduction des élevages de ruminants à l'herbe dans les zones de moyenne montagne, sous l'effet de facteurs comme la réduction prévisible de la productivité des prairies, la diminution de la consommation de viandes rouges ou l'évolution de la compétitivité des productions françaises face aux importations ;
- un recul éventuel des forêts intrinsèquement multifonctionnelles mais « cultivées » afin de fournir du bois, recul lié à l'augmentation de la fréquence et surtout de l'intensité des tempêtes et à la dégradation de la capacité de ces forêts à assurer une production soutenue dans les nouvelles conditions climatiques, au

<sup>95</sup> On le constate dans les zones de friches, soumises à une colonisation plus ou moins rapide par des ligneux pionniers, ou dans la « zone de combat » qui sépare en montagne la limite des forêts et celle des prairies d'altitude. Cette zone est souvent maintenue plus bas que sa limite naturelle par les activités d'élevage.

<sup>96</sup> Voir en particulier la disparition vraisemblable du hêtre, au moins en tant qu'espèce structurante des massifs, dans les forêts du sud de la Loire, ou bien la remontée vers le nord du chêne vert.

bénéfice de la mise en place de lignicultures à cycle plus rapide (cultures alimentaires ou énergétiques notamment).

On peut donc conclure que les politiques qui seront menées vis-à-vis des élevages de ruminants à l'herbe, des productions énergétiques ou des pratiques sylvicoles favorisant la biodiversité pourront jouer un rôle majeur – et sans doute très supérieur au rôle direct du changement climatique – dans l'évolution des surfaces forestières.

Deux dynamiques « naturelles » sont cependant à mentionner :

1- le recul des forêts dunaires, en raison du recul des côtes et de l'augmentation de la fréquence ou de l'intensité des tempêtes. Il conviendrait dans ce cas de prévoir des « espaces de repli » pour ces forêts ;

2- la disparition possible d'une partie des forêts méditerranéennes, du fait de l'augmentation de la fréquence des incendies. Cette tendance sera modulée par l'ampleur des politiques de protection qui seront mises en œuvre.

#### **III.5.4.3 Evolution possible des services**

Les écosystèmes forestiers cumulent trois particularités face au changement climatique :

1- la durée de vie d'un arbre est du même ordre de temps que le changement climatique lui-même : les rythmes du changement et de l'adaptation se confondent ;

2- les forêts sont concernées autant par la question de l'atténuation (stockage et substitution) du changement climatique que de l'adaptation à ses conséquences et la gestion des deux aspects interagissent bien évidemment ;

3- les forêts constituent majoritairement en France des écosystèmes économiquement productifs (le cas de l'outre-mer, en particulier de la Guyane, est différent). Au-delà de l'enjeu de la conservation de la biodiversité, se pose la question de la conservation d'une production économique, les deux aspects n'étant pas forcément positivement corrélés.

La conjugaison de ces trois éléments fait du pilotage des écosystèmes forestiers dans le changement climatique un exercice particulièrement difficile à appréhender.

Pour l'exercice d'évaluation économique, on se limite ici aux services non-marchands, en renvoyant aux autres groupes sectoriels (forêts, tourisme) pour les biens marchands.

#### **Fixation\* et stockage\* du carbone**

Le carbone, dont on retiendra pour l'exercice le cours de 115€/tonne<sup>97</sup>, est concerné essentiellement sous cinq aspects :

1- Le carbone forestier représente la grande majorité du stock terrestre national, estimé à 2,4 milliards de tonnes de carbone (150t environ par hectare, en considérant les stocks aériens et souterrains). Le rapport du CAS a proposé d'évaluer ce stock et son augmentation annuelle à 529€/(ha x an)<sup>98</sup>, soit 8,4 milliards d'euros/an pour l'ensemble

<sup>97</sup> Valeur tutélaire proposée par le Centre d'analyse stratégique en 2008, correspondant à 32€ la tonne de CO<sub>2</sub>.

<sup>98</sup> Cette valeur comprend le flux annuel de stockage (soit environ 1 tonne de carbone /ha) et la rémunération du capital stocké à long terme, évalué à 90tC/ha, avec une rémunération annuelle de 4% de ce stock.

des forêts métropolitaines. La sécheresse de 2003, qui devrait survenir en fin de siècle avec une occurrence *a minima* décennale a conduit à une production nulle des écosystèmes. Ceci signifie que le prélèvement de bois dans ces conditions se traduirait par un déstockage de carbone que l'on peut évaluer à 60 millions de tonnes-équivalent CO<sub>2</sub> (60Mm<sup>3</sup> prélevés non remplacés par la production biologique, 1m<sup>3</sup> équivalant à 1 tonne de CO<sub>2</sub>), soit 1,9 milliards d'euros (à 32€/tCO<sub>2</sub>). De manière plus générale, la production primaire nette devrait baisser pour les feuillus de plaine de 10 à 15% d'ici 2090, alors que les espèces à feuilles persistantes comme le chêne vert devraient augmenter légèrement leur production potentielle de 3%. Une forte inconnue est liée à la disponibilité en eau, qui pourrait amoindrir fortement cette production potentielle. Il faut donc envisager de revoir progressivement à la baisse la valeur de fixation annuelle de carbone par la forêt, actuellement estimée à 1,2tC/(ha x an), soit 138€/((ha x an). Par contre, si la couverture forestière persiste, le stock souterrain de carbone devrait se maintenir mais ce point est à préciser. Il faut souligner que cette augmentation actuelle du stock de carbone forestier est en partie liée à une exploitation partielle (environ 60%) de la production annuelle des forêts. Les politiques d'exploitation forestière et l'usage qui sera fait du bois (chauffage, biocarburant, chimie verte ou bois matériau) moduleront donc fortement la fixation nette de CO<sub>2</sub> par les forêts.

*Encadré 25 - Évolution des forêts méditerranéennes et stockage de carbone*

En termes économiques, un calcul grossier peut être fait en se basant sur la différence de productivité actuelle entre les forêts méditerranéennes (3,4m<sup>3</sup>/(ha x an)) et celles du reste de la France (environ 7,5m<sup>3</sup>/(ha x an)). Si l'on estime que ces forêts de type méditerranéennes, qui occupent actuellement 9,1% du territoire métropolitain, en occuperont en 2100 entre 19% (selon B2) et 37% (selon A2), la perte de productivité se situerait entre 6 et 16%, soit une perte économique, en termes de flux de carbone stocké, comprise entre 304 et 589 millions d'euros. Ces valeurs sont peut-être optimistes car il est possible que dans la phase de transition, les forêts nouvellement soumises à un régime climatique de type méditerranéen soit même moins productives que les forêts méditerranéennes.

2- Si l'on ajoute à ce déstockage le risque accru d'incendie dans les zones évoluant vers des sécheresses estivales prolongées, qui plus est sur des forêts moins aisément valorisables économiquement et donc potentiellement délaissées, le bilan est fortement aggravé : les grands feux sont en effet susceptibles de relarguer des quantités considérables de carbone dans l'atmosphère, issu de la biomasse mais également des sols (on estime le stock dans le sol à au moins l'équivalent du stock aérien). En 2003, les incendies ont contribué pour un tiers des émissions nationales de CO<sub>2</sub> - de 410 millions de tonnes en 2003 (hors UTCF) - ce qui représenterait donc 4,4 milliards d'euros.

3- Les incendies répétés aggravent le risque de lessivage des sols nus, comme on peut l'observer sous climat méditerranéen ou tropical, avec une perte considérable de productivité pour les écosystèmes forestiers qui se réinstallent, voire un blocage au stade sous-arboré (maquis, garrigue).

4- Enfin, certains sols forestiers voient aujourd'hui leur évolution bloquée ou fortement ralentie par certaines conditions climatiques difficiles (sols gelés en profondeur, sols engorgés). Ils accumulent alors de grandes quantités de carbone dans des milieux comme les tourbières, les permafrosts, etc. C'est pour la France métropolitaine particulièrement le cas en montagne. Les nouvelles conditions météorologiques devraient réchauffer ces sols en été, avec une pluviométrie essentiellement hivernale, ce qui devrait conduire au relargage du carbone\* stocké sous forme de carbone organique mais aussi de méthane. S'il est très difficile d'évaluer ce phénomène, il paraît probable qu'il

aggraverait certainement encore le solde négatif induit par les trois phénomènes précédemment décrits.

5- Plusieurs mesures d'atténuation ou d'adaptation des forêts au changement climatique pourront également avoir des conséquences notables sur le stock de carbone en forêt. Il s'agit : a) du raccourcissement des cycles de production, réduisant la biomasse aérienne et puisant potentiellement dans le stock du sol ; b) de la réduction du stock sur pied par réduction des densités à l'hectare et relevés de couvert ; c) de l'intensification de l'utilisation de bois en substitution à des matériaux plus énergivores ou fossiles ; à noter dans ce cas que le bilan, négatif pour la forêt, est globalement positif.

### **Autres services rendus par les écosystèmes forestiers**

Sans pouvoir fournir de valeurs précises, il convient d'insister sur le rôle qualitatif et quantitatif des forêts par rapport au cycle de l'eau. Au plan quantitatif, les forêts influent de plusieurs manières : si elles ne semblent pas moduler, en zone tempérée, la pluviométrie locale, elles diminuent le bilan hydrologique global (quantité d'eau alimentant les nappes et les cours d'eau) du fait de leur plus forte évaporation par rapport à une prairie ou à une culture. Par contre, du fait des capacités de stockage des sols forestiers, elles tendent à lisser l'hydrogramme (écrêtage des crues, soutien des étiages), ce qui peut avoir des effets très bénéfiques. L'importance économique relative de ces deux phénomènes peut varier grandement selon les régions et, à l'avenir, avec le changement climatique. Des études régionalisées seraient donc à réaliser. Sur un plan qualitatif, le rapport du CAS estime que seul 3 à 6% de l'eau « produite » par les massifs forestiers est aujourd'hui utilisée pour la fourniture d'eau potable. En outre, le rapport n'a pas pu évaluer d'autres aspects positifs de la fourniture d'une eau de qualité, comme l'abaissement de la température moyenne des rivières (effet de couvert) ou la réduction de l'eutrophisation (réduction des apports d'azote et de phosphore), phénomènes qui peuvent favoriser la préservation de la biodiversité aquatique.

Enfin, la valeur récréative des massifs forestiers (y compris la chasse) devrait faire l'objet d'études prospectives car on peut imaginer à la fois des impacts favorables et défavorables du changement climatique sur ces activités : fréquentation accrue des forêts en période de canicule, augmentation du « tourisme nature » sur le territoire national (du fait de l'augmentation des coûts de transport) mais, à l'inverse, nécessité d'interdire la fréquentation des zones à risque élevé d'incendie et effondrement de la fréquentation des zones touchées.

Pour conclure, apprécier en valeurs chiffrées le coût de la perte des services écosystémiques correspondante n'est pas aisé et dépend fortement des hypothèses posées. Les pertes potentielles estimées sont élevées et constituent vraisemblablement des bornes inférieures des montants réels. En effet :

- seuls les services écosystémiques de la biodiversité générale sont évalués ;
- certains services de régulation, qui peuvent avoir des valeurs importantes, ne peuvent pas toujours être pris en compte ;
- les coûts sont évalués à partir de données marginales par hectare, c'est-à-dire pour une perte limitée de surface de l'écosystème étudié ne conduisant pas à une augmentation des valeurs. Appliquer ces estimations à une grande surface susceptible d'être atteinte (et donc de modifier le coût marginal) est grossier et ne constitue qu'une première étape de la démarche.

L'exercice de chiffrage du coût des impacts du changement climatique sur la biodiversité est ainsi limité mais permet de sensibiliser aux enjeux économiques du changement climatique. En aucun cas ces chiffrages ne peuvent être considérés comme la valeur de

destruction ou de remplacement des écosystèmes, tant ils sont fragmentaires et partiels. Il reste toutefois à approfondir la connaissance des impacts et, en particulier à mieux définir les courbes de réponse (en termes de diminution des services) des écosystèmes selon les scénarios de changement climatique.

### III.6 Chapitre V - Effets croisés entre adaptation au changement climatique de différents secteurs, atténuation et conservation-utilisation de la biodiversité

Les interactions entre les différents secteurs d'activité et la biodiversité risquent d'être bouleversées du fait du changement climatique, pour plusieurs raisons :

Certains secteurs d'activités tirent parti directement d'éléments de la biodiversité : c'est le cas de l'agriculture, de la foresterie, de la pêche en eau douce, côtière ou en haute mer, ou encore du tourisme. Le changement climatique impactant la biodiversité (effets I et II présentés dans le schéma conceptuel initial en Figure 9), il est fort probable que l'économie de ces secteurs soit également touchée ;

L'adaptation<sup>99</sup> plus ou moins progressive, spontanée\* ou planifiée\*, des secteurs d'activités, risque d'impacter, négativement mais parfois aussi positivement, la biodiversité : ce sont les effets de type III. Par exemple, comment les éventuels déplacements d'infrastructures dans l'arrière-pays, du fait de la remontée du niveau de la mer, impacteront les espaces naturels qui y sont situés ?

Bien que le mandat du Groupe interministériel se focalise sur l'adaptation, il ne faut pas oublier que les politiques d'atténuation du changement climatique vont également impacter la biodiversité. On insiste à ce propos sur le triptyque Adaptation – Atténuation – Biodiversité, dont la mise en cohérence apparaît essentielle.

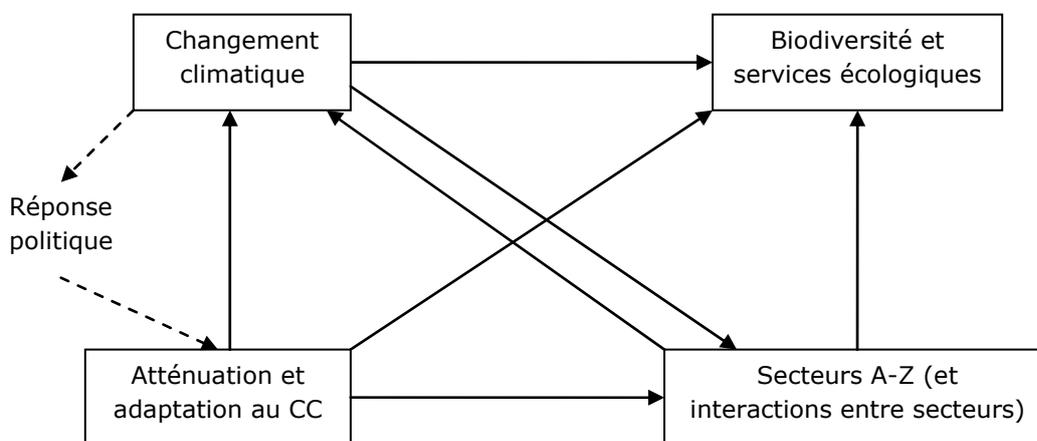


Figure 18 - Interactions entre changement climatique, secteurs et biodiversité (MACIS, 2008)

Ce chapitre vise donc à analyser ces différentes interactions (Figure 18), les secteurs d'activités examinés étant ceux choisis par le Groupe interministériel<sup>100</sup>. Toutefois, le

<sup>99</sup> On entend ici par stratégie d'adaptation au changement climatique toute intervention humaine qui atténue les effets néfastes ou tire parti des possibilités avantageuses des modifications réelles ou attendues liées au climat.

<sup>100</sup> Les secteurs retenus dans le cadre du Groupe interministériel sont, pour rappel : agriculture, forêt, eau, santé, tourisme, énergie, infrastructures de transport et cadre bâti, risques naturels et assurances, territoires.

Groupe biodiversité souligne qu'il n'a pas été possible, du fait du délai imparti d'une part et de l'absence d'un rapport biodiversité en phase 1 de ce travail, d'analyser en profondeur et systématiquement l'ensemble des effets croisés. Il y a donc là une piste de développement importante. Le Groupe Biodiversité propose néanmoins une méthode d'évaluation des impacts probables des mesures d'adaptation et d'atténuation sur la biodiversité.

*Encadré 26 - La question du changement climatique et des mesures d'adaptation dans les récents travaux européens et internationaux*

- Le rapport MACIS d'octobre 2008 (Minimisation of and Adaptation to Climate change Impacts on biodiversity) est issu d'un projet de recherche européen dont l'un des objectifs est d'étudier l'impact des mesures d'adaptation et d'atténuation sur la biodiversité. Les secteurs étudiés sont l'agriculture, la sylviculture, l'énergie, l'urbanisme, les inondations, les loisirs et le tourisme, la santé humaine et la conservation de la nature. Le rapport souligne qu'il y a un continuum de l'atténuation à l'adaptation. L'atténuation est une démarche de première urgence. Les mesures d'adaptation prennent le relais mais avec un effet retour important sur la biodiversité. Il est utile d'envisager ces mesures dans le temps et l'espace. Par exemple, pour répondre à une modification des précipitations, ce n'est pas la même chose de choisir une variété de céréale adaptée au climat, que de développer de nouvelles capacités d'irrigation en prélevant l'eau dans le milieu naturel ou encore en sollicitant un barrage, investissement réalisé pour plusieurs décennies.

- Le projet COCONUT (Understanding effects Of land use Changes ON ecosystems to halt loss of biodiversity due to habitat destruction, fragmentation and degradation) est également un projet européen lié à MACIS ainsi qu'à ALARM (Assessing Large Scale Risks for Biodiversity with Tested Methods). Ce projet de recherche vise à mieux comprendre les effets des changements d'utilisation des sols et de la fragmentation des habitats naturels sur la biodiversité en Europe et fournit aux décideurs politiques des données scientifiques et des outils de modélisation.

- Le PNUE (Programme de Nations Unies pour l'Environnement) a publié une revue de la littérature scientifique sur les liens entre biodiversité et adaptation au changement climatique (UNEP-WCMC, 2009). Ce rapport souligne la nécessité d'un cadre d'analyse le plus large possible, intégrant la biodiversité dans l'ensemble des politiques d'adaptation. Il détaille les impacts croisés recensés dans la littérature récente.

Cette analyse transversale amène à considérer les représentations de la biodiversité que peuvent avoir les différents acteurs concernés.

### **III.6.1 Impacts du changement climatique sur les principaux secteurs utilisant les ressources issues de la biodiversité**

Concernant les impacts du changement climatique sur :

- la biodiversité remarquable :

On peut considérer que l'application des politiques de conservation et de gestion de la biodiversité est un secteur d'activité économique en tant que tel, pourvoyeur d'emplois (gestion d'espèces et d'espaces, application de la réglementation, suivi et observation de terrain, etc.). Il est toutefois difficile d'évaluer en quoi le changement climatique impactera directement ce secteur.

- la biodiversité générale :

On ne détaillera pas ici cet aspect déjà abordé (parties III.2 et III.3) à travers les exemples des vendanges, l'aquaculture et la pêche maritime, la foresterie, etc. Dans plusieurs domaines comme l'agriculture et la foresterie, les interdépendances avec la biodiversité sont jugées particulièrement fortes. La notion de services écologiques permet d'éclairer utilement ces interdépendances entre biodiversité et secteurs économiques.

### III.6.2 Impacts sur la biodiversité de l'adaptation de divers secteurs d'activité (type III)

Les mesures d'adaptation envisagées dans les différents secteurs peuvent être complémentaires de la préservation de la biodiversité et avoir un effet positif ou négatif. Certaines mesures n'ont pas d'effet démontré connu, mais cette neutralité apparente peut provenir d'un manque de connaissances des interactions.

Il faut envisager les cas où l'adaptation est ressentie comme vitale pour l'avenir de l'activité mais où la démarche peut entraîner la disparition d'un élément essentiel pour la biodiversité.

#### *Encadré 27 - Impacts sur la biodiversité de l'adaptation de divers secteurs lors d'extrêmes climatiques*

Les périodes de crise sont les plus dangereuses. Dans ces moments-là, les sociétés touchées veulent rétablir une situation qui leur semble normale. Ainsi, après les tempêtes Lothar et Martin de 1999, les sylviculteurs étaient pressés de reconstituer leurs forêts. Dans un certain nombre de cas, cette précipitation s'est faite aux dépens de la biodiversité. Les mesures prises – excessivement normées au moment de leur mise en œuvre, alors que des possibilités de diversification étaient prévues dans les textes – ont été plutôt défavorables à la biodiversité. Elles s'appuyaient sur des surfaces bien délimitées avec un nombre d'essences réduites pour faciliter l'utilisation et le contrôle des budgets de reconstitutions.

L'adaptation spontanée de certains secteurs n'a-t-elle pas potentiellement plus d'impacts sur la biodiversité que l'adaptation planifiée ? Elle a probablement tendance à favoriser des mesures simples et rapides. Cet aspect mériterait d'être analysé en profondeur. On prend ici l'exemple du tourisme d'hiver et du recours à la neige de culture.

#### *Encadré 28 - « La neige de culture pèse sur l'eau et la biodiversité » (Le Hir, 2008)*

Au cours des cinquante dernières années, l'épaisseur de neige a diminué de 1,5 cm par an en moyenne dans les Alpes. Ce déficit conduit les stations à avoir recours de plus en plus fréquemment à la neige de culture lors des périodes touristiques : l'enneigement artificiel représentait en 2005-2006 près de 18% de l'ensemble du domaine skiable français. Cette solution n'est pas sans risque pour les ressources en eau et la biodiversité. L'eau utilisée pour la neige de culture provient à 50% de retenues artificielles aménagées à cet effet (les « retenues collinaires »), à 30% de cours d'eau et à 20% des réseaux d'eau potable. Cela pose plusieurs problèmes :

- approvisionnement en eau pendant les saisons hivernales (durant la haute saison touristique) ;
- destruction des zones humides (tourbières, marais, étangs, etc.) dans lesquels sont aménagées ces retenues d'eau pour la production de neige de culture et qui abritent une importante richesse biologique (espèces inféodées).

La gestion de la ressource en eau pour l'avenir reposera en grande partie sur les pollutions diffuses agricoles, de plus en été l'irrigation représente environ 80% des prélèvements d'eau. Il y a donc un impact croisé entre Politique agricole commune, eau et biodiversité. Les impacts croisés dans ces domaines sont particulièrement significatifs. En effet, la priorisation des usages de l'eau peut avoir un impact important sur la biodiversité aquatique et riparienne mais aussi sur les zones humides voir sur tout l'écosystème du bassin versant (et aussi sur l'écosystème côtier le cas échéant).

Les anciennes jachères certes conçues comme un élément de régulation des marchés agricoles sont un exemple des relations croisées secteur d'activité/biodiversité/climat. Les jachères ont un intérêt pour la biodiversité des sols et comme habitat de diverses espèces de la faune et de la flore sauvage.

Le climat intervient directement sur l'activité agricole et de façon indirecte à travers les cultures ligno-cellulosiques pour les carburants. Dans un premier temps, des cultures énergétiques ont été développées sur ces espaces pour approvisionner la filière des agro-carburants en réponse à la crise énergétique. Une part limitée des surfaces de jachères a été affectée de façon explicite à la biodiversité. Suite à une crise alimentaire, la Commission européenne a décidé brusquement leur suppression.

La modification du calendrier des arrêts des tranches nucléaires aura un effet sur la biodiversité des fleuves concernés.

Pour la santé, les risques naturels, les espaces bâtis, l'énergie, les transports et le tourisme, l'obligation d'étude des incidences en amont des plans et projets et une ingénierie dédiée devraient permettre de préserver les services de régulation et culturels liés à la biodiversité et de maintenir les fonctionnalités des territoires en favorisant des mesures d'atténuation et compensatoires.

Les politiques d'adaptation des secteurs peuvent également avoir des effets positifs pour la biodiversité, notamment si elles intègrent la gestion des ressources naturelles dans leurs stratégies. C'est le cas par exemple de l'adaptation de pratiques agricoles pour économiser l'énergie tel que le non labour, ou encore de la création de champs d'épandage de crue dans le cadre de la prévention de risques d'inondations.

### **III.6.3 Triptyque adaptation – atténuation – biodiversité**

Comme le note le rapport de la phase I du Groupe interministériel, les stratégies et mesures d'adaptation et celles d'atténuation sont susceptibles d'être en interaction, aussi bien négative que positive. Les interrelations biodiversité-changement climatique explicitées en partie III.2, notamment les effets indirects de type III et IV, montrent bien la nécessité d'intégrer la protection de la biodiversité à ce diptyque. Cela afin de se prémunir des effets négatifs potentiels de certaines mesures d'adaptation des autres secteurs ou mesures d'atténuation pourront être évitées ; d'autre part, cela permettra une lutte plus efficace contre le changement climatique de par la prise en compte du rôle positif que jouent les écosystèmes et la biodiversité dans la régulation du climat et de leur potentiel pour l'adaptation.

Il conviendra alors d'analyser l'ensemble des mesures d'adaptation ET d'atténuation, afin de promouvoir celles qui exploitent le maximum de synergies et de minimiser les conflits entre stratégies d'adaptation / stratégies d'atténuation / protection de la biodiversité. Le projet MACIS a déjà travaillé sur ce sujet et l'aborde dans son livrable 2.2-2.3 (Annexe F.7).

Il s'avèrera particulièrement important d'évaluer précisément les techniques de bio-ingénierie visant à atténuer le changement climatique et d'étudier leurs effets sur la biodiversité. Par exemple, la fertilisation des océans consiste à ajouter des micronutriments dans les océans afin de stimuler la croissance du phytoplancton et d'ainsi augmenter la quantité de CO<sub>2</sub> absorbée. Outre les doutes sur l'efficacité de cette technique, les connaissances scientifiques tendent à indiquer que son application à grande échelle et sur le long terme pourraient avoir des conséquences dramatiques sur les écosystèmes marins. Les Parties à la CDB ont ainsi adopté en 2008 une décision demandant de ne pas utiliser cette technique avant d'avoir une base scientifique justifiant une telle activité et le traitement de cette question est en cours dans l'enceinte de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets. Les biocarburants représentent un autre exemple de mesures d'atténuation potentiellement négatives sur la biodiversité.

### **III.6.4 Principaux enseignements**

#### **III.6.4.1 Usages des sols**

L'usage des sols apparaît comme un élément clé de la gestion de la biodiversité.

La répétition d'événements défavorables à des espèces et des écosystèmes est susceptible d'entraîner leur disparition voire leur remplacement par d'autres éléments. On peut imaginer remplacer une forêt de hêtre par une forêt de pins puis un taillis à courte révolution voire une culture si la vocation forestière n'est plus assurée par le propriétaire. Mais de telles mesures, si elles sont uniquement placées dans un cadre strictement économique, favorisent une simplification des habitats.

Au cours des 60 dernières années, l'aménagement du territoire a conduit à la création de villes nouvelles, de stations touristiques, au remembrement et au boisement de nombreuses terres agricoles. Peut-on tirer des enseignements des démarches volontaristes et relativement centralisées conduites dans les années 1960 ? À partir des années 1980, les politiques ont eu une dimension plus contractuelle et décentralisée. La trame verte et bleue essaye de combiner les deux approches dans le cadre d'une approche systémique.

Une mosaïque d'espaces intensivement exploités et d'espaces à vocation naturaliste est-elle préférable pour la biodiversité à une utilisation multifonctionnelle essayant en tout lieu de ménager tous les usages ? Doit-on combiner les deux ? S'achemine-t-on vers une multifonctionnalité des territoires ou bien au contraire vers une plus grande spécialisation ? Quels sont les facteurs déterminant l'option future dominante (ex. volonté politique) ? La diversité des impacts croisés est très importante. Il faut souligner qu'un grand nombre d'entre eux ont une forte dimension territoriale. La capacité de notre territoire à répondre aux objectifs de chaque secteur pris isolément n'est pas assurée. Le croisement avec les enjeux de biodiversité offre probablement l'opportunité d'optimiser l'utilisation du territoire. La gestion foncière sera, pour des enjeux contradictoires, un moyen d'arbitrage pour la conservation de la biodiversité. Il est certes coûteux mais efficace. Il a montré son efficacité pour la gestion du littoral français même dans des zones de grande pression touristique. La gestion publique ciblée et les mécanismes d'échanges devront alors être envisagés.

La biodiversité globale d'un territoire est dépendante des parts affectées à la forêt, à la prairie, aux cultures et à la place des zones urbanisées et des infrastructures ainsi que de leur organisation. A cette occasion, l'hypothèse de travail à économie constante s'avère contraignante et peu réaliste. Le groupe recommande de prendre en compte de façon plus détaillée, en fonction de différents scénarii d'occupation du sol, les politiques

d'adaptation envisagées pour chacun des secteurs et les impacts indirects du changement climatique.

#### **III.6.4.2 Gestion particulière des niches écologiques**

La modélisation s'appuie beaucoup sur la notion de niche écologique. Cette approche pourrait être reprise au titre des politiques d'adaptation de certains secteurs. Ainsi la politique de l'eau a vocation à assurer le maintien des zones humides. Les espaces protégés ne pourraient-ils trouver là une nouvelle vocation en préservant des territoires susceptibles d'accueillir des espèces en migration et de servir de lieu d'observation de nouvelles combinaisons ? Cela ne vaut probablement que pour des espaces protégés de grande dimension. De même les politiques territoriales pourraient identifier des espaces à enjeu particulier du fait d'une utilisation humaine plus réduite. Natura 2000 a par exemple, à côté d'espèces et de milieux très particuliers, prévu la protection des estuaires, des grottes, des ripisylves\*, des sources pétrifiantes, d'éboulis et de vallon frais. Ne conviendrait-il pas de partir de ces éléments qui conserveront une certaine spécificité quelle que soit l'évolution du climat ?

#### **III.6.4.3 Gestion de conflits entre intérêts divergents**

Les mécanismes juridiques seront-ils suffisants ? On peut en douter face aux choix très difficiles qui seront à faire. La limitation des conflits passe par une gestion intégrée des secteurs et des territoires prenant en compte la biodiversité. Pour cela il faut croiser le secteur et la dimension territoriale. Pour chacun il existe des partenaires différents qu'il faut associer à la définition des actions d'adaptation et de gestion de la biodiversité. Les outils de gouvernance doivent être modifiés pour prendre en compte ces enjeux croisés.

#### **III.6.4.4 Besoin de connaissances, questions et limites**

L'analyse des effets croisés montre l'importance des thèmes à examiner et les nombreux thèmes susceptibles d'émerger. Par exemple, le prix de rachat de l'électricité d'origine photovoltaïque est susceptible de développer les installations sur des milieux naturels peu productifs. Ces impacts indirects pourraient faire l'objet de recherche spécifique. D'autres dimensions méritent à l'avenir d'être envisagées telles que les migrations humaines, la santé animale, etc. Enfin, il serait utile de comprendre les motivations des acteurs et de mieux cerner les adaptations spontanées.

De façon générale, le groupe Biodiversité s'interroge sur les implications de l'hypothèse de travail « à économie constante ». Signifie-t-elle que les politiques récemment actées (Grenelle de l'environnement, bilan de santé de la Politique agricole commune<sup>101</sup>, prochaine réforme de la Politique commune de la pêche en 2012, etc.) sont, ou au contraire ne sont pas partie intégrante de l'état de référence ? Cette hypothèse s'avère contraignante et peu réaliste. Il s'agit de disposer d'éléments de prospective permettant de contraster des scénarios puis de voir quels sont les enjeux. Le groupe recommande de prendre en compte de façon plus détaillée – entre autres – les impacts indirects du changement climatique, la politique française d'atténuation\*, les évolutions probables de l'occupation du sol, l'évolution démographique. Ainsi l'augmentation de l'urbanisation constitue une tendance lourde, dont on connaît la territorialisation (ex. littoral). De quelle façon cette tendance peut-elle être prise en compte ?

---

<sup>101</sup> Mais quelles seront les évolutions de la PAC ? Est-il réaliste de les considérer sachant que l'horizon visé par le Groupe interministériel est 2100 ?

### III.7 Chapitre VI- Stratégies d'adaptation au changement climatique favorables à la biodiversité

Les stratégies d'adaptation envisagées dans ce chapitre VI sont les mesures prises par l'homme pour traiter du problème du changement climatique dans le cadre d'une gestion réfléchie de la biodiversité : elles ont pour objectif de réduire la vulnérabilité ou d'augmenter la résilience des écosystèmes afin de répondre aux changements actuels et futurs<sup>102</sup>.

La question couplée Adaptation au changement climatique & biodiversité fait l'objet de discussions de plus en plus nombreuses dans les multiples arènes de réflexion et de prise de décision, qu'elles soient internationales, communautaires, nationales ou locales (Annexe F.8). Ceci appelle à un renforcement de la cohérence globale de la gouvernance et de la reconnaissance des responsabilités aux échelles emboîtées.

Un recensement des mesures d'adaptation a été réalisé par le groupe Biodiversité (Annexe F.9), grâce à l'expertise de ses membres et sur la base d'une récente synthèse de l'ensemble des recommandations en la matière issues de publications scientifiques durant les 22 dernières années<sup>103</sup>. Ce panorama relativement exhaustif a permis de distinguer des grandes catégories de mesures d'adaptation pour la biodiversité (sans établir de jugement d'importance), s'alimentant les unes les autres :

#### *Encadré 29 - Les 5 grandes catégories de mesures d'adaptation*

- a) l'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles ;
- b) l'intégration des enjeux du changement climatique dans les politiques existantes de conservation et de gestion de la biodiversité ;
- c) l'intégration de nouveaux principes et outils dans ces mêmes politiques ;
- d) la promotion d'une gouvernance intégrée ;
- e) la sensibilisation et la mobilisation de l'ensemble des acteurs.

Se situant dans le champ du principe de précaution\*, le Groupe biodiversité a privilégié les mesures sans regret\*, c'est-à-dire bénéfiques à la biodiversité même hors contexte du changement climatique et donc *in fine* positives même si sans efficacité finalement avérée dans ce contexte. Seule l'adaptation planifiée\* est ici abordée.

---

<sup>102</sup> Adger *et al.*, 2007

<sup>103</sup> Heller et Zavaleta, 2009

### Encadré 30 - Intégration d'une analyse multicritères pour une approche opérationnelle

Pour être opérationnelles, ces mesures devront être déclinées judicieusement. On propose des critères informatifs (ex. quelles spécificités françaises, outre-mer, biodiversité terrestre, aquatique ou marine concernée, lien avec les services écologiques, mesures faisant l'objet d'engagements internationaux, communautaires ou nationaux), des critères facilitant la prise de décision (ex. degré d'incertitude sur les effets secondaires, urgence de la mise en œuvre, échelle d'intervention, dans ou en dehors d'une aire protégée, échéance des effets escomptés, acteurs concernés, besoins d'informations complémentaires, éléments d'évaluation économique des coûts et bénéfiques).

## III.7.1 Amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles

L'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles est au cœur de la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB). Celle-ci se doit de préciser l'état de référence de la biodiversité (année, usage du sol, éléments connus, etc.), qui servira à mesurer ses évolutions. Le développement d'un système cohérent de suivi et sa déclinaison dans les différents plans sectoriels est une priorité.

À la base de toute détection ou compréhension des phénomènes se situent le recueil de données et leur mise sous une forme exploitable en bases de données, afin de nourrir des travaux scientifiques, des observatoires, des outils de modélisation ou des indicateurs (outils détaillés en Annexe F.2 dans le cas du changement climatique)<sup>104</sup>. Ces sorties présentent toutes la particularité d'être orientées vers la réponse à des questions posées ; elles sont en ce sens dédiés à un problème à traiter. La tentation est grande d'en faire de même pour les données de base<sup>105</sup> permettant d'apprécier les impacts du changement climatique sur la biodiversité, à travers la mise en place de réseaux orientés vers ces questions. Or si les outils cités peuvent sans cesse faire l'objet de transformation lorsque la question change, il n'en est pas de même des précieuses séries de données, chronologiquement marquées. Par ailleurs, le maintien en état sur le long terme d'un réseau d'observation coûte extrêmement cher. C'est pourquoi il est fondamental de concevoir les réseaux d'observation, socles fondamentaux de la connaissance, de la manière la plus neutre possible par rapport aux questions qu'ils aideront à résoudre. Autrement dit, il ne s'agit pas forcément de multiplier les observatoires dédiés, qui plus est à des échelles diverses et sans coordination des méthodologies utilisées. C'est la condition sine qua non pour qu'ils permettent de fournir des données « de base » qui pourront être valorisées sous des angles très divers ensuite et qu'ils puissent bénéficier de financement pérenne en prouvant au fil des questions posées leur utilité permanente.

Par ailleurs, on retiendra la nécessité de développer de nouveaux modèles prospectifs d'évolution de la biodiversité en lien avec les scénarios climatiques (Cf. partie III.3 et Annexes F.2, F.3 et F.9).

---

<sup>104</sup> On distingue trois étapes : 1) l'observation et le suivi (prise de paramètres sous des formes diverses : enregistrements, prospections, participation du public, enquêtes...) ; 2) la mise en place ou l'alimentation d'un système d'information (validation, organisation et consolidation des données recueillies en bases de données) ; 3) la création ou l'alimentation d'un observatoire (tri judicieux des données utiles, extractions et mise sous une certaine forme pour valoriser ces données). Ces trois étapes peuvent donner lieu à des extractions pour des simulations, des travaux scientifiques ou des indicateurs.

<sup>105</sup> Que ces données consistent en de simples inventaires de terrain diachroniques ou le regroupement d'observations par le grand public, ou en de complexes installations lourdement instrumentalisées.

Enfin, on attire l'attention sur le fait que les espaces protégés constituent des socles d'observation et champs d'expérimentation des stratégies d'adaptation privilégiés, du fait : a) de leur relativement faible anthropisation, facilitant ainsi la discrimination entre les conséquences du changement climatique et celles des autres pressions sur la biodiversité et donc leur suivi et évaluation ; b) des moyens (notamment humains) et des dispositifs de suivi déjà disponibles ; c) de leur répartition sur l'ensemble du territoire français (cf. carte en Annexe F.1) particulièrement sur le littoral, en montagne et en outre-mer ; d) de leur pérennité.

### **III.7.2 Intégration des enjeux du changement climatique dans les politiques existantes de conservation et de gestion de la biodiversité**

La loi fondatrice de 1976 sur la protection de la nature a défini les objectifs de protection des milieux et des espèces. Depuis lors, les outils et stratégies de politiques de conservation et de gestion en France concernent d'une part la biodiversité remarquable – avec la création et la gestion d'espaces protégés, le suivi et la gestion des espèces protégées – et d'autre part la biodiversité générale – avec notamment l'intégration de la biodiversité dans les politiques sectorielles et la sensibilisation des différents acteurs concernés et du public. Tant la Stratégie nationale pour la biodiversité que le projet de rétablissement des connectivités écologiques à travers la création de la Trame verte et de la Trame bleue confortent cette double approche.

Du fait de la fragilité et de l'état actuel de dégradation générale de la biodiversité et de nombreux écosystèmes, l'une des stratégies prioritaires pour l'adaptation au changement climatique est de renforcer les politiques de réduction des pressions sur la biodiversité autres que le changement climatique : dégradation et fragmentation des milieux, pollutions, surexploitation des ressources naturelles renouvelables, espèces envahissantes.

#### **III.7.2.1 Espèces protégées**

Les espèces protégées, qu'elles soient menacées ou non<sup>106</sup>, voient leur destruction, prélèvement ou dérangement interdit. Les espèces les plus menacées font en outre l'objet de « plans nationaux d'action »<sup>107</sup> : ces plans vont devoir être complétés en fonction des connaissances accumulées sur les impacts du changement climatique. On peut donc préconiser un renforcement de ce volet de la connaissance lors de la rédaction des plans. Cette problématique peut être étendue aux parents sauvages d'espèces cultivées et aux espèces d'intérêt cynégétique.

Il faut différencier les recommandations selon le degré de mobilité des espèces.

Par exemple, la stratégie « poissons migrateurs » aujourd'hui à l'étude intégrera les enjeux du changement climatique. Une collaboration avec les pays limitrophes s'impose afin de garder une cohérence dans la gestion des migrations d'espèces du fait du changement climatique, que ce soit l'arrivée de nouvelles espèces en France (d'Espagne, Portugal, Turquie, Grèce), ou bien la disparition du territoire français de certaines autres espèces. Ce cas est particulièrement important pour éviter un acharnement à les

---

<sup>106</sup> Les vertébrés sont protégés dans leur ensemble – quel que soit leur statut de conservation – alors que seuls les insectes ou les plantes menacées le sont

<sup>107</sup> Anciennement appelés plans de restauration.

conserver sur le territoire français, alors qu'elles ne sont pas pour autant menacées d'extinction. Pour l'outre-mer, les collaborations interrégionales sont à renforcer.

Les problèmes les plus délicats sont posés par les espèces les moins mobiles. Laisse-t-on une libre évolution ou procède-t-on à l'organisation de déplacements vers des habitats plus favorables ou devenus favorables ? La translocation d'individus ne fait pas l'unanimité. Elle est déjà utilisée dans les cas de réintroduction d'espèces ; si cela ne pose pas de problème pour certaines espèces telles que des plantes, cela en pose pour d'autres (ours, loup...), plus souvent d'ailleurs pour des problèmes sociaux que scientifiques ou techniques. De plus, les connaissances actuelles ne permettent pas la translocation d'écosystèmes entiers, assemblage complexe d'espèces en interaction avec le milieu et les autres populations. Cette mesure, ainsi que la conservation *ex situ*, apparaît donc comme une alternative de dernier recours, car coûteuse et incertaine.

La recherche doit apporter des éléments de réponses opérationnelles aux questions des gestionnaires sur les mesures à mettre en œuvre quant à l'évolution des espèces et leur aire de répartition. À ce propos, les aspects génétiques (infra-spécifiques) sont très peu pris en compte, alors qu'ils sont une composante à part entière de la biodiversité et un élément crucial de l'adaptation des espèces au changement climatique.

### III.7.2.2 Espaces protégés

Trois grands types d'espaces protégés sont distingués :

1- Les réserves intégrales où les processus dynamiques sont laissés à leur libre évolution. Les activités humaines sont limitées à l'observation et à la recherche scientifique. Le réseau le plus conséquent concerne les écosystèmes forestiers, mais au total les surfaces restent limitées. Aucune démarche d'adaptation n'est nécessaire pour ces territoires.

2- Les espaces protégés par une réglementation globale (parc national pour ses écosystèmes et ses paysages, parc marin, site classé pour son paysage et dans certains cas, réserves naturelles) ou par une maîtrise foncière visant la conservation de la nature (propriétés du Conservatoire du littoral, espaces naturels sensibles des départements). Les objectifs de conservation sont globaux même si le plan de gestion vise certains éléments particuliers. À ce titre, le changement climatique ne remet pas en cause le statut du territoire, ces espaces resteront en général des hauts lieux de biodiversité, même si leur contenu aura changé. Il restera toutefois à évaluer au fil du temps si le réseau dans son ensemble continue de couvrir les éléments visés par cette politique de conservation. La stratégie proposée est d'observer ce qui se passe à l'intérieur de ces espaces et de compléter le réseau si nécessaire. Il n'est pas recommandé d'abroger trop rapidement un espace protégé qui aurait perdu certains éléments présents lors du classement car de nouvelles espèces vont apparaître progressivement. C'est une fois un équilibre retrouvé qu'il faudra se prononcer. Entrent également dans cette catégorie les Parcs naturels régionaux (PNR). En effet, d'après le Code de l'environnement : « Les parcs naturels régionaux concourent à la politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social et d'éducation et de formation du public. Ils constituent un cadre privilégié des actions menées par les collectivités publiques en faveur de la préservation des paysages et du patrimoine naturel et culturel ».

3- Les espaces protégés pour un élément déterminé de la biodiversité. Il s'agit pour l'essentiel d'espaces protégés par un arrêté préfectoral de protection de biotope d'une ou plusieurs espèces protégées ou un décret au titre de la directive européenne 79/409 (oiseaux) ou 92/43 (habitat, faune, flore). Dans ces cas, l'objet même de la protection –

visé dans le texte réglementaire – est susceptible de se déplacer, pour les espèces, ou d'être modifié pour les habitats, communautés d'espèces aux destins variables eut égard au changement climatique. L'exemple des habitats forestiers en est une bonne illustration. Ainsi, les hêtraies fortement représentées au sein du réseau Natura 2000 vont progressivement régresser. Inversement les forêts de pins méditerranéens vont s'étendre.

#### Encadré 31 - Le cas du réseau Natura 2000

Face à l'ampleur des modifications prévues pour les décennies à venir, quel sera le devenir du réseau de sites Natura 2000, occupant 12% du territoire métropolitain ?

Les sites Natura 2000 sont définis en fonction d'espèces et habitats d'intérêt communautaire listés aux annexes de la directive Habitat. En raison des nombreux bouleversements attendus du fait du changement climatique, il est possible que le réseau Natura 2000, ou du moins certains de ses sites, ne contiennent plus dans le futur et ce malgré les efforts de gestion, les habitats d'intérêt communautaire et leurs espèces typiques associées pour cause de migration ou d'extinction. Ainsi se pose la question des impacts du changement climatique sur les politiques de conservation et de gestion de la biodiversité et de la ré-évaluation du réseau des ZSC et des ZPS. L'attention des gestionnaires est attirée sur la nécessité d'envisager conjointement les mesures de gestion et les prévisions d'évolution afin d'éviter tout acharnement de conservation d'une population ou d'un milieu voué à la disparition.

Le réseau Natura 2000 et son évolution font actuellement l'objet de réflexions communautaires et le Livre blanc sur l'adaptation au changement climatique préconise notamment la rédaction pour 2010 de lignes directrices sur la prise en considération du changement climatique dans la gestion des sites Natura 2000.

La question se pose du devenir des espaces protégés, alors que les éléments à la base de la prise en considération disparaissent : déclassement, conservation des contours actuels, extension des contours ?

Le maintien des délimitations actuelles peut se justifier notamment parce-que les espaces protégés actuels sont *a priori* de bons candidats à l'accueil de nouvelles espèces, du fait de leur protection plus forte contre les pressions anthropiques. Un changement d'optique est alors nécessaire, pour passer de la protection d'un élément à l'espace dans son ensemble. Cela pourra poser dans certains cas des problèmes juridiques du fait de la remise en cause de la raison d'être initiale de l'espace protégé.

Une extension systématique des limites de l'espace protégé sera très difficile biologiquement – car rien ne dit que les espèces se déplaceront de quelques centaines de mètres ou kilomètres... – et politiquement à cause de l'incertitude qui en résulterait pour de nombreux partenaires. Bien qu'un outil flexible d'aire protégée, pouvant se déplacer dans le temps et l'espace, soit difficile à concevoir pour le domaine terrestre, il reste envisageable pour le marin.

Qu'en est-il de la désignation de nouvelles aires ? L'extension du réseau d'aires protégées peut être envisagée comme l'une des réponses à l'impact potentiel du changement climatique. L'augmentation du nombre et donc de la surface en espaces protégés augmente ainsi la probabilité d'héberger des espèces intéressantes et d'offrir des refuges à des espèces migrant du fait du changement climatique. La Stratégie de création des aires protégées (prévue par le Grenelle de l'environnement pour le milieu

terrestre métropolitain et complétée pour le milieu marin par la Stratégie des aires marines protégées de l'Agence des aires marines protégées<sup>108</sup> pour l'ensemble de la ZEE française et les engagements no. 13, 14 et 51 du Grenelle de la Mer en juillet 2009) peut être vue comme un élément de réponse dans le sens où elle apporte une vision stratégique globale au lieu d'une logique locale d'opportunité. Se pose la question de la répartition des espèces et habitats remarquables sur l'ensemble du territoire et de la prise en compte de certaines espèces menacées dans le futur par le changement climatique.

Plusieurs éléments restent cependant à définir pour une bonne prise en compte du changement climatique dans la désignation de nouvelles aires : a) les espaces à protéger en priorité (zones de forte hétérogénéité/endémisme, écosystèmes prioritaires, espaces d'accueil futurs...) ; b) les meilleurs critères de localisation (limites septentrionales/cœur des aires de répartition des espèces...) ; c) la dimension infra-spécifique... Cela demande des outils de protection plus souples et simples à mettre en œuvre pour permettre une plus grande flexibilité.

Concernant le développement des aires protégées en général, il est nécessaire de signaler que le changement climatique peut se traduire par une réduction des surfaces utilisables par l'agriculture et que, dans ce contexte, la concurrence « protection de zones avec contraintes sur l'agriculture » et agriculture sera forte. Quelles seront alors les priorités ?

Il est dès à présent indispensable, avec l'appui de l'atelier technique des espaces naturels (ATEN), de prendre en compte le changement climatique dans les documents et modalités de gestion des espaces protégés (à part dans les réserves intégrales). Il sera important d'analyser quel est le meilleur dosage complexe entre 1) le renforcement de la résilience « naturelle » permettant à l'écosystème de résister, 2) le génie écologique permettant des interventions pour maintenir le patrimoine souhaité, 3) l'orientation de l'aire vers l'accueil de nouveaux patrimoines « de remplacement » à enjeux forts. De manière générale, il s'agit de renforcer les initiatives déjà en cours. Ainsi, dans le domaine forestier, la création du réseau mixte technologique (RMT) forêt-climat vise à développer des outils concrets pour aider les gestionnaires à faire face au changement climatique (ex. guide de gestion de crise, guide de vulnérabilité) et à proposer des modalités d'arbitrage (quand basculer vers une stratégie de remplacement ?). Pour les espaces n'étant pas propriété d'une institution à finalité de conservation (parties de parc national ou de site classé, sites Natura 2000), le débat devra être engagé avec le propriétaire si celui-ci décide de modifier les usages du sol.

### **III.7.2.3 Lutte contre les espèces envahissantes**

Le renforcement des politiques de prévention et de lutte contre les espèces envahissantes est particulièrement important : le changement climatique pourra fragiliser les écosystèmes et favoriser l'installation et la propagation d'espèces envahissantes sur certains territoires.

Le développement d'une stratégie européenne de lutte contre les espèces envahissantes doit permettre de combler les lacunes actuelles de la réglementation communautaire tout en optimisant les outils existants et de faire face de manière coordonnée à ces évolutions.

---

<sup>108</sup> L'Agence des aires marines protégées a été créée par [l'article 18 de la Loi n°2006-436 du 14 avril 2006](#) relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux. Elle a été mise en place le 1er janvier 2007.

Dans le contexte probable de nouvelles arrivées d'espèces sur le territoire par migration naturelle, espèces qui pourraient avoir une forte expansion du fait de leur arrivée dans un écosystème fragilisé et non adapté, une redéfinition de la notion d'espèces envahissantes\* apparaît nécessaire (Cf. partie III.3), ainsi que l'adaptation des politiques de prévention dans le cadre des plans d'action ciblés. Des politiques spécifiques seront donc à définir.

#### **III.7.2.4 Application des Directive cadre sur l'eau et Directive-cadre Stratégie pour le milieu marin**

La directive cadre sur l'eau (DCE) et la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DC SMM) visent à restaurer ou maintenir le bon état écologique respectivement de l'ensemble des masses d'eau d'ici 2015 et du milieu marin d'ici 2020. Leur application permettra d'augmenter la résilience des écosystèmes par la réduction des pressions dues aux différentes activités sectorielles.

La DCE incite à la restauration des continuités aquatiques. De plus, outre leur intérêt pour la biodiversité générale\*, les SDAGE (schémas directeur de l'aménagement et de la gestion des eaux, déclinaison en France de la DCE) prévoient la définition de réservoirs biologiques (incluant notamment des zones humides) faisant l'objet d'une protection accrue et permettant la reconstitution rapide des peuplements après un événement extrême. Malgré les possibilités de report et d'exemptions, cette directive place les écosystèmes aquatiques au cœur du processus de décision et devrait permettre de réduire fortement leur vulnérabilité face au changement climatique. Il sera néanmoins nécessaire d'adapter les conditions de référence du bon état écologique afin qu'elles prennent en compte les effets du changement climatique.

La DC SMM<sup>109</sup>, plus récente (2008), aborde en filigrane la question du changement climatique, même si elle ne propose pas d'outils pour sa prise en compte effective.

#### **III.7.2.5 Les projets de territoires et la trame verte et bleue**

Les protections décrites ci-dessus restent limitées en surface et bien souvent ne communiquent pas entre elles. Les parcs naturels régionaux (plus de 15% du territoire national) et les zones d'adhésion des parcs nationaux permettent d'organiser une gestion de la biodiversité d'espaces souvent faiblement habités de grande dimension.

Il convient de développer les stratégies d'adaptation de la biodiversité dans toutes les politiques ayant un impact territorial. Il s'agit des différents outils de planification liés à l'urbanisme (DTA, SCOT, PLU, etc.) d'une part ; et des politiques sectorielles ayant le plus d'impact sur le territoire (agriculture, forêt) d'autre part. Il serait souhaitable qu'au-delà des mesures restrictives habituelles, des propositions positives soient proposées.

Depuis, les engagements du Grenelle de l'environnement prévoient la création d'une Trame verte et bleue (TVB) pour lutter contre la fragmentation des milieux et accroître la mobilité des espèces sur l'ensemble du territoire. La connectivité est d'ailleurs la mesure d'adaptation la plus citée dans les publications scientifiques<sup>110</sup>. La TVB est en soi une réponse au changement climatique du fait qu'elle facilite la mobilité des espèces et des habitats et permet d'améliorer les échanges au sein de métapopulations. Elle permettra

---

<sup>109</sup> Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008, établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin.

<sup>110</sup> Heller *et al.*, 2009

un progrès important de conservation de la fonctionnalité des écosystèmes à l'échelle des territoires et au niveau national mais elle devra évoluer dans le futur pour être plus dynamique. Le changement climatique est cité pour la désignation des espèces/habitats « déterminants TVB » sur lesquels va se baser la trame. Des points d'avant-garde (déplacement d'espèces) et des limites de répartition seront déterminés. Toutefois le choix et l'efficacité des différents dispositifs permettant de rétablir la connectivité (corridors, pas japonais<sup>111</sup>, levée de barrière à dispersion...) restent à étudier. Les discontinuités écologiques (calcaire/acide, passage de cols d'altitude, versants...) devront également être mieux prises en compte dans la définition des continuités.

Enfin, pour hausser l'emprise de la stratégie à la réalité du patrimoine écologique sous juridiction française, l'engagement no. 69 du Grenelle de la Mer prévoit l'installation d'une « trame bleu marine » qui étendra la notion de « trame verte et bleue » au littoral et à la mer, et englobera *inter alia* les zones humides, les estuaires, les mangroves et les récifs coralliens.

Cette rapide revue des outils susceptibles d'être mis au service des projets de territoire et de la TVB montre que l'on dispose d'une boîte à outils bien garnie. Toutefois, la plupart des plans de gestion des espaces et des espèces devront être revisités à la lumière du changement climatique, des résultats déjà observés et des modélisations effectuées.

Le changement climatique incite cependant à une réflexion nouvelle sur les outils de protection de la biodiversité. Ceux centrés sur la conservation de l'existant et sur la menace constatée actuellement sont très peu dynamiques. Des outils prenant pour cible l'identification des espaces qui pourront potentiellement accueillir les espèces dans le futur sont à étudier. La conservation des espèces se traduit pour les espèces peu mobiles par la protection de l'habitat auquel elles sont inféodées. Il faut faire évoluer le droit international et communautaire pour faciliter, accompagner et organiser le changement.

Une double approche est donc nécessaire, impliquant à la fois l'adaptation des outils actuels afin d'intégrer la problématique du changement climatique et la mise en place de nouveaux outils plus dynamiques ; la boîte à outil sera alors plus efficace pour répondre au défi de la conservation de la biodiversité dans un contexte changeant.

---

<sup>111</sup> Succession discontinue d'entités favorables à la biodiversité, mais permettant la mobilité des espèces.

### III.7.3 Intégration de nouveaux principes et outils dans ces mêmes politiques : vers une gestion adaptative

*Encadré 32 - Quelle attitude vis-à-vis de la biodiversité dans les stratégies d'adaptation ?*

Cette question peut tout d'abord être éclairée sous l'angle historique. Les relations entre l'homme et la nature sont le fruit de nos civilisations et de la richesse de nos terroirs. Les philosophies et les religions ont longtemps nourri nos attitudes. Les explications apportées par la science sur l'évolution des espèces, sur le fonctionnement de la biosphère et des espèces y compris l'homme, modifient profondément notre compréhension de la biodiversité et nos comportements. Dans la société française, les apports celtes, gaulois, romains, chrétiens ont conduit à des attitudes diversifiées suivant les régions. Les activités agricoles et d'élevage ont fortement imprégné les paysages. L'activité industrielle s'appuyant sur les potentialités énergétiques des rivières et des forêts a, depuis le siècle des Lumières, modifié de nombreuses sociétés rurales. Le centralisme royal, napoléonien, puis républicain a gommé une partie des diversités mais sans les annihiler (la variété des fromages et des espèces cultivées en rend encore bien compte). La science et les techniques des XVIII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècles (Buffon, Lamarck, Pasteur en sont des exemples en France) ont été marquées par un lien très étroit avec la nature. Les ressources des colonies, les deux guerres mondiales et un accès privilégié aux énergies fossiles ont modifié cette relation. Tout ceci a abouti à une société duale, une France « modernisée » parfois banalisée et des sociétés rurales conservant une vie relativement autarcique. L'après guerre a été marqué par une modernisation accélérée de certains territoires et l'abandon d'autres. Il a fallu attendre 1976 pour que la France soit dotée d'une loi de protection de la nature. Celle-ci a entériné l'idée d'un partage du territoire entre les espaces protégés et des territoires « productifs ». Mais les parcs naturels régionaux ont été institués dans le même temps, espaces intermédiaires procédant d'une vision contractuelle et mouvante. Cette approche a été renforcée à l'occasion de la mise en œuvre du réseau Natura 2000 en France.

L'attitude des Français vis-à-vis de la biodiversité est faite de scepticisme et de pragmatisme vis-à-vis de la nature sauvage, parfois de passion pour des espèces et des paysages de leur environnement immédiat. Elle n'est en rien figée.

#### III.7.3.1 Stratégies d'adaptation / stratégies adaptatives

Pour aborder la question difficile de l'adaptation de notre société au changement climatique, deux attitudes principales s'offrent aux décideurs.

1- Considérer qu'on peut prévoir finement ce que sera le futur, puis élaborer une politique planifiant les différentes étapes permettant la transition - dans un pas de temps pertinent - entre la situation actuelle et la situation future ; il s'agit d'une stratégie d'adaptation à une situation future ;

2- Considérer que l'on ne peut avoir du futur qu'une idée insuffisamment précise pour organiser la transition déterministe entre aujourd'hui et ce futur. L'objet des politiques est alors de conduire les évolutions en les maintenant dans un champ des possibles permettant d'infléchir la trajectoire au fur et à mesure que les connaissances sur le futur se précisent : il s'agit d'une stratégie adaptative de la situation présente.

L'état d'esprit et l'organisation de l'État - et de manière générale de tout décideur - tend à favoriser la première approche. Celle-ci se justifie dès lors que les conditions futures relèvent d'un choix politique ou que la connaissance de ce futur est suffisamment précise, est relativement proche ou bien que les paramètres variant sont peu nombreux et prévisibles. À l'échéance de 2050-2100 la variété des solutions vraisemblables apparaît considérable.

La seconde solution doit être privilégiée si le futur ne peut raisonnablement faire l'objet d'une connaissance fine. Ceci est le cas lorsque le terme visé est lointain ou quand les paramètres entrant en jeu dans les évolutions sont particulièrement complexes, interagissant et mal maîtrisés, ce qui augmente exponentiellement l'incertitude.

Ce dilemme stratégique reste complètement valide lorsqu'il s'agit de traiter de la biodiversité.

*Encadré 33 - Stratégie d'adaptation / stratégie adaptative : Application au cas de la biodiversité*

1- L'approche d'adaptation cherchera à construire en chaque lieu la biodiversité susceptible de résister aux conditions climatiques futures, telles qu'annoncées par un scénario retenu pour sa pertinence particulière. On imaginera par exemple l'installation d'espèces ou habitats thermophiles au nord de leur zone actuelle de répartition (translocation), le déplacement étant décidé en fonction de l'ampleur retenue pour le réchauffement.

2- Une stratégie adaptative cherchera en revanche à maintenir au sein des écosystèmes les potentiels nécessaires à l'adaptation aux conditions futures, veillant à promouvoir la fonctionnalité générale et si possible les qualités jugées les plus efficaces des écosystèmes leur permettant de s'inscrire dans les tendances observées ou prédites les plus crédibles. En reprenant l'exemple précédent, il s'agira de garantir la continuité écologique pour favoriser les migrations de plantes vers le nord et en altitude, considérant que le réchauffement est très plausible, et de favoriser l'implantation et le développement des espèces migrantes dans leur nouveau territoire, mais sans préétablir un choix d'espèces ni un rythme (aujourd'hui largement inconnu).

Dès que le futur proche devient suffisamment connu et prévisible, il est tout à fait pertinent de basculer de la seconde approche vers la première, en conservant en point de mire le faisceau lointain des possibles, qui doit rester la cible prioritaire, le faisceau de probabilité étant devenu suffisamment étroit à échéance rapprochée pour que l'on puisse y fixer le futur proche à viser.

### **III.7.3.2 Stratégie d'adaptation versus adaptative : Exemple de conséquence pour la gestion forestière**

La gestion forestière, confrontée à des enjeux allant au-delà de 40 ans<sup>112</sup> et parfois à une échéance de plus d'un siècle, illustre les caractéristiques des deux approches.

Les arbres sont des organismes au statut particulier car ils présentent un cycle du même pas de temps que le changement climatique : le chêne sessile qui a germé en 2000 sous climat actuel, connaîtra dans son enfance le climat modifié de 2050, dans sa jeunesse celui de 2100 et vivra son âge adulte au XXIII<sup>ème</sup> siècle. S'il n'est pas exploité et résiste aux aléas, il connaîtra l'âge mûr du XXIV<sup>ème</sup> au XXVI<sup>ème</sup> siècle et mourra de sa belle mort peut-être après 2600. Prétendre gérer sur une telle durée ses conditions climatiques optimales relève au mieux de la plus grande prétention, au pire d'un aveuglement total.

---

<sup>112</sup> Bourgau, Lerat, 2007 ; Roman-Amat, 2008

Tableau 17 - Différences d'approche entre stratégie d'adaptation et stratégie adaptative en matière de gestion forestière (Mauchamp, 2009, Com. pers.)

Attitude	Stratégie d'adaptation	Stratégie adaptative
Conception de la vision du futur	Prédire la forêt de demain et la construire	Conforter la fonctionnalité générale, favoriser les aspects de l'évolution de la forêt se révélant les plus pertinents
Approche de la relation Homme-Nature face au CC	Approche cartésienne : l'Homme adapte la forêt au changement climatique. Il contrôle la Nature	Approche pragmatique : l'Homme facilite l'adaptation de la forêt au changement climatique. Il suit la Nature.
Prévision du futur	Nécessité d'une prévision fine du futur lointain ou plages de possibles toutes compatibles avec les mêmes choix de gestion actuelle	Prévision tendancielle suffisante à terme lointain
Prévision du comportement de la biodiversité	Postulat d'une prévision fine possible du comportement des écosystèmes	Pas d' <i>a priori</i> sur la réaction fine des écosystèmes
Logique de gestion	Maintien de la logique actuelle de l'aménagement forestier : on fixe les objectifs fins à atteindre : essence, âge d'exploitation, densité...	Changement de logique : transition vers une gestion adaptative : on fixe les objectifs généraux = maintien de l'écosystème productif et d'une production
Gestion du risque par la modulation des cycles de production	Raccourcir le cycle de la régénération à la récolte (durée entre la germination et la récolte de l'arbre) réduit l'incertitude et donc le risque de se tromper	Allonger et imbriquer les cycles (âges et essences différents, présents simultanément) renforce la plasticité de la forêt. Le risque est réduit en réduisant le terme visé, pas le cycle. En revanche, le risque pour un arbre donné augmente avec le prolongement de sa vie
Gestion de la complexité écosystémique	Simplifier l'écosystème simplifie les paramètres de l'équation	Complexifier l'écosystème amplifie l'éventail des choix
Motivation de l'action	Approche très déterministe des interventions sur les écosystèmes	Approche très accompagnatrice des interventions sur les écosystèmes

La gestion adaptative doit être privilégiée dès lors qu'on ne dispose pas d'éléments suffisamment précis et avérés pour effectuer des choix irréversibles. Elle ne conduit surtout pas à l'immobilisme d'un « attendre et voir » systématique, mais consiste essentiellement à mettre en œuvre les actions sans regret. Elle demande une grande ouverture d'esprit pour imaginer des futurs improbables aujourd'hui qui bousculent le cas échéant notre logique de pensée et nos organisations. Pour emprunter une devise aux célèbres Shadoks, la stratégie adaptative exige de se souvenir à tout instant qu'il est « beaucoup plus intéressant de regarder où on ne va pas, pour la bonne raison que là où on va, il sera toujours temps d'y regarder quand on y sera ».

### III.7.3.3 Déontologie pour l'accompagnement du changement

Un ensemble de règles voire de normes, est-il susceptible d'accompagner les stratégies d'adaptation ? On ne peut se contenter d'une vision fixiste de la nature, où il s'agirait de conserver les écosystèmes en l'état. Il semble nécessaire de concilier une approche purement patrimoniale, fondée sur le maintien de la diversité globale et une approche fonctionnelle, se préoccupant du bon fonctionnement des écosystèmes. Les deux objectifs majeurs deviennent alors 1) la sauvegarde d'un maximum d'espèces ; 2) le maintien ou la restauration du bon fonctionnement des écosystèmes résultant de la recomposition permanente de la biodiversité locale. Ce second point consiste à renforcer la résilience fonctionnelle des écosystèmes.

#### *Encadré 34 - La notion de résilience fonctionnelle*

Au sens classique, la notion de résilience désigne la capacité d'un écosystème à retrouver son état initial après une perturbation. Cette vision suppose implicitement qu'après cette perturbation, les conditions du milieu soient revenues à leur situation antérieure. En outre, l'accent est généralement mis sur l'aspect structurel de l'écosystème, c'est-à-dire sa composition en termes de présence et d'abondance relative des différentes espèces.

Dans le cas du changement climatique, on ne peut adopter ce point de vue : les paramètres climatiques seront en évolution permanente et des phénomènes d'apparition/disparition d'espèces seront inévitables. Il apparaît cependant que la question du maintien des propriétés fonctionnelles des écosystèmes et des services qui en dépendent est un enjeu fort pour les sociétés humaines. Ce maintien des propriétés fonctionnelles peut se faire à travers des substitutions entre espèces jouant des rôles écologiques similaires, ou des modifications des interactions entre ces espèces.

On définira donc la résilience fonctionnelle comme la capacité d'un écosystème soumis à des évolutions de son environnement à conserver ses propriétés fonctionnelles et d'assurer les services qui en dépendent.

Peut-on définir maintenant les biodiversités qui pourraient être souhaitables en 2100 ? Maintenir la diversité biologique et la fonctionnalité des écosystèmes demande à s'assurer que la diversité locale ne se dégrade pas, selon différents critères qualifiant ces écosystèmes : diversité spécifique, taux d'endémisme, niveau trophique, spécialisation, état des fonctions et services écosystémiques... En d'autres termes, il s'agit de disposer de critères objectifs et d'indicateurs, qui puissent ensuite être discutés et appropriés dans un débat citoyen, justifiant des interventions telles que la mise en place de corridors, de migration assistée, etc. Si les pistes scientifiques ne manquent pas, il importe qu'elles puissent être débattues dans un large cercle sociétal, dépassant largement le cercle des scientifiques.

Concernant les espèces, plusieurs cas de figures se présentent :

- Espèces capables de migrer ou de s'adapter au changement de leur habitat et pour lesquelles une amélioration de la connexion de leur habitat actuel et de leur habitat futur potentiel à une latitude et/ou altitude plus élevée devrait suffire ;
- Espèces dont l'aire de distribution est trop fragmentée dans la direction de migration requise. Une aide à la migration pourrait être considérée (voir migration assistée, plus bas) ;
- Espèces confinées dans des habitats voués à disparaître. Elles présentent la difficulté la plus importante : espèces montagnardes, espèces dont la migration vers les pôles est bloquée par une barrière naturelle (ex. mer), espèces polaires. Celles-ci n'auront probablement nulle part où aller.

La distinction des échelles globale et locale est primordiale. À l'échelle globale, il s'agit de conserver la diversité spécifique, pour des raisons aussi bien éthiques qu'utilitaristes (valeur d'option). Pour les espèces dont l'habitat va disparaître, la translocation et/ou la conservation ex situ sera à envisager. Concernant les espèces menacées localement, voire condamnées, jusqu'où retarder l'inéluctable ? Il pourrait s'agir de faciliter leur implantation par la migration assistée, de sorte à ce que les apparitions en marge nord contrebalancent les extinctions en marge sud. De nombreuses espèces vont coloniser naturellement de nouveaux espaces : faciliter ces colonisations permet aussi d'assurer la continuité du fonctionnement des écosystèmes.

En ce qui concerne la migration assistée des espèces (translocation), deux enjeux sont à envisager : 1) maintien de la diversité globale, les colonisations compensant les extinctions ; 2) maintien de la fonctionnalité des écosystèmes (résilience fonctionnelle). Il serait alors indispensable de suivre un schéma de décision élaboré et propre à chaque espèce, amenant à se demander si l'espèce est menacée d'extinction avec le changement climatique, si elle est capable de disperser suffisamment pour assurer le maintien de populations de taille conséquente. Même si une espèce possède tous les critères pour une aide à la migration assistée, le choix dépend de facteurs additionnels. L'établissement de l'espèce à la localité ciblée est-elle possible ? Les caractéristiques de l'écosystème de la nouvelle localité répondent-elles au besoin de l'espèce ? En effet, beaucoup d'espèces animales et végétales dépendent étroitement d'autres espèces pour survivre. Cette solution semble intéressante dans le cas des espèces menacées, qui ont du mal à se déplacer et présentent un risque faible d'invasibilité. Elle semble aussi intéressante dans le cas d'espèces clef de voûte, mais dans ce cas, le risque d'invasibilité, plus important, est à considérer beaucoup plus soigneusement.

Le maintien de la fonctionnalité des écosystèmes doit tenir compte de la recomposition générale des communautés. Maintenir cette fonctionnalité pourrait impliquer de déplacer, au-delà d'une espèce, un ensemble d'espèces voire un écosystème. Mais est-ce possible ?

La place des espèces envahissantes doit être analysée dans un cadre nouveau<sup>113</sup>. Certaines espèces introduites accidentellement se révèlent et se révéleront plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques que les espèces locales. Est-ce une menace ou au contraire une chance ? Il est nécessaire de prendre en compte les impacts sur l'ensemble de la communauté, c'est-à-dire pas seulement les espèces avec lesquelles elles se trouvent en compétition, mais aussi les prédateurs, ou les niveaux trophiques inférieurs, qui peuvent bénéficier de sa présence. Dans le contexte du changement climatique, les espèces exotiques perdent en grande partie leur spécificité et on peut anticiper que les questions se posent de la même manière entre espèces exotiques et indigènes capables de coloniser des espaces nouveaux : participent-elles à un fonctionnement harmonieux de ces nouveaux assemblages d'espèces ?

### **Vers l'élaboration d'un arbre de décision ?**

Faut-il toujours intervenir ? Comment et quand accompagner les changements impliqués par le changement climatique ? Ont été précédemment abordés autant de sujets qui pourraient constituer un corpus de règles encadrant les mesures d'adaptation planifiées.

---

<sup>113</sup> La notion d'espèces envahissantes a été précisée auparavant (partie III.3).

#### Encadré 35 - De l'intérêt de l'élaboration d'un arbre de décision

Il s'agit de mettre en place des mesures sans regret et opérationnelles maximisant les chances d'adaptation et d'évolution sur place : ex. veiller à ce que la taille des populations soit suffisamment importante. Pour les espèces incontestablement en déclin en un lieu, il s'agit de favoriser les capacités de migrer. Mais pour une espèce qui arrive et dont on constate la modification de l'aire de répartition, faut-il réguler ? (Cf. espèces envahissantes). L'action doit être différenciée selon la zone géographique. En cas d'impossibilité de mobilité par continuité, la question se pose alors de la translocation.

À partir de quoi ou de quand décide-t-on de passer à la suivante ? Faut-il à tout prix maintenir tel écosystème ou au contraire ne pas faire « d'acharnement thérapeutique » ?

Il faudrait réfléchir par la suite à la construction d'un arbre de décision combinant : capacités d'adaptation sur place, capacité de migration « naturelle », régulation des espèces envahissantes, translocation éventuelle de certaines espèces à faible capacité migratoire et conservation *ex situ*. Ces différentes mesures présentent toutes des avantages et des limites. On s'attend à ce qu'il faille trouver non pas la solution mais les combinaisons les plus adéquates. Ces mesures se situent sur un continuum entre le maintien sur place et l'accompagnement du changement et des déplacements.

La construction d'un arbre de décision pourrait notamment s'appuyer sur la référence que constitue celui développé pour l'étude des incidences dans le cadre de la gestion des habitats et des sites Natura 2000.

On suggère donc la mise à l'étude d'une démarche spécifique en amont du Grenelle de l'adaptation.

### III.7.4 Promotion d'une gouvernance intégrée des politiques d'adaptation favorables à la biodiversité

Il n'existe pas de définition partagée de la gouvernance. Cette dernière peut-être définie comme une forme de pilotage multipartite avec des acteurs publics et privés, reposant sur les principes de concertation, de propositions, de décisions, de suivi et d'évaluation des actions et s'opérant à toutes les échelles de territoires (biogéographiques, administratives, de projets) et dans les différentes instances scientifiques, politiques (pilotage institutionnel), de concertation et de gestion.

Son objet est d'articuler l'action territoriale et les différents niveaux de décision pour développer la coordination et la cohérence des politiques publiques et améliorer le lien entre le national et le local. La gouvernance, tant sur le territoire métropolitain, qu'en outre-mer et mer, doit donc favoriser les approches transversales et systémiques qui seules permettent d'appréhender au mieux les multiples effets directs et indirects sur la biodiversité, des politiques sectorielles, du changement climatique et des stratégies d'adaptation mises en œuvre pour y répondre.

Cela implique la mobilisation de tous les acteurs, la reconnaissance de la valeur des espaces naturels et du vivant, la prise en compte de la biodiversité dans les politiques publiques et les domaines d'activités et la production d'une connaissance opérationnelle utile à la décision. Cela implique également l'instauration d'un réel dialogue local sur les orientations à prendre en matière de gestion de la biodiversité, qui permette de poser de manière globale les choix, dans leurs dimensions économiques, sociales et environnementales, le développement de la capacité d'analyse des acteurs, de leur possibilité de poser un diagnostic sur la situation de leur territoire et ses principaux

enjeux, de définir des priorités d'action. Cela implique enfin, la mobilisation des outils de l'intervention publique, qu'il s'agisse des outils courants de l'action locale ou des moyens dédiés.

C'est au niveau local, proche du terrain, que cette politique de gouvernance est la plus à même de recevoir l'adhésion des acteurs et de créer des dynamiques de responsabilisation collective, d'éclairer les changements de pratiques et d'usage des sols, d'éviter les gestes irréversibles pour garantir la pérennité des territoires, d'assurer le maintien de la biodiversité, le fonctionnement optimal des écosystèmes et d'aboutir à un véritable schéma fonctionnel des espaces naturels. Cependant, il n'existe pas d'échelle unique pertinente pour gérer toutes les dimensions de la biodiversité et des services écosystémiques. En fonction de la biologie des espèces, de la nature des services écologiques concernés, les échelles pourront aller du très local (la parcelle agricole, par ex. pour la fertilité des sols) à la dimension planétaire (par ex. pour la fixation du carbone) en passant par les niveaux régionaux, nationaux ou européens selon les cas.

En France, traiter de la gouvernance de la biodiversité requiert d'examiner la délimitation des compétences sectorielles, des différents niveaux d'intervention entre l'Etat, les collectivités territoriales, les établissements publics, ainsi que la question des représentations. Face au « millefeuille » d'acteurs et de structures et au régime de gouvernance propre à chaque objet de biodiversité, on s'interroge sur les rôles respectifs et complémentaires de chaque outil et de chaque niveau d'intervention. Dès lors que cette gouvernance de la biodiversité doit s'étendre à l'ensemble du territoire et s'inscrire dans le long terme, il est indispensable de commencer par réaliser cette analyse fonctionnelle globale pour identifier les manques, les redondances et les regroupements possibles.

Il ne s'agit pas, alors, de créer une énième structure institutionnelle pour une gouvernance intégrée optimale de la stratégie d'adaptation de la biodiversité au changement climatique, mais de s'appuyer sur certaines déjà en place ou émergentes, qui réunissent un certain nombre de dispositions favorables pour articuler le global et le local, concilier différents objectifs, réunir les acteurs locaux dans un dispositif de pilotage et d'animation, créer des interfaces pour les politiques sectorielles, produire des lignes directrices et un programme de travail, diffuser l'information et promouvoir la connaissance opérationnelle, assurer le suivi des décisions et des actions.

*Encadré 36 - Exemples de politiques ou structures pouvant servir de leviers vers une gouvernance intégrée*

- le futur plan national d'adaptation au changement climatique, avec son pilotage au niveau national en lien avec le niveau européen et sa déclinaison au niveau local dans laquelle une gouvernance intégrée et le volet biodiversité pourraient être confortés ;
- les structures de pilotage de la stratégie nationale pour la biodiversité au niveau national et régional par exemple l'Agence des aires marines protégées (appui aux politiques publiques, animation du réseau des AMP, allocation de moyens aux Parcs naturels marins, mise en place de Natura 2000 en mer, participation aux négociations internationales sur la mer) ;
- la mise en œuvre de la Trame verte et bleue (TVB), avec au niveau national, le comité opérationnel TVB du Grenelle de l'environnement (qui définit collégalement les orientations nationales pour la préservation et la restauration des continuités écologiques, le contenu et les modalités de mise en œuvre de la TVB, avant de les soumettre à une large concertation) et au niveau régional, l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique impliquant tous les acteurs locaux concernés à l'échelle de la ZEE nationale (métropole et DOM-COM), installation de la trame bleu marine ;
- des structures de pilotage à des échelles biogéographiques conséquentes, tels les comités de massifs de montagne (sortes de conseil économique, social et environnemental, qui déclinent à l'échelon du massif la composition du Conseil national de la montagne et réunissent les élus locaux, chambres consulaires, organisations syndicales représentatives des secteurs et des salariés, associations de tourisme, de sports de nature, de chasse, gestionnaires des parcs nationaux ou des parcs régionaux), ou les comités de bassin (qui assurent la gouvernance de l'eau à l'échelle du bassin hydrographique avec tous les acteurs et s'appuient sur les agences de l'eau pour la mise en œuvre de leurs décisions).

D'ailleurs, l'eau et l'usage des sols étant des éléments clés de la gestion de la biodiversité, pourquoi ne pas réfléchir à une « gouvernance intégrée de la stratégie d'adaptation de l'eau, de la biodiversité et des sols au changement climatique » ? Cela nécessiterait bien sûr d'améliorer certaines dispositions et de se garantir d'un système lourd et complexe, pour donner toute son effectivité à cette gouvernance intégrée.

Tableau 18 - Schéma de la gouvernance pour une stratégie d'adaptation au changement climatique (Salmona, 2009. Com. pers., Mis à jour)

<b>Les cadres de la gouvernance pour la biodiversité</b> <i>Pour assurer coordination et cohérence des politiques sectorielles et territoriales, recherche d'une interaction optimale entre les instances scientifiques, politiques et de concertation et les différents niveaux de décisions et échelles de territoires</i>				
	<b>Instances de concertation</b>	<b>Instances politiques</b>	<b>Instances scientifiques</b>	<b>Instances de gestion</b>
<b>Niveaux de gouvernance : de l'international au local</b>	<i>lieux de débats, de concertation, de propositions</i>	<i>lieux de débats, de concertation, de participation, de décision, d'évaluation</i>	<i>Lieux d'échanges, de débats, de capitalisation des savoirs</i>	<i>Lieux de mise en œuvre et d'évaluation</i>
<b>Niveau national</b>	- Conseil économique, social et environnemental - Conseil national du développement durable - Commission nationale du débat public - Comité français de l'UICN...	Les comités de pilotage : des stratégies nationales durables, de la biodiversité, des politiques sectorielles de l'eau...	CSPNB CNP Comité national du SINP ONEMA...	Agence des Aires marines protégées (animation du réseau des AMP, appui aux politiques publiques et aux négociations internationales sur la mer ...)
<b>Niveau bio-géographique</b>		Les comités et conseils des politiques territoriales et sectorielles : Comités de bassins, de massifs de montagne, de forêts...	...	Agences de l'eau  (signature d'accords cadres, de contrats, engageant les partenaires)
<b>Niveau local : Région, département, communes et communautés de communes, projets territoire</b>		Les conseils et comités : Conseils des collectivités territoriales, Conseils d'administration des parcs nationaux, Conseils syndicaux des PNR, Comités de pilotage des sites Natura 2000...	CSRPN ...	Services de l'État, des collectivités territoriales, des établissements publics...

Jusqu'à ce jour, peu d'évaluations de politiques publiques relatives à la biodiversité ont été menées de manière précise. On peut néanmoins citer l'évaluation de la mise en place du réseau d'aires protégées Natura 2000 et l'évaluation des mesures de la loi Grenelle I. La première a consisté en une analyse coût-bénéfice de la politique de préservation de sites naturels, à partir de l'étude de trois sites métropolitains. La seconde a également recherché à évaluer les coûts et les bénéfices économiques, sociaux et environnementaux d'une soixantaine d'engagements du Grenelle de l'environnement. Cet exercice d'étude d'impact de la loi Grenelle a été contraint notamment par le manque de données sur les coûts et les bénéfices de politiques de environnementales. Il se poursuit par la conduite de travaux *ad hoc*. Ainsi l'étude d'impact de la loi Grenelle I sera-t-elle enrichie au fil des nouveaux résultats disponibles.

Au vu de cette expérience et à ce stade de l'exercice, le Groupe biodiversité trouve prématuré de chiffrer les coûts des mesures d'adaptations proposées pour réduire les impacts du changement climatique sur la biodiversité. Il conviendrait dans un premier temps de discuter plus en profondeur des mesures envisagées. On remarque ensuite qu'il s'agit là de mesures sans regret. Par ailleurs, il serait souhaitable d'expertiser plus en détail les mesures d'adaptations retenues par les autres groupes du Groupe

interministériel ; il semble en effet raisonnable de réorienter des politiques qui seraient de nature à augmenter fortement les pressions pesant déjà sur la biodiversité.

### **III.7.5 L'adaptation au changement climatique, moteur de la prise de décision ?**

Jusqu'à présent, l'adaptation au changement climatique constitue-t-elle un moteur de la prise de décision ? Est-ce un outil de sensibilisation, d'argumentation, de légitimation, d'arbitrage, ou encore de créativité ? Si l'évocation principale de cette question dans le domaine de la biodiversité vise surtout à sensibiliser au problème, on commence à la voir pointer comme argument supplémentaire pour étayer telle politique (ex. trame verte et bleue) ou telle mesure (ex. création du futur parc national forêt de feuillus).

### **III.8 Conclusion générale**

Il reste beaucoup à découvrir des relations entre la nature et le climat. Les incertitudes attachées aux scénarios climatiques et à l'ampleur des impacts sont fortes, et la diversité des situations actuelles et futures n'a pas permis de dresser un tableau exhaustif des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France. Ainsi des connaissances complémentaires pour caractériser l'évolution de la biodiversité sous l'influence des climats locaux sont elles nécessaires. Des états des lieux robustes et des suivis renforcés seront nécessaires pour décrire et analyser les changements et, conjugués aux progrès méthodologiques, de mieux les anticiper. C'est à partir de résultats convergents et d'approches différentes que l'on pourra conforter un point de vue.

L'information fournie par la recherche et les systèmes d'observation est et sera de plus en plus riche. Des signes de mutations sont déjà observés, et leurs conséquences sur les services rendus par les écosystèmes peuvent être évaluées physiquement et économiquement.

Concernant les incidences à venir, on s'attend à des perturbations considérables caractérisées par la modification des aires de répartition des espèces autochtones, l'arrivée de nouvelles espèces et la transformation des écosystèmes.

D'un point de vue systémique, suivant lequel les effets indirects du changement climatique sur la biodiversité sont très importants – via la modulation des autres pressions et les impacts de l'adaptation des secteurs d'activité –, on ne peut qu'être réservé vis-à-vis de l'hypothèse de base « à économie constante » choisie initialement. Toutefois, les effets de l'adaptation de différents secteurs ont fait l'objet d'un premier inventaire, qu'il faudra approfondir. L'évolution des usages du sol pour l'urbanisation, les pressions exercées sur le milieu marin et ses ressources, les élevages à l'herbe et les cultures énergétiques sont les principaux facteurs de fragilité.

Sont finalement envisagées plusieurs stratégies d'adaptation au changement climatique, favorables à la conservation de la biodiversité, parmi lesquelles des stratégies sans regret. Ainsi, le maintien des capacités « naturelles » d'adaptation de la biodiversité, et le renforcement de la connectivité sont des éléments clés. Le renforcement des fonctions de régulation fournis par les couverts permanents doit être entrepris sans attendre pour améliorer la résilience des écosystèmes face aux facteurs du changement climatique, en se gardant de choix précipités de restauration à la suite d'événements extrêmes. Il conviendra de préserver les territoires tels que les forêts, zones humides, prairies permanentes, récifs, mangroves, apportant les services écologiques les plus élevés. Une attention particulière est à apporter d'une part au réseau des espaces protégés terrestres et marins pour leur rôle d'espace de référence, et d'autre part à la gestion des sols pour

leur capacité d'adaptation. La mise en place de stratégies adaptatives aux différentes échelles de territoires et en plein accord avec les acteurs locaux est également conseillée.

Compte tenu de ce qui précède, la France a certainement la possibilité de renforcer les capacités d'adaptation de ses territoires. Des écosystèmes en bonne santé, la restauration et une gestion responsable de sa biodiversité sont probablement la meilleure assurance pour l'avenir de son économie face à l'évolution du climat.

## **IV Rapport du Groupe Territoires**

## IV.1 Introduction

La création du Groupe interministériel sur l'adaptation au changement climatique place ce sujet à la fois en perspective longue et dans des cadres sectoriels qui concernent chacun des départements ministériels. Au-delà de la transversalité de la problématique apportée par le groupe plénier, il est essentiel qu'une approche « terrain » examine les conditions de sa traduction dans le fonctionnement de la société tout au long de la démarche.

C'est l'un des rôles légitimes qu'a assurés le groupe consacré aux territoires.

Ce groupe territorial devait concilier plusieurs impératifs :

- Prendre en compte les conclusions du GIEC : fortes probabilités de hausse du niveau des océans, d'augmentation de la température, d'intensification des phénomènes extrêmes, avec une responsabilité humaine majeure dans les émissions de CO<sub>2</sub>, mais différenciation des impacts selon les territoires concernés ;
- Forger une nouvelle doctrine en constatant la faiblesse des analyses territorialisées des enjeux de l'adaptation au changement climatique, notamment en matière économique ;
- Assumer la transversalité en étant à l'écoute des différents secteurs socio-économiques, représentés dans le groupe plénier.

D'ores et déjà, le groupe de travail, dans son rapport d'étape de juin 2008, avait identifié ses axes méthodologiques :

- Concentrer sa contribution sur des territoires spécifiques, dont les indicateurs de fonctionnement sont connus, sur les plans démographique, socio-économique et institutionnel ;
- Apporter une vision particulière de l'échelle temporelle de prévention, de négociation ou de compensation des impacts du changement climatique, notamment en mettant en lumière la phase transitionnelle ;
- Proposer un mode d'adaptation au changement climatique sur le long terme qui soit acceptable pour les populations, les décideurs mais aussi les ressources en mettant en avant les avantages de la mise en œuvre d'un diagnostic partagé dans le cadre d'une gouvernance assumée et propice à l'anticipation.

Le groupe de travail a donc tenté au cours de l'année 2009 de répondre aux questions qu'il soulevait dans le rapport d'étape : Que faire pendant la période de transition ? Disposons-nous de tous les instruments d'ingénierie nécessaires ou faut-il innover ? Y-a-t-il contradiction entre modélisation et pragmatisme ?

Pour autant, l'objectif général de la mesure de la vulnérabilité des territoires et des coûts qu'elle induit a été tempéré dès le début des travaux. En effet, l'inexistence de modèle ou de référentiel, même pour des territoires spécifiques connus, a induit l'impossibilité actuelle de chiffrer les mesures utiles à l'adaptation des territoires à une nouvelle donne climatique. Cette posture a été acceptée par la direction du Groupe plénier, d'autant plus que les attentes par rapport au groupe « Territoires » étaient d'un autre ordre, à savoir décrire des territoires spécifiques avec un mode d'action/réaction propre ou non, élaborer un système de vulnérabilité mettant en phase les ressources et leurs milieux supports, les activités humaines et les échelles territoriales aptes à se saisir de dispositifs de mesure, d'analyse et de traitement des facteurs de vulnérabilité.

L'une des principales préoccupations du groupe dans le déroulement de sa démarche a été de **tendre vers la production d'outils opérationnels à destination des territoires**. Le rapport de juin 2008 avait insisté sur le besoin d'outils pour caractériser les territoires et notamment la production d'indicateurs. Outre ces outils d'analyse, il est apparu indispensable de porter également la réflexion vers les instruments qui permettent aux acteurs, au-delà de la compréhension des enjeux, d'adapter leur gouvernance, leur communication, leurs outils de sensibilisation et de mobilisation. Cette dimension « outils » est transversale aux deux axes de travail du groupe pour cette seconde phase.

Les travaux du groupe « Territoires » ont donc été structurés autour de deux idées transversales aux autres groupes thématiques en apportant une approche différente de l'évaluation des impacts et du coût et de l'adaptation au changement climatique :

- Les interactions entre les thématiques abordées par les autres groupes, indissociable de la réalité des territoires ;
- La phase de transition qui préparera l'adaptation de la société au changement climatique.

Afin d'atteindre son objectif, le groupe a engagé des études de cas sur des territoires spécifiques afin de croiser les évaluations thématiques avec le fonctionnement de territoires, en particulier les territoires urbains. Une étude plus générale évalue la vulnérabilité des territoires pour différentes typologies : littoral plaine et estuaire, montagne, vallée soumise à risques naturels, espaces naturels, forêt, urbain (voir partie IV.3.2.1). Ces études, venant compléter les monographies produites par Lucien SFEZ pour l'ADEME, montrent que la mise en œuvre de solutions d'adaptation dans un domaine (tourisme, agriculture ...) peut mettre en périls d'autres aspects de la société (gestion de l'eau ...).

Leurs conclusions ont justifié que le travail du groupe « Territoires » prenne en compte les périmètres d'influence des impacts (géographiques ou administratifs) ainsi que les acteurs de l'adaptation identifiés par les autres groupes. Ces éléments ont clarifié les périmètres administratif et géographique des analyses thématiques, l'état de la connaissance des territoires et l'identification des potentiels qui doivent être reconnus pour aboutir à des solutions de gouvernance intégrées dans la réponse à ce défi. En particulier, si des problématiques (eau par bassin versant, littoral ...) dépassent le niveau régional dans leurs dynamiques et leur approche, de périmètre variable selon la thématique, l'organisation de la prise de décision, qui doit permettre à la fois de tenir compte des spécificités territoriales et d'intégrer l'échelon réglementairement compétent, est souvent locale.

Par ailleurs, l'un des enjeux principaux de l'adaptation au changement climatique vise à travailler sur la capacité de résilience des territoires aux impacts, notamment les plus extrêmes et ponctuels.

Cette capacité de résilience est à mettre en relation avec la résistance de la société au changement. Comme expliqué par Pierre RADANNE, cette peur de l'inconnu peut générer un positionnement de déni, une vulnérabilité, que la gouvernance doit surmonter, ce qui justifie d'autant plus :

- La communication sur le chemin à parcourir : les politiques d'adaptation « locales » devront faire des choix que l'ensemble des acteurs, notamment la population, devront comprendre pour emporter leur adhésion ;
- La cohérence intersectorielle : l'adhésion se fera d'autant plus facilement que les politiques publiques présenteront une cohérence d'ensemble claire ;

- La cohérence interterritoriale : elle ressort de la compétence de l'Etat mais devra aussi être relayée par l'ensemble des collectivités.

Ces éléments démontrent, s'il en était besoin, que l'évaluation des coûts et impacts du changement climatique concerne tout autant le fonctionnement inhérent à la structure actuelle de la société, qu'à la prise en compte de nouveaux enjeux.

## IV.2 Les objectifs - la problématique territoriale dans l'adaptation au changement climatique

Sur les bases posées par le rapport d'étape produit en juin 2008, les objectifs du groupe « Territoires » étaient de deux ordres :

- Caractériser les impacts et leur gravité par type de territoire, afin de mettre en évidence les phénomènes d'interrelation ;
- Evaluer les capacités de prévention et d'adaptation des acteurs (notamment en tenant compte des interactions sectorielles, des échelles de temps et d'espace différenciées).

### IV.2.1 Préalablement, il convient de préciser la définition des territoires et de préciser les choix réalisés

Le groupe s'est attaché à définir le territoire par rapport aux acceptions traditionnelles d'espaces ou de milieux.

Le territoire est une « matière » vivante qui conjugue les pratiques sociales et économiques avec les contraintes, limites géographiques, richesses ou carences de ressources, particularités des milieux, par exemple en termes de biodiversité, qui peuvent engendrer des actions de protection, de valorisation ou de revitalisation.

Le territoire n'est donc pas un lieu, inerte, mais un système (ouvert ou fermé selon les cas) qui est sans doute le vecteur le plus complet d'un développement durable reposant sur ses trois piliers.

La difficulté d'appréhender la problématique de l'adaptation sans différencier les impacts selon les territoires, soulignée dans la première phase de travail du groupe interministériel, trouve un écho particulier dans la relation entre politique d'atténuation et d'adaptation.

Dans une récente présentation de ses travaux à un réseau de collectivités en Rhône-Alpes, Gilles Debizet (Université de Grenoble) insistait sur le fait que si une politique d'atténuation est « top down », car découlant d'une problématique globale (le changement climatique du aux émissions de GES) et d'objectifs internationaux, la politique d'adaptation est une démarche « bottom up », visant à la réduction et la prévention d'impacts nécessairement localisés. Il relevait que la politique d'atténuation repose sur une maîtrise des causes et donc des secteurs émetteurs de GES, tandis que la politique d'adaptation relève d'une action sur les activités économiques et implique à la fois une bonne connaissance des tissus économiques locaux et une analyse différenciée des leviers d'action à leur égard.

Le groupe a opéré un choix délibéré de traiter de territoires spécifiques **pour faciliter la création d'une « boîte à outils »** adaptée aux contraintes, aux ressources, au enjeux

de ces différents périmètres, et pour mieux comprendre les défis qu'ils ont à relever, tant vis-à-vis des milieux, des sociétés et des pratiques qui sont les leurs.

En effet, le principe d'une uniformité territoriale étant exclue, il fallait également éviter un lissage certes propice à la modélisation mais réducteur.

En outre, le groupe s'est affranchi d'une lisibilité des conclusions existantes ou à venir des travaux, strictement institutionnels, pour pouvoir mieux retranscrire les pratiques d'une part et les adaptations attendues des différents acteurs d'autre part.

La différenciation des territoires s'est fondée sur l'existence de politiques dédiées, sur le poids de ces territoires dans la collectivité nationale, et sur leurs caractéristiques propres par une approche systémique

## **IV.2.2 L'organisation des travaux du groupe**

Comme dans la première phase, le groupe de travail était constitué d'experts ès-qualités et des animateurs des groupes de travail sectoriels (cf. Annexe D.4), le but commun étant de croiser des cultures et des perceptions différentes.

Il s'est réuni cinq fois de janvier à mai 2009. La participation des membres s'est établie de 10 à 15 personnes à chaque séance. Les réunions furent longues, nourries et toutefois consensuelles.

Le mode de travail a privilégié les échanges entre les membres, notamment à partir d'auditions ciblées.

Le groupe a auditionné six experts (territoires spécifiques, perceptions des changements, gouvernance) (cf. Annexe G.1) mais a recueilli également les contributions structurées des groupes sectoriels autour des questions suivantes : identification des impacts à l'échelle territoriale, identification d'une typologie d'acteurs moteurs ou acteurs dans la mise en œuvre des mesures d'adaptation et leur capacité à prendre en compte la capacité d'adaptation des territoires, voire sa concrétisation en potentiel d'action.

Le groupe de travail s'est également investi dans la prise en considération d'études dont le sujet est connexe au sien (massif des Alpes, représentation de la météorologie et du changement climatique chez les touristes français) ou a intégré de nouvelles études dont l'objectif est de répondre à la question de la spécificité territoriale et de sa vulnérabilité différenciée (Etude MEEDDM - SOeS sur la caractérisation de la sensibilité des territoires au changement climatique et de leur vulnérabilité et Etude ADEME sur le changement climatique et les territoires urbains)

Aujourd'hui, les deux dernières études sont en cours de réalisation mais les propositions qui en découleront seront autant de viviers de références en puissance pour l'analyse de l'impact du changement climatique dans les territoires.

### **IV.2.2.1 Choix d'une méthode pour caractériser les impacts et leur gravité par type de territoire**

**Dans une perspective de typologie des territoires, c'est la manière (comment ? pourquoi ?) de définir la vulnérabilité des territoires au changement climatique qui en constitue la clé d'entrée.**

Soit, dans une approche volontairement pragmatique :

- Rassembler l'information existante exploitable dans le cadre d'une évaluation de la vulnérabilité (information aujourd'hui très diffuse et dispersée) ;
- Identifier les données manquantes et besoins de suivi ;
- Disposer d'une hiérarchisation des actions (ou objectifs ?) d'adaptation et ainsi d'un outil d'aide à la décision ;
- Permettre un suivi de l'évolution de la vulnérabilité des territoires.

Pour aller en ce sens, le groupe a tenté de répondre à deux questions :

- Quelle grille de lecture adopter aujourd'hui pour réaliser une analyse territoriale des impacts ? Si l'approche thématique bénéficie de travaux de recherche existants pour analyser les impacts, il n'en est pas de même pour l'analyse territoriale. Il est aujourd'hui difficile de produire une analyse territoriale cohérente sous l'angle des impacts du changement climatique. Quel est le substrat le plus pertinent ? Faut-il raisonner par grandes zones, par type de milieu ? Comment intégrer les secteurs transversaux tels que la biodiversité, les infrastructures ?
- Quels sont les indicateurs de vulnérabilité des différents territoires au regard du changement climatique ? Il faut croiser les avancées thématiques pour disposer de facteurs techniques dont la présence serait plus ou moins prégnante vis-à-vis des territoires, identifier des facteurs qui n'entreraient pas dans une analyse sectorielle des impacts tels le tissu économique du territoire, la nature de ses réseaux d'acteurs, la répartition des richesses, etc. et qui relèvent directement de la caractérisation du territoire.

Dans les conclusions du rapport d'étape, le groupe « Territoires » soulignait l'intérêt des territoires fortement impactés par le changement climatique et pour lesquels on pouvait déjà parler de « territoires à enjeux forts », dans lesquels l'avancement de la connaissance des impacts, la prise de conscience des enjeux par les acteurs, convergeaient pour concrétiser un potentiel d'action. Les territoires suivants ont donc été privilégiés :

- Le littoral, au regard des risques encourus par les biens/personnes dans les parties les plus basses, ou les plus exposées (falaises) ;
- La montagne : d'ores et déjà terrain d'expériences de politiques publiques liées aux nécessités de la préservation des ressources induisant des modifications d'activités (touristiques notamment) et de veille sur les risques naturels (exemple de la création d'un conseil scientifique dans le massif des Alpes, adossé au comité de massif) ;
- Les parcs naturels : à la fois territoires à enjeux importants et lieux d'expérimentations, en grande partie concernés par les problématiques de la montagne et du littoral.

En outre, le rapport d'étape du groupe plénier mettait également en évidence des territoires pour lesquels on pouvait pressentir de forts enjeux en matière d'adaptation mais pour lesquels les outils d'analyse ne sont pas suffisamment développés pour réunir les conditions d'une politique d'adaptation. De fait, dans la deuxième phase de ses travaux, le groupe « Territoires » pouvait aller plus loin en proposant de « défricher » les enjeux liés à des territoires susceptibles d'être fortement impactés de par l'importance de leurs activités économiques (territoires agricoles), de leur densité démographique (zones urbaines) ou de l'importance de leur biodiversité (forêts).

Dans cette optique, le groupe « Territoires » a choisi d'approfondir la question des espaces urbains dans la mesure où ils cristallisent des enjeux stratégiques nombreux et interdépendants. En effet, ils concentrent une majeure partie de la population du pays (près de 75%), notamment dans des zones déjà identifiées comme fortement impactées, telles les zones littorales, de forts enjeux économiques et environnementaux, mais également des conséquences en termes de santé publique qui nécessitent une gouvernance particulière et fortement axée sur la prévention.

#### **IV.2.2.2 Choix d'une méthode pour mesurer la compréhension des capacités de prévention et d'adaptation des acteurs**

Le groupe plénier a mis l'accent, sur le besoin de compréhension des capacités d'adaptation et de prévention des acteurs du territoire pour aller vers une politique structurée de gestion des impacts du changement climatique. Il s'agissait donc d'aller plus loin que la stricte analyse des impacts et de la caractérisation des territoires, et d'enclencher une réflexion sur le passage de la vulnérabilité aux potentiels d'adaptation. Il fallait comprendre, au sein même de l'organisation existante d'un territoire, tout ce qui relève du frein au changement et des autres difficultés liées à la transition dans le cadre d'une politique d'adaptation structurée.

Dans cette logique, le groupe « Territoires » a travaillé selon deux axes :

- Une recherche d'identification des réseaux d'acteurs, à savoir, préciser qui sont les acteurs susceptibles de « prendre en main » la mise en œuvre d'une mesure préconisée à la bonne échelle territoriale ? Ses résultats étaient conditionnés par une bonne connaissance des réseaux d'acteurs existants et de leurs compétences afin de mieux décrire les manques et les atouts des territoires vis-à-vis d'une politique d'adaptation.
- Une approche sociologique de l'appréhension de l'adaptation au changement climatique par les différents acteurs à savoir : comment mobiliser les acteurs et sensibiliser les populations autour de cette problématique qui manque aujourd'hui d'opérationnalité ?

Si le besoin d'analyse est aujourd'hui prépondérant pour aboutir à des recommandations pour les territoires en matière d'adaptation, il est également largement admis qu'une politique d'adaptation doit faire face à deux freins importants :

- Sa mise en œuvre nécessite d'admettre la réalité d'un impact du changement climatique sur nos sociétés mais dans une proportion et sur la base de connaissances incertaines. S'ajoute à cela un pas de temps important entre l'analyse, la décision et la mesure des effets ;
- Sa mise en œuvre se heurte, en plus de difficultés d'acceptabilité par les acteurs, à la confrontation avec les politiques d'atténuation déjà en place sur le territoire. Cet aspect implique que, même des publics ou acteurs sensibilisés et parties prenantes aux politiques d'atténuation, peuvent constituer des freins potentiels.

Dans ces conditions, les enjeux en termes de gouvernance, de concertation et de communication auprès du public sont importants. En ce sens, le groupe « Territoires » devait s'interroger sur ces dimensions sociologiques afin d'identifier les orientations à donner.

### **IV.3 Eléments de compréhension de la vulnérabilité des territoires au changement climatique**

La société humaine est la résultante d'un « couple » composé d'un ensemble d'individus et d'un espace géographique qui les accueille. Ce couple peut être partiellement décrit à travers les nombreuses interrelations qu'il génère : exploitation de ressources, d'espace, d'énergie, impact sur la biodiversité... La société humaine dans son ensemble occupe l'espace planétaire terrestre. Elle n'est cependant pas uniforme, ni en répartition, ni en fonctionnement, ni dans ses relations avec son espace d'accueil. Si l'on doit reformuler la définition introductive du territoire selon une approche sociologique et urbanistique, le territoire peut alors être défini comme l'espace de vie d'un groupe constitué et fédéré autour d'un projet, représentation de l'avenir de ce même groupe.

Ces définitions mettent en exergue la difficulté de l'exercice de la lutte contre le changement climatique : faire de l'atténuation et de l'adaptation un projet porté par la société humaine dans sa globalité, puisque son espace de production et d'impact est mondial, ainsi que dans chacune de ses composantes. L'approche du groupe « Territoires » vise donc une appréciation des impacts par analyse du fonctionnement de groupes sociétaux fédérés autour d'un projet.

**Comme évoqué dans l'introduction et conformément à ses objectifs, le groupe a travaillé à l'élaboration d'une grille de lecture territoriale des impacts et des enjeux de l'adaptation, à partir d'une analyse transversale des travaux des groupes thématiques en recherchant une cohérence d'ensemble sur :**

- **L'état des connaissances et des manques en matière d'analyse territoriale des impacts ;**
- **L'apport d'expériences territoriales nouvelles issues des travaux de ces groupes.**

Les auditions complémentaires réalisées au sein des groupes visaient à confirmer, infirmer ou compléter les intuitions des membres du groupe « Territoires » sur les enjeux en termes d'emploi, de migration des activités et de mouvement démographique.

#### **IV.3.1 La différenciation des impacts et des solutions en fonction des territoires : Synthèse des contributions des groupes thématiques.**

Le caractère transversal du groupe « Territoires » nécessitait d'interroger les groupes thématiques pour bénéficier de leur expertise « spontanée » sur les différences territoriales. Avaient-ils déjà identifié des territoires plus sensibles que d'autres aux impacts qu'ils traitaient ? Quand les impacts étaient équivalents entre territoires, avaient-ils constaté dans le passé des réponses différenciées de gouvernance à des tempêtes, des stress hydriques, des vagues de chaleurs ? Avaient-ils analysé ces différences ?

D'où deux questionnements, qui ont fait l'objet d'échanges et de contributions écrites des groupes thématiques :

- **Quels sont les impacts, en fonction des différents milieux, que vous avez identifiés à ce stade de vos travaux ?**

- Avez-vous déjà identifié les impacts selon une échelle territoriale spécifique ou des éléments qui justifient une analyse plus fine des impacts à l'échelle d'un territoire ?

On présente ici la synthèse de ce travail, établi à partir des contributions écrites<sup>114</sup> transmises à ce jour au groupe « Territoires » concernant **l'agriculture et la forêt**, les **risques naturels**, **l'eau**, **l'énergie**, le **bâti** et la **biodiversité**.

On a tout d'abord constaté que les réponses des groupes thématiques classaient les impacts par « Milieu » plutôt que par « Territoire ». Ce qui est naturel puisque les impacts sont d'abord évalués en termes physiques. Nous avons conservé cette notion de milieu dans la restitution, qui est également prise en compte dans le cadre de l'étude de caractérisation de la sensibilité des territoires au changement climatique (MEEDDM, SOeS).

Le Milieu, naturel ou artificiel, qualifie le cadre physique d'un territoire.

La typologie des milieux qui a été choisie dans la restitution est celle qui est ressortie du croisement des réponses, soit cinq milieux « naturels » : **Littoral / plaines et estuaires** ; **Littoral / falaises** ; **Montagne** ; **Zones agricoles** ; **espaces naturels** ; **Forêts** ; et deux milieux artificiels : **Infrastructures** (transport, énergie) ; **Zones urbaines**.

On pourrait, dans une approche ultérieure, décomposer encore cette typologie des milieux : différencier par exemple la moyenne montagne méditerranéenne et les Alpes continentales ou les villes petites/moyennes et les métropoles à continuité bâtie.

---

<sup>114</sup> Cf. Annexe G.2

Le tableau suivant rassemble les impacts identifiés par les différents groupes thématiques, en fonction de la typologie des milieux adoptée :

Tableau 19 – Impacts identifiés par les groupes

MILIEUX	IMPACTS IDENTIFIES
<b>Littoral/plaine et estuaires</b>	Accroissement de la vulnérabilité des zones à risque Submersion marine Inondations Perte de qualité paysagère Aléas gravitaires Remontée des eaux saumâtres
<b>Littoral/falaises</b>	Érosion Perte de qualité paysagère
<b>Montagne</b>	Recul de l'activité économique "ski" (baisse de la couverture neigeuse, recul des glaciers) Transformation des paysages Disponibilité de la ressource en eau / conflit d'usage
<b>Zones agricoles</b>	Incidence sur la répartition et la qualité des productions Modification de la cartographie des maladies virales, ... Augmentation des besoins en eau, dégradation de la qualité Ruissellement
<b>Espaces naturels</b>	Les impacts transversaux identifiés pour la biodiversité
<b>Forêts</b>	Substitution d'espèces, croissance/vitalité, incendies, érosion
<b>Infrastructures</b>	Aléas gravitaires à survenance rapide (glissement de terrain, chute d'arbre, avalanche, chute de blocs) Impacts indirects liés à une coupure d'axe de transports : paralysie économique temporaire plus ou moins longue Modification des conditions d'exploitation Impacts des infrastructures sur le milieu naturel Modification des conditions d'usage
<b>Urbain</b>	Augmentation des besoins en eau, dégradation de la qualité Retrait gonflement des sols argileux Modification des consommations d'énergie ==> climatisation / chauffage Canicules Inondations et ruissellement

A ce stade, on constatera que :

- Les impacts sont effectivement différenciés en fonction des milieux ;
- Cette liste qualitative n'est pas complète (tous les impacts n'ont pas été systématiquement reportés par les groupes) et surtout appelle une quantification, même approximative : certains impacts sont majeurs pour un milieu donné, d'autres secondaires.
- Les impacts en matière de biodiversité ne touchent pas que les espaces protégés, mais aussi les terrains agricoles, les littoraux, les montagnes, en fait tous les milieux sauf les infrastructures, mais de façon diversifiée.

Les territoires, quant à eux, seront bien au centre des questionnements suivants, concernant les acteurs, les compétences, les capacités d'adaptation, le passage des milieux aux territoires s'effectue en croisant pour chaque milieu la structure démographique, sociale, économique et politique de l'activité humaine spécifique qui y

est présente. Pour un même milieu, une plaine littorale ou une ville par exemple, les réponses adaptatives dépendront fortement des organisations sociales en place<sup>115</sup>.

### **IV.3.2 Analyse sous l'angle territorial**

Dans le prolongement de cette première phase d'analyse, il était nécessaire d'apporter quelques éclairages sur les éléments constitutifs d'un territoire permettant d'enrichir la lecture initiale par milieux.

Outre une analyse par territoires spécifiques (Littoraux, montagnes, zone urbaine, forêts), sont approchées des problématiques liant les territoires entre eux comme l'emploi et la migration des activités et les mouvements démographiques.

#### **IV.3.2.1 Les façades littorales**

Les caractéristiques géographiques de la France rendent la question de l'évolution de ses façades maritimes tout à fait stratégique à la fois pour l'économie qui s'y développe et pour le maintien de la biodiversité.

La parcellisation de la prise de décision sur les territoires littoraux, la pression urbaine et les conflits d'usage en matière économique créent autant de vulnérabilités vis-à-vis des enjeux du changement climatique.

Les questions de submersion des rivages, d'érosion des falaises, d'érosion du trait de côte sont autant de facteurs qui feront évoluer la typologie des territoires et auront un impact sur les activités qui y sont localisées.

A l'occasion des premiers travaux du groupe en 2008, avait déjà été soulevée la question d'une meilleure connaissance des travaux réalisés par le Conservatoire du littoral qui peuvent participer à la construction d'indicateurs d'évolution des milieux

#### **Une initiative de l'Etat en région portant sur un territoire spécifique : le littoral languedocien**

L'étude réalisée en 2008 par les cabinets EDATER et PLANETE PUBLIQUE relative aux effets du changement climatique en Languedoc-Roussillon et commandée par la préfecture de région, apporte des éléments d'appréciation des impacts futurs de cette évolution sur les milieux mais aussi sur les activités.

Le cas du littoral languedocien (214km de rivages) est intéressant à plusieurs égards :

##### Une forte pression urbaine dynamique

En raison de sa forte attractivité, le littoral est soumis à une importante pression d'urbanisation et de fréquentation. Il est aussi un lieu privilégié de développement économique régional. La pression foncière a conduit à une difficile maîtrise de l'urbanisation. La tache urbaine a ainsi pratiquement doublé entre 1968 et 2000. La plaine littorale occupe environ 5% de l'espace régional mais compte près de 50% de la population. Le taux d'artificialisation de l'espace, de 25%, est l'un des plus élevés du littoral français, après la Corse, soit près du double de la moyenne nationale.

---

<sup>115</sup>On trouvera en Annexe C.1 un glossaire précisant la définition des termes utilisés.

La majorité de la population est regroupée le long de la côte et autour des lagunes. Les zones urbaines, y compris les zones peuplées et les grands axes de transport, ont ainsi souvent été construits à l'intérieur du système de dunes côtières.

Entre 500 000 et 850 000 habitants supplémentaires sont prévus dans la région d'ici 2030.

#### Un potentiel de risques cumulés

- On dénombre environ 585 000 personnes vivant en permanence en zone inondable en Languedoc-Roussillon. C'est d'autant plus inquiétant que de fortes incertitudes demeurent sur les risques d'inondations par ruissellement pour lesquelles les connaissances ne sont que partielles.
- En 50 ans de mesures, 130 pluies diluviennes de plus de 200mm en 24 heures ont été enregistrées dans la région (sur un total de 200).
- Les risques d'érosion et de submersion marine y sont importants et notamment pour les lidos et les zones littorales les plus basses (côtes nord et centrale) ou celles dont le cordon dunaire est le plus altéré. Les lidos sont séparés de la mer par des cordons littoraux, qui sont vulnérables aux vagues de tempête.
- Depuis 1945, 260 hectares ont été gagnés par la mer.

La combinaison d'une élévation du niveau moyen de la mer et de tempêtes plus fortes et plus fréquentes devrait avoir des conséquences importantes :

- Une accélération de l'érosion des plages et des falaises (cf. grande tempête de décembre 1999)
- Une extension des submersions temporaires ou permanentes sur les espaces côtiers bas,
- Une accentuation de la salinisation des eaux souterraines littorales, notamment celles contenues dans les sols agricoles ou utilisées pour l'irrigation

De plus, le risque de surcote (élévations exceptionnelles du niveau de la mer durant quelques heures et s'expliquant par une baisse de la pression atmosphérique et des vents forts soufflant vers la terre) sera fortement accru.

On estime qu'aujourd'hui, en Camargue, une surcote de 1m a une chance de se produire une fois tous les dix ans. Dans la perspective d'une élévation de 50cm du niveau de la mer à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle, la fréquence, à niveau équivalent, pourrait devenir beaucoup plus importante.

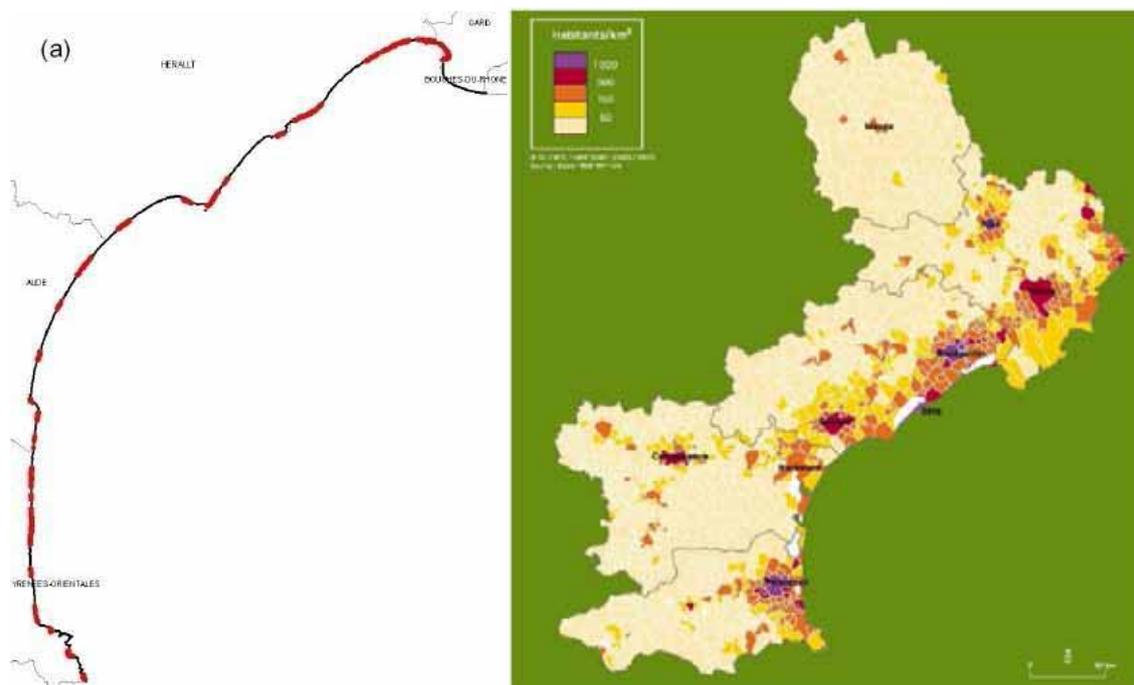
#### Une vitalité économique qui doit être préservée

Le littoral n'est pas seulement un lieu de résidence. Il est d'abord un lieu d'activité puisqu'il accueille 108 400 emplois sur les 755 000 que compte la région avec, pour une part importante, l'exploitation des ressources propres au littoral.

Trois types d'activités sont ainsi au cœur de l'économie littorale :

- Le commerce et les services aux entreprises et aux particuliers (dont les hôtels-café-restaurants) ;
- La construction ;
- La pêche, le nautisme et les activités portuaires.

Leur poids dans l'économie régionale ne cesse de croître, en valeur absolue comme en pourcentage, depuis 1995. Les activités liées au tourisme génèrent un nombre important d'emplois dans la région avec une forte saisonnalité sur le littoral (14,9% du PIB régional contre 6,5% au niveau national).



Carte 19 – Zones côtières en Languedoc-Roussillon soumises à un accroissement des risques côtiers

**La carte de gauche (représentant le trait de côte)** montre bien l'importance des zones côtières urbanisées soumises à un accroissement des risques d'érosion et de submersion. C'est d'autant plus vrai que cette carte doit être superposée avec celles concernant les actifs agricoles, touristiques, industriels et environnementaux, qui font du Languedoc-Roussillon une région fortement exposée dans ses différentes dimensions.

Une proposition de positionnement pendant la période de transition, qui induit des coûts

Considérant l'étendue des actifs exposés aux risques liés au changement climatique sur le littoral du Languedoc-Roussillon, une stratégie de défense plutôt que de retrait pourrait sembler pertinente en Languedoc-Roussillon, même si le cas du Lido de Sète (stratégie de retrait de la route côtière entre Sète et Marseillan) montre bien qu'il convient de n'écartier aucune option.

Par ailleurs, il deviendra probablement essentiel de définir dorénavant un ou des aléas de référence, chacun en fonction des installations ou décisions concernées : ouvrage de protection, instrument de surveillance, outils de planification de l'usage du sol...

Pour atteindre l'objectif, on détermine alors des normes de dimensionnement qu'il faut adopter, et dont il faut supporter le coût, pas seulement pour la construction initiale : il faut que la maintenance assure dans le temps qui peut être long le respect des normes à l'égard de l'aléa de référence.

Or les acteurs locaux pensent d'abord l'avenir en termes de développement local ou d'aménagement du territoire.

Dès lors, l'entrée climat dominante est réductrice au regard de la complexité locale : économique, sociale, sociologique, politique...

Se pose donc la question des outils *ad hoc* pour intégrer le climat dans le développement.

Considérée au niveau local d'une filière ou d'un territoire, l'intégration des effets du changement climatique devrait se penser comme une des variables des scénarios de développement.

#### Dans ce cadre, quelles propositions opérationnelles ?

- Ne pas chercher systématiquement à modéliser de façon scientifique les impacts au niveau local (hors recherche) ;
- Accepter de ne pas avoir de discours scientifiquement calés au niveau régional pour agir ;
- Structurer une information régionale (y-compris socio-économique) mise à disposition de tous ;
- Croiser les recommandations du GIEC (deux mètres au-dessus de la marée la plus haute) et les préconisations en vigueur ;
- Prendre appui sur les phénomènes récents pour développer les stratégies d'adaptation ;
- Adapter le discours selon la nature du substrat socio-économique (selon le niveau de prise de conscience, le niveau d'information disponible, les capacités financières des acteurs) ;
- Intervenir de façon privilégiée sur les « structures intermédiaires » pour améliorer l'efficacité auprès des acteurs de terrain ;
- Intégrer la question du changement climatique dans une réflexion plus large qui privilégie l'entrée « développement économique et local » ;
- Viser d'abord la sensibilisation à échéance d'une génération (25-30 ans).

#### **La poursuite logique de la démarche pour accompagner les acteurs vers une meilleure lisibilité des enjeux**

Les préconisations de l'étude EDATER/PLANETE PUBLIQUE invitent à la poursuite du processus d'appropriation par les acteurs, d'une part, de la connaissance des phénomènes climatiques à venir et d'autre part, des actions à mettre en œuvre en fonction de leurs objectifs socio-économiques.

#### **IV.3.2.2 L'étude de caractérisation de la sensibilité des territoires au changement climatique : boîte à outils pour les acteurs locaux**

Dans ce sens, le MEEDDM (SOeS) a lancé une étude visant à proposer une « boîte à outils » aux acteurs locaux susceptibles de leur permettre de disposer d'un instrument de veille simple et performant adapté aux réalités locales.

L'étude lancée en avril 2009 va, dans une première phase, proposer une matrice croisant les milieux, les ressources locales, les activités économiques et l'échelle territoriale, significative des priorités socio-économiques, des vulnérabilités existantes ou potentielles. Une version non finalisée de ces matrices de vulnérabilité au long terme (2100) est annexée au présent document.

L'objectif poursuivi est la mise en valeur de points de vigilance, pouvant devenir des alertes, facilitant l'anticipation des acteurs, d'autant plus aisément que l'évolution se

situé sur le temps long et les prises de décisions peuvent être élaborées et construites en évitant des actions / réactions dramatisantes, voire irréversibles, faute d'une analyse globale et équilibrée.

La deuxième phase de l'étude concerne la mise en test grandeur nature de la matrice avec une priorité donnée aux espaces littoraux. Les régions Provence-Alpes-Côte-D'azur, Languedoc-Roussillon et Nord-Pas-de-Calais proposeront des territoires appropriés.

#### **IV.3.2.3 Les zones urbaines**

Comme évoqué dans les objectifs du groupe, les travaux se sont portés sur l'exploration d'une nouvelle cible prioritaire des enjeux de l'adaptation au changement climatique à savoir les zones urbaines. Ce choix était notamment motivé par la conjonction de plusieurs caractéristiques fortes de ce type de territoires :

- D'une part, un aspect pionnier dans la mesure où l'analyse de l'adaptation en zone urbaine souffre d'un **manque important de références**, tant en termes de recherche que de retour d'expériences sur le terrain ;
- D'autre part, ce type de territoire concentre 75% de la population, justifiant ainsi d'enjeux très importants au niveau de la gouvernance, de la communication au grand public et de l'interaction entre les secteurs d'activités.

Le groupe est parti du constat que la connaissance du sujet et les retours d'expérience au niveau national étaient très faibles. En résulte une double démarche d'étude et d'audition d'une collectivité ayant abordé cette question dans une démarche intégrée. Ces deux axes de travail sont complémentaires puisque l'audition a permis d'alimenter le cahier des charges de l'étude envisagée.

#### **L'expérience de la CU du Grand Lyon (présentée par Sylvain GODINOT de l'ALE de Lyon)**

Dans le cadre de ses travaux, le Grand Lyon fait un double constat :

- D'une part, la prise en main de la question de l'adaptation se fait « intuitivement » de manière sectorielle, même au niveau d'un territoire comme une communauté urbaine. Le Grand Lyon évoque notamment la « mission arbres » qui ne traite qu'une partie des conséquences du changement climatique ;
- D'autre part, le Grand Lyon estime qu'une stratégie globale est indispensable à l'appréhension du problème et à la recherche de solution, nécessitant ainsi une approche intégrée de l'adaptation dans les outils d'organisation de la zone urbaine. Cette vision s'inscrit dans le constat sous-jacent que le changement climatique implique un faisceau considérable de conséquences qui affectent tout aussi bien l'exposition des populations aux risques (naturels, sanitaires, ...) que la qualité du cadre de vie (climat urbain) voire même la capacité de la population à satisfaire ses besoins de base (ressources disponibles en eau, capacité agricole, ...).

En résulte une démarche pragmatique autour d'un **croisement entre politiques d'adaptation et politiques d'atténuation au sein d'un document stratégique permettant une réflexion à plusieurs échelles : l'agenda 21.**

L'audition et les échanges ont mis en évidence un certain nombre de points clefs qui alimentent la démarche et les orientations données au cahier des charges de l'étude à mener.

Le défaut de connaissance des impacts n'empêche pas d'émettre **des propositions ou principes d'actions immédiates** :

- Rafraîchissement urbain ;
- Mesures économiques : pôle d'entreprises dites « clean », horaires aménagés, performance des matériels, coopération internationale décentralisée ;
- Combinaison d'une approche « axe » pour une mise en visibilité de cette dimension et une approche « mesure » permettant la transversalité avec les mesures d'atténuation ;
- Mise en relation des compétences des experts concernés par la problématique de l'adaptation (gestion des risques, climatologues, experts sectoriels urbanismes et infrastructures, etc.).

Les échanges permettent d'insister également sur **la mise en œuvre de travaux prospectifs** ou comment organiser la capitalisation des connaissances dès maintenant pour améliorer le suivi et l'évolution des mesures.

Enfin, un des points clefs est la **volonté d'organiser l'action en ciblant des outils existants d'une part (combinant rationalisation et gain de temps) et susceptibles d'offrir une marge de manœuvre suffisante pour agir sur un grand nombre de paramètres** ou d'interactions sectorielles de la communauté urbaine. Typiquement, c'est le schéma de cohérence territoriale de l'agglomération lyonnaise (SCOT) et le plan local d'urbanisme (PLU) qui sont visés.

**Dans ses conclusions, l'audition a également mis l'accent sur la difficulté de chiffrer les impacts** (notamment en matière de santé puisque les risques de canicule sont les plus visibles dans nos zones urbaines). Globalement, c'est le raisonnement en termes de rentabilité économique qui fait défaut par rapport à la dimension réglementaire.

### **Proposition d'un cahier des charges d'étude sur la capacité d'adaptation en zone urbaine**

Conformément aux buts que s'était fixés le groupe de travail et dans le prolongement des enseignements de l'audition de la communauté urbaine du Grand Lyon (représentée par l'Agence Locale de l'Energie de Lyon), identifié, pour la rédaction du cahier des charges de l'étude, les objectifs suivants ont été identifiés :

- Identifier les facteurs de vulnérabilité d'une zone urbaine aux impacts du changement climatique et produire un indicateur de mesure de cette vulnérabilité afin d'aller progressivement vers une typologie des territoires. Ceci implique :
  - L'identification des principaux impacts sur les zones urbaines ;
  - La hiérarchisation de ces impacts en fonction d'une typologie des zones urbaines françaises basée sur la zone géographique, le type de milieu (littoral, montagne, plaine, etc.) ou encore les activités économiques principales ;
  - Une phase de test de ce(s) indicateur(s) auprès d'un échantillon de zones urbaines pilotes.
- Produire une **liste hiérarchisée de recommandations concernant la prise en compte de l'adaptation dans les politiques en milieu urbain**. Il s'agit là de réagir à la question des freins à la transition vers une politique d'adaptation en zone urbaine.

Ce travail doit notamment permettre de répondre aux questionnements suivants :

- Comment les décideurs des grandes agglomérations appréhendent l'adaptation au changement climatique sur leur territoire ?
- Quelle est la capacité d'action sur les principaux facteurs de vulnérabilité identifiés ?
- Quels sont les manques en matière de réglementation pour mettre en œuvre une politique d'adaptation en zone urbaine ?

L'étude vient répondre à la nécessité de créer un outil de lecture de l'adaptation à l'échelle d'une zone urbaine, tant du point de vue de l'analyse des impacts que de la capacité d'adaptation du territoire. A ce titre, la méthodologie évoquée dans le cahier des charges, si elle reste ouverte sur la création des indicateurs, est plus directive sur l'expérimentation locale. Le groupe « Territoires » a estimé que, dans la perspective d'une création d'outils, l'appropriation de la notion de vulnérabilité (et de sa mesure) par les acteurs des zones urbaines, était une étape indispensable.

#### **IV.3.2.4 Les massifs de montagne**

L'existence d'une politique dédiée aux massifs est une exception française qui a facilité :

- La prise en compte des contraintes de ces territoires ;
- La mise en place d'actions concertées pour les surmonter ;
- La création d'un mode de gouvernance très rôdé depuis 15 ans.

Parmi les cinq massifs métropolitains, le choix s'est porté sur le massif alpin :

- Le plus peuplé, mais de manière déséquilibrée du Nord au Sud ;
- Le plus axé sur une activité hivernale touristique en moyenne et haute altitude qui génère des produits et des emplois structurants le massif ;
- Le massif transfrontalier le plus dense et le plus large, puisque non seulement géographiquement mais aussi politiquement (Convention alpine), 7 Etats sont concernés par son avenir.

Le comité de massif du massif des Alpes a créé, à ses côtés un comité scientifique qu'il a mandaté pour produire un état des lieux et des propositions sur l'avenir des activités face au changement climatique.

Un rapport a été produit en juin 2008, et ses conclusions ont été débattues par le comité de massif lors du séminaire du 11 mai 2009 à Grenoble.

Il convient de noter l'exemplarité de la démarche qui a fait appel dans un premier temps aux chercheurs et aux experts, puis mis au débat entre élus des quatre niveaux (régions, départements, intercommunalités et communes), socioprofessionnels, parcs naturels régionaux et monde associatif. Le plan d'actions qui en découle devait être formalisé au début du mois de juillet.

Le processus est d'autant plus pertinent qu'il prenait en compte une mise à niveau des connaissances scientifiques globales avant de l'appliquer au territoire alpin.

Les résultats de la trentaine d'entretiens semi-directifs auprès d'acteurs ressources du massif, publics et privés, notamment associatifs, intervenant à des échelles différentes et représentatifs du massif alpin, aboutissent à un diagnostic mitigé sur l'appropriation des enjeux et des défis à relever.

Malgré l'intensité du phénomène, la plupart des acteurs publics concentrent leurs efforts sur des actions tendant à limiter les gaz à effet de serre ; *a contrario*, peu de mesures d'adaptation sont envisagées pour faire évoluer les systèmes productifs et l'économie résidentielle du système alpin.

Le long terme n'est pas favorable à une posture constructive des acteurs privés qui persistent dans leur modèle économique amortissable dans les trente prochaines années. L'appropriation des contraintes que va induire le changement climatique n'est le fait que d'acteurs volontaristes et anticipateurs, mais qui actuellement ne sont pas suivis, voire remis en cause.

C'est pourquoi, placer le changement climatique au cœur des priorités du comité de massif est une opportunité qui trouve en partie sa raison d'être dans une gouvernance établie de longue date et une habitude de travail en transparence des différents types d'acteurs.

### **Quelles sont les lignes de force de cette mise en commun ?**

#### Une connaissance identique des apports scientifiques

- Climat sur l'arc alpin : un ensemble unique, calé sur la régression du glacier de Saint Sorlin. Si la ligne d'équilibre de la neige en altitude se situe à 5250m dans les Andes et 4700 en Papouasie, elle est à 3000m dans les Pyrénées et les Alpes. Or elle est déjà remontée du fait du réchauffement récent : à GES constants à compter d'aujourd'hui, tous les glaciers continueraient de régresser car le point d'équilibre entre accumulation de neige et perte de glace a été dépassé ;
- Concentration en CO<sub>2</sub> : de 300ppm en 1900, de 400 en 2000, comprise entre 600 et 900 entre 2100 et 2200. Le réchauffement est inscrit pour les 3 décennies à venir, c'est pourquoi il faut tout faire pour se placer sous le seuil des 600ppm. Or actuellement, on se situe sur la branche la plus pessimiste des émissions de GES ;
- Fluctuations annuelles des températures : avec un centrage moyen à 17°C pour la Suisse, il a été observé 22°C en 2003 et pour la France avec un centrage de 18°C il y a eu plus 3°C en 2003. Il y aura ainsi des années plus froides et avec plus de couverture neigeuse alternant avec des canicules de plus en plus fortes.

**(Marie-Antoinette Mélières, professeur de climatologie à l'Université Joseph Fourier de Grenoble, Constat et les tendances observées : des effets particulièrement marqués sur les territoires alpins.)**

#### Une analyse sans fard des enjeux et de leur complexité

La diversification de l'ensemble des activités économiques, voire de mutation de ces activités, sera la conséquence du changement climatique.

Elle pourra être absorbée à 4 conditions : une volonté politique forte, le décloisonnement des milieux de la recherche de l'expérimentation et du terrain, la formation des professionnels, l'adaptation des activités actuelles (tourisme, énergie, développement durable, agriculture...), voire des modes de vie.

#### Des conclusions ambitieuses

- Elargir le champ temporel et sectoriel par une approche territoriale et intersectorielle : le territoire est le lieu où doivent s'inventer les solutions ;

- Intégrer dans les réflexions la présence ou non de la neige, l'évolution des fourrages dans l'agriculture, les changements d'écosystèmes, les liens entre hydroélectricité et solaire, dont la production est plus rentable en montagne..., pour dessiner les nouvelles fonctionnalités de la montagne de demain ;
- Imaginer ensemble de nouvelles formes de vie en commun en valorisant les atouts de la montagne par de nouvelles formes de partage des transports, de durabilité ;
- Déterminer la fonction de la montagne dans un monde réchauffé : une réserve de biodiversité ou un lieu de production économique, ce qu'elle est devenue au fil des siècles (mines, hydroélectricité fragilisées, agriculture avec l'obsession de rentabilité qui a touché l'économie du tourisme débutée à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle).

Ces premiers travaux permettent déjà d'identifier des indicateurs moteurs de l'adaptation, des champs d'actions dont les coûts seront mesurables, des modes d'organisation favorables à une adaptation au changement sans rupture.

#### **IV.3.2.5 La forêt**

Le volet forêt de cette analyse territoriale s'appuie sur les contributions de la Mission interministérielle sur « l'extension future des zones à risque élevé d'incendies de forêt en lien avec le changement climatique » et du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche pour « l'évaluation du coût des impacts du changement climatique dans le secteur forestier »<sup>116</sup>.

Globalement, le constat est fait de la difficulté de travailler sur les impacts du changement climatique sur les territoires forestiers pour trois raisons principales :

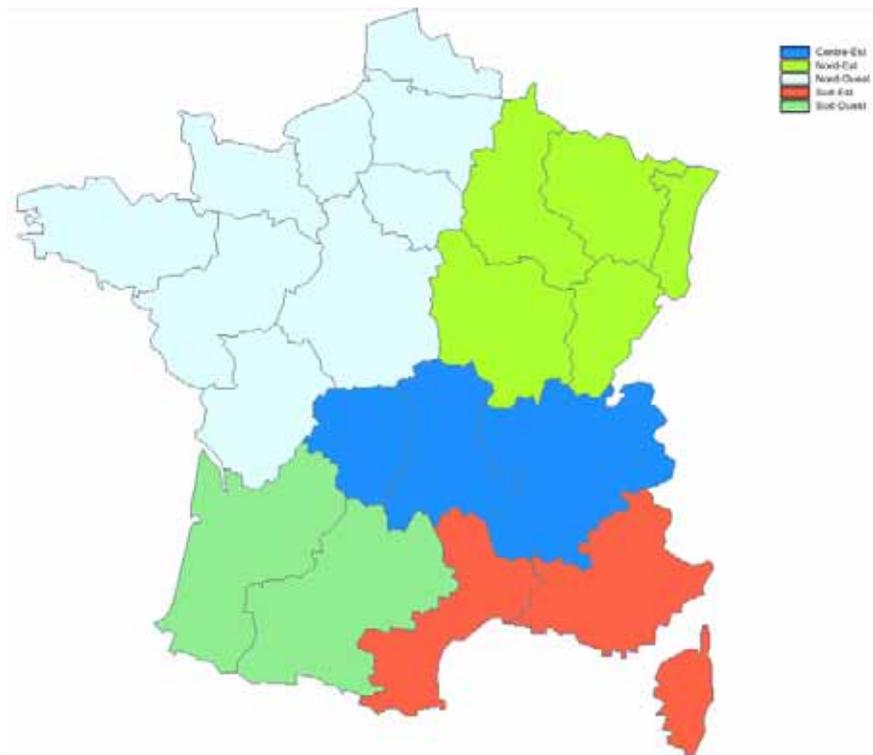
- L'interdépendance des usages et la difficulté de quantifier la valeur économique d'une partie de ces usages des ressources forestières. En conséquence, l'analyse de l'impact économique s'est portée essentiellement sur la productivité et donc la ressource en bois<sup>117</sup> ;
- La difficulté, somme toute partagée avec d'autres secteurs, de maîtriser l'incertitude des aléas extrêmes et ponctuels à des horizons de temps différents ;
- L'évolution territoriale de la ressource forestière fortement dépendante des évolutions des régimes hydriques pour lesquels les degrés d'incertitudes sont encore plus forts que pour les régimes thermiques.

Du point de vue de l'analyse territoriale, les travaux initiés par le MAAP s'appuient sur un découpage issu de l'inventaire Forestier National (IFN) en 5 grandes régions pour analyser les impacts :

---

<sup>116</sup> Voir le rapport du groupe Forêt et l'Annexe I.8

<sup>117</sup> Le groupe Biodiversité a, lui, proposé une évaluation de l'impact du changement climatique sur la forêt, basée sur la notion de services écosystémiques



Carte 20 – Découpage du territoire en cinq grandes régions forestières

Les modélisations effectuées pour imaginer l'évolution territoriale de la répartition des espèces et les moyens de production qui en découle donnent les résultats suivants : le potentiel climatique de production est diminué sur la moitié Sud et la façade Ouest du pays où l'effet du cycle saisonnier des précipitations est défavorable, alors que l'impact climatique est neutre ou bénéficiaire dans la partie Centre et Nord-Est. Ce changement intervient sur un laps de temps inférieur à la durée d'une révolution moyenne.

En termes économiques, on attend une évolution en deux phases :

- Dans un premier temps, on anticipe, comme évoqué plus haut, des gains économiques (potentiellement renforcés par une amélioration du taux de récolte) répartis inégalement au profit du nord selon l'évolution des apports en eau. Néanmoins, il faut modérer ces anticipations en fonction de l'augmentation possible des aléas extrêmes, notamment dans le sud, et des coûts associés. Les travaux de la mission interministérielle sur le zonage incendie insistent sur ce point et sur les coûts de prévention en matière de risque incendie ;
- Dans un second temps, l'accroissement des incertitudes rend difficile une différenciation de l'impact économique sur le territoire, si ce n'est d'anticiper une amplification des tendances pour les régions du sud notamment. Globalement, il existe plusieurs pistes d'amélioration de la différenciation territoriale des impacts passant notamment par :
  - Une observation accrue de la ressource et de ses déterminants, en allant vers une maille territoriale plus fine ;
  - Aller vers la redéfinition d'un **zonage du territoire avec des vocations forestières conseillées et encouragées en fonction des risques** particulièrement utile pour les propriétaires gestionnaires.

Du point de vue des acteurs, la difficulté vient là encore de l'incertitude puisqu'il semble difficile d'opter clairement pour une adaptation planifiée ou spontanée tant les coûts sont difficiles à évaluer, et cela même si des mesures d'adaptation sont disponibles.

### **IV.3.3 Eléments transversaux d'analyse**

Comme évoqué précédemment, les interdépendances entre les territoires sont déterminées par des vecteurs comme la démographie et l'emploi qu'il convient d'analyser pour identifier les enjeux en termes d'adaptation au changement climatique.

Il s'agit, notamment pour les questions d'emplois et de migration des activités, d'un horizon de temps encore peu traité dans les études et les éléments étudiés sont autant d'éléments de réponse que de pistes à ouvrir.

#### **IV.3.3.1 La démographie : facteur de dispersion des risques ?**

L'Observatoire des territoires, dans le cadre de son rapport publié en 2009, a mis en évidence, de manière chiffrée les grandes caractéristiques de la démographie française au cours des dernières années. De ce constat, le groupe relève les caractéristiques suivantes, présentant une importance particulière :

- Dynamiques générales : un haliotropisme, au-delà de l'habituel héliotropisme et, dans une moindre mesure, une attractivité des grands fleuves ;
- Dynamiques spécifiques : attractivité des grands pôles urbains pour les populations jeunes et « retour aux sources » pour une population plus âgée, dans les espaces ruraux.

Ces caractéristiques nous amènent à préciser les approches retenues par le groupe et à souligner des pistes non explorées :

- L'approche territoriale, notamment dans la typologie retenue, prend comme invariant global la caractérisation de l'espace géographique qui sous-tend le territoire. Ce principe permet ainsi de suivre la capacité du sous-groupe sociétal à s'adapter (ou non) à une évolution de son environnement, y compris par les dynamiques d'échange démographiques entre les territoires. Il est valable sur l'ensemble du territoire français et pourrait être élargi aux échanges intra-communautaire du fait de caractéristiques similaires tant en fonctionnement qu'en morphologie (globale) du territoire ;
- La prise en compte du facteur « humain », indissociable du territoire, génère une variabilité supplémentaire en modifiant l'enjeu, en plus de l'aléa. Dans le cas des risques « inondation » ou « retrait du trait de côte », l'augmentation de densité de population dans ces zones nécessite une prise en compte dans l'évaluation des risques naturels. La gestion des personnes âgées aux périodes de canicule devra s'adapter à leur distribution dans des zones rurales (accessibilité et faible densité) ;
- Le fonctionnement des territoires en interdépendance induit des phénomènes de propagation. Sur le plan financier, la crise récente l'a particulièrement bien illustré et d'autres études l'ont confirmé dans de nombreux autres domaines : agricole (cf. étude Languedoc-Roussillon sur les effets sectoriels du changement climatique), ressources naturelles (conflits sur la gestion de l'eau en Bretagne), ressources humaines (cf. ci-dessous : gestion prévisionnelle des emplois et compétences). Mais en portant des aspirations propres, les échanges démographiques ont aussi un effet de propagation culturel qu'il convient de ne pas négliger.

Le groupe, conformément à la feuille de route, n'a toutefois pas évalué les impacts des flux migratoires qui pourraient être générés par les impacts du changement climatiques sur d'autres parties du globe.

Ainsi, cette approche justifie l'analyse des territoires en tant que lieux d'organisation de la société. Toutefois, comme toute approche sectorielle, elle a ses propres limites et peut masquer des vulnérabilités structurelles.

A titre d'illustration, l'analyse organisationnelle montrant la compartimentation en « pétales de marguerite » du fonctionnement économique du Massif Central (cf. Etude du Commissariat de Massif) doit être mise en relation avec le partage d'une ressource naturelle commune qui peut sembler inépuisable par rapport aux besoins de chaque territoire.

#### **IV.3.3.2 Les échelles : complémentarité des approches ?**

L'ensemble de ces éléments mettent en évidence une problématique partagée par le développement durable dans son ensemble et la lutte contre le changement climatique en particulier : la prise en compte de tous les niveaux d'échelles à chaque étape de l'analyse et de l'élaboration d'une stratégie.

La capacité de synthèse interterritoriale et intersectorielle des connaissances et la mise en cohérence des stratégies des différents acteurs apparaissent dès lors comme un enjeu fort. L'inaction, ou l'action en refus de prise en compte du contexte, aura un effet notable : une vulnérabilité accrue des territoires ou de certains secteurs (économiques, naturels, sociaux ...) ; et peut générer les impacts suivants :

- Incompatibilités de stratégies d'adaptation sur un espace donné, générant des situations de crise inattendues ;
- Non couverture du risque économique généré par des investissements portés par les collectivités, pouvant générer des attentes vis-à-vis de l'Etat ;
- Conflits d'usage générant des difficultés dans la gouvernance des territoires et des délais dans la prise de décision.

L'analyse thématique des impacts différenciés selon les territoires, puis l'approche par typologie de territoire de leur fonctionnement devraient permettre de dresser une première liste, non exhaustive, de ces vulnérabilités croisées et de leur impact.

Mais, au vu de l'expérience en matière de gestion de crise, on peut considérer que le coût, pour la société, de l'investissement d'ingénierie sur la durée en matière de gouvernance des territoires est du même ordre de grandeur que celui mis en œuvre pour répondre à une crise non préparée.

#### **IV.3.3.3 Approche sociétale : la question de l'emploi**

De nombreux acteurs publics et privés ont déjà pris conscience de cet enjeu spécifique et ont engagé des démarches de prospectives et d'organisation de la gouvernance, afin d'être mieux à même de répondre aux stimuli et surtout d'éviter une adaptation inadéquate.

##### **Etude européenne**

La communauté européenne, en lien avec les syndicats, a commandé une étude en 2003 sur la compréhension des liens entre changement climatique et emploi, qui relève

parfaitement de cette prise de conscience. Le cadre restreint d'un changement climatique modéré a été choisi, plusieurs autres études ayant montré qu'un réchauffement plus intense serait généralement néfaste, avec un risque accru de réactions non linéaires et de changements brutaux.

Après une première analyse des implications potentielles pour l'emploi, en Europe, du changement climatique lui-même, les enjeux pour l'emploi de la transition vers une économie européenne plus sobre en CO<sub>2</sub> (réduction de l'ordre de 30% à 50% des émissions) à l'horizon 2030 sont étudiés dans quatre secteurs économiques clés : la production d'énergie, les transports, les industries de l'acier et du ciment et le bâtiment/construction. Trois dynamiques principales sous-tendant les évolutions sont identifiées :

- Un transfert d'emplois des activités de la production d'électricité vers celles liées à l'efficacité énergétique et à la réduction de la consommation d'énergie ;
- Un transfert des emplois relatifs au transport routier de marchandises et à la voiture particulière vers les activités de transport public pour le fret (rail et voies navigables) et les passagers ;
- Des substitutions internes aux industries de biens d'équipement, avec une substitution en lien direct avec l'évolution des types d'énergie, mais, compte tenu de la durée de vie des équipements, il est peu probable, cependant, que les pertes d'emplois soient durablement compensées.

Cette approche sectorielle est justifiée par un constat : le bénéfice global de la prévention du réchauffement climatique pour l'emploi (de l'ordre de 1,5%), déjà démontré, peut masquer des mouvements d'emplois significatifs au sein des secteurs ou des régions. Les déséquilibres entre l'offre et la demande d'emplois et de qualifications qui découleront de la mise en œuvre des mesures d'adaptation et d'atténuation pourront être transitoires ou s'étendre sur une longue période. De plus, il est important de garder à l'esprit que ces nouvelles opportunités ont un coût et des limites qui sont souvent sous-évalués. Elles dépendent de nombreux facteurs exogènes, tels que la technologie et les qualifications disponibles, la structure et l'organisation du marché, notamment sur le court terme (rôle de la Politique Agricole Commune en agriculture, surexploitation dans le domaine de la pêche...).

Ainsi, si les questions de l'emploi et des compétences ne sont pas davantage intégrées dans les politiques du climat, on peut s'attendre à ce qu'elles deviennent une entrave significative aux transformations économiques et sociétales exigées pour gérer la transition. Réciproquement, des politiques du climat claires, certaines et prévisibles, pourront induire des investissements privés qui apporteront une large part des emplois prévus dans l'étude.

Dans cette perspective, des analyses territoriales et sectorielles plus approfondies sont aujourd'hui nécessaires pour identifier le type et le nombre des emplois particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique et aux politiques d'atténuation ainsi que des emplois d'opportunité devant être générés, et pour aider à concevoir des politiques appropriées.

### **Etude sur le territoire francilien dans le secteur de l'énergie et de la construction**

S'inscrivant donc dans la suite de l'étude européenne, Fondaterra (Fondation Européenne pour des Territoires Durables) a engagé des travaux sur la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (GPEC). Cette démarche part de l'identification d'impacts en matière de formation et d'emploi dans les secteurs de l'énergie et de la construction.

Les impacts futurs seront définis sur un territoire pilote (la région Ile-de-France). Il est important que la localisation géographique des emplois, des formations et de la population liée aux secteurs d'activités de l'énergie et du bâtiment soit située sur le même territoire. Cela permet de limiter en particulier les phénomènes de mobilité.

La formation initiale dans ces domaines présente les caractéristiques suivantes :

- Pour les niveaux de CAP, BEP, Bac pro et BP, l'offre de formation est relativement complète et de nombreux cursus sont mis en œuvre ;
- Pour les niveaux de BTS et DUT, l'offre est incomplète ;
- Pour les niveaux supérieurs, l'Ile-de-France présente une offre universitaire relativement réduite.

Le fonctionnement d'un pôle de formation intégré dans les domaines de l'énergie et de la construction (bâtiment, résidentiels et tertiaires) suppose la mise en place d'un système relationnel actif et conventionné entre plusieurs catégories d'acteurs couvrant chacune des étapes du dispositif :

- Les acteurs de l'information ;
- Les acteurs du financement et la formation professionnelle ;
- Les acteurs de la formation ;
- Les acteurs de l'orientation et de l'insertion propre à chaque public ;
- Les acteurs de la profession et de l'emploi.

L'objectif de la démarche est donc de mobiliser ces acteurs afin de créer une ingénierie pédagogique pour un pôle de formation construit selon une logique de filière. Il s'agit d'un dispositif fédérateur des acteurs locaux, caractérisé par une forte flexibilité (adapté aux besoins des publics) et par son caractère intégré (solution complète pour la réalisation du projet professionnel) reposant sur l'analyse générale de la relation formation-emploi et sur les besoins liés à l'évolution des branches ou des filières d'activité (dans les domaines de la construction et de l'énergie).

Le projet prend en compte la capacité d'adaptation du territoire et sa concrétisation en potentiel d'action. La démarche du projet s'organise en trois étapes :

- Premièrement, un état des lieux dans les secteurs de la construction et de l'énergie reprenant : une analyse de l'existant en matière de formations, une analyse de l'existant concernant les acteurs de la GPEC et une construction de scénarios intégrant les objectifs du Grenelle de l'environnement à l'horizon 2012, 2020 et 2030 ;
- Deuxièmement, une analyse des impacts du Grenelle de l'environnement sur l'emploi dans les secteurs de la construction et de l'énergie à partir des scénarios élaborés. Il s'agit ici de développer un modèle d'analyse socio-économique intégrant les « Scénarios Grenelle » ;
- Enfin une évaluation de la capacité d'adaptation régionale aux prévisions et à proposer des pistes pour une politique de GPEC territoriale. Cette évaluation se fera par l'analyse qualitative et quantitative des écarts entre les besoins et l'offre de formation, ainsi que par l'exploitation des résultats d'entretiens avec des acteurs régionaux.

Le modèle est construit à partir de données socio-économiques à l'échelle nationale et locale. La déclinaison territoriale doit être définie et est nécessaire pour appliquer cet outil. Celui-ci réalise une projection par hypothèse des emplois induits par les stratégies climat (objectifs du Grenelle de l'environnement). Il s'agit d'un outil dynamique d'analyse « entrée-sortie » d'empreinte environnementale modifiée. Il permet de réaliser un

diagnostic environnemental multicritère qui intègre l'ensemble des secteurs d'activité des territoires. Il étudie la corrélation entre ces secteurs, s'intéresse à l'évolution des secteurs clefs et calcule le niveau futur d'emplois nécessaires par activité afin de pouvoir répondre aux engagements que s'est fixée la France à travers le Grenelle de l'environnement et le Plan Climat.

## **IV.4 Gestion de la transition vers une politique territoriale de l'adaptation**

Ces premiers éléments et notamment les cas des zones urbaines et du littoral, montrent que l'élaboration d'une politique d'adaptation au changement climatique doit prendre en compte tout un ensemble d'acteurs présents sur le territoire. Or les enjeux de chacun d'entre eux et leur niveau de conscience sont très variés. C'est l'un des éléments qui ressort des contributions des groupes thématiques, à partir desquelles nous essaierons d'identifier les jeux d'acteurs (élus locaux, nationaux, responsables du monde économique, citoyens, associations...) et des éléments concernant les échelles territoriales de compétence.

La réussite de cette élaboration et de sa mise en œuvre comporte donc une dimension socio-psychologique forte, fortement liée à la temporalité du sujet. L'organisation d'une réponse adaptée à cette transition, comme le propose Pierre RADANNE, est nécessaire au vue des horizons de décision, d'action et de mesure des effets extrêmement distincts. L'exemple de la montagne l'illustre par la question de la durée de rentabilisation des investissements touristiques.

### **IV.4.1 Contribution des groupes thématiques concernant la gestion d'une transition vers une politique d'adaptation**

Dans l'effort de transversalité réalisé par le groupe « Territoires », une partie des questionnements venait compléter la dimension « analyse territoriale des impacts » avec un volet sur l'organisation territoriale de l'action. Ce questionnement se déclinait selon trois axes :

- Avez-vous identifié une typologie d'acteurs correspondant à la mise en œuvre des mesures d'adaptation, voire une articulation des échelles de compétence ?
- Avez-vous pu aborder, et si oui de quelle manière, la prise en compte de la capacité d'adaptation des territoires et sa concrétisation en potentiels d'action ?
- Avez-vous identifié des outils spécifiques d'analyse des impacts et/ou d'accompagnement des mesures susceptibles d'être applicables au niveau des territoires, et/ou pour lesquels une déclinaison territoriale serait nécessaire ?

Les contributions des groupes permettent d'identifier plusieurs principes guidant l'action vers une politique d'adaptation, sous contrainte de spécificités sectorielles inévitables.

#### **IV.4.1.1 Identification des acteurs, des échelles territoriales de compétences.**

Avant de détailler de manière sectorielle les approches concernant l'articulation des échelles de compétences, plusieurs remarques d'analyse peuvent être faites à ce propos.

Tout d'abord, les contributions vont toutes dans le sens du pragmatisme. Si l'interaction des compétences semble être un atout et un objectif nécessaire à atteindre en matière de gouvernance de l'adaptation, il convient de tenir compte de l'existant. Chaque

approche sectorielle dispose d'une architecture plus ou moins aboutie permettant d'agir de manière efficace et **le travail consiste avant tout en une analyse des manques ou absence de subsidiarité sur les territoires.**

Par ailleurs, les contributions ont également **mis l'accent sur l'articulation avec les acteurs privés.** Si les orientations données par les acteurs publics sont de nature à créer une dynamique de départ, certains impacts et facteurs de vulnérabilité ne pourront pas faire l'objet d'un traitement efficace sans une articulation pertinente avec les acteurs privés dans la prise en compte de leurs décisions spontanées d'adaptation. C'est une référence aux enjeux sur le cadre bâti où la problématique de mobilisation des professionnels du bâtiment, qui, déjà prégnante pour les politiques d'atténuation, vaudra aussi pour l'adaptation.

1) La situation qui semble la plus simple et la plus favorable, du point de vue des compétences et des acteurs, concerne les impacts liés à **l'Eau**. En effet, pour des raisons physiques aussi bien que sociales (répartition séculaire des ressources en eau entre les usages et les utilisateurs), la gestion de l'eau est historiquement organisée par bassin versant. Les huit agences de bassins hydrographiques et les multiples commissions locales de l'eau (CLE) sont la forme actuelle de cette organisation.

Par ailleurs, l'essentiel de la réglementation en matière environnementale dans le domaine de l'eau est d'initiative communautaire, l'Etat étant en charge de la mise en place et du contrôle des règlements et des normes. Ainsi, les acteurs et les compétences sont donc fortement partagées et réparties à 4 niveaux : Europe, France, Bassin et CLE, et la connaissance des acteurs est particulièrement précise.

**2) L'Agriculture et la Forêt** font l'objet d'une gestion administrative plus déconcentrée que délocalisée (contrairement à l'eau), mais le tissu des compétences locales est également très dense, là aussi pour des raisons à la fois physiques, sociales et historiques. La vigne et l'agriculture de montagne ne se gèrent pas de la même façon, les Ardennes et la forêt landaise non plus, mais ces espaces sont connus et pris en charge depuis longtemps. Les caractéristiques pédoclimatiques, sociales, culturelles, etc. sont propres à chaque terroir.

Pour l'agriculture, l'évaluation réalisée dans le cadre du Groupe interministériel et les travaux engagés par le groupe « Agriculture face au changement climatique à l'horizon 2020-2030 ; Adaptation » du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche devraient permettre d'identifier plus précisément les acteurs et les compétences relatives à l'adaptation. L'aspect territorialisé des impacts du changement climatique sur l'agriculture ont été mis en avant par le groupe Agriculture à travers trois couples régions/filières<sup>118</sup> :

- Grandes cultures et incidence sur la répartition des productions (Sud-ouest) ;
- Viticulture (La grande Bourgogne/Languedoc) ;
- Prairies et sécheresse pour aborder les activités d'élevage (Massif central/zone périméditerranéenne).

---

<sup>118</sup> Voir rapport du Groupe Agriculture

Pour la forêt<sup>119</sup>, le rapport Roman-Amat propose un zonage de la France concernant la période 2008-2030, qui pourrait servir de base à une typologie, comportant 6 grandes zones, adaptée à la problématique de l'adaptation.

Tableau 20 – Impact estimé du changement climatique selon la zone (Roman-Amat, 2006)

Zone géographique actuelle	Substitution d'espèces	Croissance et vitalité	Incendies	Érosion
Atlantique Nord	--	--	-	-
Atlantique Sud	--	--	--	-
Nord et Est	-	-	-	-
Montagnard (basse et moyenne altitude)	---	---	--	---
Montagnard (haute altitude)	--	-	-	--
Méditerranée	---	--	---	---

Tableau 5: Impact estimé du changement climatique sur les écosystèmes forestiers selon la zone telle que définie à l'illustration 8 : - faible ou nul; -- moyen; --- majeur.

3) Concernant le **Bâti**, les compétences et les acteurs principaux identifiés au niveau des territoires sont les professionnels du bâtiment (construction, entretien, chauffage, eau chaude et climatisation, réhabilitation). Au niveau administratif, les autorités responsables des permis de construire, leurs services techniques et les DDE constituent un maillage territorial fin.

4) Pour les **Risques Naturels**, l'identification des acteurs et des compétences diffère totalement en fonction du risque appréhendé. Les gestions des tempêtes, des avalanches et des incendies de forêts n'ont que peu de choses à voir entre elles. L'identification est aujourd'hui partielle.

5) Le groupe **Biodiversité** a établi une typologie d'acteurs en 5 catégories, qui sera précisée ultérieurement :

- l'administration centrale et ses services déconcentrés (différents ministères concernés) ;
- les collectivités territoriales, et les gestionnaires d'espèces et d'espaces ;
- les instituts de recherche, les établissements publics à caractère scientifique et technique ;
- la société civile : les associations et ONG environnementales, les entreprises privées, bureaux d'études, les fédérations professionnelles et syndicales ;
- la Commission européenne et les accords internationaux<sup>120</sup>.

6) Le groupe **Energie** n'a pas identifié à ce stade d'acteurs territoriaux. Est néanmoins mise en avant une forte différenciation régionale concernant certains impacts du changement climatique sur la consommation d'énergie, à travers des études de cas sur trois localisations spécifiques : Agen, Lille et Strasbourg<sup>121</sup>. Les résultats de cet exercice montrent que, selon la localisation géographique, le changement climatique pourrait

<sup>119</sup> Voir le rapport du groupe Forêt

<sup>120</sup> Convention Biodiversité et al

<sup>121</sup> Voir rapport du groupe Energie

avoir des impacts diamétralement opposés. La problématique de l'adaptation ne sera pas la même selon le territoire considéré.

7) **Le groupe santé** a souligné les carences actuelles en termes de connaissances et d'observation des catastrophes sanitaires et des structures localisées de traitement des pathologies.

- Manques autour des résultats issus des études actuelles qui ne permettent pas de disposer d'une vision homogène sur le territoire des impacts du changement climatique ;
- Manque de connaissances de l'efficacité des dispositifs de prise en charge face à une catastrophe et non représentativité des personnes touchés par ces catastrophes ;
- Complexité des facteurs à prendre en compte dans le calcul des coûts (dimension socio psychologique des impacts du changement climatique, nécessité de mesurer le retentissement de la morbidité en termes de coûts indirects et de coûts intangibles).

Au-delà de ces contributions sectorielles qui font un point clair sur les tentatives ou l'absence de territorialisation, il était indispensable de mesurer les efforts consentis localement pour affronter ces nouvelles questions. Il fallait passer d'une analyse à partir des « milieux » à une prise en compte plus réaliste des territoires considérant à la fois les milieux, les ressources, les acteurs et leurs activités.

Le groupe a donc analysé l'état de l'art dans trois types de territoires spécifiques, le littoral, la montagne et l'urbain.

#### **IV.4.1.2 Soutenir et développer la capacité d'adaptation des acteurs locaux**

Les contributions des groupes « Eau », « Agriculture » et « Forêt » mettent d'abord l'accent sur la consultation des acteurs en amont afin d'identifier leurs perceptions d'une part mais également leurs propositions pour faire face à cette problématique.

Le groupe « Forêt » exprime **les besoins de prise de conscience du changement climatique, d'une meilleure connaissance des impacts locaux, une force de proposition sur des premières mesures (ce qui rejoint les propositions de Pierre RADANNE, ci-après) et une phase de test de ces mesures auprès d'échantillon d'acteurs.**

Dans la même dynamique, le groupe « Eau » présente une initiative intéressante de consultation publique sur la gestion de la ressource en eau (voir Encadré 37).

### Encadré 37 - Initiative de consultation publique dans le domaine de l'eau

En application de la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE), une démarche spécifique de consultation du public est prévue dans le cadre de l'élaboration des plans de gestion de chaque district hydrographique. En 2008, une consultation a été organisée sur les projets de SDAGE et de programmes de mesures pour la période 2010-2015.

La consultation a atteint une ampleur exceptionnelle : près de 28 millions de questionnaires papier ont été diffusés en métropole. Au niveau national, près de 360 000 questionnaires ont été retournés soit 1,3% du total émis, taux tout à fait satisfaisant pour ce type de démarche.

Globalement, l'objectif fixé (en termes de date et/ou de proportion d'atteinte du bon état des eaux) est peu remis en cause. Sur le bassin Loire-Bretagne, 60% des personnes jugent qu'il faut aller plus loin pour obtenir de meilleurs résultats dès 2015.

De nombreuses actions générant des coûts supplémentaires sont soutenues, parfois à la quasi-unanimité, mais la réticence est simultanément très forte face à la perspective d'une hausse de la facture d'eau des ménages. Cela est à rapprocher de l'attachement très large à l'application du principe pollueur-payeur et au rééquilibrage des contributions entre groupes d'utilisateurs que cela pourrait entraîner.

La disposition à agir est très forte : l'évolution des comportements individuels (économies d'eau, tri des déchets, etc.) est ainsi largement validée voire déjà effective (plus délicate cependant lorsqu'elle génère des dépenses supplémentaires). Toutefois, le public souhaite que les autres groupes d'acteurs s'impliquent également et prennent eux aussi leurs responsabilités. Cela vise principalement les agriculteurs et les industriels.

Cette initiative vient illustrer l'intérêt d'une concertation (qui prendrait une forme *ad hoc*) dans la mobilisation des acteurs et dans l'identification et le développement d'un potentiel d'action.

Le groupe « Agriculture » ajoute une dimension **liée à l'attachement au « terroir »** dans le cas de la viticulture et plus généralement à « l'image rendue » suite à l'identification d'un impact sur le territoire. Si les techniques existent, la principale limite reste souvent la crainte des viticulteurs d'admettre la nécessité de modifier les pratiques et de montrer que « ça va mal chez nous » et ainsi de dévaloriser le terroir (au-delà des questions de cahier des charges des AOC, etc.).

Pour le groupe « Infrastructures de transport et cadre bâti », **la capacité d'adaptation est le fruit d'une mise en relation des compétences et des capacités d'expertise.** Pour exemple, le groupe cite le risque d'inondation pour lequel le potentiel d'action est étroitement lié à la capacité de mise en cohérence des programmes de prévention et d'une politique structurée d'adaptation au changement climatique.

#### IV.4.1.3 La mise à disposition d'outils d'analyse et d'accompagnement

Comme évoqué dans les objectifs du groupe « Territoires », la mise à disposition d'outils est l'une des clefs d'entrée des politiques d'adaptation et étroitement liée avec l'expression de la capacité d'adaptation des territoires. On distingue les outils d'analyse des impacts qui vont relever directement d'un effort de recherche national et les outils d'accompagnement des politiques qui vont constituer une mise en cohérence de politiques nationales avec les exercices de planification structurant des territoires.

**Pour les outils d'analyse d'impacts,** les groupes sectoriels ont évoqué plusieurs éléments qui relèvent en partie d'initiatives sectorielles tels les outils de diagnostics

énergétiques (bilan offre-demande d'énergie), la plateforme européenne de données sur l'eau (WISE) ou globalement les efforts de structuration de la recherche fondamentale et appliquée sur la question de l'adaptation. Ce dernier point doit s'accompagner d'un travail interdisciplinaire afin d'appréhender des conflits d'usage, notamment pointé par le groupe biodiversité, transversal à un grand nombre de milieux ou territoires.

**Concernant les outils d'accompagnement**, on peut restituer les contributions des groupes autour de trois idées fortes : l'adaptation se structure, comme toute mise en œuvre de politique, autour du **besoin de données d'entrées pour caractériser les enjeux, d'un outil de structuration des actions et d'une démarche de communication autour de ces enjeux voire *in fine* des résultats des actions mises en œuvre.**

En conséquence, les groupes sectoriels s'accordent sur le **besoin de structurer l'observation**, ce qui inclut l'analyse d'impacts mais également l'appui aux travaux de déclinaison territoriale des modèles climatiques, de l'observation de la migration des activités. En ce sens, on en revient pour le groupe « eau » à l'évocation de la plateforme d'informations WISE ainsi que l'initiative de structuration de cette information dans le cadre d'un travail porté par l'ONEMA.

Par ailleurs, les contributions des groupes sectoriels mettent en **exergue l'importance des outils de planification ou d'organisation de la démarche territoriale**. Ils sont nombreux et n'appréhendent souvent qu'une partie des enjeux, ce qui nécessite de réfléchir à la bonne articulation de ces documents. Les exemples cités sont les suivants :

- Gestion de l'eau : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) au sein de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) ;
- Urbanisme et aménagement du territoire : les SCOT, les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) ;
- Risques : Plans de Prévention des Risques (PPR).

Au-delà des documents stratégiques, il faut veiller à la cohérence des outils, notamment les aides financières utilisées pour mettre en œuvre les objectifs définis dans les documents stratégiques. Ainsi, dans les secteurs agricole et forestier, voici quelques exemples de ces outils :

- Agriculture : Programme de Développement Rural Hexagonal 2007-2013 (le PDRH comprend un ensemble d'aides européennes), CPER et aides nationales
- Forêt : Le PDRH comprend notamment le Plan de développement de massif, la Charte forestière de territoire...

Les groupes thématiques évoquent **également l'importance de l'accompagnement par la formation des acteurs aux outils** et la conditionnalité qui peut être assortie aux exercices de programmation budgétaire régionaux.

#### **IV.4.2 Perception et évolution des comportements face au changement climatique**

Même si une prise de conscience collective commence à émerger dans le domaine du changement climatique, force est de constater que le traitement et l'approche de ce sujet restent principalement scientifiques.

Pierre RADANNE, par une approche socio-psychologique qui lui est habituelle des évolutions de la société, a ainsi **mis en évidence plusieurs freins mais aussi les**

**relais potentiels** pour réussir à faire basculer l'ensemble de la société dans l'action en matière de lutte contre le changement climatique.

#### **IV.4.2.1 Une perception faible et ambiguë qu'il faut compléter par des instruments appropriés**

Au premier plan, **les médias**, qui jouent le rôle de relais des messages, sont en partie responsables des perceptions par l'influence qu'ils exercent sur nos représentations. En exposant de manière résumée les constats sur les effets du réchauffement climatique, ils **participent à une prise de conscience minimale et à la création d'une vague ambiance d'inquiétude pour l'avenir**. Au niveau international, les enjeux sont complexes et s'exercent dans une logique de négociation qu'il est difficile de restituer simplement. De ce fait, les médias s'en écartent et ne rendent pas compte des enjeux de modification de mode de croissance et de développement économique que le changement climatique va induire, au niveau de la société comme au niveau individuel.

Sur le plan de la prise de conscience, le « pacte écologique » proposé par Nicolas Hulot lors de la présidentielle de 2007, a nettement contribué à l'intégration de la lutte contre le changement climatique dans les enjeux politiques majeurs. Cependant la **question de la modification des comportements individuels reste en retrait**.

Dans un même temps, le monde économique, quelles que soient les positions propres des entreprises, a pris conscience de cette évolution et l'utilise plus dans le cadre de la gestion de son image.

Enfin, la mise en œuvre d'une **formation auprès des jeunes générations**, qui vivront les effets du changement climatique, est particulièrement légitime dans cette démarche d'information du citoyen/consommateur.

Paradoxalement, l'évolution doit intervenir très vite alors qu'il n'y a pas de modèles déjà préconçus vers lesquels s'orienter. Situation d'autant plus complexe que l'évolution ne peut être que partagée et collective ; et qu'il s'agit (globalement) de s'approprier d'abord une démarche de restriction sans que soient perceptibles à court terme les gains envisageables.

#### **IV.4.2.2 Des modèles à recycler...**

De plus, dans le modèle industriel actuel, le progrès est un moteur à forte intensité thermique. Le principe de progrès n'étant pas remis en cause, ce dernier ne peut plus faire, dans ce nouveau cycle économique à construire, l'économie d'une étude globale d'impact, préalable et systématique.

Ainsi, la consommation, modèle du plaisir, doit être abandonnée : le développement durable n'est pas compatible avec une vision de l'être humain réduit à une fonction de satisfaction hédoniste et égoïste. La réduction des coûts et des impacts induits par la production de masse ne doit pas être menacée par le phénomène capitaliste de stimulation du marché.

En conclusion de cette analyse, il s'agit notamment de parvenir à porter un message difficile, d'élaborer un schéma de croissance qualitative et de conférer une valeur aux productions de la nature.

#### IV.4.2.3 Des propositions d'instruments pour servir un nouveau modèle

Afin de répondre à ces défis, il apparaît indispensable à Pierre RADANNE d'avoir recours aux instruments proposés par l'ethnologie, l'anthropologie, la sociologie et la psychologie.

Le premier écueil auquel est confrontée cette démarche est le paradoxe suivant : les pays occidentaux sont les principaux responsables de la situation actuelle et semblent se saisir de l'avenir de la planète comme l'occasion de formuler une nouvelle vision du monde, qui pourrait faire l'impasse sur les pensées alternatives non occidentales.

Dans un contexte où c'est le regard porté par l'homme occidental sur le monde qui a changé et non le monde lui-même, serons-nous suivis lorsque nous évoquons nos angoisses ?

Deuxième difficulté : le fait social total interrogé par le phénomène du changement climatique est la lutte contre ce changement, qui est appelée très rapidement à devenir un processus de fonctionnement général des sociétés en survie. Ce sont moins les institutions sociales, qui en seront issues, qui comptent que la manière dont elles vont impliquer dans toutes leurs activités, la totalité des individus en tant que collectivités d'individus.

Or la perception des effets du réchauffement climatique a une charge émotionnelle forte dans la mesure où ce dernier est supposé mettre immédiatement en jeu la survie de la civilisation occidentale, et par extension du reste du monde. Cette perception recouvre une dimension messianique de catastrophe définitive, de fin du monde.

La résolution du problème est cependant du seul ressort de ses acteurs : il en résulte une sorte de culpabilisation, une angoisse diffuse, qui s'accompagnent d'une torpeur, produit du décalage constaté entre la prise de conscience assez avancée des individus et l'inertie (supposée) des décideurs.

Afin d'engager une dynamique vertueuse, il est nécessaire d'avoir identifié les éléments suivants :

- L'attitude d'un individu n'est pas la résultante de ses opinions en accord avec ses comportements. Il convient donc, pour modifier les attitudes, de disposer d'arguments concrets qui correspondent à la réalité des destinataires du message et à une vision de l'avenir qu'il puisse partager ;
- L'angoisse peut entraîner des comportements de fuite ou d'évitement face à la réalité : dénis du fait originel (refus du sujet), amnésie (tendance à différer l'introduction des ruptures), replis nationalistes, religieux et culturels, replis sur la sphère privée (dimension mondiale du changement climatique, perte de repères et repli sur des valeurs sources du groupe social) ou encore de replis sur les intérêts immédiats et financiers ;
- Le changement au niveau individuel se nourrit et construit en parallèle une chronique, une histoire collective de ce changement. Il est alors étonnant que les intellectuels ne se saisissent pas du sujet, alors qu'ils ont un rôle dans la construction et l'identification de groupes de référence, puissant prisme vulgarisateur du changement.

#### **IV.4.2.4 Stratégie d'ensemble pour un passage à l'acte réussi**

Que ce soit en matière d'adaptation ou d'atténuation, l'implication de l'ensemble des acteurs, de l'individu aux élus nationaux en passant par l'ensemble des décideurs, est nécessaire.

Au-delà des politiques globales, les comportements de vie peuvent aisément évoluer, à condition d'adopter une nouvelle discipline de vie allant de l'adaptation de son mode de vie à un changement radical. Afin de donner un cadre cohérent, mais aussi d'ordonner les priorités internes pour la mise en œuvre des engagements internationaux, une implication claire du politique est indispensable, relayée et appuyée par les acteurs de la vie économique et associative. L'appui médiatique important nécessaire se heurte toutefois au manque de réalisation constatable.

Une démarche vertueuse pourrait être organisée selon les étapes suivantes :

- Impulsion : définir de nouveaux objectifs aux fabricants et aux distributeurs. L'intervention ne doit pas se faire par le biais de normes, mais en matière de lisibilité des coûts induits. L'adhésion de minorités actives, de personnalités emblématiques doit être recherchée ;
- Entraînement : une action de communication massive à ce moment pourra accélérer ce phénomène. Il sera alors pertinent à la fois de définir un *corpus* de bonnes pratiques et d'introduire les premiers signes d'une répression économique et sociale ;
- Politisation : l'extension de la « zone de conflit » touchera les forces politiques en fonction des enjeux de positionnement des individus dans ce domaine. L'exemple, la vertu et la sanction seront politiquement identifiés et le citoyen aura la possibilité d'entrevoir une sortie politique, une société conforme à cet idéal.

Ce constat souligne l'importance de l'approche de l'adaptation par les territoires, structures sociétales, mais aussi de la durée sur laquelle doit être engagée la démarche.

#### **IV.4.3 Synthèse des quatre enquêtes de Lucien SFEZ sur l'adaptation au changement climatique : les stations de ski des Alpes de Haute Provence (Pra Loup et Le Sauze), la situation du littoral en Camargue, l'analyse des cas du Champagne et du Bordelais.**

Une adaptation réussie au niveau d'un système, repose sur trois conditions : un équilibre entre unité et division, une ouverture mesurée aux échanges, un niveau technologique satisfaisant<sup>122</sup>.

##### **IV.4.3.1 Entre unité et division, trouver un équilibre**

Une unité politique trop centralisée ne permet pas de décisions adaptées à une situation de crise, car un grand nombre de paramètres qui varient avec la crise, échappent au pouvoir central et la direction que ce pouvoir imprime à l'ensemble est alors rigide. A l'inverse trop de divisions du pouvoir nuisent. Entre ces deux pôles, on peut trouver un équilibre entre direction centrale et autonomie locale, avec un organe de transmission et de négociations.

---

<sup>122</sup> Ces conditions sont empruntées à Diamond, 2000.

Tel est le cas de la Champagne où n'existe qu'un seul produit, le Champagne (même si bien sûr il existe des nuances de qualité) avec le comité interprofessionnel du vin, le CIVC, organisme de contrôle et de décision jouant les intermédiaires avec beaucoup de souplesse et d'efficacité.

Tel est également le cas à Pra Loup dont la population est plus diversifiée qu'à Le Sauze, qui est moins centré sur une mémoire commune et beaucoup plus sensible aux questions d'environnement et où quelques pistes pour transformer ou tout au moins modeler l'activité principale sont déjà imaginées.

A l'inverse Le Sauze apparaît comme un système uni mais beaucoup trop rigide : la réponse autocratique du propriétaire de la station bloque toute adaptation possible : il faut continuer, quitte à se servir de canons à neige.

Quant au Bordelais et à la Camargue, ils constituent eux des systèmes beaucoup trop éclatés.

Ainsi dans le Bordelais l'on rencontre une vraie difficulté d'avoir une stratégie unifiée, difficulté tenant à l'étendue du territoire, à l'éparpillement des vignobles et aux disparités dans la qualité (liée notamment aux différences de composition des sols) qui n'est pas compensée par une structure interprofessionnelle forte, capable non seulement d'informer mais d'orienter.

De même en Camargue, où la division l'emporte, avec l'éclatement des territoires et des organes de gestion multipliés jusqu'à l'absurde.

Camarguais comme Bordelais se félicitent de cette diversité qui fait d'après eux leur qualité première, et où ils fondent leur identité.

#### **IV.4.3.2 Etre ouvert aux échanges**

C'est le cas du Champagne, où la forte identité qui refuse la transformation est compensée par un négoce très actif, ouvert, qui maintient le vin sur le marché, tous intérêts confondus pour la défense et l'illustration de la marque « Champagne ».

De même à Pra Loup où les élus ont des relations avec le « Centre » (niveau national et niveau européen).

C'est en revanche le point noir de Le Sauze, recroquevillée sur elle-même ou encore du Bordelais.

#### **IV.4.3.3 Un niveau technologique suffisant**

L'invention ou l'emprunt de technologies sont des conditions indispensables à l'adaptation.

Nous avons présenté les conditions nécessaires au fonctionnement des systèmes d'acteurs pour qu'ils puissent s'adapter mais il n'en reste pas moins que le passage à l'acte n'est pas évident, il faut encore une bonne appréhension et des menaces et des solutions possibles. Ainsi, et à l'inverse, les échecs d'adaptation peuvent être imputés aux manques listés dans les paragraphes suivants.

#### IV.4.3.4 Le manque d'anticipation

Pour anticiper ce qui va se produire, encore faut-il avoir eu l'expérience de l'événement, ou, au moins, un repère pour imaginer ce qui peut se produire. Il y a des cas où l'anticipation ne peut se faire faute de données satisfaisantes<sup>123</sup>.

En Champagne, les spécialistes ne peuvent pas anticiper ce qui se passerait s'il y avait 4 degrés de plus de température. Ils n'ont aucune donnée qui leur permette de répondre à une telle question. S'ils en parlent comme d'une possibilité, il s'agit cependant d'une *anticipation* « vide ». *On agite une image que l'on ne sait pas remplir*. C'est la raison d'un certain blocage, qui fait obstacle à l'adaptation.

#### IV.4.3.5 Le défaut de perception

On ne s'aperçoit pas toujours du problème posé par l'environnement. C'est le cas du réchauffement climatique : nombre des interlocuteurs, dans chacun des cas traités, sont réticents. « Je ne sais pas, je ne peux le percevoir : on le dit, alors je le crois ... » Pourquoi ce refus de percevoir ? Parce qu'il s'agit là au niveau de notre perception d'homme d'un réchauffement fluctuant de façon erratique d'une année sur l'autre.

Deux exemples de défaut de perception :

- A Arles, qui est à environ 40km de la mer, on perçoit fort bien le danger que représente la montée de la mer. Cette perception s'accroît au fur et à mesure que l'on s'approche de la côte, ainsi en est-il à la Tour du Valat ou au Parc régional situés tous deux à une vingtaine de kilomètres du rivage, mais tout près, aux Saintes-Maries ou à Salin-de-Giraud, cette perception disparaît brusquement. Personne ne veut quitter les lieux, et presque tous minimisent la menace. Il en est de même, nous dit Diamond, dans le cas d'un barrage situé dans une étroite vallée sinistrée : la peur atteint son paroxysme à quelques kilomètres du barrage et disparaît brutalement parmi les habitants proches du barrage. L'aveuglement, ici, tient à la présence continue d'une angoisse qu'on s'efforce d'oublier, avec toutes les conséquences désastreuses que peut avoir un tel déni d'évidence. Au mieux, on ironise pour tenir le mal à distance : « Si ça continue, on dira 'Saintes Maries-sous-la-Mer' », comme le dit un membre du conseil de village de Salin-de-Giraud. On voit bien qu'ici il ne peut y avoir adaptation. La réponse du groupe sera forcément inadéquate.
- Même déni à Le Sauze où le manque de neige était patent, et où le propriétaire de la station affirmait le contraire. Là encore pas d'adaptation possible, seulement quelques réparations, nécessairement provisoires quand elles ne sont pas désastreuses pour l'environnement, comme les canons à neige de Le Sauze.

#### IV.4.3.6 L'incapacité de trouver une réponse

Il n'existe pas de réponses simples, univoques et, pire, dans bien des cas les réponses sont pleines de paradoxes qui souvent immobilisent la décision et bloquent l'adaptation.

La volonté de réduire les émissions de gaz, d'une part, et de s'adapter au réchauffement climatique d'autre part, peuvent parfois tirer dans des directions opposées et provoquent

---

<sup>123</sup> Jared Diamond donne l'exemple des renards et des lapins introduits en Australie : les Américains ne pouvaient anticiper le désastre que causerait cette introduction, pas plus que les Mayas n'avaient pu prévoir que la déforestation éroderait les collines et combleraient leurs vallées fertiles.

des situations dites « indécidables », sur le modèle du *double bind* étudié par les psychologues de Palo Alto<sup>124</sup>.

L'exemple le plus frappant est celui des agro-carburants. D'un côté, l'économie en CO<sub>2</sub>, favorable à la réduction des gaz à effets de serre, mais de l'autre la consommation d'eau accrue pour irriguer les plantations destinées au carburant, et les grandes surfaces nécessaires, prélevées sur les terrains à céréales : Où est le bénéfice ? Que faut-il encourager ? Comment décider ?

Autre exemple, celui-là particulier à la Champagne : le réchauffement climatique est favorable à la vigne, les résultats dépassent les espérances, la récolte n'a jamais été aussi importante en qualité et en volume. Faut-il adapter les nouvelles conduites de la vigne à ce réchauffement de façon à optimiser les résultats ? Ou bien réduire cette envolée pour préserver le sol et réduire les émissions ? Cela signifierait arrêter les traitements, ou les contrôler drastiquement. Réduire les transports ? Cela signifierait réduire les échanges commerciaux, et le commerce en général. Changer emballages et verres ? Cela signifierait supprimer la typicité des marques. Que resterait-il de l'activité champenoise, des emplois et des profits ?

Enfin, la mémoire tient un rôle de premier plan dans la capacité d'adaptation des systèmes. Trop bien ancrée, commémorée, elle contribue à l'immobilisme, avec le sens d'une identité fondée sur le passé et donc inaltérable.

Si Le Sauze entend persévérer dans la même direction, vers le tout ski, c'est bien pour suivre la tradition en comptant sur la technique pour penser l'adaptation à sa place.

En revanche, si Pra Loup pense diversement l'avenir, c'est qu'il n'a pas de traditions à préserver ni d'héritage à transmettre. Le présent, à Pra Loup, se porte naturellement vers l'avenir, non comme sa continuation mais comme son devenir, ouvert à la pluralité des possibles.

Une mémoire constituée, révérée, quasi sanctifiée est de celle qui fige un groupe dans des rites sinon dans des rituels. Ce type de mémoire se constitue généralement autour d'une origine prestigieuse, effaçant du même coup ce qui était là avant la fondation. Ce n'est donc pas une mémoire entière, mais une mémoire tronquée qui se présente comme toute la mémoire, celle qui tient lieu d'identité. C'est ce type de mémoire qui semble régir la microsociété de Le Sauze, lui donnant un aspect à la fois archaïque et féodal. Il en va de même en Bordelais.

Or toute adaptation met en péril les constructions de mémoire qui forment la base de l'identité. « Tourner un bouton dans sa tête » selon l'expression d'un des interlocuteurs, n'est pas chose aisée ; il faut inverser un certain nombre d'habitudes établies, apprendre à penser différemment, accepter ce qu'on jugeait inacceptable jusque là, et « faire avec » plutôt que d'essayer de « faire contre ».

Si la mondialisation exige un changement d'échelle dans les problèmes de l'identité, un changement de plus grande envergure qui affecte la planète et menace la survie humaine : le changement climatique, fait nécessité d'adopter une stratégie de mémoire entièrement différente : au lieu de faire revivre des éléments du passé, chronologiquement (par exemple, le passé glorieux de Bordeaux, sa fameuse place de marché, ses stars du vin), c'est une *mémoire orientée* qu'il faut développer.

---

<sup>124</sup> Voir à ce sujet : Watzlawick *et al.*, 1979, p.213. Voir aussi Bateson : *Culture contact and shismogenis*, Man, 1935, p.178. et *Vers une écologie de l'esprit, Le Seuil*, 1977, t.1. pp.83 et sq.

Qu'est ce qu'une mémoire orientée ? C'est celle que l'on construit à part de scénarios du futur. Il s'agit là de stratégie prospective. Les scénarios, on le sait, jouent un rôle important dans la vulgarisation des résultats scientifiques concernant le changement climatique. Outre les qualités indiscutables de la méthode des scénarios connue depuis les années 50, la **possibilité de mettre ces scénarios en cartes, en schémas et même en images** est un atout important : cela permet d'imaginer des séquences alternatives à partir de situations données. Et surtout de les vulgariser aisément : les images-chocs de futurs possibles sont plus « parlantes » qu'une accumulation d'arguments.

#### **IV.4.4 Le cas particulier de la représentation du changement climatique par les touristes français**

L'économie touristique a une vertu, celle de n'être pas délocalisable mais contrebalancée par un défaut celui de se concentrer de manière déséquilibrée dans des zones naturelles fragiles (montagne, littoraux) qui ont été partiellement artificialisées. Toutefois, la part non négligeable du tourisme dans le PIB national (6,5%) et le volume d'emplois déployés dans les territoires font de cet ensemble d'acteurs publics et privés un interlocuteur incontournable dans le cadre de l'évolution des territoires concernés et des contraintes auxquels ils vont se trouver confrontés.

Les travaux, qui ont été engagés, renvoient aux orientations méthodologiques qui ont été prises sur les territoires spécifiques que sont les massifs de montagne et le littoral, et soulignent la complexité de l'appréciation, de l'appropriation et des actions à mettre en œuvre face à l'évolution du climat.

##### **IV.4.4.1 Vulnérabilités territoriales : difficultés d'estimation**

Une difficulté majeure d'estimation de l'impact du changement climatique est en fait liée à la grande variété des « espaces-temps » touristiques de l'Hexagone, combinaisons diverses d'attraits naturels, culturels, artificiels, avec des enjeux économiques liés au tourisme plus ou moins forts. De plus, ces territoires sont les lieux d'une recombinaison et d'une mutation des usages des espaces et des temps : hybridation entre des pratiques touristiques et résidentielles, entre le quotidien et les vacances, entre naturel et artificiel...

Ainsi les économies territoriales voient s'imbriquer de façon croissante les fonctions résidentielles, économiques et récréatives, ce qui rend d'autant plus malaisé une mesure d'impact. Le loisir et le tourisme sont de plus en plus à l'origine de nouvelles formes de territorialisation et d'enjeux de gouvernance. A cette complexité correspond une variabilité importante de la vulnérabilité des territoires touristiques, dont l'estimation ne peut s'effectuer valablement qu'au plus proche des territoires touristiques. Ce alors qu'un déficit de connaissances régionalisées existe, hormis concernant le massif Alpin<sup>125</sup>, et bientôt grâce à l'étude en cours sur le Grand Sud-est (ACT).

Autre impératif, celui qui implique de resituer le facteur climatique dans l'ensemble des facteurs d'évolution qui font évoluer ces « systèmes touristiques localisés » : parmi lesquels la montée en puissance des impératifs de compétitivité et de qualité, les nouvelles pratiques récréatives à l'échelle internationale, les reconversions résidentielles des territoires touristiques (tant en moyenne montagne que sur le littoral)...

---

<sup>125</sup> notamment étude OCDE 2007

Ces systèmes peuvent être dans un avenir plus ou moins proche être fortement impactés par une éventuelle rétraction des mobilités (dont celles de tourisme), qui seraient liées à la hausse tendancielle du coût des déplacements (avion et voiture). Sachant qu'au final, les touristes gardent l'entière liberté d'adapter leurs comportements de consommation touristique et d'effectuer les arbitrages qu'ils estiment nécessaires.

#### **IV.4.4.2 Représentation et acceptabilité du changement climatique par les touristes : La perception est faible, les stéréotypes sont enracinés.**

*Cette section propose une analyse de l'enquête réalisée dans le cadre du groupe Tourisme. Le lecteur se reportera au rapport de ce groupe pour une description de la méthodologie d'enquête et les résultats détaillés.*

L'analyse effectuée en phase 1 du Groupe interministériel, avait conclu à l'impérative nécessité d'améliorer la connaissance des représentations, attitudes et comportements des différents acteurs touristiques, tant clients qu'opérateurs. Nécessité renforcée depuis par le travail de Lucien Sfez (pour le compte de l'ADEME, présenté au sein du groupe « Territoires ») concernant « l'analyse des attitudes face au changement climatique », qui met en évidence notamment les différentes temporalités des acteurs.

En cofinancement Direction du tourisme, MEEDDM (CGDD) et la DIACT, a ainsi été lancée une étude sur « les représentations et attitudes des touristes relativement au climat et à la météo », qui fournit d'ores et déjà quelques indications sur ce sujet.

La « sensibilité au climat », et donc aux éventuels impacts du changement climatique en matière touristique, est différenciée en fonction de l'origine géographique des touristes : ainsi les résidents des régions de l'Est et du Bassin Parisien figurent en tête des personnes sensibles ; alors qu'à l'inverse les touristes originaires des régions Ouest, Sud-ouest et Méditerranée ont une attitude moins inquiète vis à vis du facteur climatique. Le poids du lieu de vie est à considérer, y compris quant à l'impact touristique du changement climatique.

Cette sensibilité s'exerce principalement à l'encontre d'un temps « anormalement pluvieux et froid », beaucoup plus que face à une éventuelle « canicule ». Si une majorité d'enquêtés envisagent de changer de destination, d'hébergement ou d'activités dans le premier cas, la perspective d'une canicule suscite moins de craintes. Car de fait la chaleur est perçue comme un bénéfice par une majorité de répondants, elle est synonyme de vacances, d'été et de rupture avec le quotidien.

A l'extrême, elle est porteuse de représentations liées à une proximité retrouvée avec la nature. La canicule de 2003 en France est perçue comme étant d'une moindre amplitude que dans les pays du Sud. Alors que son souvenir est encore bien présent dans les mémoires, on pense être désormais plus à même d'adopter les bons comportements, si le même phénomène climatique venait à se reproduire.

Aux idées de « réchauffement » ou de « changement » climatique, les répondants préfèrent celle de « **dérèglement climatique** », témoignant d'un ressenti en décalage avec l'information transmise par les médias. Le terme renvoie à la perception d'une caractéristique essentielle du changement climatique : l'imprévisibilité. Le phénomène, bien que préoccupant, apparaît déconnecté des réalités quotidiennes. Ainsi, les risques d'inondations liés à des phénomènes extrêmes éventuellement croissants sont évoqués, mais pour des pays lointains et mal connus.

Probablement y a-t-il une sous-estimation par certains répondants de leur vulnérabilité vis à vis de leur tolérance à la chaleur (notamment les personnes âgées) ; mais cet enseignement de l'étude doit nous inciter à un recadrage des messages « d'alerte canicule » en matière touristique : en mettant par exemple en valeur les effets indirects (type sécheresse, risques, difficultés en matière de transports...) autant que la seule hausse des températures.

#### **IV.4.4.3 Représentation et acceptabilité du changement climatique par les grands opérateurs touristiques**

La succession d'expériences météorologiques variées font oublier les tendances lourdes. Les priorités sont liées à une échelle temporelle plus courte que celle d'un changement climatique avéré.

Il semble que la sensibilisation des opérateurs sur la nécessaire adaptation de leurs équipements face au changement climatique soit encore faible, même au niveau des grands groupes, pourtant dotés de cellules « développement durable » ou de « tourisme responsable ».

Ces nouvelles organisations et actions témoignent certes d'une prise de conscience par les grands opérateurs touristiques de la nécessité de démarches de maîtrise de l'impact environnemental de leurs activités. Ce d'autant plus que ces actions constituent de fait, en matière de différenciation marketing, une « nouvelle frontière stratégique ». Mais ces actions ressortent plutôt du versant de l'atténuation des émissions de GES, que d'une bonne anticipation par rapport au changement climatique.

Pour les opérateurs touristiques de la montagne d'hiver, pourtant sensibilisés par une décennie « en dents de scie », l'impact démobilisateur d'une bonne saison d'hiver telle celle de l'hiver 2008-2009 est réel. Les stratégies d'enneigement artificiel, aujourd'hui largement adoptées, malgré leur impact environnemental, semblent constituer pour ces acteurs les seules stratégies d'adaptation efficaces et suffisantes, au moins dans l'immédiat.

Les stations d'altitude, qui s'imaginent comme les « gagnantes » face au changement climatique, du fait du repli possible de la clientèle-ski vers les sites les moins exposés, ne prennent pas non plus véritablement en compte l'importance des travaux de mise aux normes qu'elles vont devoir entreprendre en matière de lutte contre l'émission des GES. Ni les difficultés qu'elles vont rencontrer face au déficit de qualifications existantes en la matière (conception et réalisation).

Un ensemble de freins, voire de blocages, restent de ce côté à analyser finement et à lever progressivement. En particulier pour, dans une phase de transition, aider les acteurs à raisonner selon une double échelle de temps : celle du chiffre d'affaires à court terme ; et à plus long terme, celle de la pérennité des activités et des destinations touristiques.

#### **IV.4.4.4 Mise en questions de l'adaptabilité des activités touristiques**

Qu'en est-il en fait des capacités d'adaptation effectives des territoires et destinations touristiques ? Certes, le secteur a fait la démonstration ces dernières années de son adaptabilité, du côté des comportements des clients comme concernant la réactivité de l'offre, face aux crises successives (celle en cours bien sûr, mais aussi celle « post-11 septembre 2001 »). Adaptabilité également en réponse à la montée considérable de la pression concurrentielle, nationale et internationale (via *l'e-tourisme* notamment). Pour

autant, ces capacités de « résilience » traditionnelles du secteur sont-elles également partagées dans les territoires ? On peut légitimement s'interroger, notamment au vu des difficultés de mise en place, à différents niveaux territoriaux, d'une politique « Qualité » dans le secteur...

Plus largement, on peut aussi faire l'hypothèse que le changement climatique pourrait contribuer à un éventuel « épuisement » de certains modèles, de toute façon voués à de profondes restructurations. Ainsi, les nouvelles pratiques récréatives basées sur la mixité tourisme-loisirs de proximité et sur la diversification d'activités, portent en germe une possible reconfiguration de certains modèles touristiques. Le changement climatique peut servir de révélateur voire d'accélérateur des difficultés dont souffrent un certain nombre de destinations touristiques, pour ce qui serait d'une fracture éventuelle entre grandes et petites stations ; révélateur également – s'il le fallait – de la difficulté d'établir de nouvelles formes de gouvernance territoriales ; la question posée alors étant celle du renouvellement des politiques publiques de développement durable du territoire.

Enfin, les évolutions climatiques peuvent également accélérer l'artificialisation croissante des activités et sites touristiques, tant l'artificialisation physique, avec le développement d'activités « hors-sol », dégagées des contraintes naturelles des sites (et donc en partie du climat local), que s'agissant de l'artificialisation culturelle qui peut aller de pair (« disneylandisation »). De fait, on peut formuler l'hypothèse que cette tendance à l'artificialisation des sites et pratiques touristiques pourrait aller croissant, peut-être portée par un changement de paradigme par rapport à la nature. Changement qui amènerait, en une boucle de rétroaction négative, à une moindre prise en compte des nécessités d'adaptation !

Il convient de faire en sorte que l'activité touristique bénéficie des mêmes méthodes d'appropriation que les autres activités économiques et intègre un système global au sein duquel elle sera valorisée et éventuellement protégée (au titre par exemple de choix prioritaires)

Dans ces conditions, il faut :

- Ménager une période et des pistes de transition ;
- Apporter une connaissance scientifique identique à l'ensemble des acteurs ;
- Etudier les échelles pertinentes d'impact, de résilience et/ou de compensation des effets du changement climatique ;
- Instituer un système de gouvernance ou faire participer à la gouvernance existante l'économie touristique et ses acteurs ;
- Ouvrir des pistes d'évolution crédibles à court et moyen terme, mais compatibles avec les enjeux d'une adaptation à plus long terme, dont la diversification des offres et activités touristiques, en fonction des saisons ou la mise en œuvre de scénarios de diversité intégrée et de cohabitation entre les différentes logiques de destinations touristiques, qu'elles soient hivernales ou estivales, ou entre grandes et moyennes, voire micro-stations.

## **IV.5 Conclusion**

La méthode de travail choisie par le groupe « Territoires » a principalement mis l'accent sur la mise en valeur des expériences et réflexions locales et de l'expertise nationale.

Il a agi avec pragmatisme, en l'absence de référentiels pertinents, fondés sur la durée de l'analyse.

La prospective territoriale se nourrit de la conjugaison de différentes approches.

La dynamique des territoires est façonnée par la démographie, l'économie, les ressources naturelles mais aussi la culture et les modes de vie. La réflexion est d'autant plus difficile qu'il s'agit de se projeter dans un avenir lointain et incertain, d'évaluer la conséquence de l'action dans un futur dont le terme est de l'ordre d'une génération, voire plus.

La période de transition sera longue mais elle doit être vécue comme une initiation au changement.

Modestement, les conclusions des travaux apportent leur contribution à l'enrichissement de cette période. Elles apportent une nouvelle vision à plusieurs titres.

En premier lieu, on doit remarquer que les analyses se recourent, qu'il s'agisse de territoires spécifiques comme le littoral ou la montagne ou de jeux d'acteurs, touristes ou populations urbaines.

Le besoin incontestable de disposer d'une connaissance scientifique fiable de manière partagée associée à un niveau d'information de même ordre pour l'ensemble de la population, la nécessité de croiser les compétences et les expertises, notamment adaptées à chaque type de territoire pour mieux comprendre les enjeux sont des atouts très significatifs.

Une organisation territoriale à même de favoriser la gouvernance et un dialogue sur les objectifs à atteindre est d'une importance cruciale. C'est à travers elle que se cristallisera l'histoire collective, à même de conserver la mémoire des phénomènes extrêmes, souvent vite oubliés, de construire une perception des changements, même faibles. Pour cela, elle devra disposer d'instruments de veille et de vigilance dont le groupe a ouvert les pistes.

Il est certain que cette appropriation ne peut se faire sans accompagnement, sans co-élaboration puis formation à la transition des populations vers un autre mode de vie, d'autres objectifs personnels ou collectifs, dans un cadre aux nouvelles contraintes objectives ou institutionnelles.

Le principe de résilience doit sous-tendre les évolutions structurelles auxquelles devront se soumettre les territoires pour « survivre » dans de bonnes conditions. Mais cela signifie que les populations et leurs activités devront consentir à accepter la vulnérabilité de leurs territoires. Elles le feront plus facilement si elles se munissent de la bonne « boîte à outils ».

Par ailleurs, il faut insister sur l'importance du pas de temps nécessaire à cette conversion. L'apprentissage de la vulnérabilité peut être long, d'autant plus que les publics susceptibles d'être touchés ne sont pas, *a priori*, homogènes. Cette appropriation doit servir une véritable projection dans le futur, constructive et appuyée sur la recherche de potentiels d'adaptation, et non pas opposer une vision d'échec et de déclin. Anticiper est la garantie d'une lecture saine des enjeux, d'un engagement dans l'action en évitant une gestion de crises chaotique dont les succès seraient aléatoires.

La contribution du groupe au besoin de mesures affiché par le groupe plénier sera une alerte sur la prise en compte des rythmes sociaux utiles à la concrétisation de l'objectif commun d'une évolution sans rupture vers de nouveaux modes de vie.