STRATÉGIE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND-OUEST

PARTIE 3 : DIAGNOSTIC THÉMATIQUE

Table des matières de la partie 3

1 UNE SITUATION HYDROLOGIQUE PROBLÉMATIQUE DANS LE GRAND OUEST 65
1.1 UNE FORTE EXPOSITION AU MANQUE D'EAU 65
1.1.1 LES GRANDES MASSES D'EAU SUR LE TERRITOIRE 65
1.1.1.1 LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE 65
1.1.1.2 LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE 67
1.1.2 PRÉCIPITATIONS ET PLUIES EFFICACES SUR LE TERRITOIRE DU GRAND OUEST 68
1.1.3 QUALITÉ DE LA RESSOURCE EN EAU 69
1.2 ÉVOLUTION DES PRÉLÈVEMENTS ET INFLUENCE DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR LA QUALITÉ DE LA RESSOURCE 70
1.2.1 ÉTAT DES LIEUX GLOBAL 70
1.2.2 ÉTAT DES LIEUX PAR USAGE 71
1.2.2.1 PRODUCTION D'ÉNERGIE ET INDUSTRIE 71
1.2.2.2 ALIMENTATION EN EAU POTABLE 73
1.2.2.3 AGRICULTURE 73
1.2.3 BILAN : UNE SITUATION DE PLUS EN PLUS PROBLÉMATIQUE. 74
2 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES EN EAU 76
2.1.1 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE RENOUVELLEMENT DES RESSOURCES 76
2.1.2 LA RÉDUCTION DU DÉBIT DES COURS D'EAU, ET EN PARTICULIER DE LA LOIRE 76
2.1.3 UNE RECHARGE PLUS LENTE DES NAPPES 77
2.1.4 UNE POSSIBLE DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DES EAUX 78
2.1.4.1 ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER ET DÉPLACEMENT DU BISEAU SALÉ 78
2.1.4.2 AUTRES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA QUALITÉ DES RESSOURCES EN EAU 79
2.1.5 VERS UNE EXACERBATION DES CONFLITS D'USAGES ? 80
2.1.6 SYNTHÈSE : UNE FORTE VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES EN EAU AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST 83
3 TABLEAU DE SYNTHÈSE THÉMATIQUE 85

1 UNE VULNÉRABILITÉ ÉLEVÉE AUX RISQUES D'INONDATION 87
1.1 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE RISQUE INONDATION À CINÉTIQUE LENTE : LES CRUES DE LA LOIRE90
1.1.1 LA LOIRE : UNE VALLÉE ENDIGUÉE POUR UN TERRITOIRE EXPOSÉ 90
1.1.1.1 EXPOSITION ACTUELLE : UN TERRITOIRE DÉJÀ TRÈS EXPOSÉ 91
1.1.1.2 EXPOSITION FUTURE : DE NOMBREUSES INCERTITUDES 94
1.1.2 LA VULNÉRABILITÉ DES TERRITOIRES AUX CRUES DE LA LOIRE ET DE SES AFFLUENTS 94
1.1.2.1 SENSIBILITÉ ACTUELLE : DES VALLÉES URBANISÉES AUX MULTIPLES ENJEUX 94
1.1.2.2 LA VULNÉRABILITÉ FUTURE AUX CRUES DANS LE BASSIN DE LA LOIRE 96
1.2 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE RISQUE INONDATION À CINÉTIQUE RAPIDE ET SES PHÉNOMÈNES ASSOCIÉS 98
1.2.1 L'EXPOSITION AU RISQUE 98
1.2.1.1 L'ARRIÈRE-PAYS BRETON ET VENDÉEN EXPOSÉS À CE RISQUE 98
1.2.2 VULNÉRABILITÉ AUX INONDATIONS À CINÉTIQUE RAPIDE DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE . 101
1.2.2.1 VULNÉRABILITÉ ACTUELLE 101
1.2.2.2 VULNÉRABILITÉ FUTURE 101
1.3 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE RISQUE D'INONDATION PAR SUBMERSION MARINE 102
1.3.1 DES CÔTES BASSES TRÈS EXPOSÉES 103
1.3.2 LE CAS PARTICULIER DES ESTUAIRES ET DES FONDS DE BAIE 104
2 VERS UNE INTENSIFICATION DES RISQUES CÔTIERS 105
2.1 LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE RISQUE D'ÉROSION DU LITTORAL 105
2.1.1 L'EXPOSITION ACTUELLE : UNE ÉROSION CONTRASTÉE DU LITTORAL 105

2.1.1.1 Généralités 105
2.1.1.2 Situation régionale 106
2.1.2 Situation future : vers une intensification des risques côtiers ? 109
2.1.2.1 L'élévation du niveau de la mer en France 109
2.1.2.2 Conséquences sur les phénomènes d'érosion et de submersion marine 110
2.2 La vulnérabilité des territoires littoraux aux risques côtiers 111
2.2.1 Une vulnérabilité actuelle déjà élevée 111
2.2.2 Une vulnérabilité future très dépendante des choix d'aménagement 113
3 Sécheresses et retrait-gonflement des argiles 115
3.1 Les impacts du changement climatique sur le retrait gonflement des argiles 115
3.1.1 Situation actuelle : une exposition connue 115
3.1.1.1 Généralités 115
3.1.1.2 Situation dans le Grand Ouest 116
3.1.2 Situation future : une exposition plus forte dans les zones déjà concernées 117
3.2 La vulnérabilité des territoires au phénomène de retrait gonflement des argiles 117
4 Une augmentation possible du risque de feux de forêt 119
4.1 Les impacts du changement climatique sur le risque de feux de forêt 119
4.1.1 Une exposition actuelle faible 119
4.1.2 Situation future : un accroissement du risque de feux de forêt dans le Grand Ouest 120
4.2 Une hausse attendue de la vulnérabilité 120
4.3 Les impacts du changement climatique sur le risque de feux de forêt 121
4.3.1 Une exposition actuelle faible 121
4.3.2 Situation future : un accroissement du risque de feux de forêt dans le Grand Ouest 122
4.4 Une hausse attendue de la vulnérabilité 122
4.5 Les impacts du changement climatique sur le risque de feux de forêt 123
4.5.1 Une exposition actuelle faible 123
4.5.2 Situation future : un accroissement du risque de feux de forêt dans le Grand Ouest 124
4.6 Une hausse attendue de la vulnérabilité 124
5 Tableau de synthèse thématique 126

1 L'impact du changement climatique sur les milieux naturels 128
1.1 Une vulnérabilité actuelle élevée pour des raisons essentiellement anthropiques 129
1.2 Zones humides et cours d'eau : des milieux particulièrement sensibles aux pressions climatiques et anthropiques 131
1.2.1 Les zones humides 131
1.2.1.1 Une vulnérabilité actuelle moyenne 131
1.2.1.2 Les impacts du changement climatique sur les zones humides du Grand Ouest 134
1.2.2 L'impact du changement climatique sur la biologie des cours d'eau 135
1.3 Les impacts du changement climatique sur les milieux littoraux et marins 135
1.3.1 Vulnérabilité actuelle 135
1.3.1.1 Une vulnérabilité moyenne qui s'accroît sur le littoral 135
1.3.1.2 Un milieu marin peu vulnérable 136
1.3.2 Une vulnérabilité future encore très incertaine 137
1.3.2.1 Les effets de l'élévation du niveau marin sur les milieux littoraux 137
1.3.2.2 Une vulnérabilité future du milieu marin encore très incertaine 138
2 L'impact du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes dans le Grand Ouest 139
2.1 Éléments de contexte d'une vulnérabilité actuelle déjà élevée 139
2.2 Les impacts attendus du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes terrestres 141
2.2.1 La modification de l'aire de répartition des espèces 141

2.2.2 L'évolution physiologique des espèces 142
2.2.3 Le développement possible des espèces invasives 142
2.3 Zoom sur les impacts attendus du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes marins et les activités qui en dépendent 144
2.3.1 Les impacts observés du changement climatique 144
2.3.2 La vulnérabilité future des écosystèmes marins : de nombreuses incertitudes 145
2.3.3 Les conséquences attendues pour les activités piscicoles et conchylicoles 146
3 Tableau de synthèse thématique 147

1 Les impacts directs du changement climatique sur la santé humaine 149
1.1 Une population vulnérable aux épisodes de canicule 149
1.1.1 La vulnérabilité actuelle aux épisodes caniculaires 152
1.1.1.1 L'exposition à la canicule : l'effet d'îlot de chaleur urbain 152
1.1.1.2 Une population de plus en plus sensible 154
1.1.2 La vulnérabilité future aux épisodes de canicules 156
1.1.2.1 Un accroissement attendu de l'exposition aux canicules 156
1.1.2.2 Une population de plus en plus vulnérable 158
1.2 La vulnérabilité à la pollution atmosphérique 159
1.2.1 Exposition et vulnérabilité actuelles : la problématique des pics de pollution 159
1.2.2 Exposition et vulnérabilité futures aux pics de pollution 161
2 Les impacts indirects du changement climatique sur la santé humaine 162
2.1 Les impacts du changement climatique sur les maladies allergiques 162
2.1.1 Une exposition et une vulnérabilité actuelle déjà élevées 162
2.1.2 Exposition et vulnérabilité future 163
2.2 Les impacts du changement climatique sur les maladies infectieuses et vectorielles 165
2.2.1 Éléments de contexte 165
2.2.2 Une exposition et une vulnérabilité actuelle faibles 166
2.2.3 Une exposition et une vulnérabilité future en hausse ? 166
2.2.3.1 Maladies à transmission vectorielle 166
2.2.3.2 Maladies infectieuses 167
2.2.4 Risques sanitaires et catastrophes naturelles 167
3 Tableau de synthèse des impacts sanitaires du changement climatique sur le Grand Ouest 168

1 Agriculture et élevage dans le Grand Ouest : des spécificités territoriales bien marquées pour une vulnérabilité contrastée 170
1.1 L'élevage à l'ouest (Bretagne/Pays de la Loire) 171
1.1.1 Éléments de contexte 171
1.1.2 La vulnérabilité actuelle des activités d'élevage aux événements climatiques 173
1.1.3 La vulnérabilité future de l'élevage aux impacts du changement climatique 174
1.1.3.1 Une menace sur l'alimentation animale 174
1.1.3.2 Une possible baisse de la productivité des exploitations d'élevage 175
1.2 La prédominance des grandes cultures en région Centre 177
1.2.1 Éléments de contexte 177
1.2.2 Les effets observés du climat sur les cultures (vulnérabilité et opportunités actuelles) 178
1.2.2.1 Le décalage des stades phénologiques 178
1.2.2.2 Sécheresse, irrigation et rendements agricoles 179
1.2.3 La vulnérabilité des cultures aux impacts du changement climatique 181
1.2.3.1 Des effets positifs à court terme sur les rendements 181

1.2.3.2 Une réduction attendue de la disponibilité des ressources en eau préjudiciable aux rendements 183
1.2.3.3 L'amplification de l'impact des bioagresseurs 185
1.3 La culture de la vigne dans la vallée de la Loire 186
1.3.1 Vulnérabilité actuelle de la vigne à l'évolution du climat 186
1.3.2 Vulnérabilité des vignobles du Val de Loire aux impacts du changement climatique 187
2 La forêt dans le Grand Ouest 189
2.1 Éléments de contexte 189
2.2 Vulnérabilité actuelle des forêts du Grand Ouest à l'évolution du climat 190
2.3 Les impacts du changement climatique sur les forêts du Grand Ouest 191
2.3.1 Impacts physiologiques : dépérissement des arbres et réduction de la productivité des forêts 191
2.3.2 Impact sur l'évolution des feux de forêt 192
2.3.3 L'impact des bioagresseurs sur la forêt du Grand Ouest 193
3 Tableau de synthèse thématique 195

1 L'énergie dans le Grand Ouest : une situation contrastée 197
1.1 Éléments de cadrage 197
1.2 Une situation inter-régionale très contrastée vis à vis de l'énergie 198
1.2.1 La Bretagne : une péninsule énergétique déjà très exposée en période hivernale 198
1.2.2 Les Pays de la Loire 199
1.2.3 La région Centre 200
2 Impact du changement climatique sur la production électrique 200
2.1 Éléments de cadrage 201
2.2 Production électrique et ressource en eau 201
2.2.1 Exposition et sensibilité actuelle 201
2.2.2 Exposition et sensibilité futures 203
2.3 L'impact des risques naturels sur l'approvisionnement électrique 204
2.3.1 Exposition et sensibilité actuelles 204
2.3.2 Exposition et sensibilité futures 205
2.4 Les incertitudes liées au développement des énergies renouvelables 205
3 Les impacts du changement climatique sur la demande énergétique 206
3.1 Cadrage général 206
3.2 Changement climatique et demande énergétique : un impact difficile à évaluer 207
4 La vulnérabilité énergétique du Grand Ouest au changement climatique 208
5 Tableau de synthèse thématique 210

1 La vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux canicules 212
1.1 Une vulnérabilité élevée du bâti aux canicules 212
1.1.1 Éléments de cadrage 212
1.1.2 Une exposition et une sensibilité inter-régionale contrastées 213
1.1.2.1 Une exposition accrue aux canicules 213
1.1.2.2 Une exposition amplifiée par le phénomène des îlots de chaleur urbain 214
1.1.2.3 Un parc immobilier sensible aux canicules 215
1.1.2.4 Un urbanisme favorisant les IECU 217
1.1.3 Une vulnérabilité actuelle du bâti moyenne 217
1.1.4 Vers une augmentation de la vulnérabilité aux IECU ? 218
1.2 La vulnérabilité des infrastructures de transport aux canicules 220
1.2.1 Éléments de cadrage 220

1.2.2 Exposition des infrastructures de transport du Grand Ouest 221
1.2.3 Une évaluation difficile de la vulnérabilité régionale 222
2 La vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux risques naturels 223
2.1 Vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux impacts directs des risques naturels dans le contexte du changement climatique 224
2.1.1 Une vulnérabilité élevée dans la vallée de la Loire 224
2.1.2 Une augmentation de l'exposition aux inondations à cinétique rapide et à ses phénomènes associés 224
2.1.3 Une vulnérabilité élevée aux inondations par submersion marine 225
2.1.3.1 Une vulnérabilité actuelle déjà élevée 225
2.1.3.2 Vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux inondations par submersion marine dans le contexte du changement climatique 226
2.2 Vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux impacts indirects des risques naturels dans le contexte du changement climatique : le cas du risque de retrait gonflement des argiles 228
3 Tableau de synthèse thématique 229

1 Le tourisme dans le Grand Ouest : éléments de contexte 231
2 Vers un climat plus favorable au tourisme dans le Grand Ouest ? 233
3 Des effets plus négatifs sur les ressources et les infrastructures touristiques 235
3.1 La vulnérabilité du tourisme balnéaire aux risques littoraux 235
3.1.1 L'érosion des plages 235
3.1.2 Le risque de submersion marine 236
3.2 La problématique de l'eau 239
3.3 Les impacts du changement climatique sur le tourisme vert et patrimonial 239
3.3.1 Évolution de la biodiversité et des espaces naturels et paysages 239
3.3.2 Impact sur les ressources du terroir 240
4 Tableau de synthèse thématique 241

INTRODUCTION AU DIAGNOSTIC THÉMATIQUE

Le changement climatique sera à l'origine de bouleversements qui affecteront l'ensemble des activités et secteurs du territoire français. Dans ce contexte, l'enjeu est de se préparer dès maintenant aux modifications climatiques attendues.

La partie 2 du rapport a permis de présenter les projections climatiques au XXIe siècle, à partir des travaux de Météo-France. Dans cette troisième partie, il s'agira d'analyser la vulnérabilité au changement climatique des thèmes à enjeux listés ci-après, en se basant notamment sur les données locales disponibles (cf. bibliographie) et sur des entretiens avec des acteurs locaux.

L'analyse est déclinée par thématique, en considérant d'une part les thématiques « transversales » :

- Ressource en eau ;
- Milieux et écosystèmes ;
- Santé ;
- Risques naturels ;

Et d'autre part, des thématiques sectorielles :

- Agriculture et forêts ;
- Secteur énergétique ;
- Tourisme ;
- Cadre bâti et infrastructures.

Pour chacune de ces thématiques, la vulnérabilité du Grand-ouest dépendra des caractéristiques physiques mais aussi socio-économiques des territoires qui le composent. Bien souvent, le changement climatique exacerbera des problématiques actuelles (conflits d'usages sur la ressource en eau, érosion de la biodiversité, recul du trait de côte…), mais pourra également faire surgir de nouvelles problématiques (apparition de risques naturels sur des territoires jusqu'ici épargnés, inadaptation de l'habitat aux conditions climatiques…).

Enfin, si les impacts sont globalement négatifs, l'analyse met en évidence le fait que parfois, le changement climatique se traduira aussi par de nouvelles opportunités qu'il s'agira de saisir et d'exploiter (opportunités touristiques par exemple).

VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES EN EAUX AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

L'état de la disponibilité des ressources en eau sur un territoire est lié à l'évolution de deux facteurs :

- Un facteur climatique : l'évolution des précipitations détermine la disponibilité de la ressource sur le territoire ;
- Un facteur humain et socio-économique : l'évolution des prélèvements dans la ressource par les différents usages de l'eau (eau potable, agriculture, tourisme, énergie et industrie).

Le changement climatique, au regard des simulations climatiques réalisées par Météo-France sur le territoire du Grand Ouest, aura un impact sur ces deux facteurs :

- La réduction attendue des précipitations, associée à une modification de leur répartition tout au long de l'année, devrait se traduire par une réduction de la disponibilité de la ressource sur le territoire, en particulier en période estivale ;
- Cette réduction des précipitations aura pour corollaire une augmentation de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse, entraînant une hausse des prélèvements en l'absence de mesures d'adaptation et donc une réduction de la disponibilité de la ressource.

S'il n'est pas possible d'agir sur l'évolution des paramètres climatiques, l'adaptation à la diminution de la ressource passe par une réduction des prélèvements et/ou la mobilisation éventuelle de nouvelles ressources (comme les eaux pluviales), donc par une optimisation de l'usage de la ressource.

Après avoir proposé un premier aperçu de la situation hydrologique dans le Grand Ouest, nous nous attacherons à examiner l'impact de l'évolution des paramètres climatiques sur la disponibilité des ressources en eau, ce qui nous amènera à considérer cet impact sur les prélèvements des divers usages. La synthèse de ces deux approches nous permettra de caractériser la vulnérabilité globale du Grand Ouest à la raréfaction des ressources en eau, en relation avec le changement climatique et les évolutions socio-économiques.

1 Une situation hydrologique problématique dans le Grand Ouest

1.1 Une forte exposition au manque d'eau

Ce qu'il faut retenir…

Le Grand Ouest présente un **réseau hydrographique** organisé autour du **grand bassin de la Loire et des fleuves** côtiers bretons et vendéens, ainsi que **d'importantes ressources souterraines**, en particulier à l'intérieur des terres en régions Pays de la Loire et Centre.

La moyenne annuelle des précipitations – et notamment des précipitations efficaces – est **inférieure à la moyenne nationale** dans le Grand Ouest, en particulier en **région Centre**, ce qui se traduit par une **disponibilité réduite des ressources en eau en période estivale**, plus particulièrement durant les épisodes de sécheresse.

Le territoire du Grand Ouest se superpose, dans sa quasi-totalité, à celui de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. Seules les parties nord des départements du Loiret et de l'Eure-et-Loir se trouvent sur le territoire de l'Agence Seine-Normandie.

Les Agences de l'eau étant chargées de définir une stratégie pluriannuelle de gestion durable des ressources en eau sur leurs territoires respectifs – qui correspondent aux grands bassins versants – l'essentiel des données concernant la description des masses d'eau et de l'état de la ressource utilisées ici est issue de travaux et publications de ces établissements publics d'Etat. Nous ferons notamment largement référence au Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE), qui planifie la stratégie de l'agence sur son territoire.

1.1.1 Les grandes masses d'eau sur le territoire

1.1.1.1 Les ressources en eau de surface

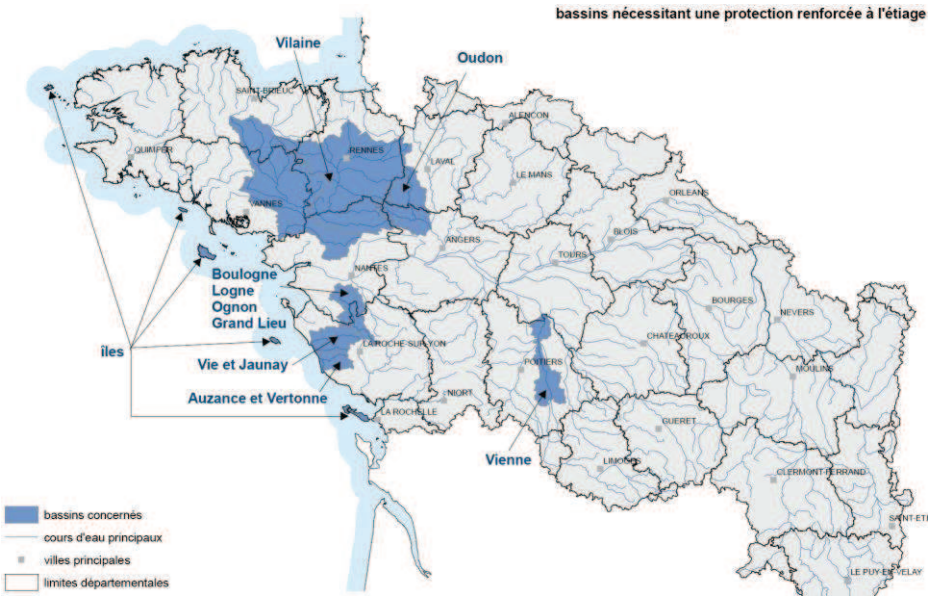
Les eaux de surface dans le Grand Ouest sont constituées des différents cours d'eau du territoire, répartis autour de trois sous-bassins versants[7] :

- Le sous-bassin de la Loire Moyenne, jusqu'à la confluence Loire / Vienne ;
- Le sous-bassin de la Loire aval et côtiers vendéens, jusqu'à l'embouchure de la Loire ;
- Le sous-bassin des fleuves côtiers breton, qui inclut notamment le bassin de la Vilaine.

L'exposition la plus forte au manque d'eau se situe lors des périodes d'étiage, en été, lorsque les précipitations sont minimales.

[7] Voir le chapitre concernant les risques naturels.

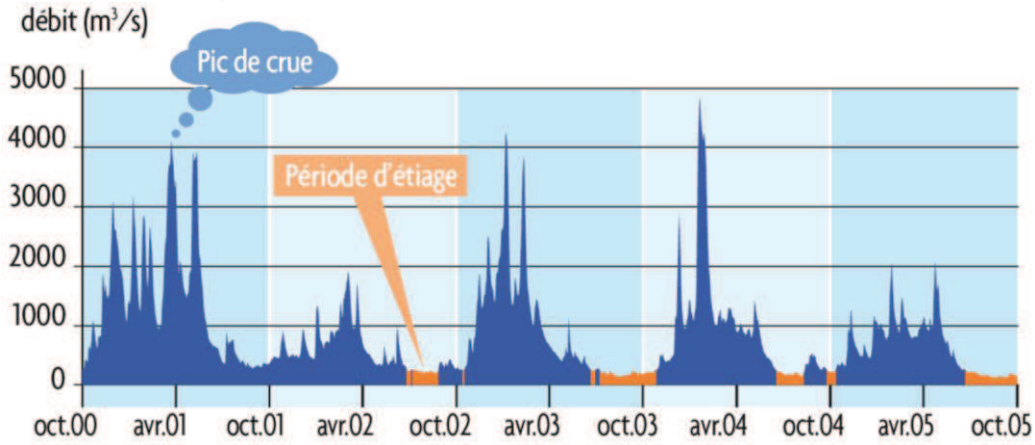
FIGURE 8 – BASSINS VERSANTS NÉCESSITANT UNE PROTECTION À L'ÉTIAGE (SOURCE : AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE)



Le sous-bassin des fleuves côtiers bretons est de ce point de vu le plus exposé, en particulier le bassin de la Vilaine, qui a fait l'objet de plusieurs arrêtés de restriction des usages de l'eau ces dernières années. On note également la forte exposition au manque d'eau des fleuves côtiers vendéens et de la Vienne. La forte exposition des îles s'explique par la faiblesse, voire l'absence structurelle de ressources.

La vallée de la Loire, si elle semble moins exposée, présente un débit annuel très contrasté, lié pour l'essentiel à sa faible régulation. Seules deux retenues d'eau situées en amont de la zone d'étude – le barrage de Villerest sur la Loire et celui de Naussac sur le Donozau (affluent de l'Allier) – permettent de soutenir l'étiage en maintenant un débit minimum nécessaire aux différents usages.

FIGURE 9 – ÉVOLUTION DU DÉBIT DE LA LOIRE À LA STATION DE MONTJEAN-SUR-LOIRE (SOURCE : GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC LOIRE ESTUAIRE, DÉCEMBRE 2005)



En période d'étiage, un grand nombre de petits cours d'eau, affluents ou bras secondaires de la Loire se retrouvent au-dessus de la ligne d'eau, donc à sec. Cette situation résulte des périodes de sécheresse estivales, mais aussi des aménagements hydrauliques (endiguement, chenal de navigation, extraction de granulats etc.) qui contribuent à surcreuser le lit du fleuve. Selon le Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire : *« la ligne d'eau d'étiage s'est abaissée de plusieurs mètres en un siècle et semble continuer sa lente progression toujours plus bas »*.

Outre son impact direct sur la quantité d'eau disponible – et donc sur les usages des eaux de surface (voir ci-après) – cette situation d'étiage a d'importantes conséquences plus qualitatives :

- Sur la biodiversité : à débit d'étiage et en période de sécheresse, la température de l'eau dans le bassin de la Loire et de ses affluents peut atteindre des valeurs supérieures à 25°C, entraînant une prolifération d'algues et une mortalité accrue des poissons. En août 2003, la station de Montjean-sur-Loire a enregistré une température de l'eau de 29°C, une saturation en oxygène de l'ordre de 30% et une concentration chlorophyllienne d'environ 60µg/l[8].
- Sur la partie aval de la Loire, la réduction du débit se traduit par une remontée plus importante d'eau saumâtre et de vase. À l'étiage, ces eaux peuvent remonter en amont de Nantes, contraignant d'autant les divers usages de l'eau dans la basse vallée de la Loire.

1.1.1.2 Les ressources en eau souterraine

Les ressources en eau souterraine sont de deux types[9] :

- Les nappes libres (ou superficielles), proches de la surface du sol : ces masses d'eau sont couvertes par une ou plusieurs couches géologiques perméables. L'évolution de leur niveau d'eau varie donc en fonction du climat, avec un faible décalage lié au temps d'infiltration de l'eau dans le sol. Cette faible protection naturelle les rend par ailleurs très sensibles aux pollutions de surfaces liées en particulier à l'infiltration des eaux de pluies dans les sols agricoles : nitrates, pesticides, etc.
- Les nappes captives : plus profondes, ces nappes sont isolées de la surface par une formation géologique imperméable. Elles présentent donc une qualité généralement bien supérieure à celle des nappes libres et sont de ce fait le plus souvent réservées à un usage domestique.

Le territoire du Grand Ouest est couvert dans sa quasi-totalité par des nappes libres et présente de nombreux horizons captifs[10], prioritairement utilisés pour l'alimentation en eau potable en raison de leur protection naturelle contre les phénomènes de pollutions de surface. Parmi les nappes captives du Grand Ouest, on peut citer notamment deux grands ensemble :

- Les nappes de la Beauce, de la Craie et de l'Albien, au nord de la Loire ;
- La nappe du Cénomanien, qui s'étend entre les régions Centre, Pays de la Loire et Poitou-Charentes sur environ 25 000 km².

[8] Lettre du Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire N°6, décembre 2005.
[9] Définitions issues du Système d'Information sur l'eau (http://www.eaufrance.fr/).
[10] Voir le chapitre 6 du SDAGE Loire Bretagne.

La structure, le fonctionnement hydrologique et l'évolution des ressources en eau souterraines, ainsi que leur relation d'interdépendance avec les ressources en eau de surface (pour les nappes libres, les nappes captives n'ayant pas de relation avec les eaux superficielles) sont parfois mal connues. Le réseau piézométrique, en place pour l'essentiel depuis 1993, permet néanmoins de suivre l'évolution du niveau des nappes tout au long de l'année et de définir pour chacune d'elle les « volumes prélevables » par les divers usages (irrigation, eau potable, industrie). Au regard de ce suivi piézométrique, l'Agence de l'eau confirme une stabilité globale des nappes dans le Grand Ouest, exception faite de quelques zones surexploitées de la nappe du Cénomanien[11] et des aquifères au sud de la Vendée.

Extrait du SDAGE de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (2010-2015)

Dans la région tourangelle et la vallée du Cher jusqu'en Loir-et-Cher, le niveau de la nappe [du Cénomanien] baisse depuis de nombreuses années, signe d'une alimentation insuffisante eu égard à son exploitation dont le rythme actuel est d'environ 75 millions de m3 par an pour l'eau potable, l'industrie et l'agriculture. Des baisses sont apparues plus récemment dans d'autres secteurs : Sarthe, vallée du Loir, vallées de la Vienne et de l'Indre. Cette tendance à la baisse observée sur 20 piézomètres est incompatible avec le bon état quantitatif de la nappe envisagé pour 2015.

Au-delà de ce constat global, il convient de souligner l'insuffisance de certaines nappes libres à alimenter de façon satisfaisante les cours d'eau en période estivale, liée à leur surexploitation (en particulier pour l'irrigation), renforcée lors des années sèches. Au-delà des conséquences quantitatives évidentes, l'impact sur les milieux aquatiques est très important, comme l'illustre le cas du marais Poitevin dans le sud de la Vendée, qui dépend pour son alimentation en eau d'une nappe superficielle également exploitée pour l'irrigation.

1.1.2 Précipitations et pluies efficaces sur le territoire du Grand Ouest

Le Grand Ouest présente un cumul de précipitations inférieur à la moyenne nationale, que ce soit pour le total des précipitations ou pour les précipitations dites efficaces.

Pluies efficaces – définition du MEDDTL

Ressources en eau disponible pour l'écoulement, l'alimentation des eaux souterraines et les prélèvements. Il s'agit de la quantité de pluies tombée dont on soustrait les quantités évaporées ou transpirées par les végétaux (évapotranspiration).

[11] Source : entretien réalisé auprès de M. Rivoal et M. Billault, Agence de l'eau Loire Bretagne, 2012.

Les contrastes au sein de la zone d'étude sont relativement importants. On observe ainsi un gradient ouest-est, la Bretagne concentrant les cumuls les plus importants. La région Centre, au contraire, apparaît comme la région la moins arrosée.

Ce constat doit cependant être nuancé. La notion de « pluies efficaces » utilisée ici inclut les eaux de ruissellement. Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre consacré aux risques naturels, la région Bretagne est très exposée au risque inondation par ruissellement. Une partie des pluies considérées ici comme efficaces ruisselle donc rapidement vers les cours d'eau et la mer sans s'infiltrer dans les nappes.

Par ailleurs, ces précipitations ne sont pas également réparties tout au long de l'année. Comme le démontrent les relevés Météo-France de ces trente dernières années, les précipitations sont plus importantes entre octobre et mars qu'entre avril et septembre. C'est d'ailleurs sur cette dernière période que les précipitations sont le moins efficaces (importante évapotranspiration liée à la croissance des végétaux), alors que les besoins sont les plus importants, en particulier pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable, mais aussi pour l'industrie et la production d'énergie. Comme nous allons le voir, l'état qualitatif et quantitatif des ressources dépend également des prélèvements de ces usages, dont l'évolution doit également être prise en compte dans la perspective du changement climatique.

1.1.3 Qualité de la ressource en eau

Les masses d'eau dans le Grand Ouest sont régulièrement soumises à des phénomènes de pollution divers :

- L'infiltration des eaux de pluie dans les sols agricoles entraîne une pollution des nappes libres aux pesticides et aux nitrates, les rendant impropres à certains usages (l'eau potable en particulier) ;
- Le ruissellement des eaux de pluie sur ces mêmes zones agricoles charge par ailleurs les cours d'eau en nutriments divers (nitrates, azote, phosphore, etc.) qui, charriés jusqu'à la mer, favorise en été la prolifération des algues vertes sur le littoral (en particulier en Bretagne).

Comme nous l'avons évoqué, la qualité de l'eau peut également être affectée en période d'étiage. Lors des épisodes de sécheresse, la stagnation et l'augmentation de la température des eaux de surfaces entraînent des phénomènes d'eutrophisation et une surmortalité des populations piscicoles. Dans ce contexte favorable à la multiplication des organismes microbiologiques, la qualité des eaux de baignades peut être remise en cause.

1.2 Évolution des prélèvements et influence des activités humaines sur la qualité de la ressource

Ce qu'il faut retenir…

Si **l'énergie et l'alimentation en eau potable** concentrent la majeure partie des **prélèvements d'eau** dans le Grand Ouest, **l'agriculture** apparaît comme le **premier usage en termes de consommation (et non de prélèvement) ;** par ailleurs très concentrée sur la **période estivale.**

Hors composante climatique, l'ensemble de ces prélèvements est relativement stable, avec une réduction observée entre 2003 et 2006, à l'exception des prélèvements agricoles.

1.2.1 État des lieux global

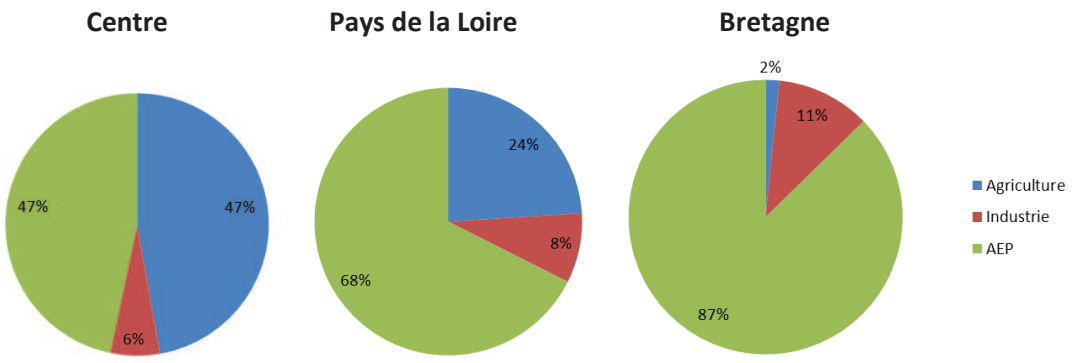
Le tableau qui suit présente les prélèvements des différents usages de l'eau pour l'année 2007, l'alimentation en eau potable incluant les prélèvements du secteur touristique dans les prélèvements de l'alimentation en eau potable (AEP).

Tableau 5 - Les prélèvements des différents usages de l'eau dans le Grand Ouest (source : base Eider, d'après les données CGDD/SOeS et Agence de l'eau)

Prélèvements par usage en 2007 (milliers de m³)	Centre	Pays de la Loire	Bretagne	Grand Ouest
Agriculture	225 522	90 228	4 348	**320 098**
Part région/GO	70,5%	28,2%	1,4%	
Industrie	29 284	31693	29 804	**90 781**
Part région/GO	32,3%	34,9%	32,8%	
Energie	674 827	1 233 328	0	**1 908 155**
Part région/GO	35,4%	64,6%	0,0%	
AEP	223 307	254 057	234 905	**712 269**
Part région/GO	31,4%	35,7%	33,0%	
Total	1 152 940	1 609 306	269 056	**3 031 302**
Part région/GO	38,0%	53,1%	8,9%	

Pour commencer, il convient de différencier prélèvement et consommation d'eau. Certains usages, l'agriculture en particulier, consomment la quasi-totalité de l'eau prélevée, ce qui n'est pas le cas des usages industriels (7% de l'eau prélevée est consommée) ou énergétiques (30%), ainsi que de l'alimentation en eau potable (20%), qui restituent en bonne partie l'eau prélevée dans le milieu, avec un impact qualitatif plus ou moins important.

Répartition des prélèvements par région et par usages (hors énergie) – Source : Artelia, d'après les données de la base Eider, MEDDTL, 2007



1.2.2 État des lieux par usage

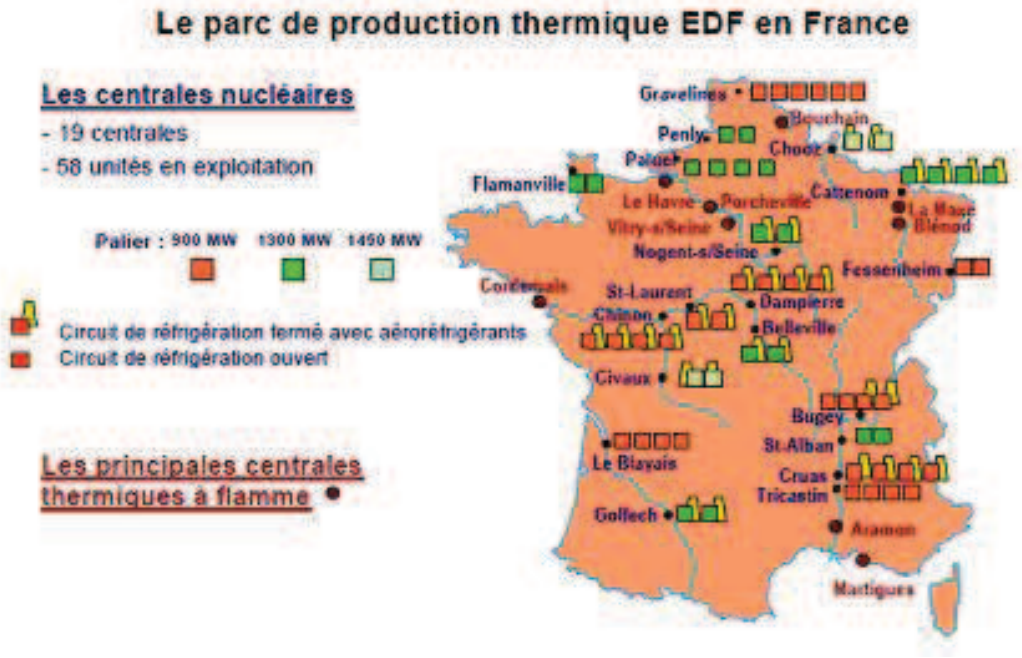
1.2.2.1 Production d'énergie et industrie

L'essentiel des prélèvements d'eau pour la production industrielle et la production d'énergie est réalisé dans les masses d'eau de surface.

Les prélèvements d'eau pour la production d'énergie représentent près des deux tiers du total des prélèvements dans le Grand Ouest, répartis entre les régions Centre et Pays de la Loire. Comme nous venons de le voir, il faut nuancer cette première approche, l'eau prélevée étant en majeure partie (70%) restituée dans le milieu (alimentation de circuit de refroidissement, production de vapeur permettant de faire tourner les turbines, etc.).

On peut s'étonner, à première vue, de l'importance des prélèvements en région Pays de la Loire. Ces derniers représentent près du double de ceux de la région Centre, qui produit pourtant la majeure partie de l'énergie électrique du Grand Ouest avec ses quatre centrales nucléaires.
Toutefois, comme l'illustre la carte ci-dessous, ces quatre centrales fonctionnent à l'aide de circuits de réfrigération fermés peu consommateurs d'eau. La centrale thermique du Cordemais, en Pays de la Loire, consomme notamment beaucoup plus d'eau, expliquant ce différentiel entre les deux régions.

FIGURE 10 - LE PARC DE PRODUCTION THERMIQUE D'EDF EN FRANCE (SOURCE : EDF, 2007)



Les prélèvements de l'industrie sont quant à eux relativement peu importants (3% des prélèvements dans le Grand Ouest). Comme pour la production d'énergie, l'eau prélevée est en majeure partie restituée dans le milieu (à hauteur de 93%).

Bien que la consommation d'eau de ces deux usages soit relativement faible, la restitution dans le milieu des eaux utilisées n'en est pas moins potentiellement problématique sur le plan qualitatif :

- Pollution de l'eau par des effluents industriels : sur ce point l'Agence de l'eau mène depuis longtemps une politique active de réduction des rejets de polluants dans les milieux aquatiques. La cinquième « orientation fondamentale » du SDAGE Loire-Bretagne actuel (2010-2015) s'inscrit en continuité avec cette politique en proposant de *« maîtriser les pollutions dues aux substances dangereuses »* ;
- L'eau utilisée dans les circuits de refroidissement est restituée à une température plus élevée, ce qui peut être problématique pour l'équilibre de certains milieux aquatiques en période estivale. Cette problématique est peu prise en compte dans le SDAGE.

Selon le rapport de l'Agence de l'eau sur l'évaluation de ses interventions en faveur des économies d'eau entre 2003 et 2006, les prélèvements d'eau pour l'industrie sont en réduction constante (hors composante climatique), du fait des actions menées par les industriels et de la baisse relative d'activité industrielle.

1.2.2.2 Alimentation en eau potable

Dans le Grand Ouest, les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont répartis équitablement entre les ressources en eau de surface et les ressources en eau souterraines.

L'alimentation en eau potable constitue le deuxième usage de l'eau dans le Grand Ouest, en matière de prélèvements (après l'énergie et avant l'agriculture) dans la ressource. Les prélèvements annuels pour cet usage sont globalement proportionnels à la population des trois régions.

Toutefois, il convient de nuancer cette première analyse. Les prélèvements varient en effet fortement selon la saison, en particulier dans les zones touristiques littorales, où la population augmente de façon significative en période estivale.

Tout comme pour l'industrie, l'Agence de l'eau constate une réduction des prélèvements d'eau pour l'eau potable hors composante climatique de près de 3% en période d'étiage (sur l'ensemble du bassin Loire-Bretagne) ; et ce malgré une augmentation de la population.

1.2.2.3 Agriculture

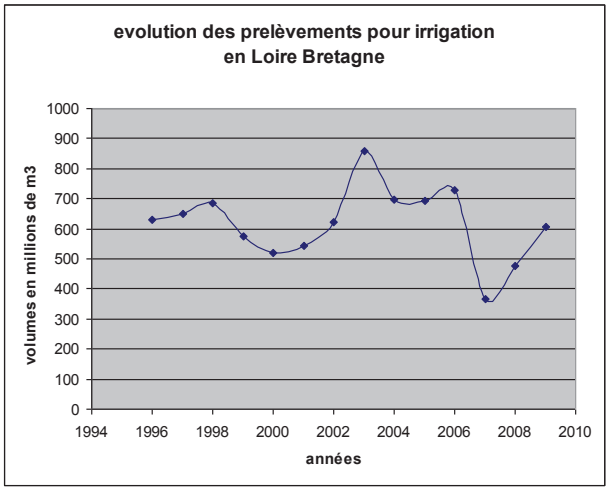
L'agriculture apparaît comme le premier usage de l'eau dans le Grand Ouest du point de vue de la consommation (l'agriculture irriguée consommant près de 100% de l'eau prélevée), avec de fortes disparités régionales : ainsi la région Centre se distingue nettement pour l'importance de son agriculture irriguée (grandes cultures céréalières), avec plus de 70% des prélèvements agricoles de l'inter-région.

79% des prélèvements agricoles dans le Grand Ouest sont réalisés dans des masses d'eau souterraines, parfois en concurrence directe avec le milieu naturel (dans le marais Poitevin notamment) ou avec d'autres usages (l'alimentation en eau potable ponctuellement), ce qui constitue une spécificité régionale. À l'échelle nationale, 78% des prélèvements d'eau pour l'agriculture le sont dans les masses d'eau de surface. Cette situation est particulièrement marquée en région Centre, où 91% des prélèvements sont réalisés dans les masses d'eau souterraines[12].
Cette situation s'explique par une faible disponibilité des eaux de surface en période estivale, lorsque les besoins pour cet usage sont les plus importants.

Sur l'ensemble du bassin Loire Bretagne et hors composante climatique (variabilité liée aux sécheresses et/ou épisodes de précipitations estivaux), l'Agence de l'eau souligne une absence d'évolution globale des prélèvements pour l'irrigation.

[12] Source : base Eider du MEDDTL (CGDD/SOeS), d'après les données de l'Agence de l'eau.

FIGURE 11 - ÉVOLUTION DES PRÉLÈVEMENTS POUR L'IRRIGATION DANS LE BASSIN LOIRE BRETAGNE (SOURCE : AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE, 2012)



1.2.3 Bilan : une situation de plus en plus problématique.

Le problème principal quant à l'état des masses d'eau dans le Grand Ouest relève de la difficulté de plus en plus récurrente des nappes libres à alimenter de façon satisfaisante les cours d'eau, en particulier en période estivale, lorsque la demande est la plus forte.

Le croisement des données sur l'état des masses d'eau et les prélèvements des différents usages met en évidence une tension relativement importante entre la disponibilité des ressources et les besoins en eau des différents usages. Cette tension est particulièrement exacerbée sur deux secteurs :

- En région Centre, où les masses d'eau souterraines sont doublement sollicitées pour l'agriculture et l'alimentation en eau potable et où les précipitations efficaces susceptibles de les réalimenter sont les moins importantes ;
- En Bretagne et sur le littoral vendéen : les fleuves côtiers, qui dépendent pour une part de leur alimentation des nappes libres, présentent de faibles débits d'étiage, en particulier lors des épisodes de sécheresse. Par ailleurs, les pollutions diffuses agricoles limitent les ressources disponibles pour l'alimentation en eau potable, dans le contexte d'une forte demande estivale liée au tourisme balnéaire. On notera au passage que des prélèvements dans les fleuves côtiers vendéens alimentent le réseau d'eau potable littoral de Charente-Maritime, notamment en période estivale.

Cette tension entre la disponibilité et les besoins en eau varie donc fortement tout au long de l'année atteignant son paroxysme en période estivale. C'est sur cette base qu'interviennent de façon de plus en plus récurrente les impacts du changement climatique – analysés dans les pages qui suivent – touchant aussi bien la disponibilité des ressources que les besoins de ses divers usages.

C'est sur cette analyse que sont analysés dans les pages suivantes les impacts du changement climatique.

Retour d'expérience sur la sécheresse de l'année 2005 et les initiatives qui l'ont suivie

Malgré cette stabilité globale, les pressions et les conflits d'usage sont localement forts, en particulier dans les secteurs où la demande agricole pour l'irrigation est forte (cultures intensives) :

- Région Centre (hors Sologne) ;
- Sud Vendée.

Dans ces secteurs, l'effet de la sécheresse se trouve décuplé en cas d'hiver sec, tel qu'en 2004-2005 (faible recharge des nappes, donc peu de soutien à l'étiage des court d'eau, associés à une demande forte).

En 2005, suite à un hiver sec, les arrêtés de restriction d'eau ont été pris dès le mois de mars dans les Deux Sèvres, avec un impact économique considérable sur l'agriculture.

Sur le plan de l'AEP, cette sécheresse a favorisé le développement des interconnexions destinées à pallier les déficits ponctuels. En sud Vendée, un programme d'aménagement de grandes retenues de substitution a été engagé suite à cette sécheresse pour assurer les besoins de l'irrigation tout en limitant les prélèvements estivaux dans la nappe. La crise a donc eu un effet catalyseur sur la gestion des usages de l'eau.

Source : entretien avec M. Rivoal et M. Billault de l'Agence de l'eau Loire Bretagne, 2012

2 Impacts du changement climatique et vulnérabilité des ressources en eau

2.1.1 Impacts du changement climatique sur le renouvellement des ressources

Ce qu'il faut retenir…

Le **changement climatique** devrait se traduire par une réduction du volume annuel de précipitations et une augmentation des épisodes de sécheresse.

Dans ce contexte, la **disponibilité des ressources en eau** devrait être amenée à **se réduire**, que ce soit pour les ressources de surface (réduction du débit des cours d'eau), ou pour les ressources souterraines (réduction du niveau des nappes). Cette réduction devrait toucher **davantage la période estivale** et, sur le plan géographique, **les régions déjà affectées par le manque d'eau** (région Centre et Sud Vendée pour l'essentiel).

Par ailleurs, la **qualité de l'eau pourrait se dégrader** : déplacement du biseau salé susceptible d'affecter certains des aquifères littoraux, concentration de polluants d'origine chimique ou microbiologique avec des répercussions sur les littoraux.

Les projections climatiques concernant l'évolution des précipitations dans le Grand Ouest soulignent, quel que soit le scénario retenu, une réduction généralisée du volume de précipitations, avec d'importants contrastes géographiques et saisonniers :

- Tous les scénarios indiquent une réduction généralisée des précipitations estivales dès 2030, en particulier sur la façade littorale (selon un gradient ouest-est) ;
- En période hivernale, l'application des scénarios du GIEC sur le Grand Ouest met en évidence un contraste très net de part et d'autre d'une ligne allant de l'estuaire de la Loire à l'Eure et Loir. Au nord-ouest de cette ligne, le volume de précipitations serait stable, voire en augmentation (selon les scénarios B1 et A2). Au sud-est, il tendrait au contraire à se réduire, en particulier en région Centre au sud de la Loire.

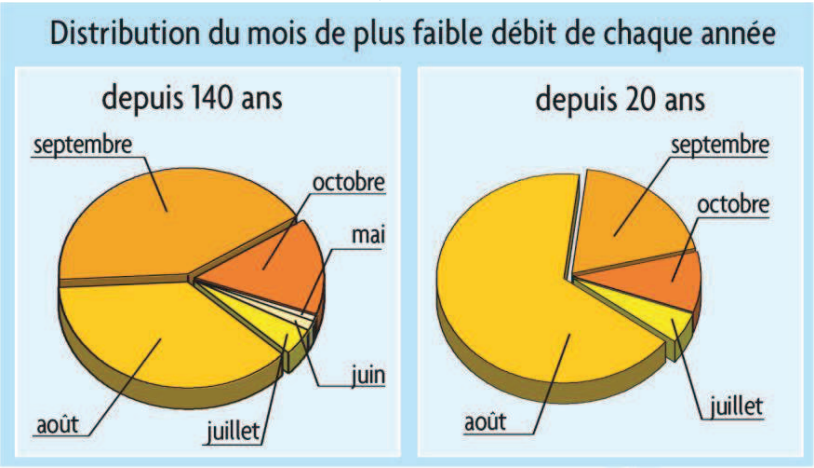
2.1.2 La réduction du débit des cours d'eau, et en particulier de la Loire

Le premier impact, lié à la réduction des précipitations en période estivale, serait la réduction du débit de la Loire. Comme nous l'avons vu, la faible régulation de son cours se traduit, en période de sécheresse, par un débit d'étiage très faible comparativement au débit hivernal. Comme l'illustrent les diagrammes suivants, on observe depuis deux décennies un débit d'étiage plus précoce que sur les 140 dernières années. Ce phénomène témoigne d'une réduction probablement déjà amorcée des précipitations (notamment en période estivale).

Celle-ci a pour corollaire des épisodes de sécheresse plus récurrents et plus intenses : la dernière décennie enregistre ainsi pas moins de quatre sécheresses notables (2003, 2005, 2006 et 2011).

Le débit d'étiage, maintenu jusqu'ici par les quelques ouvrages de régulation précités, pourrait être amené à se réduire dans le contexte du changement climatique.

FIGURE 12 - DISTRIBUTION DU MOIS DE DÉBIT D'ÉTIAGE PAR AN (SOURCE : GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC LOIRE ESTUAIRE, 2005)



2.1.3 Une recharge plus lente des nappes

Hors phénomène climatique (sécheresse), le niveau des nappes dans le Grand Ouest est aujourd'hui globalement stable, hormis en quelques zones pour la nappe du Cénomanien en région Centre et dans le sud de la Vendée.

Dans le contexte du changement climatique, l'augmentation de l'intensité et de la récurrence des épisodes de sécheresses devrait se traduire – hors prise en compte de l'évolution des prélèvements – par une réduction de la recharge des aquifères et une baisse consécutive du niveau des nappes. Toutefois, malgré une tendance générale attendue à la baisse au cours du XXIème siècle[13], de nombreuses incertitudes demeurent, liées :

- À l'évolution climatique pluriannuelle : comme le montre l'évolution récente, la baisse observée du niveau des nappes suite à des épisodes de sécheresse peut être en partie compensée les années suivantes ;
- À l'évolution des prélèvements : une adaptation des usages à la réduction des ressources disponibles, via des mesures d'économie d'eau par exemple, permettrait de limiter cette baisse attendue du niveau des nappes.

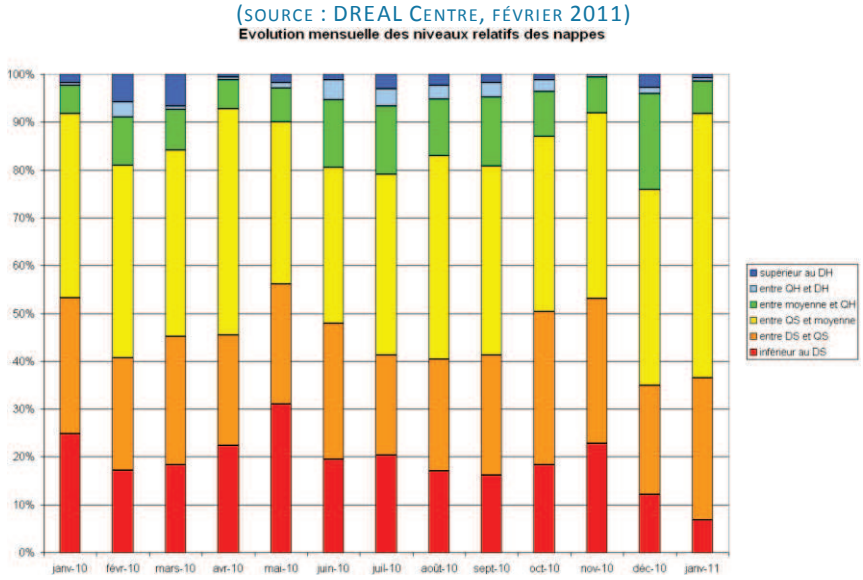
L'histogramme qui suit (figure 6) présente l'évolution du niveau des nappes en région Centre pour l'année 2010. Les colonnes indiquent pour chaque mois de l'année le pourcentage de piézomètres enregistrant un niveau égal ou supérieur à la moyenne (en vert et bleu) ou inférieur à la moyenne (du jaune au rouge).

[13] Tendance confirmée par la modélisation réalisée dans le cadre du projet Explore 2070.

Un tel document n'est pas représentatif de l'évolution globale du niveau des nappes, mais illustre la sensibilité élevée des ressources en eau souterraines aux épisodes de sécheresse en région Centre. En cas de baisse conjoncturelle des précipitations, l'alimentation de la nappe ne permet plus de compenser les prélèvements, ce qui se traduit par une réduction du niveau de la nappe.

Dans le contexte du changement climatique, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses se traduirait par une aggravation des pressions sur les ressources souterraines en région Centre (en particulier pour ce qui concerne la nappe du Cénomanien) et en Sud Vendée, et par une extension de ces pressions à d'autres aquifères.

FIGURE 13 - ÉVOLUTION DE LA RÉPARTITION PAR CLASSE DES NIVEAUX PIÉZOMÉTRIQUES DES NAPPES EN RÉGION CENTRE EN 2010 (SOURCE : DREAL CENTRE, FÉVRIER 2011)



2.1.4 Une possible dégradation de la qualité des eaux

2.1.4.1 Élévation du niveau de la mer et déplacement du biseau salé

L'élévation du niveau de la mer devrait se traduire par un déplacement du biseau salé vers l'intérieur des terres, qui entrerait davantage dans les aquifères littoraux. Les aquifères du sud de la Vendée sont dans ce cadre particulièrement exposés[14]. Dans cette zone, les aquifères calcaires présentent en effet une exploitation plus intensive que sur le reste du littoral du Grand Ouest, en particulier pour l'irrigation. Les eaux saumâtres déjà présentes sous le marais poitevin risquent de se déplacer. Le reste du littoral présente une vulnérabilité moindre.

[14] Voir à ce titre les travaux du BRGM et de l'ONEMA réalisés dans le cadre du programme « Montée du niveau marin induite par le changement climatique : Conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers en Métropole ».

Dans le contexte du changement climatique, l'élévation du niveau de la mer, associée à des prélèvements équivalents ou supérieurs aux prélèvements actuels, entraînera donc un déplacement du biseau susceptible d'impacter à des degrés divers, de nombreux aquifères littoraux.

Le cas des estuaires : l'exemple nantais

L'agglomération de Nantes dépend, pour son AEP, de deux prises d'eau :

- En nappe alluviale en amont immédiat de Nantes ;
- En eau de surface (Loire).

Cette dernière prise d'eau a été déplacée de 15 km vers l'amont dans les années 1980, en raison d'une remontée importante d'eau saumâtre dans l'estuaire, liée aux aménagements hydrauliques de ce dernier réalisés au cours du 20ème siècle. L'objectif actuel de l'Agence de l'eau et de ses partenaires est de limiter cet impact en stoppant la dégradation de l'estuaire. Les systèmes de modélisation utilisée tiennent compte d'hypothèses d'élévation du niveau de la mer.

La remontée de l'eau saumâtre dans l'estuaire pourra avoir un impact sur la prise d'eau de Nantes et sur le champ captant de Basse Goulaine. Une telle évolution reste toutefois encore très incertaine, les simulations montrant que même dans un scénario de dégradation, l'usage AEP avec les sites actuels ne serait pas impacté significativement, ne remettant pas en cause la production d'eau potable.

Source : entretien avec M. Rivoal et M. Billault de l'Agence de l'eau Loire Bretagne, 2012

2.1.4.2 Autres impacts du changement climatique sur la qualité des ressources en eau

L'impact du changement climatique sur la qualité des ressources en eau n'a pas fait l'objet de travaux de recherche particuliers. Il s'agit donc avant tout d'un point de vigilance à approfondir par la recherche. L'évolution attendue des paramètres climatiques, au regard de l'analyse des projections de Météo-France, permet néanmoins d'envisager empiriquement un certain nombre d'impacts qualitatifs.

La réduction des précipitations et la plus grande répétition des épisodes de sécheresses devraient, pour commencer, avoir un impact non négligeable sur la qualité des eaux de surface : la réduction importante des débits d'étiage, voire d'atteinte de l'assec pour certains cours d'eau, aurait des conséquences importantes sur les milieux aquatiques, ou encore sur la qualité des eaux de baignades. En effet, la réduction du débit d'étiage des cours d'eau entraînerait un accroissement de l'impact des rejets polluants, en limitant leur capacité de dilution des polluants.

En période de sécheresse, comme ce fut le cas en 2003, l'augmentation de la température de l'eau entraîne une surmortalité des poissons, ainsi que le développement d'organismes microbiologiques potentiellement dangereux pour la santé humaine. Ces phénomènes se trouvent renforcés lorsque le débit d'étiage est très faible : la relative stagnation des eaux favorise en effet les phénomènes d'eutrophisation.
Cette augmentation de la température de l'eau à débit d'étiage poserait également un problème pour le refroidissement des centrales nucléaires situées sur le cours de la Loire.

Les projections de Météo-France soulignent par ailleurs, quel que soit le scénario adopté, une augmentation des épisodes de fortes précipitations (supérieurs à 10 mm) sur la péninsule bretonne dès l'horizon 2030. Cette évolution pourrait se traduire par une augmentation des phénomènes de ruissellement dans les zones urbaines et surtout agricoles, augmentant d'autant la pollution diffuse des cours d'eau (nitrates et pesticides en zone agricole, hydrocarbures et autres polluants en zone urbaine). L'augmentation de la charge de nutriments de ces derniers (nitrates, azote, phosphore, etc.) pourrait se traduire, sur les littoraux, par un renforcement de la prolifération des algues vertes en période estivale.

2.1.5 Vers une exacerbation des conflits d'usages ?

Ce qu'il faut retenir…

Le **changement climatique** pourrait également affecter **l'évolution des besoins en eau** et, par conséquent, des prélèvements des différents usages, surtout en **période estivale**. Dans le cas d'une **sécheresse** comparable à celle de 2003, l'Agence de l'eau a mis en évidence une **hausse des besoins pour l'ensemble des usages**, atteignant **jusqu'à 30% pour des prélèvements agricoles**.
En l'absence de mesures d'adaptation et compte tenu de la raréfaction des ressources en eau liée au changement climatique, **une telle augmentation des besoins se traduirait immanquablement par l'exacerbation de conflits d'usage** principalement concentrés en **période estivale et avec une tension renforcée sur l'axe Vendée/Orléans.** Ce type de conflit est déjà parfois latent en période de sécheresse dans certains territoires (arrêté de restriction d'eau, etc.). Ces conflits d'usage ne doivent par ailleurs pas nous faire oublier que l'équilibre de nombreux écosystèmes dépend de la disponibilité des ressources en eau.

L'étude de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne sur l'évaluation de ses interventions en faveur des économies d'eau entre 2003 et 2006[15] indique une augmentation substantielle des prélèvements des différents usages en période de canicule / sécheresse, la référence utilisée étant la canicule de l'été 2003 :

- Eau potable : hausse moyenne des prélèvements de 4,5% (jusqu'à 9% pour certains départements). Cette hausse pourrait être jusqu'à deux fois supérieure à la réduction obtenue par des mesures d'économie d'eau ;
- Agriculture : hausse moyenne de 30% des prélèvements pour l'irrigation. Cette hausse est beaucoup plus sensible dans les secteurs pratiquant peu l'irrigation (nord des Pays de la Loire et du Centre) ;
- Industrie : hausse moyenne de 1,5 % des prélèvements ;

Sur le cas particulier des prélèvements pour la production d'énergie nucléaire, si la consommation d'eau est peu importante, le fonctionnement des centrales est conditionné à un débit minimal de la Loire, qui pourrait se trouver remis en question par le changement climatique. Cet élément révèle un effet de seuil non négligeable qu'il conviendra de prendre en compte dans la perspective de l'adaptation de la production énergétique aux impacts du changement climatique. Suite aux différents épisodes de sécheresse (2003 notamment), l'Agence de Sûreté Nucléaire envisage de limiter la puissance des centrales lorsque le débit d'étiage est trop faible.

En l'absence de mesures d'adaptation, les besoins des différents usages de l'eau devraient augmenter dans le contexte du changement climatique. Au regard des chiffres disponibles, il ressort que cette hausse se concentrerait sur la période estivale et concernerait avant tout l'agriculture.

Ces conflits d'usage doivent également être mis en perspective avec les besoins en eau des écosystèmes et milieux naturels – en particulier dans les zones humides – qui devraient également augmenter dans la perspective du changement climatique.

Sur un plan territorial, l'axe Vendée-Orléans, déjà le plus exposé, devrait connaître une aggravation notable des tensions ressources disponibles/usages. La situation future de la Bretagne est plus incertaine. Elle dépendra de l'évolution des pratiques agricoles. L'irrigation se développe actuellement pour sécuriser la production de la nourriture destinée à l'élevage (maïs ensilage, etc.).
L'évolution démographique constitue également un facteur de vulnérabilité important en termes de pression sur les ressources. Les projections de l'INSEE indiquent ainsi un accroissement de l'attractivité littorale aussi bien touristique que résidentielle dans la perspective d'un climat plus favorable. Cette attractivité est d'ores et déjà ressentie en Vendée et, dans une moindre mesure, en Loire Atlantique.

[15] Agence de l'eau Loire-Bretagne, *Évaluation des interventions de l'agence en faveur des économies d'eau*, Rapport d'évaluation, mai 2009.

Le programme de réduction des prélèvements de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne

Pour faire face à une situation d'ores et déjà tendue, certaines mesures ont été prises. L'Agence de l'eau Loire-Bretagne a notamment mis en place dans le cadre du 8ème programme de l'agence, une série d'actions visant à réduire les prélèvements des différents usages. Le rapport sur l'évaluation de ce programme présente notamment un bilan des économies réalisées par types d'actions, réalisé en vue la préparation du 9ème programme et du SGAGE 2010-2015 (voir ci-après).

FIGURE 14 - BILAN DES ACTIONS ENGAGÉES PAR L'AGENCE POUR LA RÉDUCTION DES PRÉLÈVEMENTS (SOURCE : AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2009)

		Economies réalisées		Efficience en m³/€	
		min	max	min	max
Eau potable	Travaux sur les réseaux suite à une étude	2 %	32 %	0.1	1.1
	Pose de compteurs sectoriels	8 %	9 %	2,1	
	Travaux dans l'habitat collectif	6 %	21 %	0.4	0.7
	Pose de compteurs individuels dans l'habitat collectif	10 %	28 %		
	Récupération des eaux pluviales	5 %	50 %	0.04	0.5
Agriculture	Retenues de substitution	25 %	30 %	0.5	1.55
	MAE sur une durée de 5 ans	25 %	30 %	1.5	6
	MAE sur une durée de 15 ans*	25 %	30 %	0.6	1.9
Industrie	Recyclage des eaux usées	12 %	16 %	0.13	1.3
	Pose de compteurs	15 %	26 %	1.2	2.0

Un tel cadre opérationnel, en tenant compte des impacts du changement climatique sur la disponibilité de la ressource et sur l'évolution des prélèvements, pourrait s'avérer très utile pour une adaptation efficace des divers usages de l'eau.

2.1.6 Synthèse : une forte vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique dans le Grand Ouest

Ce qu'il faut retenir…

Le territoire du Grand Ouest est déjà **exposé et sensible à la raréfaction de la ressource en eau**, en particulier en région Centre et dans le sud de la Vendée. Avec le **changement climatique**, cette **exposition augmentera** inévitablement.

Sur le plan de sa sensibilité à la raréfaction des ressources, la tension entre celle-ci et l'augmentation des besoins pourrait accroître les **risques de conflits d'usage**. Ainsi, en **l'absence de mesures d'adaptation, la vulnérabilité de l'inter-région pourrait fortement augmenter.**

Dans les secteurs du Grand Ouest où la tension ressource disponible / besoins est déjà forte (région Centre et espace littoral), les conflits d'usage pourraient se multiplier dans le cadre du changement climatique :

- En région Centre, nous avons vu que les ressources souterraines étaient partagées, pour l'essentiel, entre les usages domestiques (alimentation en eau potable) et agricoles. La tension entre ces deux usages est déjà forte (en témoignent les arrêtés de sécheresse limitant ponctuellement l'irrigation en période estivale avec des conséquences économiques directes) et pourrait se trouver exacerbée en l'absence de mesures d'adaptation ;
- Sur le littoral, l'attractivité touristique en été se traduit par une hausse importante des besoins en eau, qui pourrait entrer en conflit avec d'autres usages de ces territoires : agriculture, alimentation des marais littoraux et de l'activité conchylicole, qui nécessitent un apport minimum d'eau douce de qualité dans les secteurs d'estuaire.

À ces conflits d'usage se superposent des problématiques plus structurelles aux conséquences potentiellement très importantes :

- Dans la perspective d'un débit d'étiage trop faible de la Loire ou d'un réchauffement trop important de ses eaux, c'est la production de quatre centrales nucléaires qui se trouverait remise en question en période estivale ;
- La question des milieux naturels et des écosystèmes dépendant de la disponibilité des ressources en eau (en particulier dans les zones humides telles que la Sologne) se pose également dans ce contexte (voir le chapitre dédié à la biodiversité et aux milieux naturels).

Puisqu'il n'est que peu ou pas possible d'agir sur la recharge naturelle des masses d'eau (hormis en améliorant le système de régulation des cours d'eau pour maintenir un débit d'étiage pour les masses d'eau de surface), la vulnérabilité de ces ressources au changement climatique dépendra principalement de l'évolution des prélèvements pour les différents usages de l'eau. Une augmentation tendancielle de ces prélèvements augmenterait la vulnérabilité, en réduisant encore la disponibilité des ressources. À l'inverse, toute mesure d'économie d'eau et d'éventuelle mobilisation de nouvelles ressources (stockage des eaux pluviales, etc.) la réduirait.

On notera pour finir la particularité de la région Bretagne, où l'essentiel des prélèvements sont effectués sur les ressources en eau de surface. Dans la perspective d'une augmentation des besoins, l'impact sur la disponibilité de la ressource pourrait être important, notamment en période estivale. Dans ce cadre, l'augmentation des besoins en eau d'irrigation dans le contexte du changement climatique pourrait s'avérer particulièrement problématique, dans une région où cet usage est encore peu développé.

L'Agence de l'eau, un champ d'intervention et un cadre de gouvernance pertinent pour l'adaptation de la gestion des ressources en eau aux impacts du changement climatique

L'objectif premier de l'Agence, c'est l'atteinte et le maintien du bon état des milieux aquatiques. Elle intervient à ce titre dans le champ des économies d'eau, de la sécurisation de l'AEP et de l'alimentation en eau de l'irrigation (logique de substitution et évolution des pratiques agricoles).

Outre le montant de ses participations, la conditionnalité des aides constitue également un outil d'influence sur la gestion de l'eau dans le bassin. Pour exemple, la subvention pour la construction d'une retenue de substitution peut être conditionnée au lancement d'une stratégie agricole d'économie d'eau (via les pratiques culturales notamment). C'est cependant la PAC qui conditionne l'essentiel de l'évolution de l'activité agricole et donc ses besoins en eau.

Pour l'AEP, le financement des interconnexions peut être conditionné à l'atteinte d'un niveau de rendement des réseaux.

Le second outil à disposition de l'Agence, c'est le cadre réglementaire défini par le SDAGE (identification des zones de répartition des eaux, interdiction de certaines retenues, etc.). Le SDAGE s'inscrit dans un cadre réglementaire plus large, aux différentes échelles décisionnelles :

- Européen : DCE ;
- National : PNACC (objectif de 20% d'économie d'eau à l'horizon 2020) ;
- Bassin : SDAGE (outil réglementaire opposable aux décisions administratives) ;
- Local : SAGE. La couverture des SAGE dans le bassin Loire Bretagne est très développée, d'autant plus dans l'ouest du bassin.

C'est dans ce cadre que l'Agence définit son programme d'actions. On notera que SDAGE et SAGE sont adoptés en concertation avec l'ensemble des parties prenantes des territoires. Ils constituent donc de bons outils pour faire face aux impacts du changement climatique. D'ores et déjà, là où les tensions sur la ressource sont fortes, des SAGE ont vu le jour. C'est le cas par exemple du marais Poitevin, couvert par plusieurs SAGE coordonnés par une commission inter-SAGE.

La prise en compte locale du changement climatique dans les SAGE est très récente et encore faible. Il s'agit avant tout de faire face aux pressions actuelles.

Source : entretien avec M. Rivoal et M. Billault de l'Agence de l'eau Loire Bretagne, 2012

3 Tableau de synthèse thématique

Impact	*Territoire cohérent les plus concernés*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Évaluation de la vulnérabilité*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité future*	*Capacité d'adaptation*
Réduction du débit des cours d'eau et allongement de la période d'étiage	Vallées de la Loire et de ses affluents	Moyenne	Elevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Elevée	-Evolution de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse ; -Evolution dans les aménagements des vallées des cours d'eau.	-Plan Loire Grandeur Nature.
Réduction de la disponibilité des ressources souterraines	Arrière-Pays breton et vendéen Beauce Sud de la région Centre	Faible	Moyenne	Vulnérabilité actuelle : faible à moyenne Vulnérabilité future : moyenne à élevée	Moyenne	-Evolution de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse ; -Pression sur les ressources des différents usages.	-Suivi piézométrique des nappes (Agence de l'eau)
Dégradation de la qualité de l'eau	Arrière-Pays Breton et vendéen	Moyenne	Elevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Moyenne à élevée	-Evolution du niveau marin et de la pression sur les nappes littorales (déplacement du biseau salé) ; -Niveau du débit d'étiage (augmentation de la température des cours d'eau et de la concentration des polluants).	-Travaux du BRGM et de l'ONEMA sur les intrusions salines dans les aquifères littoraux ; -Réduction des pollutions diffuses agricoles (nitrates, phytosanitaires, etc.).

Augmentation de la demande en eau	Arrière-Pays breton et vendéen Beauce Sud de la région Centre	Moyenne	Elevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Elevée	-Evolution des températures, de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse et/ou de canicule ; -Evolution des besoins des différents usages (agriculture, AEP, énergie, industrie) et des milieux naturels (zones humides en particulier).	-Mesures d'économie d'eau pour l'ensemble des usages (programme de l'Agence de l'eau).

VULNÉRABILITÉ AUX RISQUES NATURELS DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

1 Une vulnérabilité élevée aux risques d'inondation

L'inondation, un risque multiforme

Nous distinguerons dans cette partie trois types de risques d'inondation :

- Le débordement d'un cours d'eau dans son lit majeur, marqué par une onde de crue, dans la majeure partie des cas prévisible. On parle alors d'**inondations à cinétique lente, caractéristiques notamment de la Loire** ;
- L'inondation par ruissellement, provoquée par un épisode de précipitation exceptionnel ; et se traduisant généralement par un phénomène de « torrent de boue » et/ou de montée rapide et temporaire des eaux de ruissellement dans les points bas et les cours d'eau. Ce phénomène se trouve renforcé en milieu urbain par l'artificialisation des sols, qui accélère le ruissellement. On parle d'**inondations à cinétique rapide, caractéristiques notamment des fleuves côtiers bretons et vendéens** ;
- **L'inondation par submersion marine**, provoquée par l'inondation temporaire ou non des territoires littoraux de faible altitude lors de phénomènes extrêmes (tempêtes), sera traitée dans ce chapitre afin de garantir une cohérence avec la gestion du risque inondation définies dans la Directive européenne de 2007.

  Toutefois, dans la perspective du changement climatique, l'évolution du risque de submersion marine doit être prise en compte en lien avec celle du risque d'érosion côtière.

  L'impact du changement climatique sur le risque de submersion marine sera donc évoqué dans le chapitre suivant, consacré à l'évolution des risques côtiers.

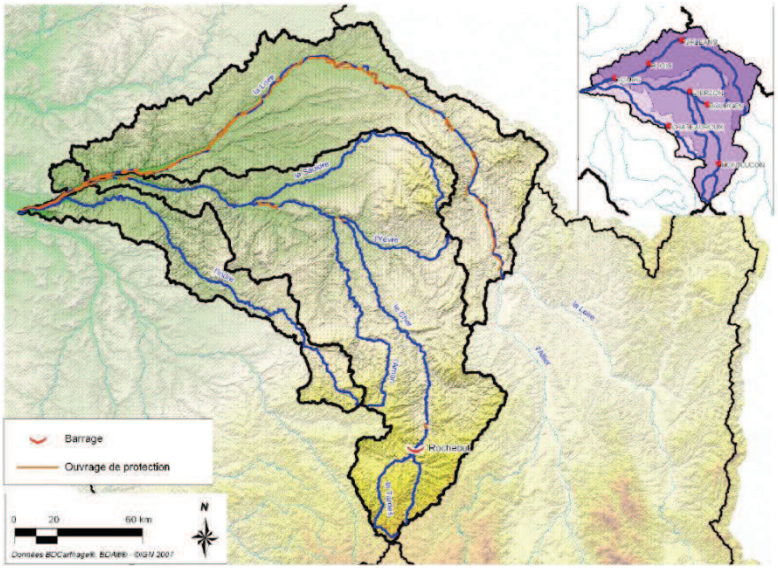
Remarque : le présent chapitre n'a pas vocation à rendre compte de façon exhaustive des risques d'inondation dans le Grand Ouest, mais à fournir des éléments d'appréciation de l'évolution de ces risques dans la perspective du changement climatique. La littérature existante sur l'analyse des risques[16], sur laquelle s'appuie cette analyse, offre un panorama plus complet de l'état des lieux de ce risque pour l'ensemble du bassin Loire-Bretagne.

[16] Voir à ce sujet : *Evaluation préliminaire des risques d'inondation du bassin Loire-Bretagne* (Projet), novembre 2011

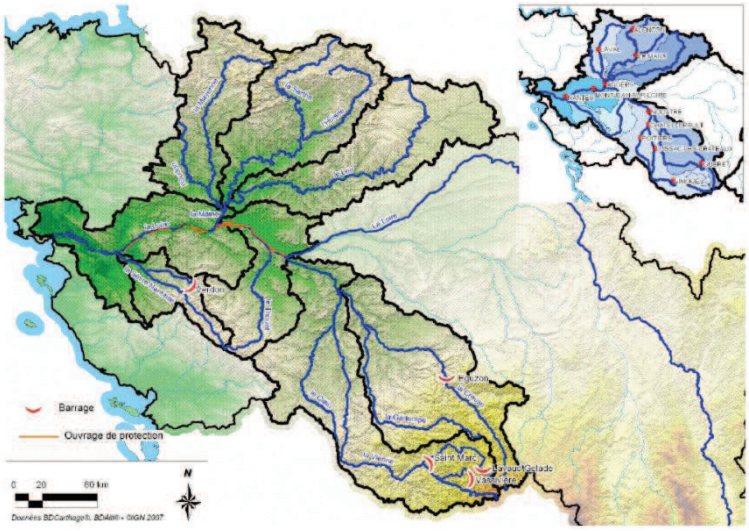
Eléments de contexte – Les sous bassins hydrographiques du Grand Ouest

Sur le plan hydrographique, le Grand Ouest est divisé en quatre sous bassins hydrographiques qui, en raison de leurs caractéristiques géomorphologiques et climatiques, ne présentent pas la même exposition aux différents types de risques d'inondation :

Le sous-bassin de la **Loire moyenne**, qui s'étend jusqu'à la confluence avec la Vienne en aval de Tours et inclut la vallée de l'Indre et du Cher.



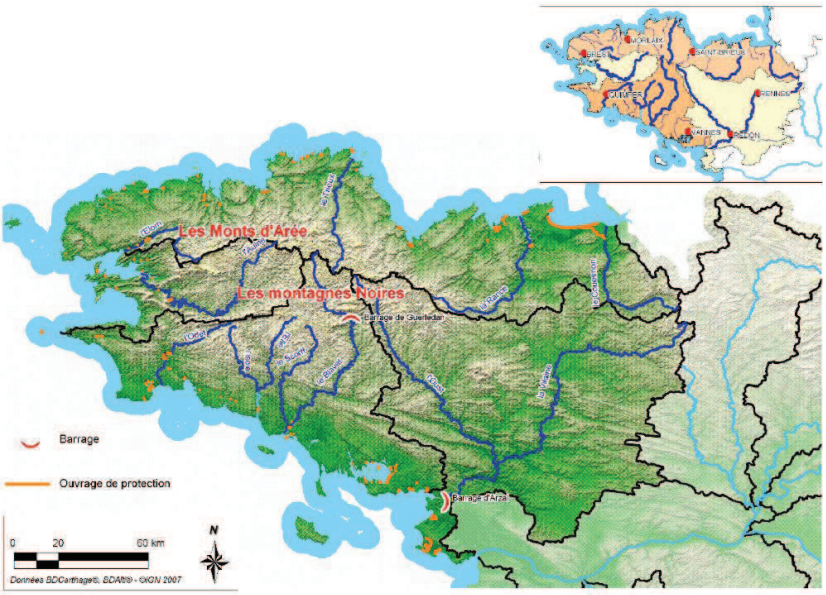
Le sous-bassin de la **Loire aval**, jusqu'à son estuaire, qui inclut la confluence de la Maine à Angers, elle-même formée par la confluence des vallées de la Mayenne, de la Sarthe et du Loir.



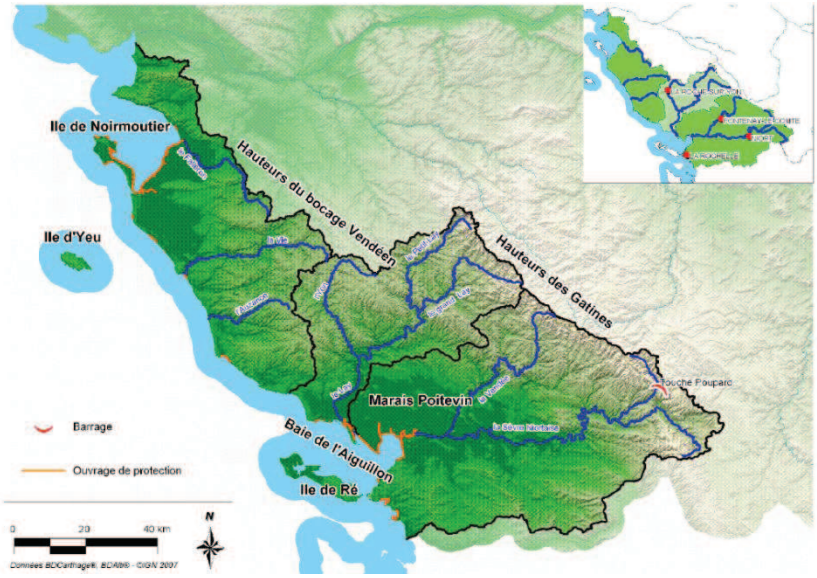
Source : Evaluation préliminaire des risques d'inondation du bassin Loire-Bretagne (Projet), novembre 2011.

Organisée autour du bassin de la Loire dans un relief peu marqué de plaines et de plateaux, ces deux sous-bassins sont soumis, pour l'essentiel, au risque d'inondation à cinétique lente lié aux crues de la Loire et de ses affluents.

Le sous-bassin des **fleuves côtiers bretons**



Le sous-bassin des **fleuves côtiers vendéens et du marais poitevin**



Source : Evaluation préliminaire des risques d'inondation du bassin Loire-Bretagne (Projet), novembre 2011.

Ces deux sous-bassins sont, pour l'essentiel, soumis aux risques d'inondation à cinétique rapide et par submersion marine (sur le littoral et en fond d'estuaire), risques susceptibles de se conjuguer ponctuellement. L'essentiel de la structure hydrographique est en effet constitué de petits cours d'eau (exception faite de la Vilaine) à l'influence maritime forte et très réactifs aux épisodes de précipitations, en particulier en Bretagne où le relief du Massif Armoricain favorise le ruissellement.

1.1 Impacts du changement climatique sur le risque inondation à cinétique lente : les crues de la Loire

Ce qu'il faut retenir…

Les **inondations à cinétique lente** touchent essentiellement les cours d'eau du **bassin de la Loire**. Cette dernière n'a pas connu de crue centennale depuis la seconde moitié du XIXème siècle, pour la Loire moyenne, et la dernière crue majeure à Nantes remonte à 1910.

L'impact du changement climatique sur ce type de risque inondation est **très incertain**. Néanmoins, **l'endiguement important** du cours de la Loire, qui protège notamment ses « Vals » aux multiples enjeux, expose ces derniers à un **risque élevée en cas de crue majeure**.

La vulnérabilité future dépendra des **choix d'aménagement** actuels et à venir, de **l'évolution du territoire** et des **mesures d'adaptation** mises en place pour réduire la sensibilité des populations et des enjeux exposés.

1.1.1 La Loire : une vallée endiguée pour un territoire exposé

N.B. : l'objectif de ce chapitre n'est pas de rendre compte précisément de l'exposition actuelle de chaque territoire du Grand Ouest au risque d'inondation, mais bien d'évaluer cette exposition de façon globale (à l'échelle interrégionale) afin d'envisager son évolution possible dans le contexte du changement climatique. Les données utilisées (base Carto-risques et celle des arrêtés de Catastrophe Naturelle) ne permettent pas de disposer d'un état des lieux précis et exhaustif au plan local, mais offre une vision globale de l'exposition au risque, dans la perspective d'évaluer son évolution dans le contexte du changement climatique.

1.1.1.1 Exposition actuelle : un territoire déjà très exposé

Le Tableau 6 ci-après – issu des travaux des services déconcentrés de l'Etat, dont les données sont capitalisées dans la base CartoRisque[17] – indique, pour chaque département du Grand Ouest, la surface estimée en zone inondable en 2010, soit la part du territoire située dans le lit majeur des cours d'eau.

TABLEAU 6 – LES ZONES INONDABLES DANS LE GRAND OUEST (ARTELIA, D'APRÈS LES DONNÉES DE LA BASE EIDER – SOURCES : CORINE LAND COVER, CARTO RISQUE, INSEE)

Territoire	Surface estimée en zone inondable en 2010 (ha)	Part surface estimée en zone inondable / surface totale (%)	Population estimée en zone inondable (2006)	Part population en zone inondable / population totale (2006)	Taux de représentativité (2010) (1)
COTES-D'ARMOR	4493	1%	1800	0,3%	73%
FINISTERE	1908	0%	9200	1,0%	65%
ILLE-ET-VILAINE	22118	3%	28600	3,0%	90%
MORBIHAN	18541	3%	9400	1,4%	88%
CHER	13876	2%	5500	1,7%	19%
EURE-ET-LOIR	14515	2%	31600	7,5%	79%
INDRE	10650	2%	13600	5,8%	99%
INDRE-ET-LOIRE	**34631**	**6%**	**143300**	**24,7%**	**59%**
LOIR-ET-CHER	**34689**	**5%**	**36700**	**11,3%**	**99%**
LOIRET	**44773**	**7%**	**90600**	**14,0%**	**75%**
LOIRE-ATLANTIQUE	24289	4%	30400	2,5%	65%
MAINE-ET-LOIRE	**68907**	**10%**	**78600**	**10,3%**	**85%**
MAYENNE	6794	1%	7000	2,3%	95%
SARTHE	2563	0%	2200	0,4%	26%
VENDEE	2488	0%	2800	0,5%	23%
CENTRE	153134	4%	321300	12,8%	70%
BRETAGNE	47060	2%	49000	1,6%	83%
PAYS DE LA LOIRE	105041	3%	121000	3,5%	58%
TOTAL Grand Ouest	305235	3%	491300	5,4%	
France métropolitaine	2640015	5%	5637800	8,9%	73%

(18) *La cartographie des zones inondables est incomplète. Ce taux représente la part des surfaces inondables prises en compte dans le tableau sur la surface totale des zones inondables. Il s'agit des cartographies disponibles en 2010 pour lesquelles on estime la population et le nombre de logements par rapport aux recensements de 1999 et 2006.*

Au regard de ces données, deux constats apparaissent nettement :

- Le Grand Ouest (3% du territoire exposé) apparaît moins exposé proportionnellement au reste du territoire français métropolitain (5% du territoire exposé) ;
- Les principaux départements touchés (dépassant la moyenne nationale) dans le Grand Ouest sont ceux de la vallée de la Loire et de ses affluents (en gras dans le tableau ci-dessus) : Maine et Loire, Indre et Loire, Loir et Cher et Loiret. Seule la Loire Atlantique semble un peu moins exposée. Toutefois, nous verrons plus loin que son caractère littoral l'expose davantage au risque de submersion marine. Les autres territoires du Grand Ouest semblent à première vue beaucoup moins exposés.

[17] http://cartorisque.prim.net/

La vallée de la Loire et de ses affluents apparaît comme le territoire le plus exposé au risque d'inondation à cinétique lente, qui se traduit par une onde de crue progressant régulièrement vers l'aval.

FIGURE 15 – LES COMMUNES DE LA VALLÉE DE LA LOIRE SOUMISES AU RISQUE INONDATION (SOURCE : ETABLISSEMENT PUBLIC DE LA LOIRE, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES GASPAR)

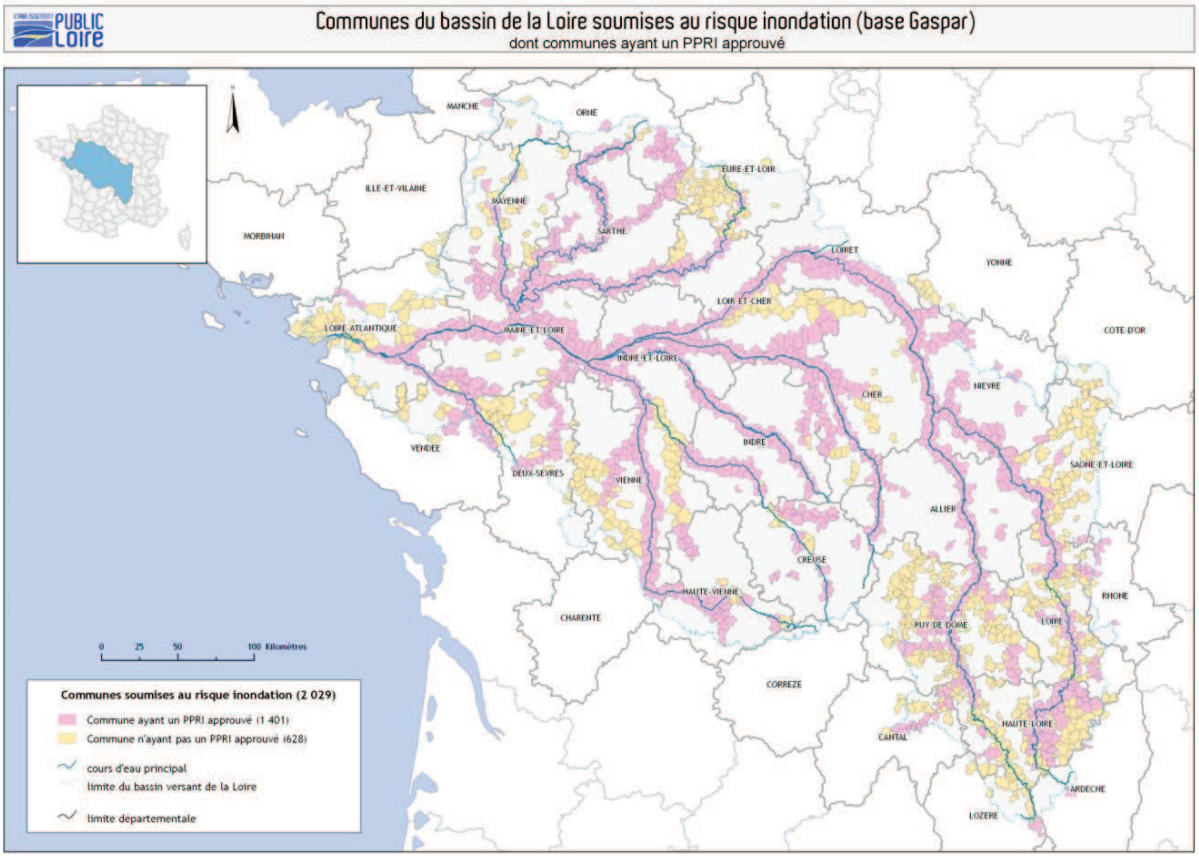


TABLEAU 7 – LES INONDATIONS PASSÉES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA LOIRE (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LES DONNÉES DE L'AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE)

Bassin-versant	Evènements passés	
Cher	2001	
Indre	1982	
Vienne	1982	
Maine (Mayenne, Sarthe, Loir)	1995	
Loire moyenne	1907 et 2003	1846, 1856 et 1866
Loire Aval	1910	

Les événements récents ont essentiellement touché les affluents de la Loire, mais ont eu peu d'influence sur cette dernière. Deux raisons principales permettent de l'expliquer :

- Dans le sous-bassin de la Loire moyenne, la Loire a un débit suffisant pour absorber l'onde de crue du Cher ou de l'Indre. La crue du fleuve ne peut donc se produire, dans la majeure partie des cas, que si l'onde de crue provient de l'amont (de la confluence avec l'Allier notamment) et se combine à celle des autres affluents. Ce fut notamment le cas en 2003. Lors de cet épisode de crue, le sous-bassin de la basse Loire n'avait pas été touché, les autres affluents (la Vienne et la Maine) n'étant pas en crue ;

- La Loire est endiguée sur l'ensemble de son cours dans le Grand Ouest (jusqu'à Nantes), afin de protéger les rives basses du fleuve : les « vals », pour la plupart urbanisés ou agricoles et qui constituent son ancien lit majeur. La plupart des crues restent cantonnées à l'intérieur de ces digues, comme ce fut le cas en 1907 ou en 2003.

FIGURE 16 – LES VALS ENDIGUÉS DE LA VALLÉE DE LA LOIRE (SOURCE : PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE)

Les dernières crues historiques de la Loire remontent donc à la seconde moitié du XIXème siècle. Á cette époque, la conjonction des ondes de crue des différents affluents (en particulier de la Maine), associée à celle de la Loire amont, s'était traduite par la rupture de nombreuses digues, inondant ainsi bon nombre de zones agricoles et urbanisées.

L'endiguement de la Loire, s'il joue un rôle important dans la protection des enjeux situés dans la vallée du fleuve, a donc un double effet potentiel :

- En réduisant l'expansion des crues, il se traduit par une accélération du débit, transférant la vulnérabilité vers l'aval. Ainsi, lors de la crue de 1910, la résistance des digues s'est traduite en aval par la plus forte inondation connue jusqu'à ce jour à Nantes. Lors des crues de 1846, 1856 et 1866, la rupture des digues en amont avait écrêté l'onde de crue, se traduisant par une inondation moins sévère en aval.
- En cas de crue de la Loire, la rupture possible des digues selon un effet de seuil entraîne une exposition particulièrement importante des enjeux situés en arrière, susceptibles de se trouver confrontés à une inondation rapide et difficilement prévisible.

Pour finir, on notera que la Loire est le seul fleuve français ne disposant d'aucun ouvrage hydraulique de régulation des crues, hormis dans sa partie avale (barrage de Villerest dans le département de la Loire notamment, qui a permis d'écrêter la crue de 2003).

1.1.1.2 Exposition future : de nombreuses incertitudes

Les projections de Météo-France indiquent, quel que soit le scénario retenu, une réduction des précipitations dès 2030 au sud de la vallée de la Loire, que ce soit en moyenne annuelle, hivernale ou estivale. Dans ces conditions, le risque inondation lié aux crues de la Loire devrait mécaniquement diminuer, dans le sous-bassin de la Loire moyenne notamment.

Toutefois, comme le soulignent de nombreux rapports[18], l'incertitude est considérable quant à l'impact du changement climatique sur l'évolution de la fréquence et de l'intensité des crues de la Loire. Cette incertitude est notamment liée à une probable évolution de la répartition des précipitations tout au long de l'année. Leur concentration dans le temps pourrait se traduire par une exposition accrue à ce type d'inondation.

On note par ailleurs que l'évolution de l'exposition dépendra également pour beaucoup des choix d'aménagement dans la vallée de la Loire et de ses affluents (entretien des digues, urbanisation ou non des lits majeurs, etc.).

1.1.2 La vulnérabilité des territoires aux crues de la Loire et de ses affluents

1.1.2.1 Sensibilité actuelle : des vallées urbanisées aux multiples enjeux

Comme nous venons de le voir, l'exposition des vallées de la Loire et de ses affluents est relativement élevée. Or, le bassin versant de la Loire concentre de multiples enjeux socio-économiques et environnementaux. Elle accueille en particulier un réseau de villes relativement dense, relié par d'importantes infrastructures de communication et constitue par ailleurs un espace de production d'énergie d'envergure nationale.

Face à ce constat, nous pouvons affirmer que la sensibilité aux inondations liées aux crues de la Loire et de ses affluents est élevée.

Le tableau qui suit recense les principaux enjeux concernés :

Tableau 8 – Les principaux enjeux exposés dans la vallée de la Loire et de ses affluents (Source : Artelia)

Type d'enjeu	Situation dans la vallée de la Loire
Urbanisation	-Environ 400 000 habitants en zone inondable (dont 300 000 dans le sous-bassin de la Loire moyenne) ; -Un réseau dense de petites, moyennes et grandes villes, dont : Orléans, Blois, Tours, Saumur, Angers et Nantes.
Industrie	-Zones industrielles en zone inondable, à proximité des agglomérations.
Production d'énergie	-4 centrales nucléaires au fil de l'eau, toutes situées dans le sous-bassin de Loire moyenne (Belleville, Chinon, Dampierre

[18] Voir notamment le Rapport sur la Concertation nationale sur l'adaptation au changement climatique, MEDDTL, 2010.

	et St Laurent). Le Centre constitue de ce fait la seconde région française pour la production d'énergie.
Infrastructures de transport	-A85 et A11 (qui passent notamment dans certains Vals) ; -A10, A71 et A87 (qui franchissent la Loire) ; -Réseau ferré (en particulier la ligne Orléans-Tours-Angers-Nantes) ; -Ports fluviaux.
Agriculture	Vignobles du Val de Loire, serres et cultures maraîchères en bord de Loire.
Patrimoine	Châteaux de la Loire

Le Plan Loire grandeur nature, dans sa partie concernant la prévention des inondations, a mené une analyse fine de l'exposition et de la sensibilité de chaque val aux crues de la Loire.

Ces travaux ont permis, entre autre, d'estimer le coût d'une inondation dans le sous-bassin de la Loire Moyenne. Deux cas de figure se distinguent nettement :

- En cas d'inondation sans rupture des digues, le coût moyen varierait entre 1 et 2,5 milliards d'euros ;
- En cas de rupture des digues (inondations similaires à celles de la seconde moitié du XIXème siècle), ce coût dépasserait les 6 milliards d'euros.

En triplant les coûts en cas de rupture de digues, ce chiffrage met en évidence la sensibilité élevée des enjeux situés dans les vals, en arrière des digues. En effet, depuis le XIXème siècle, l'occupation de ces territoires en arrière des digues s'est transformée : un certain nombre d'entre eux sont aujourd'hui pour partie urbanisés, augmentant d'autant la sensibilité aux inondations. Par ailleurs, la présence dans ces vals de deux enjeux d'envergure nationale, à savoir les axes de communication entre le nord et le sud de la France et la production d'énergie (Centrales nucléaires) accroît d'autant la sensibilité de la vallée de la Loire aux inondations.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer par ailleurs, ces digues, censées protéger les vals des crues de la Loire, les exposent à un risque d'inondation rapide et difficilement prévisible. Pour y faire face, les services de l'Etat et les collectivités ont mis en place des outils de prévention et de sensibilisation et travaillent de concert à l'entretien des digues.

Extrait d'un document de sensibilisation de la préfecture du Maine et Loire à destination des habitants du Val d'Authion et appuyé sur le retour d'expérience des crues passées[19]

Chouzé-sur-Loire, 4h du soir, le 4 juin 1856

Nous avons vu un spectacle comme de mémoire d'homme il ne s'en est vu. – Le bourg de la Chapelle a été littéralement coupé en deux par un torrent impossible à décrire, qui a fait une brèche d'environ 220 mètres et a entraîné avec lui une trentaine de maisons.

[19] http://www.maine-et-loire.pref.gouv.fr/sections/protection_populatio/securite_civile/protection_du_val_d/downloadFile/file/Plaquette_Authion.pdf

La caserne de gendarmerie, la maison de M. Gerbier, maire et notaire, sont englouties. (…) Je crois qu'il n'a péri personne.

Ory, gendarme, a sauvé treize inondés, et M. le commissaire de police sept ou huit. Ils les emportaient sur leurs bras, dans l'eau jusqu'à la ceinture.

Ce soir à 3 heures, nous avons vu disparaître sous l'eau, avec un fracas épouvantable, la maison des religieuses, une partie de la gare de la Chapelle, une aile du château de Bizoullé et sa terrasse. (…)

L. AUCHE (Journal de Maine-et-Loire du samedi 7 juin 1856)

On notera que l'essentiel des enjeux sont aujourd'hui concentrés dans le bassin de la Loire Moyenne.

1.1.2.2 La vulnérabilité future aux crues dans le bassin de la Loire

Dans le contexte d'une exposition future incertaine, la sensibilité future des vallées de la Loire et de ses affluents aux inondations dépendra de deux principaux paramètres :

- L'évolution du nombre et de l'importance des enjeux humains, socio-économiques et environnementaux sensibles et exposés au risque inondation. Ce paramètre dépendra pour l'essentiel des choix d'aménagement actuels et à venir et de l'évolution démographique et socio-économique du territoire. Ainsi, si la population augmente dans la vallée de la Loire, la sensibilité aux inondations augmentera avec elle ;
- Les éventuelles mesures d'adaptation mise en place pour réduire la sensibilité des populations et enjeux socio-économiques exposés.

Les différents projets de planification en cours – SDAGE de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, Schéma Directeur de Prévision des Crues en cours de réalisation, travaux du Plan Loire grandeur nature, Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI), travaux de l'Établissement public de la Loire[20] etc. – visent à réduire la sensibilité du territoire aux crues de la Loire et de ses affluents et in fine sa vulnérabilité.

[20] Voir notamment le rapport : Point de vue extérieur sur la gestion des inondations en Loire moyenne, 2006.

Analyse et prise en compte des impacts et de la vulnérabilité au changement climatique dans le Plan Loire (2007-2013)

Le bassin de la Loire a été retenu en 2006 comme site pilote par le MEDDTL dans le cadre d'un Contrat de projet interrégional (CPIER) et du Programme opérationnel FEDER Loire pour développer plusieurs programmes de recherche destinés à évaluer les impacts du changement climatique dans la vallée de la Loire, ainsi que la vulnérabilité du territoire à ces derniers.

C'est ainsi que le Plan Loire 2007-2013, initiative ligérienne d'adaptation aux impacts du changement climatique, a – entre autre – pour ambition de réduire la vulnérabilité du bassin de la Loire aux risques inondation et sécheresse. Ce projet a permis de réaliser :

- Un état des lieux des connaissances et projets sur les impacts déjà perceptibles du changement climatique dans le bassin de la Loire et des initiatives d'adaptation déjà mises en œuvre ;
- Une audition d'experts sur les impacts du changement climatique et la vulnérabilité du territoire ligérien ;
- Deux projets de recherche, sélectionnés en 2008 dans le cadre d'un appel à projet :
- Projet EV2B : évaluation de la vulnérabilité de la biodiversité et des activités humaines (notamment le cadre bâti) aux effets du changement climatique sur les régimes d'inondation et de sécheresse ;
- Projet ICC hydroqual : évaluation des impacts du changement climatique sur l'hydrosystème Loire (HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux).

D'autres projets de recherche sont actuellement en cours, dans la continuité des programmes précités.

Sur le plan opérationnel, les actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du Plan Loire 2007-2013 et visant à réduire la vulnérabilité des différents enjeux au risque inondation, prennent peu en compte la vulnérabilité future aux impacts du changement climatique. Toutefois, lors des actions de sensibilisation des acteurs (en particulier économiques), le changement climatique est présenté comme un élément de contexte, révélateur de la vulnérabilité actuelle.

Source : entretien réalisé auprès de M. Rossignol, de l'Établissement Public Loire.

1.2 Impacts du changement climatique sur le risque inondation à cinétique rapide et ses phénomènes associés

Ce qu'il faut retenir…

Le risque **d'inondation à cinétique rapide et ses phénomènes associés** – glissement de terrain et coulée de boue – touchent **davantage les petits cours d'eau**, en particulier les fleuves côtiers bretons et, dans une moindre mesure, vendéens. L'abondance des précipitations d'origine océanique et la présence du Massif Armoricain favorisent en effet la saturation en eau des sols et le ruissellement rapide des eaux de pluies.

L'augmentation attendue des épisodes de fortes précipitations en Bretagne pourrait se traduire par un **accroissement de ces risques dès 2030 avec cependant de fortes incertitudes sur le niveau exact de ces précipitations**. La **vulnérabilité future** dépendra des **choix d'aménagement et d'urbanisme dans les zones exposées**, en vue de limiter le risque (remembrement du bocage limitant le ruissellement et l'érosion, etc.) et de protéger les enjeux (zones inconstructibles en zones exposées, etc.).

1.2.1 L'exposition au risque

1.2.1.1 L'arrière-pays breton et vendéen exposés à ce risque

Les inondations à cinétique rapide sont provoquées par d'importantes précipitations sur un temps relativement court : le ruissellement rapide des eaux de pluie gonfle les petits cours d'eau, qui entrent en crue de façon temporaire (jusqu'à plusieurs dizaines d'heures).

Dans le Grand Ouest, les sous-bassins des fleuves côtiers bretons et vendéens sont les plus exposés pour deux raisons principales :

- L'influence maritime, favorisant la forte pluviosité, entraîne une saturation hydrique souvent importante des sols, qui favorise le ruissellement lors de forts épisodes de précipitation ;
- Ces deux sous-bassins sont structurés par de petits fleuves côtiers entrant facilement en crue.

En Bretagne, le relief du Massif Armoricain agit comme un facteur aggravant, en favorisant le ruissellement plus rapide des eaux de pluie. Les principaux événements récents se sont déroulés en 1995 et durant l'hiver 2000-2001 (pour le sous-bassin des fleuves bretons) et ont tous plus ou moins suivi le même déroulement :

- Fort cumul de précipitations durant plusieurs jours ou semaines entraînant une saturation hydrique progressive des sols ;
- Épisode de forte précipitation et ruissellement soutenu des eaux de pluies ;
- Accumulation dans les points bas entraînant la crue des cours d'eau et petits fleuves côtiers.

Zoom sur les phénomènes associés : glissements de terrain et coulées de boues

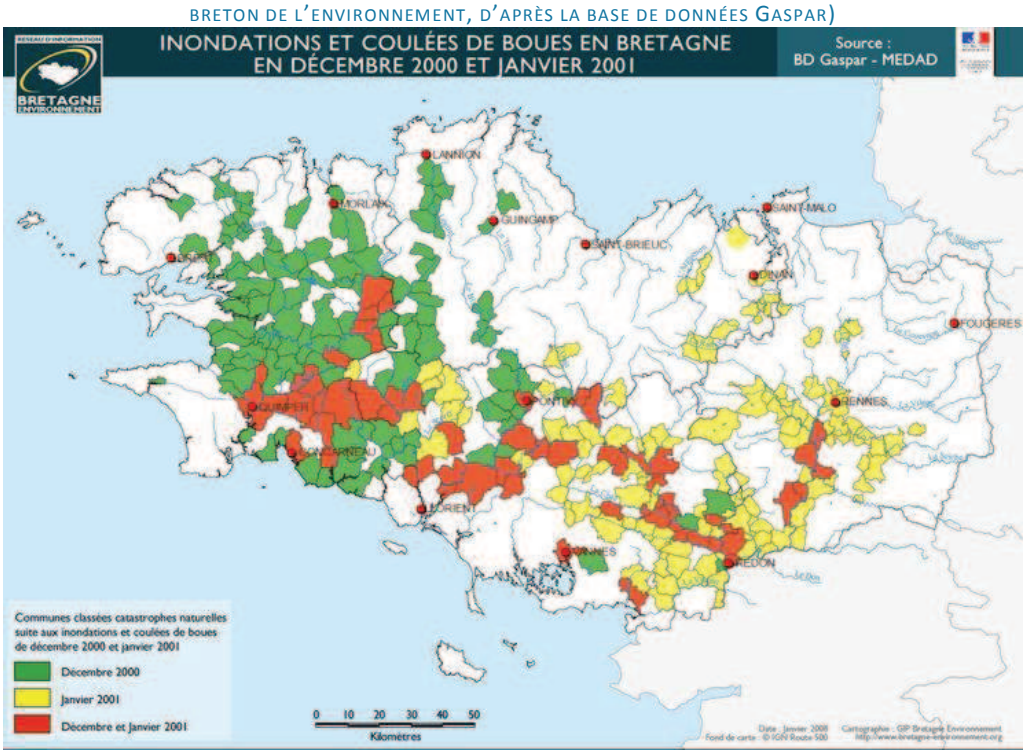
Au-delà de la crue rapide des cours d'eau, ces épisodes de fortes précipitations entraînent un certain nombre de phénomènes associés, en particulier dans le sous-bassin des fleuves côtiers bretons, où ils se trouvent favorisés par un relief plus marqué.

Le ruissellement des eaux de pluies sur les sols nus – en particulier en période hivernale – favorise ainsi les glissements de terrains et coulées de boue.

Tableau 9 – Nombre de communes concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle « inondation et phénomènes associés » entre 1990 et 2010

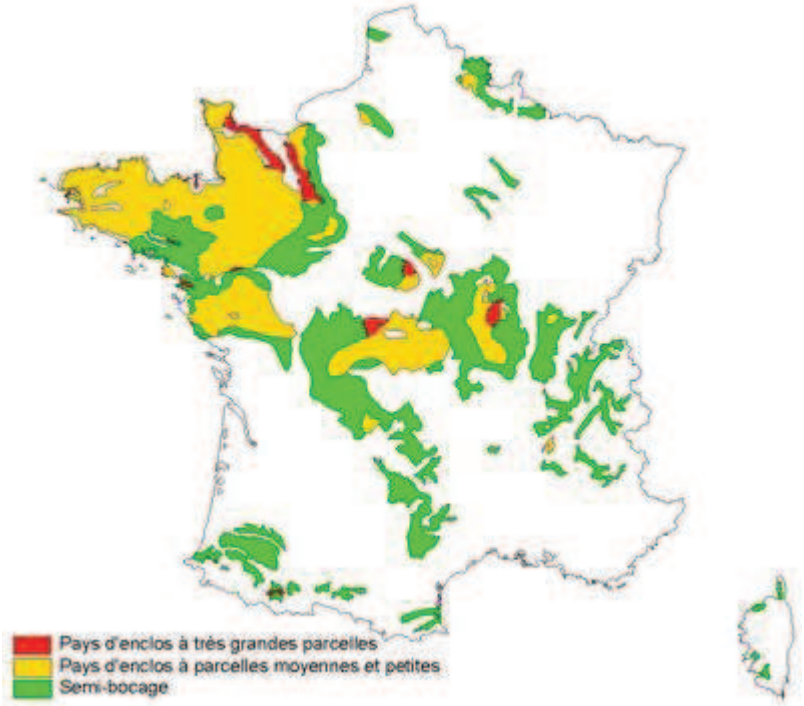
Territoire	Nombre de communes concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle (1990-2010)	Part des communes concernées / Nombre total de communes (%)
COTES-D'ARMOR	**252**	**68%**
FINISTERE	**226**	**80%**
ILLE-ET-VILAINE	**226**	**64%**
MORBIHAN	**188**	**72%**
CHER	129	44%
EURE-ET-LOIR	162	40%
INDRE	60	24%
INDRE-ET-LOIRE	123	44%
LOIR-ET-CHER	98	34%
LOIRET	55	16%
LOIRE-ATLANTIQUE	118	53%
MAINE-ET-LOIRE	**225**	**62%**
MAYENNE	120	46%
SARTHE	**231**	**62%**
VENDEE	140	50%
CENTRE	627	34%
BRETAGNE	892	70%
PAYS DE LA LOIRE	834	56%
GRAND OUEST	2353	51%
FRANCE METROPOLITAINE	21060	58%

FIGURE 17 – RETOUR D'EXPÉRIENCE DES INONDATIONS ET COULÉES DE BOUES DE L'HIVER 2000-2001 (SOURCE : OBSERVATOIRE BRETON DE L'ENVIRONNEMENT, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES GASPAR)



Le Tableau 9 et la Figure 17 soulignent cette relative vulnérabilité du territoire breton, mais également de l'ensemble des trois départements de l'ouest des Pays de la Loire, également partiellement couverts par le bocage (Vendée, Loire-Atlantique, Sarthe et Maine et Loire), au risque d'inondation et de phénomènes associés.

FIGURE 18 – LE BOCAGE EN FRANCE (SOURCE : ONCFS)



1.2.2 Vulnérabilité aux inondations à cinétique rapide dans le contexte du changement climatique

1.2.2.1 Vulnérabilité actuelle

Comme nous l'avons vu, l'exposition aux inondations à cinétique rapide et à leurs phénomènes associés, bien que concentrée pour l'essentiel dans les sous-bassins des fleuves côtiers bretons et vendéens, est beaucoup plus diffuse sur le territoire que celle concernant les inondations fluviales de la Loire et de ses affluents, cantonnée aux lits majeurs de ces cours d'eau.

Deux types d'espaces y sont particulièrement vulnérables :

- Les espaces urbanisés situés dans les points bas et les talwegs (ligne de collecte des eaux), susceptibles d'être inondés ;
- Les espaces agricoles : le ruissellement accélère l'érosion des sols, ce qui est très préjudiciable à l'agriculture.

La sensibilité à ce type d'inondation dépend donc également des choix d'aménagement de l'espace. L'étalement urbain en cours, en artificialisant les sols dans les vallées, accroît la vulnérabilité en limitant l'infiltration des eaux de pluies, accélérant d'autant le phénomène de ruissellement et de montée des eaux.

Côté agriculture, le démembrement des bocages breton et vendéen depuis un demi-siècle a accentué la sensibilité à l'érosion par ruissellement, qui se traduit par un appauvrissement des sols agricoles.

1.2.2.2 Vulnérabilité future

La vulnérabilité future aux inondations à cinétique rapide et à leurs phénomènes associés apparaît relativement incertaine. Dans la perspective d'un accroissement des phénomènes d'étalement urbain et en l'absence de remembrement plus massif du bocage, elle pourrait être amenée à augmenter.

Dans les zones exposées actuellement, des mesures sont déjà prises localement pour réduire cette vulnérabilité, telles que les projets de remembrement du bocage pour limiter l'érosion des sols agricoles. Le choix des cultures n'est pas non plus sans conséquence : les sols laissés à nu en hiver sont ainsi beaucoup plus sensibles à l'érosion[21].

En milieu urbain, le développement et l'annexion des schémas directeurs de gestion des eaux pluviales aux PLU dans les villes et la réalisation de Plan de Prévention du Risque inondation (PPRi) permettent de planifier l'aménagement urbain en tenant compte de l'exposition au ruissellement et aux inondations.

[21] L'érosion hydrique des sols en France, IFEN et INRA, 2002.

Néanmoins, dans les zones actuellement peu exposées – hors Bretagne – et qui pourraient l'être davantage dans le futur, la vulnérabilité aux inondations à cinétique rapide et à leurs phénomènes associés pourrait être élevée, ce type d'aléa n'ayant pas été pris en compte dans l'aménagement de ces territoires.

La vulnérabilité future à ces impacts dépendra donc, pour l'essentiel, de la capacité des collectivités à maîtriser l'occupation du sol en milieu urbain et agricole, afin de tenir compte, dans leurs politiques territoriales et leurs documents d'urbanisme, de l'évolution de ce risque.

1.3 Impacts du changement climatique sur le risque d'inondation par submersion marine

Ce qu'il faut retenir…

Le risque d'inondation par submersion marine touche l'ensemble des littoraux du Grand Ouest. Deux types de secteurs sont particulièrement exposés :

- Les **côtes basses d'accumulation et les marais arrières-littoraux** : le **littoral vendéen** est de ce point de vue particulièrement exposé (marais breton et poitevin). De **nombreux sites bretons** sont également particulièrement vulnérables, en particulier dans la baie du Mont St Michel.
- Les **fonds de baies et les estuaires** : ces territoires présentent souvent de nombreux enjeux (zones urbaines, infrastructures portuaires et touristiques). **L'estuaire de la Loire et les rias** (ou abers) bretonnes sont de ce point de vue particulièrement concernés. La conjonction possible entre submersion marine et inondation continentale révèle une vulnérabilité particulièrement importante de ces territoires, dans la perspective d'une élévation du niveau de la mer et d'une augmentation du risque d'inondation à cinétique rapide.

La submersion marine est définie comme *« l'inondation, temporaire ou non, des zones côtières par la mer dans des conditions météorologiques extrêmes »*[22]. Elle résulte d'une élévation ponctuelle que connaît le niveau de la mer lors d'épisodes de tempêtes. Si les impacts du changement climatique sur le régime des tempêtes sont aujourd'hui incertains et font toujours l'objet d'études, l'élévation du niveau de la mer aura pour conséquence une hausse de la fréquence et de l'intensité des épisodes de submersion.

La submersion marine représente un risque considérable lorsque des enjeux (humains, naturels, économiques) sont présents dans les zones inondables par la mer. Elle affecte particulièrement les fonds d'estuaire et l'ensemble des côtes basses, notamment les zones endiguées et les polders, qui protègent des terrains souvent situés sous le niveau des plus hautes mers et dont la vulnérabilité future dépendra de la hauteur et la résistance des ouvrages de protection.

À l'échelle de la France, les zones basses regroupent environ 7 000 km².

[22] DIREN Languedoc-Roussillon, 2008.

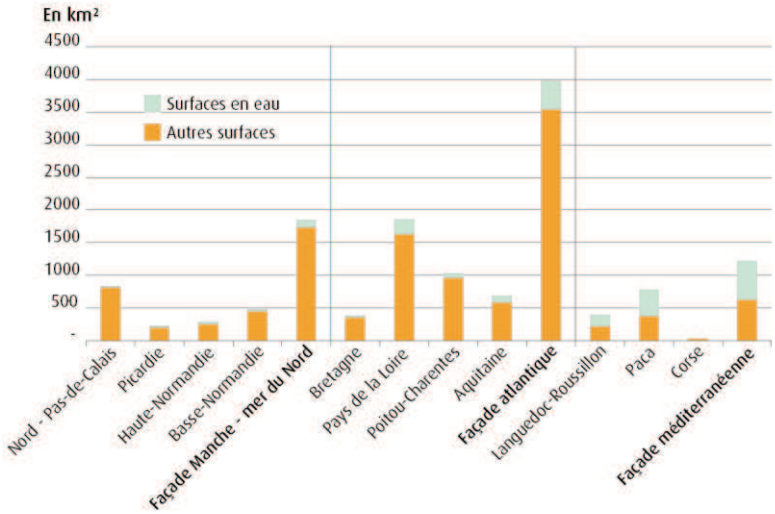
1.3.1 Des côtes basses très exposées

La façade atlantique concentre 56 % de ces territoires[23], la principale région concernée étant les Pays de la Loire (voir histogramme ci-après). Cette situation s'explique par l'importance des marais maritimes dans la région, correspondant aux littoraux en accrétion (en accroissement en raison d'une accumulation de sédiments) :

- Le marais breton, protégé par le cordon dunaire de St Gilles Croix de Vie à Noirmoutier et en progression dans la baie de Bourgneuf ;
- Le marais vendéen au sud, en progression dans l'anse de l'Aiguillon.

Ces deux territoires, marqués par une longue tradition de poldérisation, sont très exposés aux phénomènes de submersion marine, comme l'illustre la récente tempête Xynthia. L'estuaire de la Loire est également exposé, en particulier dans le secteur de St Nazaire sur la rive droite, où la conjonction d'une crue de la Loire et d'une forte marée pourrait s'avérer dévastateur.

FIGURE 19 – SURFACE DES ZONES BASSES SUR LE LITTORAL MÉTROPOLITAIN (SOURCE : MEDDTL, CETMEF, 2010)



Le littoral breton présente moins de côtes basses et se trouve donc proportionnellement moins exposé que le littoral des Pays de la Loire. Hormis quelques côtes basses très localisées, plusieurs secteurs particulièrement vulnérables se distinguent :

- Le Golfe du Morbihan ;
- La baie du Mont St Michel au nord, qui présente une configuration de fond de baie en accrétion et partiellement poldérisée. Le marais de Dol compte ainsi une surface poldérisée de près de 12 000 ha ;
- Une partie très urbanisée de la commune de St Malo est située sur un polder ;

[23]SOeS, 2010. Chiffres clés du littoral.

Tableau 10- Nombre de communes concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle « Inondation marine et phénomènes associés» entre 1990 et 2010 (hors tempêtes de décembre 1999) – Source : Base Eider

Territoire	Nombre de communes concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle (1990-2010)	Part des communes concernées / Nombre total de communes (%)
COTES-D'ARMOR	35	9%
FINISTERE	54	19%
ILLE-ET-VILAINE	4	1%
MORBIHAN	34	13%
LOIRE-ATLANTIQUE	33	15%
VENDEE	282	100%
BRETAGNE	**127**	**10%**
PAYS DE LA LOIRE	**315**	**21%**
GRAND OUEST	**442**	**10%**
FRANCE METROPOLITAINE	**3146**	**9%**

L'examen des arrêtés de catastrophe naturelle rend bien compte de l'exposition plus importante des départements littoraux des Pays de la Loire aux submersions marines par rapport au littoral breton. On notera toutefois un biais dans ce tableau : la tempête Xynthia a conduit à prendre un arrêté de catastrophe naturel à l'échelle départementale, ce qui explique que 100% des communes soient concernées.

1.3.2 Le cas particulier des estuaires et des fonds de baie

Les fonds d'estuaires ou de baies, souvent urbanisés, présentent une exposition particulièrement élevée au risque d'inondation par submersion marine. C'est le cas de l'estuaire de la Loire : lors de la tempête Xynthia, la surcote marine s'est ainsi propagée jusqu'à Nantes. Les estuaires des fleuves côtiers bretons, aussi appelés rias ou abers, sont également exposés.

Le risque inondation dans ces fonds d'estuaire ou de baie est particulièrement élevé lorsque inondation des cours d'eau et surcote marine surviennent de façon concomitante. Plusieurs villes moyennes bretonnes sont exposées à ce type d'événement. C'est le cas de Morlaix, Quimper ou encore Landerneau.

2 Vers une intensification des risques côtiers

2.1 Les impacts du changement climatique sur le risque d'érosion du littoral

2.1.1 L'exposition actuelle : une érosion contrastée du littoral

Ce qu'il faut retenir…

L'**exposition** à l'érosion côtière est déjà **relativement forte** sur de nombreuses portions du littoral du Grand Ouest, **en particulier au sud de la Loire**. Cette exposition est liée, pour l'essentiel aux caractéristiques géomorphologiques des littoraux : les côtes meubles sont beaucoup plus sensibles à l'érosion que les côtes rocheuses dures.

On notera que si l'érosion renforce le risque de submersion marine, certaines côtes d'accumulation, ou formées de roches dures, présentent néanmoins une exposition à la submersion (Rias bretons, côtes d'accumulation, fonds d'estuaire, etc.).

2.1.1.1 Généralités

L'érosion du littoral est un phénomène naturel affectant principalement les côtes sableuses et pouvant localement être aggravé par les activités humaines. L'érosion « naturelle » est liée aux tempêtes (dont l'éventuelle amplification interviendrait comme facteur aggravant), aux transports sédimentaires par les courants, les houles et les vents et à l'élévation du niveau de la mer (qui amplifie le phénomène).

A l'échelle de la France Métropolitaine, l'érosion touche près d'un quart du littoral (24,2% selon les données Eurosion 2004). L'érosion des côtes ne touche pas tous les types de littoraux de la même manière :

- Les littoraux « meubles » (plages sableuses, cordons littoraux) sont les plus touchés. Leur structure géomorphologique les rend particulièrement mobiles, aussi bien en terme d'érosion (recul du trait de côte) que d'accrétion (avancée – ou progradation – du trait de côte). Cette mobilité dépend pour l'essentiel de trois paramètres :
    - L'exposition du trait de côte à la houle ;
    - Le transit sédimentaire : l'apport de sédiments marins et/ou fluviaux est déterminant pour la mobilité des côtes meubles ;
    - Les aménagements humains : en modifiant l'organisation du littoral, ils sont notamment susceptibles de bloquer le transit sédimentaire, accélérant le phénomène d'érosion.

  Près de la moitié des côtes sableuses françaises sont aujourd'hui soumises au phénomène d'érosion.

- Les côtes rocheuses dures (roches plutoniques ou métamorphiques) sont stables dans 90% des cas. À l'inverse, les côtes de roche tendre sont soumises à une plus forte érosion, en particulier lorsqu'il s'agit de falaises vives ;

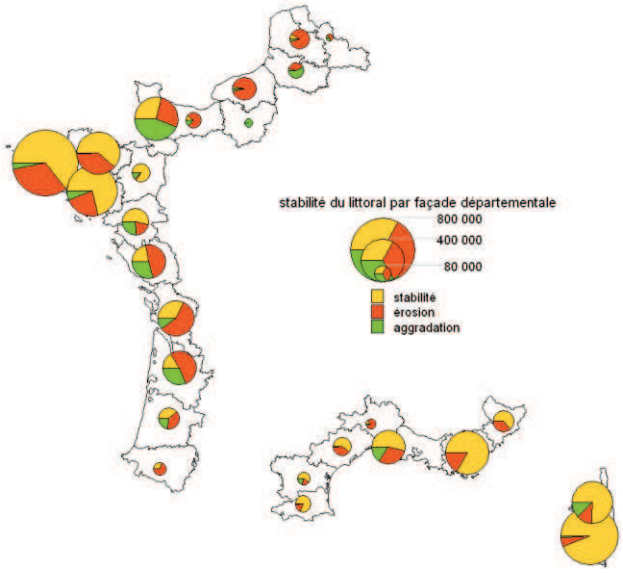
2.1.1.2 Situation régionale

Le littoral du Grand Ouest représente un peu moins de 40% du trait de côte métropolitain. Comme l'illustrent le tableau et la carte ci-dessous, ce trait de côte est pour plus de 50% stable ou en accrétion et pour un peu moins de 25% en érosion.

TABLEAU 11 – L'ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE DANS LE GRAND OUEST (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS L'OBSERVATOIRE DU LITTORAL, BASE DE DONNÉES EUROSION, 2004)

	Linéaire côtier concerné (km)	Littoral naturel en %				Littoral artificiel
		Stabilité	Erosion	Accrétion	Pas d'info	% du total
Pays de la Loire	**507,7**	**27,3 %**	**29,3 %**	**22,5 %**	**1,2 %**	**19,6 %**
Vendée	*299,3*	*18,2 %*	*39,6 %*	*24,2 %*	*0 %*	*18 %*
Loire-Atlantique	*208,4*	*40,4 %*	*14,5 %*	*20,2 %*	*2,9 %*	*22 %*
Bretagne	**2220**	**52,6 %**	**23,1 %**	**3,3 %**	**10 %**	**11 %**
Morbihan	*603,8*	*59,2 %*	*19 %*	*5,2 %*	*5,3 %*	*11,4 %*
Finistère	*1019*	*49,7 %*	*24,7 %*	*2,7 %*	*13,5 %*	*9,4 %*
Côtes d'Armor	*483,2*	*49,1 %*	*29,5 %*	*0,9 %*	*10,4 %*	*10,2 %*
Ille et Vilaine	*113,9*	*59,3 %*	*2,5 %*	*9,4 %*	*1,9 %*	*26,9 %*
Grand Ouest	**2727,7**	**47,9 %**	**24,2 %**	**6,9 %**	**8,4 %**	**12,6 %**
France métropolitaine	**7124**	**43,7 %**	**24,2 %**	**9,5 %**	**5,1 %**	**17,4 %**

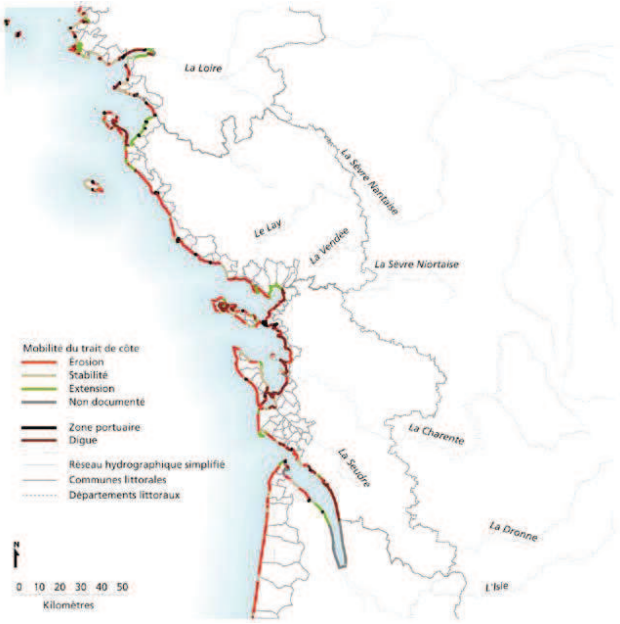
FIGURE 20 - ÉVOLUTION DU LITTORAL NATUREL PAR FAÇADE DÉPARTEMENTALE (SOURCE : OBSERVATOIRE DU LITTORAL, IFEN, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EUROSION, 2004)



Il convient néanmoins de nuancer ce premier constat global, qui traduit des réalités locales plus contrastées.

Un trait de côte mobile au sud de l'estuaire de la Loire

FIGURE 21 - L'ÉROSION DU LITTORAL DU GRAND OUEST AU SUD DE LA LOIRE (SOURCE : IFEN, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EUROSION)



Comme l'illustre cette carte, le littoral vendéen, composé pour l'essentiel de plages exposées à la houle, est fortement exposé à l'érosion. De ce fait, seulement 27% du trait de côte des Pays-de-Loire est stable, 30% est soumis à l'érosion. Si l'on s'intéresse à la Vendée, c'est 40% de son littoral qui est soumis à l'érosion.

Seuls deux secteurs sont en progradation :

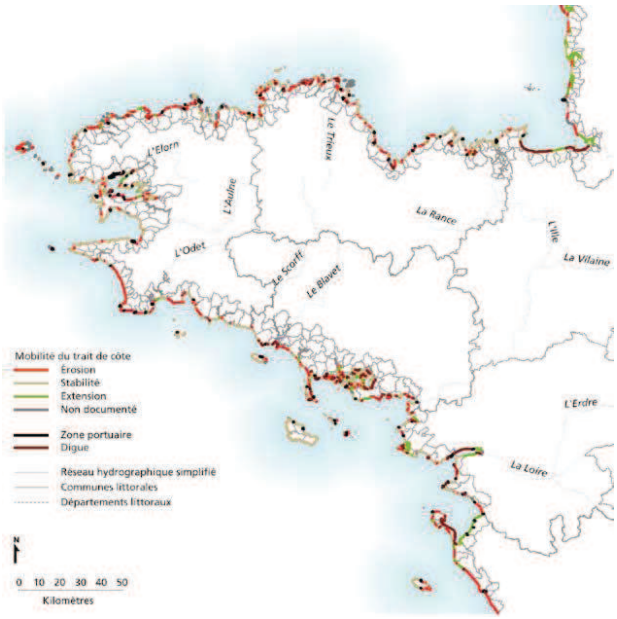
- La baie de Bourgneuf, entre la presqu'île de Noirmoutier et le continent, agit comme un piège à sédiments – issus notamment de l'estuaire de la Loire – et s'envase régulièrement ;
- L'anse de l'Aiguillon, au fond du Pertuis breton, connaît également un envasement régulier lié en partie aux apports alluvionnaires de la Sèvre Niortaise. Elle constitue le reliquat du golfe des Pictons, qui s'étendait sur l'ensemble du marais Poitevin et jusqu'à l'emplacement actuel de la ville de Niort.

Entre ces deux secteurs, le littoral est constitué de longues plages exposées à l'érosion. Cette exposition est particulièrement forte entre St Gilles Croix de Vie et Noirmoutier, où le cordon dunaire protège le marais breton des influences maritimes.

On notera que la part de littoral artificialisé est particulièrement importante en Vendée et en Loire-Atlantique, ce qui explique la présence de nombreux ouvrages de protection (digues, épis, brises lames, etc.).

Une côte relativement plus stable au nord de l'estuaire de la Loire

FIGURE 22 - L'ÉROSION DU LITTORAL DU GRAND OUEST AU NORD DE LA LOIRE (SOURCE : IFEN, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EUROSION, 2004)



Le littoral breton, jusqu'à l'estuaire de la Loire, présente un trait de côte essentiellement constitué de roche dure, où alternent pointes rocheuses et rentrants sableux ou vaseux plus mobiles. De ce fait, un peu plus de la moitié du trait de côte est stable, le quart soumis à l'érosion étant constitué de rentrants sableux et de quelques plages soumis à la houle (en particulier dans le sud Finistère et le Morbihan), ainsi que ponctuellement de quelques côtes rocheuses (côte de granite rose par exemple).

Quatre secteurs particulièrement exposés se distinguent[24] :

- Entre les pointes du Raz et celle de Penmarc'h (Finistère) : la longue plage de la baie de la forêt est régulièrement soumise à des tempêtes érodant le trait de côte ;
- La côte nord du Léon, entre l'Aber Wrac'h et la baie de Morlaix ;
- La baie de St Brieuc ;
- Le littoral malouin.

Les secteurs artificialisés du trait de côte sont également exposés, dans la mesure où l'artificialisation vise le plus souvent à préserver des zones vulnérables à l'érosion.

Pour finir, deux secteurs sont marqués par une progradation notable du trait de côte : le golfe du Morbihan et la baie du Mont St Michel. Sur le littoral d'Ille-et-Vilaine, la faiblesse de l'érosion s'explique par la présence de nombreux ouvrages de protection (digues, etc.).

[24] Portail de l'information environnementale en Bretagne - http://www.bretagne-environnement.org/Mer-littoral/

2.1.2 Situation future : vers une intensification des risques côtiers ?

Ce qu'il faut retenir…

Au regard de l'exposition actuelle et des événements récents (tempêtes de 1999, Xynthia, etc.), **l'exposition** aux **risques côtiers augmentera** dans le Grand Ouest avec l'élévation attendue du niveau de la mer (entre 40 cm et 1 m). **Son degré dépendra du niveau de l'élévation du niveau de la mer**, mais également de l'évolution **du régime des tempêtes**, beaucoup plus incertaine.

2.1.2.1 L'élévation du niveau de la mer en France

Sur l'ensemble de la planète, le niveau moyen de la mer s'est élevé de 1,8 [1,3-2,3] mm/an en moyenne entre 1961 et 2003. Entre 1993 et 2003, une accélération du phénomène d'élévation a été observée, passant à 3,1 [2,4-3,8] mm/an en moyenne. Des données en temps réel sont également disponibles (données satellites JASON). Il est néanmoins impossible de savoir si cette accélération est liée à la variabilité « naturelle » ou témoigne d'une augmentation des tendances de long terme.

En parallèle, les données satellites collectées depuis 1978 montrent que l'étendue annuelle moyenne des glaces a diminué de 2,7 [2,1-3,3]% par décennie dans l'océan Arctique, avec un recul plus marqué en été (7,4 [5-9,8]% par décennie).

Dans son dernier rapport, le GIEC estime à l'horizon 2090-2099, une élévation moyenne du niveau de la mer dans le monde se situant entre 0,18 et 0,59m au-dessus du niveau moyen observé sur la période 1980-1999.

Les observations entre 1993 et 2008 indiquent un rythme d'élévation du niveau de la mer nettement supérieur à celui sous-tendu par les projections du GIEC à 2100, d'environ 50%. Des travaux scientifiques sont en cours pour réévaluer ces projections. Il faut, par ailleurs, rappeler que la régionalisation des projections d'élévation du niveau de la mer est particulièrement complexe et que celle-ci peut très fortement varier en fonction des lieux.

Pour la France, l'ONERC recommande de considérer une valeur unique à appliquer à l'ensemble des côtes métropolitaines. Il retient une hypothèse « optimiste » de 0,40m, une hypothèse « pessimiste » de 0,60m et une hypothèse dite « extrême » de 1m en 2100 par rapport à l'année 2000.

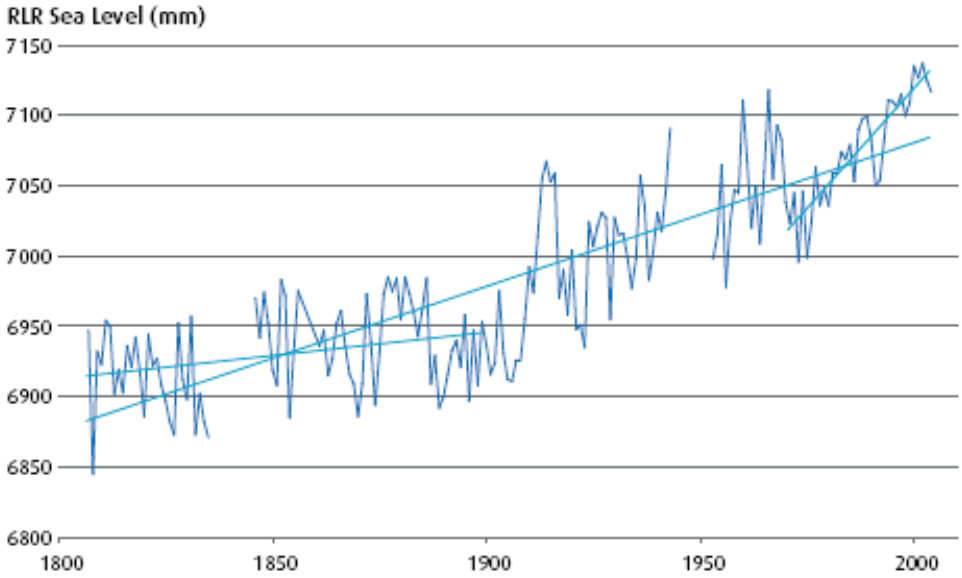
Préciser les données : une nécessité pour limiter l'incertitude et pour engager des mesures d'adaptation appropriées

La priorité doit aller à la précision des données quantitatives quant aux hypothèses d'élévation du niveau de la mer. Une mission financée par le CETMEF est en cours sur le retour d'expérience de la tempête Xynthia dans le Finistère.

Les travaux issus du SRCAE sur ce point ne sont pas assez précis et présentent trop d'incertitudes au regard des enjeux. Si l'élévation n'est que de 20 ou 30 cm, il n'y aura pas d'impact significatif, mais si l'on atteint 1m, il faudra revoir en profondeur la conception des ouvrages et des infrastructures, ce qui demande de lourds investissements, donc plus de certitudes. À +2m, c'est toute l'organisation des infrastructures industrialo-portuaire qu'il faudra revoir, certaines zones classées SEVESO se trouvant exposées.

Source : entretien réalisé auprès de M. Guérin, Grand Port Maritime de Nantes St Nazaire, avril 2012

FIGURE 23- ÉVOLUTION DE LA HAUTEUR MOYENNE DE LA MER DANS LE PORT DE BREST DEPUIS 1807 (SOURCE : CGDD, 2011)



Source : Service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom), 2007.
Traitements : SOeS (Observatoire du littoral).

2.1.2.2 Conséquences sur les phénomènes d'érosion et de submersion marine

L'élévation globale du niveau de la mer, toutes choses égales par ailleurs, devrait se traduire par un accroissement de l'exposition des territoires littoraux à l'érosion et à la submersion marine.

Pour ce qui concerne l'érosion, il convient de nuancer ce premier constat : d'autres paramètres tels que l'évolution de l'apport sédimentaires des fleuves ont une influence importante sur l'érosion du littoral. Cet

élément met en évidence de fortes incertitudes quant à l'évolution du trait de côte, qui ne dépend pas uniquement de l'évolution du niveau de la mer.

Pour ce qui concerne le risque de submersion marine, l'élévation du niveau de la mer devrait entraîner une augmentation de leur fréquence et de leur intensité. Dans les secteurs déjà très exposés – fonds d'estuaires, fonds de baies et marais vendéens – des effets de seuils sont à prévoir : rupture définitive d'un cordon dunaire ou d'une digue entraînant la maritimisation d'un secteur de marais ou d'un polder par exemple.

Là encore, de nombreuses incertitudes demeurent. Les phénomènes de submersion marine sont liés aux marées de tempête. L'évolution de ces phénomènes extrêmes, dans le contexte du changement climatique, reste pour le moment très incertaine, bien que plusieurs études soient actuellement en cours pour la qualifier.

2.2 La vulnérabilité des territoires littoraux aux risques côtiers

2.2.1 Une vulnérabilité actuelle déjà élevée

Ce qu'il faut retenir…

La sensibilité des littoraux du Grand Ouest est significative car ils concentrent un grands nombre d'enjeux humains, socio-économiques (bâtiments et infrastructures) et environnementaux dans les zones exposées décrites ci-dessus.

Le littoral au **sud de la Loire** et **surtout la côte vendéenne** présentent une **sensibilité particulièrement élevée,** concentrant plus de la moitié des bâtiments et sites d'intérêt écologique exposés du Grand Ouest.

Le littoral au nord de la Loire est **relativement moins sensible** mis à part des zones localisées particulièrement sensibles.

Les secteurs d'estuaire et de fond de baie présentent aussi **une sensibilité aux risques littoraux,** particulièrement le Port de Nantes/Saint Nazaire mais aussi les villes bretonnes de fond de baie.

Du point de vue de la vulnérabilité, il peut exister un risque de rupture sur certaines zones littorales dans le cas d'un scénario pessimiste de montée du niveau de la mer.

Les littoraux en France présentent une très forte concentration d'enjeux, aussi bien humains que socio-économiques, culturels et environnementaux (infrastructures portuaires, zones urbaines résidentielles ou touristiques, milieux naturels, etc.). Le littoral du Grand Ouest n'échappe pas à cette règle et présente de ce fait une forte sensibilité aux phénomènes d'érosion et de submersion marine décrits plus haut.

Comme nous l'avons vu, les secteurs les plus exposés sont les littoraux meubles, qui présentent une forte mobilité (érosion ou progradation) et une faible altitude (côtes basses) ; ainsi que les zones d'estuaires et les fonds de baies. Or, c'est précisément sur ces littoraux que se concentrent la majeure partie des enjeux.

Une étude du CETMEF en 2010[25] s'est attachée à recenser les enjeux situés en zone basse (sous la cote centennale) sur l'ensemble du territoire côtier métropolitain. Ces enjeux sont donc les plus exposés aux phénomènes d'érosion et de submersion du littoral. Le tableau qui suit présente les résultats de cette étude pour les territoires littoraux du Grand Ouest par département :

TABLEAU 12 - LES ENJEUX EXPOSÉS SUR LE LITTORAL DU GRAND OUEST (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LES DONNÉES DU CETMEF, 2010)

Territoire	Bâtiments		Infrastructures	Sites d'intérêt écologiques
	Nombre	Surface (ha)	Linéaire (km)	Surface (ha)
Ille-et-Vilaine	8879	268	990	7014
Côtes d'Armor	3042	75	164	1066
Finistère	10674	255	445	2146
Morbihan	11309	255	560	9553
Loire Atlantique	30396	800	1815	59869
Vendée	50364	1096	2208	72703
Bretagne	**33904**	**853**	2159	**19779**
Pays de la Loire	**80760**	1896	4023	132572
Grand Ouest	**114664**	**2749**	**6182**	**152351**
France métropolitaine	383406	11332	22380	455425
Part Grand Ouest/France	30%	24%	28%	33%

L'examen de ce tableau amène deux principaux constats :

- Au niveau national : le Grand Ouest concentre environ 30% des enjeux littoraux exposés.
- Au niveau du grand Ouest : le littoral vendéen concentre à lui seul près de la moitié des bâtiments et des sites d'intérêt écologique et plus du tiers des infrastructures des enjeux exposés de l'ensemble du littoral.

Au regard de ce second constat, le littoral du Grand Ouest semble se diviser en trois sous-ensembles :

- **Un littoral très sensible aux aléas littoraux en Pays de la Loire et particulièrement en Vendée** : les enjeux situés sur le littoral au sud de la Loire sont beaucoup plus sensibles aux phénomènes d'érosion et de submersion. Deux types de territoires se distinguent :
  - Le littoral sableux entre Noirmoutier et la pointe de l'Aiguillon, qui présente une bande urbanisée quasi-continue sur un littoral sableux. Cette urbanisation, liée notamment à l'importance du tourisme balnéaire, se trouve directement confrontée au phénomène d'érosion des plages. Pour y faire face, les collectivités ont investi depuis le milieu du XXème siècle dans la construction d'ouvrages de protection (digues, épis, brises lames, etc.), qui ne les protègent pas toujours des tempêtes hivernales, comme l'a par exemple récemment démontré la tempête Xynthia aux Sables d'Olonne ;

[25] Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux, CETMEF, 2010.

- Les marais maritimes poldérisés (marais breton et marais Poitevin) : ces côtes basses d'accumulation, moins urbanisées, présentent toutefois une forte sensibilité à la submersion marine en raison principalement de la présence de trois types d'enjeux : l'agriculture, les sites d'intérêt écologique majeur – qui constituent un enjeu pour l'attractivité touristique locale – et les infrastructures de transport.

- **Un littoral breton relativement moins sensible à l'érosion et à la submersion marine** : mis à part certains secteurs localisés, la majeure partie des enjeux littoraux bretons ne sont pas situés sur les côtes basses exposées, par ailleurs peu nombreuses. Certains secteurs localisés présentent toutefois une forte sensibilité à l'érosion ou à la submersion marine. La baie du Mont St Michel notamment présente un grand nombre d'enjeux sensibles à la submersion marine :
  - Agriculture et zones d'habitat résidentiel sur polder ;
  - Présence de sites d'intérêt écologique majeur.
  - Etc.
- **Des secteurs d'estuaires et des fonds de baie,** souvent urbanisés et qui présentent également des enjeux économiques non négligeables. C'est le cas de l'estuaire fortement urbanisé de la Loire (du Croizic à Donges), fortement urbanisé, avec le grand port maritime de Nantes-St Nazaire. C'est aussi le cas de nombreux ports (Lorient, Brest) et villes bretonnes situées en fond de baie ou d'estuaire sont également vulnérables : Morlaix, Quimper ou Landerneau par exemple mais aussi du Golfe du Morbihan.

2.2.2 Une vulnérabilité future très dépendante des choix d'aménagement

Ce qu'il faut retenir…

Avec le changement climatique, la **vulnérabilité future** des littoraux du Grand Ouest aux risques côtiers dépendra de **l'ampleur et des impacts localisés de l'élévation du niveau de la mer** d'une part, mais aussi des **choix de gestion du trait de côte et d'aménagement** dans les secteurs actuellement exposés et qui pourraient le devenir en raison de l'élévation du niveau de la mer.
Ces choix relèvent du long terme et notamment de la **mise en place de stratégies d'adaptation littorale** et du respect des documents de planification des risques et d'urbanisme dans les communes littorales. Il s'agira en particulier de **répondre à la poursuite tendancielle de la croissance démographique** de ces territoires **sans pour autant augmenter l'exposition future.**

À l'avenir, en l'absence de mesures fortes d'adaptation, incluant des mesures qui peuvent s'avérer radicales et aller jusqu'au retrait stratégique de certaines zones, la sensibilité des territoires littoraux exposés pourrait augmenter dans le Grand Ouest, en raison principalement de l'attractivité démographique et touristique des zones littorales. Les outils de planification tels que les PPR littoraux ou les PAPI permettent de réduire

partiellement cette sensibilité en encadrant l'urbanisation et le développement des enjeux dans les zones à risque. Toutefois, cet effort de planification se heurte souvent à l'importance de la pression foncière, en particulier sur le littoral vendéen. En effet, l'urbanisation croissante de ces territoires constitue une tendance lourde des années à venir.

Le programme IMCORE - portant sur l'adaptation des territoires littoraux de l'Europe du Nord-ouest aux effets du changement climatique – souligne ainsi dans son étude de cas sur le Golfe du Morbihan l'attractivité démographique, touristique et économique de ce territoire, qui devrait se poursuivre dans les prochaines années.
Pour le moment, les conséquences du changement climatique semblent peu pris en compte dans la stratégie de développement des territoires littoraux, hormis dans quelques cas locaux, comme le Golfe du Morbihan.

Le programme IMCORE

Le programme européen IMCORE vise, à travers neuf études de cas réalisées en partenariat entre des chercheurs et des collectivités territoriales, à identifier quel est le degré de prise en compte du changement climatique dans l'aménagement du littoral. Il s'agit notamment d'améliorer les synergies entre les attentes des décideurs locaux et les productions de la recherche (données, connaissances et outils).

L'approche méthodologique consiste, pour chaque étude de cas, à identifier les impacts locaux du changement climatique et les vulnérabilités propres aux spécificités territoriales. Dans cette perspective, il s'agit de sensibiliser et de fournir une aide à la conception de stratégies locales d'adaptation.
La démarche mise en place sur le site du Golfe du Morbihan s'est inscrite dans le cadre du projet de Parc Naturel Régional, qui intègre l'adaptation au changement climatique. Après avoir analysé les impacts locaux du changement climatique et les leviers d'action disponibles pour les prendre en compte dans le cadre de l'aménagement du littoral, une démarche participative et prospective a été initiée, afin de définir des scénarios d'évolution du territoire dans le contexte du changement climatique, qui ont permis dans un second temps de définir une stratégie locale d'adaptation.

Dans un tel contexte, il semble difficile d'évaluer le coût des impacts du changement climatique sur les littoraux. Une telle évaluation a pourtant été entreprise sur certains littoraux français très exposés. Le coût de l'inaction face au changement climatique a notamment été envisagé en région Languedoc-Roussillon[26].

[26] Économie de l'adaptation au changement climatique, Annexe D – Adaptation, gestion des risques et analyse coûts bénéfices : illustration sur le cas de la région Languedoc Roussillon et de la montée du niveau de la mer (page 62) (http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/001-3.pdf)

3 Sécheresses et retrait-gonflement des argiles

3.1 Les impacts du changement climatique sur le retrait gonflement des argiles

Ce qu'il faut retenir…

L'exposition au **risque de retrait gonflement des argiles** est aujourd'hui bien connu, en particulier grâce au travail de cartographie de l'aléa réalisé par le BRGM suite à la sécheresse de l'année 2003.

Dans le Grand Ouest, cette cartographie met en évidence **une frontière très nette liée à la géologie** de la zone d'étude, avec à l'est le bassin parisien (**région Centre et Est de la région Pays de la Loire**), qui présente une **forte exposition** ; et à l'ouest le **massif armoricain**, où la présence d'argile est beaucoup moins généralisées, présentant de ce fait une **exposition beaucoup plus faible** au phénomène de retrait gonflement des argiles.

Dans le contexte du changement climatique, l'augmentation possible de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse se traduira par une **exposition plus élevée des secteurs déjà exposés**. Certains secteurs localisés aujourd'hui peu exposés pourraient être confrontées à cet aléa dans ce contexte, notamment dans la **partie nord de la Bretagne.**

3.1.1 Situation actuelle : une exposition connue

3.1.1.1 Généralités

Les périodes récentes de sécheresse, et particulièrement celle de 2003, ont mis en évidence la vulnérabilité des constructions individuelles sur sols argileux au risque de retrait-gonflement des argiles.

Sous l'effet de la sécheresse, certaines argiles se rétractent de manière importante et l'alternance sécheresse-réhydratation entraîne alors localement des mouvements de terrain non uniformes pouvant aller jusqu'à provoquer la fissuration de certaines maisons individuelles lorsque leurs fondations sont peu profondes.

Ce phénomène, qui se manifeste essentiellement dans les premiers mois qui suivent un épisode de sécheresse, a touché, entre 1999 et 2002, près de 300 000 maisons en France et depuis 1989, près de 8000 communes françaises, réparties dans 90 départements de France métropolitaine ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle vis-à-vis du retrait-gonflement.

En France, 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[27]. Suite à la sévérité de la sécheresse de l'été 2003, certains départements

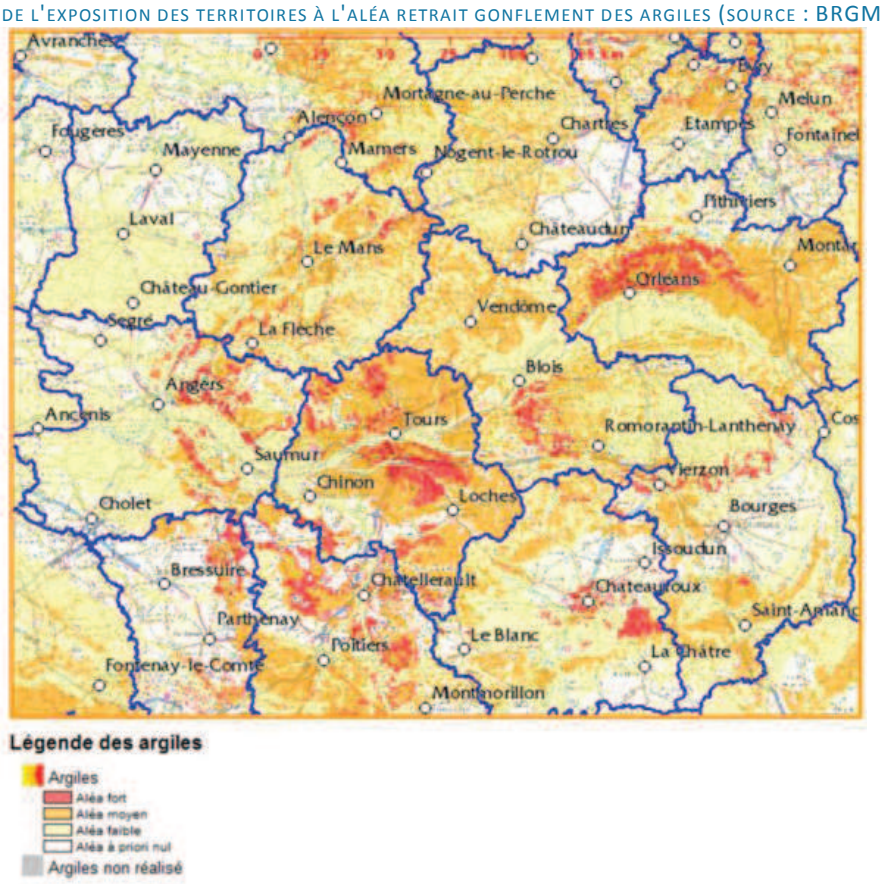
[27] Caisse centrale de réassurance, septembre 2008, repris dans ONERC, 2009

ont dû revoir les enquêtes sur l'exposition au retrait-gonflement des argiles, puisque certaines communes ont été reconnues vulnérables après cet événement climatique[28].

3.1.1.2 Situation dans le Grand Ouest

La carte en page suivante, établie par le BRGM, souligne l'exposition particulière d'une large partie Est du Grand Ouest (région Centre, Est des Pays de la Loire et Vendée) au phénomène de retrait gonflement des argiles. [29]

FIGURE 24 - CARTE DE L'EXPOSITION DES TERRITOIRES À L'ALÉA RETRAIT GONFLEMENT DES ARGILES (SOURCE : BRGM, 2010)[30]



Une ligne très nette se dessine, coupant la Loire au niveau d'Anger et passant entre la Mayenne à l'ouest et la Sarthe à l'est. Elle correspond à la rencontre entre deux unités géologiques bien distinctes : le massif armoricain à l'ouest, composé majoritairement de roches dures plutoniques ou métamorphiques ; et le bassin parisien à l'est, formé de roches sédimentaires et notamment argileuses. C'est pour cette raison que l'est de la zone d'étude est confronté à une exposition moyenne à élevée, l'ouest étant au contraire bien moins concerné.

[28] BRGM, 2005, Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Tarn
[29] BRGM http://www.brgm.fr/brgm/retraitGonfl.htm
[30] http://www.argiles.fr

3.1.2 Situation future : une exposition plus forte dans les zones déjà concernées

Dans le contexte du changement climatique, l'exposition aux phénomènes de sécheresse devrait augmenter dans le Grand Ouest. Les projections climatiques de Météo-France soulignent ainsi, quel que soit le scénario adopté, une augmentation significative du nombre annuel de jours passés en état de sécheresse. Selon ces projections, la région Centre et le nord de la Bretagne seraient les territoires les plus impactés.

Dans un tel contexte, le phénomène de retrait gonflement des argiles étant étroitement lié au phénomène de sécheresse, il va sans dire que la multiplication des épisodes de sécheresses augmentera mécaniquement le risque de retrait gonflement des argiles.
L'accroissement de l'exposition touchera les zones déjà exposées aujourd'hui, les secteurs peu argileux n'étant pas exposés. Toutefois, la présence très localisée de secteurs argileux (fonds de vallées par exemple), dans des zones aujourd'hui peu sujettes aux sécheresses, pourrait se traduire par l'exposition de nouveaux secteurs géographiques au risque de retrait gonflement des argiles (en particulier en région Bretagne et en Vendée).

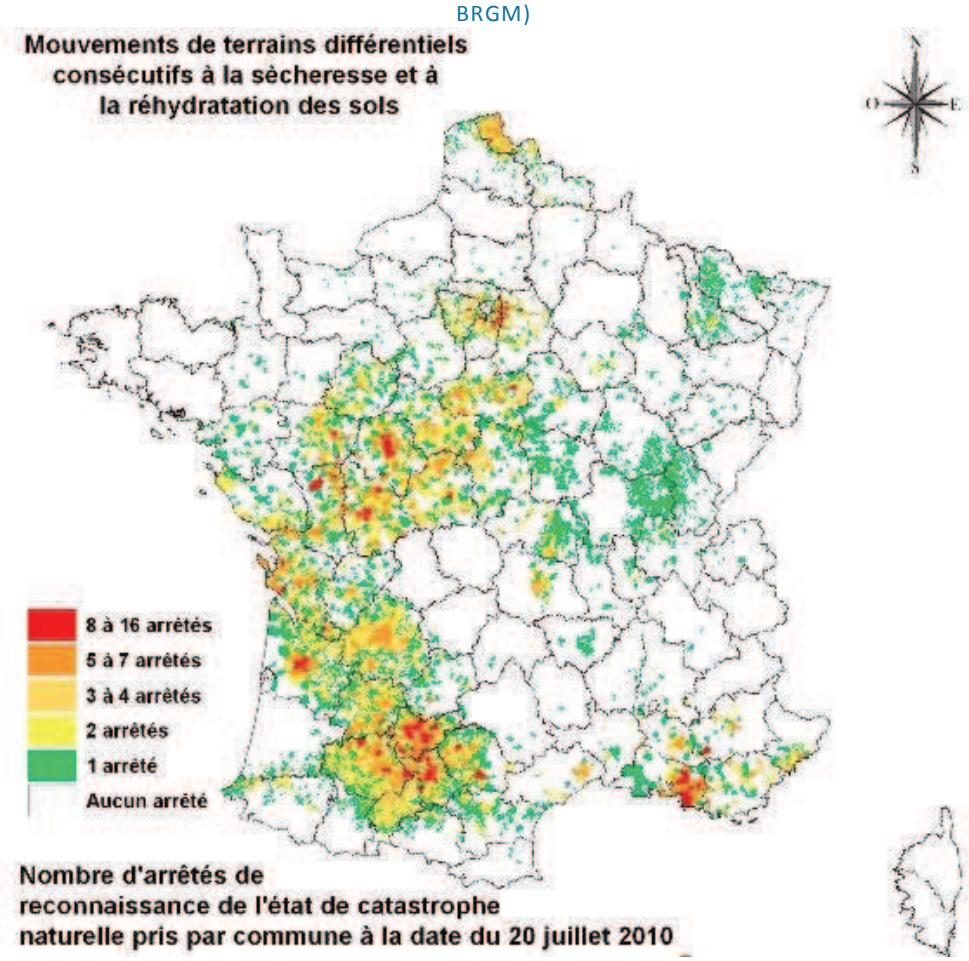
3.2 La vulnérabilité des territoires au phénomène de retrait gonflement des argiles

Ce qu'il faut retenir…

La **sensibilité du bâti** au phénomène de retrait-gonflement des argiles est **très forte**. Cette sensibilité pourrait augmenter avec l'exposition à l'aléa, dans le contexte d'un accroissement de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse.
Des mesures ont été prises – notamment depuis la sécheresse de 2003 – afin de sensibiliser les décideurs locaux, les professionnels du bâtiment et les particuliers mais on constate en pratique une faible prise en compte de ce risque. En l'absence d'une meilleure **prise en compte de ce risque dans les documents d'urbanisme** (PPR dédiés, PLU, SCoT, etc.) et les **choix d'aménagement**, la vulnérabilité au RGA pourrait augmenter.

Comme l'illustre la carte suivante, les secteurs exposés au phénomène de retrait-gonflement des argiles y sont déjà très sensibles. La canicule de 2003 a notamment révélé une forte vulnérabilité liée à la faible adaptation des méthodes de construction des bâtiments. La carte suivante rend compte de cette forte sensibilité du Grand Ouest, en particulier en régions Centre et Pays de la Loire, à travers le nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle par commune pris suite à ce type d'évènement :

FIGURE 25 - NOMBRE D'ARRÊTÉS DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE PAR COMMUNE EN 2010 (SOURCE : BRGM)



L'évolution de la sensibilité à ce phénomène dépend de deux principaux paramètres :

- La prise en compte du risque dans les choix d'aménagement des collectivités. Peu de PPR retrait gonflement des argiles ont été prescrits ou approuvés jusqu'ici dans le Grand Ouest, excepté dans le département de l'Indre ;
- La prise en compte du risque dans les choix d'aménagement à la parcelle, par les particuliers.

Des mesures ont d'ores et déjà été prises, à l'échelle nationale comme à l'échelle locale, pour réduire cette sensibilité. Ces mesures passent pour l'essentiel par la sensibilisation des décideurs et des particuliers au risque. Le travail de cartographie de l'aléa du BRGM participe de cette réduction de la sensibilité, en sensibilisant les professionnels du bâtiment, les décideurs locaux et les particuliers. Le MEDDTL a quant à lui publié un document de sensibilisation[31], qui présente plusieurs fiches pédagogiques destinées à sensibiliser ces acteurs aux méthodes d'aménagement et de construction nécessaires afin de limiter la sensibilité au risque.

[31] Le retrait-gonflement des argiles, Comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ?, MEDDTL.

4 Une augmentation possible du risque de feux de forêt

Ce qu'il faut retenir…

L'exposition du Grand Ouest aux feux de forêt est aujourd'hui **relativement faible**. Dans le contexte du changement climatique, l'augmentation attendue des températures et de la durée et de l'intensité des sécheresses, devrait se traduire par un **accroissement important de ce risque.**

La sensibilité actuelle aux feux de forêt est relativement forte, en raison de la faible adaptation des essences forestières à cet aléa. La **vulnérabilité future** du Grand Ouest aux feux de forêt dépendra donc pour l'essentiel de **l'évolution des essences forestières** présentes dans la région et de la capacité à mettre en place graduellement les **plans de prévention appropriés à ce nouveau risque**.

4.1 Les impacts du changement climatique sur le risque de feux de forêt

4.1.1 Une exposition actuelle faible

Comme l'illustre le tableau suivant, le Grand Ouest est aujourd'hui peu exposé au risque feu de forêt, en raison des latitudes relativement élevées, mais aussi d'un taux de boisement relativement faible : inférieur à 20% contre près de 30% à l'échelle de la France métropolitaine[32].

Néanmoins, le taux de progression des superficies forestières est relativement élevé dans le Grand Ouest, jusqu'à plus de 50% en région Bretagne.

Tableau 13 - L'exposition aux feux de forêts dans le Grand Ouest (Source : Artelia, d'après le ministère de l'agriculture et la base Prométhée)

Territoire	Surface totale en forêts, landes, maquis et garrigues	Feux de forêts, de landes, de maquis ou de garrigues			
		Nombre d'incendies dans l'année	Surface incendiée dans l'année	Nombre d'incendies en moyenne annuelle	Surface incendiée en moyenne annuelle
	2009	2009	2009	Période 2000-2009	Période 2000-2009
	ha	*nombre*	*ha*	*nombre*	*ha*
COTES-D'ARMOR	134587	0	0	15	30,6
FINISTERE	138502,5	0	0	29	135,3
ILLE-ET-VILAINE	95754,7	19	100	36	70,7
MORBIHAN	168010,2	26	240,2	162	176,6
LOIRE-ATLANTIQUE	102541,8	0	0	10	23,7
MAINE-ET-LOIRE	112304,9	0	0	9	23,7
MAYENNE	61687,8	0	0	2	5

[32] Le risque feux de forêts en France, CGDD, 2011.

SARTHE	139652,8	23	60,5	36	35,5
VENDEE	73893,7	0	0	0	0
CHER	196164,2	3	17,9	4	15,9
EURE-ET-LOIR	84280,7	2	0,2	34	20,3
INDRE	149943,3	0	0	19	42,4
INDRE-ET-LOIRE	178270	0	0	7	33,1
LOIR-ET-CHER	227050,2	14	95	23	30,2
LOIRET	206574,7	6	48	7	42,1
BRETAGNE	536854,4	45	340,2	242	413,2
PAYS DE LA LOIRE	490081	23	60,5	57	87,9
CENTRE	1042283,1	25	161,1	94	184
GRAND OUEST	**2069218,5**	**93**	**561,8**	**393**	**685,1**
FRANCE METROPOLITAINE	16999717,6	4866	15944,6	5219	23458,8
Part Grand Ouest/France	**12%**	**2%**	**4%**	**8%**	**3%**

4.1.2 Situation future : un accroissement du risque de feux de forêt dans le Grand Ouest

Avec les modifications climatiques attendues pour le XXIe siècle (sécheresse), le risque d'incendie de forêts devrait s'aggraver dans le Grand Ouest. En effet, selon de récents travaux menés par la Mission interministérielle sur le changement climatique et l'extension des zones sensibles aux feux de forêt, on devrait voir un accroissement du risque feux de forêt dans les territoires actuellement exposés mais aussi sa propagation territoriale vers le Nord et en altitude[33].

4.2 Une hausse attendue de la vulnérabilité

En l'absence de mesures contre ce risque nouveau à moyen-long terme, la vulnérabilité des forêts et landes du Grand Ouest, aujourd'hui faible, augmentera avec le changement climatique, en raison notamment de l'accroissement de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse et de la fragilisation des écosystèmes forestiers (voir le chapitre consacré à l'agriculture et à la forêt).

Pour évaluer la sensibilité aux feux de forêt, la Mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles s'est basée sur le calcul d'un indice composé de paramètres météorologiques discriminants pour caractériser le risque nommé indice IFM (Indice Forêt Météo). Une simulation selon différents scénarios climatiques du nombre de jours, entre le 15 mai et le 15 octobre, où l'IFM dépasse un seuil critique, a été réalisée pour étudier l'évolution de la sensibilité à l'aléa « feux de forêt ».

[33] CGEDD, 2010, Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts

4.3 Les impacts du changement climatique sur le risque de feux de forêt

4.3.1 Une exposition actuelle faible

Comme l'illustre le tableau suivant, le Grand Ouest est aujourd'hui peu exposé au risque feu de forêt, en raison des latitudes relativement élevées, mais aussi d'un taux de boisement relativement faible : inférieur à 20% contre près de 30% à l'échelle de la France métropolitaine[34].

Néanmoins, le taux de progression des superficies forestières est relativement élevé dans le Grand Ouest, jusqu'à plus de 50% en région Bretagne.

Tableau 14 - L'exposition aux feux de forêts dans le Grand Ouest (Source : Artelia, d'après le ministère de l'agriculture et la base Prométhée)

Territoire	Surface totale en forêts, landes, maquis et garrigues	Feux de forêts, de landes, de maquis ou de garrigues			
		Nombre d'incendies dans l'année	Surface incendiée dans l'année	Nombre d'incendies en moyenne annuelle	Surface incendiée en moyenne annuelle
	2009	**2009**	**2009**	**Période 2000-2009**	**Période 2000-2009**
	ha	***nombre***	***ha***	***nombre***	***ha***
COTES-D'ARMOR	134587	0	0	15	30,6
FINISTERE	138502,5	0	0	29	135,3
ILLE-ET-VILAINE	95754,7	19	100	36	70,7
MORBIHAN	168010,2	26	240,2	162	176,6
LOIRE-ATLANTIQUE	102541,8	0	0	10	23,7
MAINE-ET-LOIRE	112304,9	0	0	9	23,7
MAYENNE	61687,8	0	0	2	5
SARTHE	139652,8	23	60,5	36	35,5
VENDEE	73893,7	0	0	0	0
CHER	196164,2	3	17,9	4	15,9
EURE-ET-LOIR	84280,7	2	0,2	34	20,3
INDRE	149943,3	0	0	19	42,4
INDRE-ET-LOIRE	178270	0	0	7	33,1
LOIR-ET-CHER	227050,2	14	95	23	30,2
LOIRET	206574,7	6	48	7	42,1
BRETAGNE	536854,4	45	340,2	242	413,2
PAYS DE LA LOIRE	490081	23	60,5	57	87,9
CENTRE	1042283,1	25	161,1	94	184
GRAND OUEST	**2069218,5**	**93**	**561,8**	**393**	**685,1**
FRANCE METROPOLITAINE	16999717,6	4866	15944,6	5219	23458,8
Part Grand Ouest/France	**12%**	**2%**	**4%**	**8%**	**3%**

[34] Le risque feux de forêts en France, CGDD, 2011.

4.3.2 Situation future : un accroissement du risque de feux de forêt dans le Grand Ouest

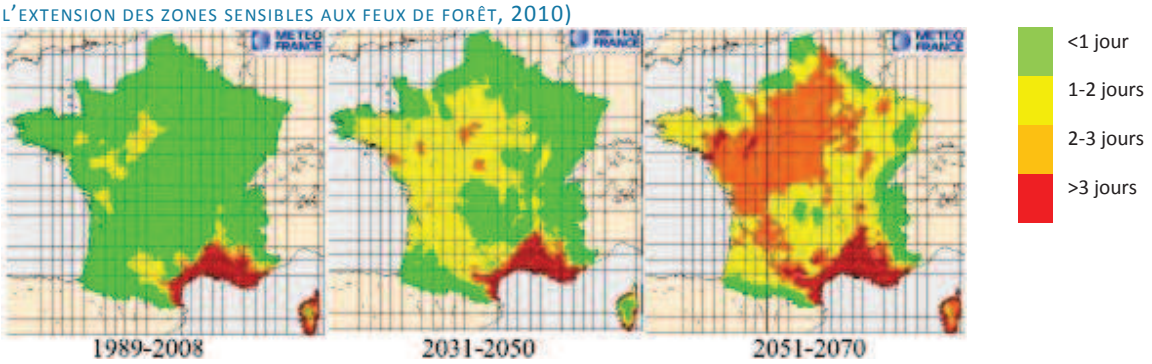
Avec les modifications climatiques attendues pour le XXIe siècle (sécheresse), le risque d'incendie de forêts devrait s'aggraver dans le Grand Ouest. En effet, selon de récents travaux menés par la Mission interministérielle sur le changement climatique et l'extension des zones sensibles aux feux de forêt, on devrait voir un accroissement du risque feux de forêt dans les territoires actuellement exposés mais aussi sa propagation territoriale vers le Nord et en altitude[35].

4.4 Une hausse attendue de la vulnérabilité

En l'absence de mesures contre ce risque nouveau à moyen-long terme, la vulnérabilité des forêts et landes du Grand Ouest, aujourd'hui faible, augmentera avec le changement climatique, en raison notamment de l'accroissement de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse et de la fragilisation des écosystèmes forestiers (voir le chapitre consacré à l'agriculture et à la forêt).

Pour évaluer la sensibilité aux feux de forêt, la Mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles s'est basée sur le calcul d'un indice composé de paramètres météorologiques discriminants pour caractériser le risque nommé indice IFM (Indice Forêt Météo). Une simulation selon différents scénarios climatiques du nombre de jours, entre le 15 mai et le 15 octobre, où l'IFM dépasse un seuil critique, a été réalisée pour étudier l'évolution de la sensibilité à l'aléa « feux de forêt ».

Figure 26 - Nombre de jours où l'IFM (Indice Forêt Météo) est supérieur à 14 (Source : Mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêt, 2010)



En croisant ces éléments avec des paramètres représentant la sensibilité de la végétation, la Mission conclut que si les surfaces sensibles représentent aujourd'hui environ un tiers des surfaces forestières métropolitaines, elles devraient croître de 30 % à l'échéance 2040 et à l'échéance 2050, près de la moitié de la surface des landes et forêts métropolitaines pourrait être concernée par un niveau élevé de l'aléa.

[35] CGEDD, 2010, Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts

Ces cartes témoignent très nettement de l'augmentation de la sensibilité des forêts du Grand Ouest le long du siècle à espèces forestières équivalentes, soit en l'absence de mesure d'adaptation visant à implanter des espèces mieux adaptées à l'évolution du climat.

4.5 Les impacts du changement climatique sur le risque de feux de forêt

4.5.1 Une exposition actuelle faible

Comme l'illustre le tableau suivant, le Grand Ouest est aujourd'hui peu exposé au risque feu de forêt, en raison des latitudes relativement élevées, mais aussi d'un taux de boisement relativement faible : inférieur à 20% contre près de 30% à l'échelle de la France métropolitaine[36].

Néanmoins, le taux de progression des superficies forestières est relativement élevé dans le Grand Ouest, jusqu'à plus de 50% en région Bretagne.

Tableau 15 - L'exposition aux feux de forêts dans le Grand Ouest (Source : Artelia, d'après le ministère de l'agriculture et la base Prométhée)

Territoire	Surface totale en forêts, landes, maquis et garrigues	Feux de forêts, de landes, de maquis ou de garrigues			
		Nombre d'incendies dans l'année	Surface incendiée dans l'année	Nombre d'incendies en moyenne annuelle	Surface incendiée en moyenne annuelle
	2009	2009	2009	Période 2000-2009	Période 2000-2009
	ha	*nombre*	*ha*	*nombre*	*ha*
COTES-D'ARMOR	134587	0	0	15	30,6
FINISTERE	138502,5	0	0	29	135,3
ILLE-ET-VILAINE	95754,7	19	100	36	70,7
MORBIHAN	168010,2	26	240,2	162	176,6
LOIRE-ATLANTIQUE	102541,8	0	0	10	23,7
MAINE-ET-LOIRE	112304,9	0	0	9	23,7
MAYENNE	61687,8	0	0	2	5
SARTHE	139652,8	23	60,5	36	35,5
VENDEE	73893,7	0	0	0	0
CHER	196164,2	3	17,9	4	15,9
EURE-ET-LOIR	84280,7	2	0,2	34	20,3
INDRE	149943,3	0	0	19	42,4
INDRE-ET-LOIRE	178270	0	0	7	33,1
LOIR-ET-CHER	227050,2	14	95	23	30,2
LOIRET	206574,7	6	48	7	42,1
BRETAGNE	536854,4	45	340,2	242	413,2
PAYS DE LA LOIRE	490081	23	60,5	57	87,9

[36] Le risque feux de forêts en France, CGDD, 2011.

CENTRE	1042283,1	25	161,1	94	184
GRAND OUEST	**2069218,5**	**93**	**561,8**	**393**	**685,1**
FRANCE METROPOLITAINE	16999717,6	4866	15944,6	5219	23458,8
Part Grand Ouest/France	**12%**	**2%**	**4%**	**8%**	**3%**

4.5.2 Situation future : un accroissement du risque de feux de forêt dans le Grand Ouest

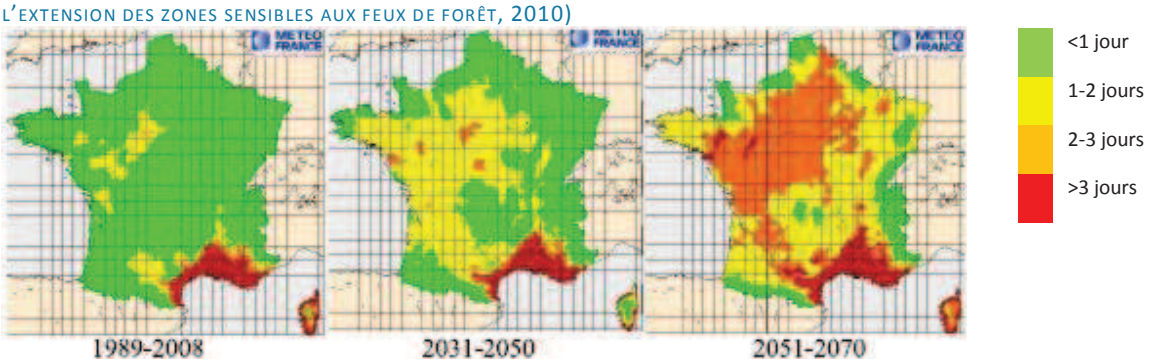
Avec les modifications climatiques attendues pour le XXIe siècle (sécheresse), le risque d'incendie de forêts devrait s'aggraver dans le Grand Ouest. En effet, selon de récents travaux menés par la Mission interministérielle sur le changement climatique et l'extension des zones sensibles aux feux de forêt, on devrait voir un accroissement du risque feux de forêt dans les territoires actuellement exposés mais aussi sa propagation territoriale vers le Nord et en altitude[37].

4.6 Une hausse attendue de la vulnérabilité

En l'absence de mesures contre ce risque nouveau à moyen-long terme, la vulnérabilité des forêts et landes du Grand Ouest, aujourd'hui faible, augmentera avec le changement climatique, en raison notamment de l'accroissement de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse et de la fragilisation des écosystèmes forestiers (voir le chapitre consacré à l'agriculture et à la forêt).

Pour évaluer la sensibilité aux feux de forêt, la Mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles s'est basée sur le calcul d'un indice composé de paramètres météorologiques discriminants pour caractériser le risque nommé indice IFM (Indice Forêt Météo). Une simulation selon différents scénarios climatiques du nombre de jours, entre le 15 mai et le 15 octobre, où l'IFM dépasse un seuil critique, a été réalisée pour étudier l'évolution de la sensibilité à l'aléa « feux de forêt ».

FIGURE 27 - NOMBRE DE JOURS OÙ L'IFM (INDICE FORÊT MÉTÉO) EST SUPÉRIEUR À 14 (SOURCE : MISSION INTERMINISTÉRIELLE SUR L'EXTENSION DES ZONES SENSIBLES AUX FEUX DE FORÊT, 2010)



[37] CGEDD, 2010, Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts

En croisant ces éléments avec des paramètres représentant la sensibilité de la végétation, la Mission conclut que si les surfaces sensibles représentent aujourd'hui environ un tiers des surfaces forestières métropolitaines, elles devraient croître de 30 % à l'échéance 2040 et à l'échéance 2050, près de la moitié de la surface des landes et forêts métropolitaines pourrait être concernée par un niveau élevé de l'aléa.

Ces cartes témoignent très nettement de l'augmentation de la sensibilité des forêts du Grand Ouest le long du siècle à espèces forestières équivalentes, soit en l'absence de mesure d'adaptation visant à implanter des espèces mieux adaptées à l'évolution du climat.

5 Tableau de synthèse thématique

Impact	*Territoire cohérent les plus concernés*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Evaluation de la vulnérabilité*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité future*	*Capacité d'adaptation*
Crues dans le bassin de la Loire	Vallée de la Loire	Moyenne à élevée (en particulier dans les Vals)	Élevée (de nombreux enjeux en zone exposée)	Vulnérabilité actuelle : Élevée Vulnérabilité future : incertaine	Incertaine	-Évolution de l'occupation du sol en zone exposée ; -Entretien des ouvrages de protection (digues, dispositif de régulation) ; -Capacité à gérer une crise et de résilience.	-Nombreux travaux de recherche et diagnostics de vulnérabilité des entreprises (tenant compte des impacts perceptibles du changement climatique) menés dans le cadre du Plan Loire 2007-2013.
Inondations à cinétique rapide	Arrière-pays breton et vendéen	Moyenne	Moyenne	Vulnérabilité actuelle : Moyenne Vulnérabilité future : incertaine	Incertaine	-Évolution de l'artificialisation des sols ; -Évolution du bocage.	-Initiatives locales de remembrement du bocage.
Erosion côtière	Littoral au sud de la Loire (et dans une moindre mesure au nord de la Loire)	Moyenne à élevée selon la localisation	Élevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne à élevée Vulnérabilité future : élevée	Élevée	-Évolution de l'urbanisation en zone exposée ; -Entretien des ouvrages de protection.	-Variable selon les différentes options possibles de gestion du trait de cote

Submersion marine	Littoral au sud de la Loire (et dans une moindre mesure au nord de la Loire)	Moyenne	Élevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne à élevée Vulnérabilité future : élevée	Élevée	-Évolution de l'urbanisation en zone exposée.	-Variable selon les différentes options possibles de gestion du trait de cote
Retrait-Gonflement des argiles	Sud de la région Centre et Beauce	Moyenne à élevée	Élevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Élevée	-Prise en compte du risque dans les documents d'aménagement et d'urbanisme ; -Sensibilisation des particuliers et professionnels du bâtiment	-Cartographie de l'aléa par le BRGM ; -Publication de documents d'information destinés aux propriétaires.
Feux de forêt	Sud de la région Centre	Faible	Élevée	Vulnérabilité actuelle : faible Vulnérabilité future : moyenne	Élevée	-Choix des essences pour le renouvellement des espaces forestiers ; -Évolution de l'urbanisation diffuse en zone forestière.	-Catalogue des stations forestières du GIP Ecofor. - Mise en place de PPRIF

VULNÉRABILITÉ DES MILIEUX ET DES ÉCOSYSTÈMES AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

Le territoire français métropolitain se distingue en Europe pour la richesse de ses milieux et de sa biodiversité spécifique, éco-systémique et paysagère, terrestre et maritime, aussi bien végétale qu'animale.
Pour ne citer que quelques chiffres, les espaces naturels représentent 42% du territoire, 12,6% étant couvert par les Parcs Naturels Régionaux. DOM-TOM compris, la France est classée au 8ème rang des pays hébergeant des espèces menacées[38].

Cette richesse constitue le support d'un certain nombre de services dits « éco-systémiques » :

- Les milieux naturels et les écosystèmes constituent une ressource économique significative, que ce soit pour le tourisme, l'agriculture ou encore la pêche ;
- Ils permettent également de limiter les impacts de certains risques naturels et pourraient contribuer fortement à l'adaptation socio-économique des territoires : les zones humides agissent par exemple souvent comme des zones d'expansion des crues.

1 L'impact du changement climatique sur les milieux naturels

Ce qu'il faut retenir…

Le **milieu naturel** est le **support physique de la biodiversité éco-systémique, spécifique et paysagère**. Le Grand Ouest, tel que défini dans l'étude, en raison de l'importance de son territoire et de sa diversité géographique – de l'espace maritime à la Sologne en passant par la vallée de la Loire, présente de nombreux milieux naturels.
Parmi les plus vulnérables d'entre eux, ou **les plus susceptibles d'évoluer en raison des impacts du changement climatique, se distinguent les milieux humides et les cours d'eau, les milieux littoraux et les milieux marins.** On notera toutefois la grande difficulté à distinguer ces impacts climatiques de ceux des activités humaines et de l'aménagement du territoire.

[38] Source : UICN.

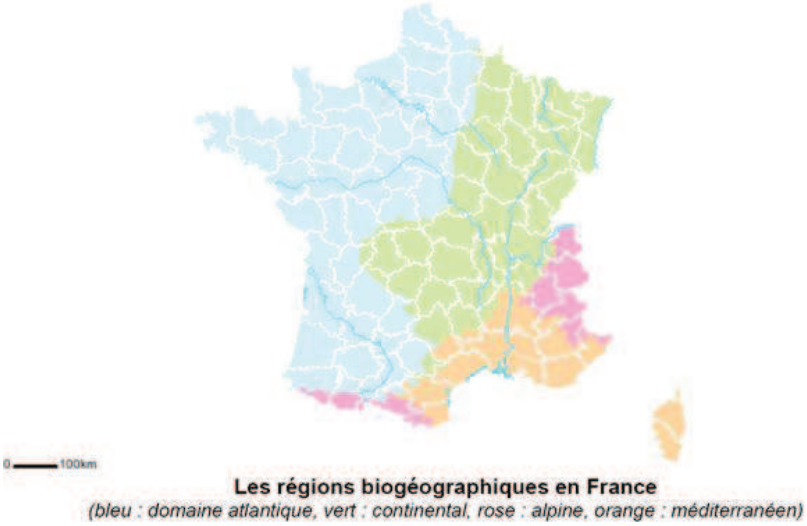
1.1 Une vulnérabilité actuelle élevée pour des raisons essentiellement anthropiques

Les milieux naturels sont le support de la biodiversité. Leur évolution détermine celle des écosystèmes, en modifiant les habitats naturels et les paysages.

Comme l'illustre la Figure 28, le Grand Ouest se situe aujourd'hui, dans sa majeure partie, dans la région biogéographique atlantique.

Cette carte souligne l'étroite correspondance entre ces régions biogéographiques et les grandes régions climatiques. Ce parallèle met en évidence le lien étroit entre l'évolution du climat et celle des milieux et des habitats naturels. Le Grand Ouest est globalement soumis à une forte influence océanique, qui se caractérise par une amplitude thermique saisonnière modérée et des précipitations relativement abondantes tout au long de l'année. Les années exceptionnelles – épisodes de sécheresse et/ou de fortes chaleurs prolongés, ou au contraire de froid extrême – révèlent souvent une forte vulnérabilité des milieux et les écosystèmes dans le Grand Ouest.

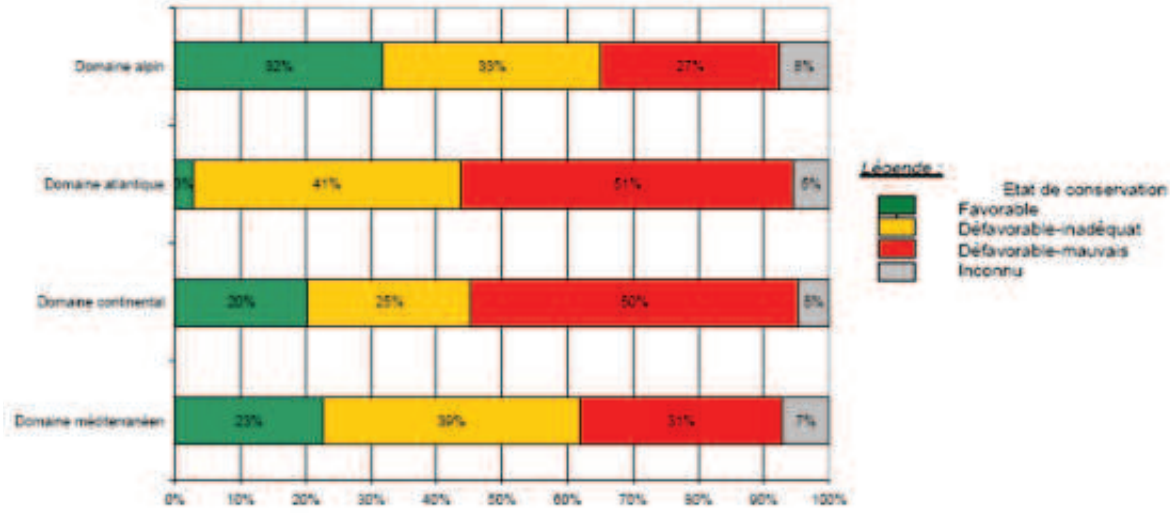
FIGURE 28- LES RÉGIONS BIOGÉOGRAPHIQUES FRANÇAISES (MEDDTL, 2007)



Toutefois, la vulnérabilité des milieux et des habitats naturels n'est pas exclusivement liée à un facteur climatique. Le facteur anthropique est également fondamental : la pression des activités humaines sur les milieux depuis plusieurs décennies entraîne dans de nombreux cas une destruction, une fragmentation et un recul des habitats naturels, du fait de l'étalement urbain, de pollutions diverses, ou encore de prélèvements en eau trop importants. Cette pression anthropique limite considérablement la capacité d'adaptation des milieux et des écosystèmes à l'évolution des paramètres climatiques et doit donc être prise en compte dans la perspective du changement climatique. Autrement dit, la pression anthropique est susceptible d'avoir un impact négatif sur l'évolution naturelle des milieux et écosystèmes à l'évolution du climat.

Comme l'illustre la Figure 29, l'état de la conservation des habitats naturels dans le domaine biogéographique Atlantique est à plus de 90% défavorable ou mauvais (selon les termes de l'étude citée).

FIGURE 29 - ETAT DE CONSERVATION DES HABITATS NATURELS ET SEMI-NATURELS PAR DOMAINE BIOGÉOGRAPHIQUE (SOURCE : MEDDTL, 2007)



À l'instar du Grand Ouest, ce domaine concentre en effet les milieux les plus concernés par les pressions anthropiques et les plus sensibles aux évolutions climatiques :

- Les milieux littoraux, dont la surface tend à se réduire, pour l'essentiel sous la pression de l'urbanisation et des activités touristiques ;
- Les zones humides, dont la surface s'est réduite depuis un demi-siècle et qui connaissent un certain nombre de problèmes sur le plan qualitatifs (déficit d'alimentation en eau du fait de prélèvement important dans la ressource, pollutions, etc.) ;

Cette analyse globale ne doit pas masquer d'importants contrastes territoriaux au sein du Grand Ouest, aussi bien sur le plan climatique – comme le montre l'analyse des données régionalisées de Météo-France – que sur le plan humain et territorial. La pression humaine est plus ou moins forte selon les milieux et diffère selon les territoires.

Les deux paragraphes qui suivent proposent une analyse spécifique aux milieux présentant une forte vulnérabilité actuelle : les zones humides et cours d'eau, ainsi que les milieux littoraux et marins.

1.2 Zones humides et cours d'eau : des milieux particulièrement sensibles aux pressions climatiques et anthropiques

1.2.1 Les zones humides

1.2.1.1 Une vulnérabilité actuelle moyenne

Les zones humides sont des milieux amphibies, de transition entre milieu terrestre et milieu aquatique, ce qui leur confère deux grandes caractéristiques :

- **Une grande richesse biologique** : en France métropolitaine, les zones humides (continentales, côtières ou marines) accueillent près d'un tiers des espèces végétales remarquables et/ou menacées, la moitié des espèces d'oiseaux et la totalité des espèces d'amphibiens ; alors qu'elles ne couvrent que 3% du territoire.

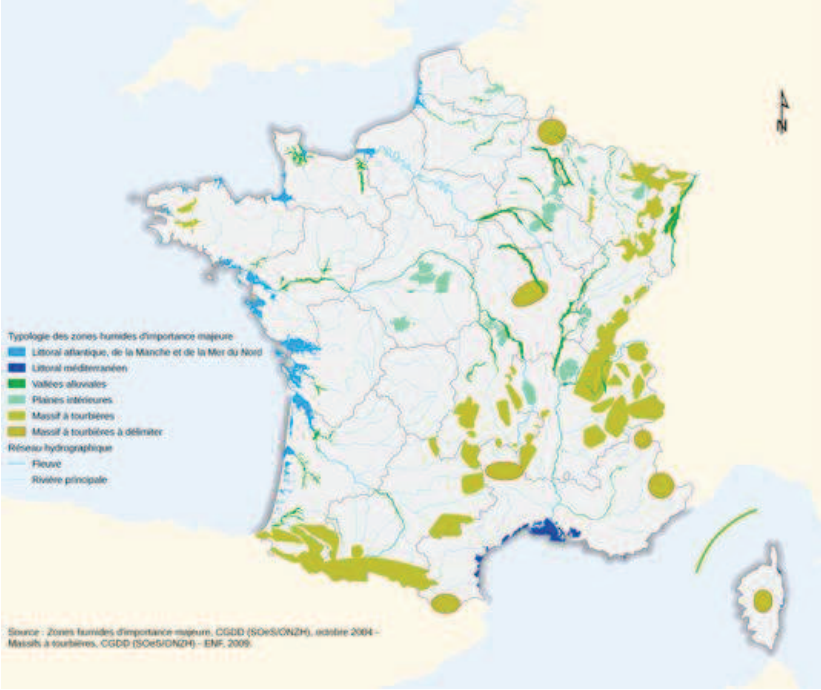
  Il s'agit en effet de zones d'abri, d'alimentation et de reproduction pour de nombreuses espèces, indispensables, par exemple, à la reproduction des batraciens et de nombreuses espèces de poissons. Elles constituent par ailleurs des étapes migratoires et des lieux de reproduction ou d'hivernage pour de nombreuses espèces d'oiseaux et de poissons.

- **Une forte sensibilité à toute pression**, qu'elle soit climatique, anthropique ou environnementale (développement d'une espèce invasive par exemple).

Comme l'illustre la carte de la Figure 30, le Grand Ouest présente un grand nombre de zones humides, de différents types :

- Les zones humides du sud de la région Centre, dites « de plaines intérieures ». La principale et la plus connue d'entre elles est la Sologne ;
- Les zones humides littorales, pour partie poldérisées et pour une autre sous influence maritime. Réparties sur l'ensemble du littoral du Grand Ouest, les principales d'entre elles (en surface) sont, du sud au nord : les marais poitevin et breton, les zones humides de l'estuaire de la Loire, du Golfe du Morbihan et enfin de la baie du Mont St Michel ;
- Les zones humides alluviales (notamment en vallée de la Loire) ;
- Les zones humides d'importance majeure (tourbières de l'ouest du Massif Armoricain, Basses vallées angevines, Brière, etc.).

FIGURE 30 - LOCALISATION DES ZONES HUMIDES D'IMPORTANCE MAJEURE (SOURCE : CGDD, 2009)



Longtemps perçues comme des territoires insalubres, les zones humides ont connu d'importantes pressions humaines jusqu'à une période récente (drainage, etc.), qui ont conduit à un recul important de leurs surfaces :

- Aménagement hydraulique et drainage des marais pour développer l'agriculture ;
- Remblaiement partiel et poldérisation pour l'agriculture, puis l'urbanisation et la construction d'infrastructures ;
- Extraction de la tourbe ou de granulats ;
- Pompages excessifs d'eau pour l'irrigation
- Etc.

On notera toutefois que c'est parfois cette intervention de l'homme (poldérisation, aménagements hydrauliques, etc.) qui est paradoxalement à l'origine de la richesse de ces milieux.

Aujourd'hui, les zones humides font l'objet d'une plus grande protection, et ce à toutes les échelles décisionnelles. La plupart sont aujourd'hui classées en zone protégée (Natura 2000, Ramsar, ZICO, ZNIEFF, réserve naturelle, etc.). Les pressions humaines sur les milieux, bien qu'atténuées, n'en demeurent pas moins une réalité : la pression exercée par les prélèvements pour l'irrigation est par exemple particulièrement importante dans le marais poitevin. La pollution en est une autre, par exemple dans les zones humides de la vallée et de l'estuaire de la Loire.

L'exemple du Marais Poitevin

Le Marais poitevin fait partie des dix zones humides côtières françaises reconnues par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et des ressources (UICN). Cette zone était initialement un immense golfe maritime qui s'étendait jusqu'à proximité de la ville de Niort, mais qui a été façonné par l'homme. C'est à partir du XIIIe siècle qu'ont commencé des travaux d'asséchement visant à développer l'exploitation agricole. Mais depuis les 30 dernières années, le ratio d'occupation du sol entre prairies humides et cultures a évolué et aujourd'hui, le marais ne couvre plus qu'une superficie de 100 000 hectares. Cela s'explique par la mise en culture d'une partie des zones humides non protégées et des prairies périphériques ; par l'asséchement progressif du site par le développement de l'irrigation ; mais également par le réchauffement climatique qui a accentué le phénomène, avec des périodes de sécheresse devenues chroniques.

Le Marais poitevin est reconnu comme « Patrimoine Biologique International et d'Intérêt Majeurs ». Il abrite en effet des milieux naturels uniques et fragiles (prés salés méditerranéens et aquitains, estuaires, dunes…), une végétation et une faune d'une richesse et d'une diversité remarquables, qui ont « choisi » ce site façonné par l'homme.

Source : Établissement Public du Marais Poitevin.

Ces pressions anthropiques, associées à la faible capacité d'adaptation des zones humides sur le long terme, les rendent particulièrement vulnérables à l'évolution du climat, avec un risque aggravé de régression par asséchement, voire de disparition par submersion. Les événements climatiques récents – en particulier les sécheresses des années 2000 – révèlent déjà cette vulnérabilité :

- Dans la vallée de la Loire, les étiages sévères entraînent une augmentation de la température de l'eau particulièrement dommageable pour les milieux et les écosystèmes des zones humides, phénomène par ailleurs renforcé par les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires ;
- Dans le marais Poitevin, les sécheresses estivales conduisent à des prélèvements plus importants pour l'irrigation, ce qui accroît l'impact climatique sur le milieu.

Comme l'illustrent ces deux exemples, il est aujourd'hui malaisé de distinguer ce qui relève du climat ou des pressions anthropiques locales pour expliquer la vulnérabilité des zones humides. Au regard des données disponibles, cette vulnérabilité actuelle peut toutefois être qualifiée d'élevée pour les marais littoraux et de moyenne pour la Sologne et les zones humides de la vallée de la Loire, les premiers étant soumis à davantage d'impacts que les secondes (en relation notamment avec l'élévation du niveau de la mer : déplacement du biseau salé et risque de submersion marine).

1.2.1.2 Les impacts du changement climatique sur les zones humides du Grand Ouest

La hausse des températures moyennes estivales, associée à des épisodes de sécheresse plus longs et plus fréquents, pourrait accroître sensiblement la vulnérabilité des zones humides dans le Grand Ouest, en particulier en Vendée et dans le Sud de la région Centre, où ces effets du changement climatique seraient les plus sensibles d'après l'analyse des simulations climatiques de Météo-France.

Là encore, il paraît difficile de distinguer ce qui relève de l'impact climatique de celui des activités humaines. En l'absence d'évolution des pratiques agricoles, la hausse des prélèvements en eau pourrait accroître sensiblement la vulnérabilité des milieux aquatiques au changement climatique, en particulier dans le sud de la Vendée. Associée à l'élévation attendue du niveau de la mer, cette pression anthropique sur les ressources en eau pourrait se traduire par un déplacement vers l'intérieur des terres du biseau salé et, *in fine*, par la salinisation d'une partie des zones humides littorales.

Ces mêmes zones humides littorales sont par ailleurs très vulnérables à l'augmentation attendue du risque de submersion marine, en relation là encore avec l'élévation du niveau marin. Des épisodes répétés de submersion marine pourrait ainsi se traduire par une maritimisation progressive des marais arrière-littoraux[39].

Élévation du niveau de la mer, prélèvements dans les aquifères littoraux et déplacement du biseau salé

L'élévation du niveau de la mer devrait se traduire par un déplacement du biseau salé vers l'intérieur des terres, qui entrerait davantage dans les aquifères littoraux, notamment dans le sud de la Vendée. Dans cette zone, les aquifères calcaires présentent en effet une exploitation plus intensive que sur le reste du littoral du Grand Ouest, en particulier pour l'irrigation. Les eaux saumâtres déjà présentes sous le marais poitevin risquent de se déplacer. Le reste du littoral présente une vulnérabilité moindre.
Dans le contexte du changement climatique, l'élévation du niveau de la mer, associée à des prélèvements équivalents ou supérieurs aux prélèvements actuels, entraînera un déplacement du biseau susceptible d'impacter à des degrés divers de nombreux aquifères littoraux.

Source : Entretien avec M. Rivoal et M. Billault, de l'Agence de l'eau Loire Bretagne, 2012

Au regard des données disponibles, la vulnérabilité des zones humides littorales du Grand Ouest peut être qualifiée d'élevée. Le cas des zones humides plus continentales et en particulier de la Sologne est plus incertain. La forte sensibilité de ces milieux à l'évolution des paramètres climatiques laisse toutefois présager une augmentation de leur vulnérabilité.

[39] Voir également le chapitre consacré aux risques naturels.

1.2.2 L'impact du changement climatique sur la biologie des cours d'eau[40]

Comme le souligne plusieurs études[41], dans le contexte d'une augmentation des températures moyennes, d'une hausse de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse et d'un allongement consécutif de la période d'étiage ; la température des cours d'eau – et notamment de la Loire – pourrait augmenter sensiblement en période estivale, avec des conséquences importantes pour le milieu et les écosystèmes. Plus récemment, des travaux (Gosse et al. 2009) conduisent à des prévisions de réchauffement moyen de la Loire moyenne entre 0,8 à 1,5°C à l'horizon 2050, réchauffement pouvant atteindre jusqu'à +3°C pour les mois les plus chauds.

La température de l'eau constitue un élément déterminant de l'évolution de l'aire de répartition de la faune et de la flore aquatique. Dans ce cadre, les conséquences d'un tel réchauffement pourraient conduire à une contraction des aires de répartition des poissons migrateurs, particulièrement marquées pour les espèces de poissons cryophiles[42]. Certaines études (Lassalle 2008) prévoient la disparition du saumon dans certains bassins de l'Ouest à l'horizon 2100.

1.3 Les impacts du changement climatique sur les milieux littoraux et marins

1.3.1 Vulnérabilité actuelle

1.3.1.1 Une vulnérabilité moyenne qui s'accroît sur le littoral

Tout comme les zones humides – dont certaines sont littorales – les milieux littoraux sont des espaces de transition entre la terre et l'eau, ce qui leur confère une forte vulnérabilité aux pressions anthropiques et aux variations climatiques.

Sur les côtes, l'espace disponible pour les milieux naturels a considérablement diminué au cours des dernières décennies et continue de se réduire, en raison d'une pression foncière accrue sur le littoral, malgré le développement d'initiatives destinées à les préserver. La principale d'entre elles fut la création en 1975 du Conservatoire du littoral, chargé d'acquérir un tiers du littoral français afin notamment de maintenir des « coupures urbaines ».

---

[40] Voir le chapitre consacré aux ressources en eau.

[41] Moatar, 2006 ; Gosse et al., 2008.

[42] *Changement climatique, impacts sur les milieux aquatiques et conséquences pour la gestion*, Les Rencontres de l'ONEMA, séminaire des 29 et 30 juin 2009.

Au-delà de la pression foncière, les milieux naturels littoraux sont également soumis, comme l'ensemble des littoraux, aux risques côtiers d'érosion et de submersion marine. Certaines activités, en particulier la conchyliculture, sont particulièrement sensibles à ces modifications du milieu. Là encore, il apparaît difficile de distinguer ce qui relève de l'impact du climat et de celui des activités humaines (voir l'encadré ci-après sur le retour d'expérience de la tempête Xynthia en Vendée).

Milieu littoral et activité conchylicole sur le littoral de la Faute sur mer : le retour d'expérience de la tempête Xynthia

« Malgré le manque de recul, des atteintes à l'écosystème halieutique sont prévisibles. Les diverses pollutions dues à des déversements accidentels d'hydrocarbures (cuves à huile et à gasoil), au lessivage des terres agricoles inondées et à des pollutions domestiques diffuses liées à la destruction des systèmes d'assainissement ont dégradé la qualité du milieu. Les nourriceries de certaines espèces et les stocks de coquillages (coquille saint jacques et huîtres creuses) sont durablement affectés d'après les suivis du Réseau National d'Observation de l'IFREMER. »

Source : Xynthia, leçons d'une catastrophe, Géolittomer, LETG UMR 6554 CNRS, 2011

1.3.1.2 Un milieu marin peu vulnérable

Le milieu marin, au regard des connaissances disponibles, semble pour le moment peu impacté par le changement climatique proprement dit. Trois éléments sont aujourd'hui confirmés :

- L'élévation du niveau moyen de la mer : à l'échelle globale, elle s'établit à 3mm/an. Dans le Grand Ouest, le marégraphe de Brest, en place depuis 1806, a permis d'observer une élévation de seulement 1mm/an ;
- L'élévation de la température moyenne annuelle de l'eau de mer de quelques dixièmes de degrés ;
- Le pH de l'océan à l'échelle mondiale a diminué de 0,1 en deux siècles. Ce phénomène est communément appelé « l'acidification des océans ».

L'océan, un régulateur du changement climatique

L'océan capte environ 1/3 du CO2 atmosphérique émis par les activités humaines et contribue de ce fait fortement à l'atténuation du changement climatique. Néanmoins, ce phénomène se traduit par ce qu'il est coutume d'appeler « l'acidification des océans ». Le CO2, en se dissolvant dans l'eau marine, modifie le système de carbonate marin et se traduit par une réduction progressive du pH des océans, qui est passé de 8,2 au XIXème siècle à 8,1 aujourd'hui.

Source : Entretien avec M. Paul Tréguer, de l'Institut Universitaire Européen de la Mer, 2012

1.3.2 Une vulnérabilité future encore très incertaine

1.3.2.1 Les effets de l'élévation du niveau marin sur les milieux littoraux

Selon les hypothèses du GIEC, la hausse du niveau marin est estimée entre 0,18 et 0,59m d'ici 2100 en moyenne à l'échelle mondiale (cette hypothèse est aujourd'hui critiquée *a minima*[43]). Cette hausse moyenne du niveau marin ne rend pas compte les réalités locales très contrastées sur les littoraux. Dans ce contexte, si l'élévation du niveau de la mer dans le futur n'est pas remise en cause, l'évaluation de cette élévation sur le littoral du Grand Ouest reste incertaine.

De la difficulté à évaluer l'élévation future du niveau de la mer à l'échelle du Grand Ouest

Actuellement, les modèles ne sont pas assez performants pour rendre compte de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle d'une façade littorale comme celle du Grand Ouest.

La seconde incertitude naît de la difficulté à définir un référentiel commun pour quantifier l'élévation du niveau de la mer. En France, le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et l'Institut Géographique National (IGN) disposent chacun d'un référentiel distinct pour qualifier le niveau 0 de la mer. Cette distinction est en cours de correction, mais cette mise en cohérence prendra beaucoup de temps avant d'être effective sur l'ensemble du littoral français.
Cette mise en cohérence a été effectuée pour le Golfe du Morbihan, ce qui a permis de mener une simulation de l'élévation du niveau marin pour l'île d'Arz.

Source : Entretien avec M. Paul Tréguer, de l'Institut Universitaire Européen de la Mer, 2012

L'élévation du niveau de la mer devrait se traduire par un renforcement de l'érosion des littoraux déjà exposés, ainsi que par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de submersion marine. Dans ce contexte, le trait de côte – en particulier sur les littoraux sableux – pourrait se trouver rapidement et profondément modifié.

[43] Entretien Paul Tréguer

La capacité de reconstitution des milieux littoraux (plages, marais maritimes, etc.) en arrière du trait de côte actuel dépendra alors de deux paramètres :

- La vitesse d'évolution du trait de côte. Sur ce point, on notera que l'augmentation de la fréquence des épisodes de submersion et le renforcement global de l'érosion conduiront à une mobilité plus importante du trait de côte, mais pas nécessairement à un recul régulier et généralisé ;
- L'occupation du sol en arrière du trait de côte en recul : en présence de zones urbaines ou d'infrastructures, la reconstitution progressive des milieux en arrière du trait de côte actuel sera particulièrement difficile, voire impossible.

De façon générale, la faible continuité des espaces naturels sur certaines portions du littoral du Grand Ouest constitue un facteur de vulnérabilité non négligeable à l'élévation du niveau de la mer dans le contexte du changement climatique.

1.3.2.2 Une vulnérabilité future du milieu marin encore très incertaine

L'impact de l'élévation du niveau de la mer sur le milieu marin reste très incertain. Peu d'études ont été réalisées sur ce sujet.

Quant à l'acidification des océans, le scénario moyen du GIEC indique une réduction supplémentaire du pH de l'ordre de -0,35 d'ici à 2100. Dans ce cadre, le concept « d'acidification » n'est pas à proprement parler pertinent car le pH reste supérieur à 7.

Cette réduction du pH aurait un impact plus ou moins important sur les organismes calcaires et en particulier sur les coquillages. À court et moyen terme, cet impact se fera ressentir d'abord dans les eaux froides, à de hautes latitudes, ces eaux dissolvant davantage de CO_2.

Dans les eaux tempérées, l'impact sera différé et ne devrait donc toucher le Grand Ouest qu'à l'horizon 2080, avec un impact direct possible sur les activités conchylicoles.

2 L'impact du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes dans le Grand Ouest

Ce qu'il faut retenir…

Au-delà de ses impacts sur les milieux naturels, le changement climatique touchera également les espèces et les écosystèmes dans le Grand Ouest, à travers **trois phénomènes majeurs** ponctuellement déjà observés :

- Le **déplacement vers le nord de l'aire de répartition de nombreuses espèces** et la réduction de l'espace disponible pour certaines autres (risque d'extinction)
- **L'évolution physiologique** des espèces, en réaction à l'évolution climatique, avec de potentiels bouleversements des chaînes alimentaires. La compréhension fine de ces phénomènes complexes fait toujours l'objet de **recherches scientifiques et nécessite l'observation sur le long terme**.
- Le possible développement **d'espèces invasives**

La vulnérabilité des espèces dépendra de leur capacité à se déplacer en fonction de l'évolution du climat et donc **de l'existence ou non de continuité écologiques dans les territoires.**

La vulnérabilité des espèces et écosystèmes **marins et des activités qui en dépendent** reste encore **très incertaine à ce jour.**

De telles évolutions devraient aboutir dans le Grand Ouest à **l'émergence de nouveaux équilibres éco-systémiques**, dont la forme reste pour le moment très incertaine.

2.1 Éléments de contexte d'une vulnérabilité actuelle déjà élevée

En l'absence de mesures d'adaptation, la vulnérabilité accrue des milieux aura des conséquences sur la vulnérabilité des espèces et des écosystèmes. Comme l'illustrent les Figure 31 et Figure 32, l'état de conservation des espèces végétales et animales dans le domaine biogéographique atlantique est, à l'image de l'état de conservation de ses habitats naturels, défavorable à mauvais.

FIGURE 31 - ÉTAT DE CONSERVATION DES ESPÈCES VÉGÉTALES PAR DOMAINE BIOGÉOGRAPHIQUE (SOURCE : MEDDTL, 2007)

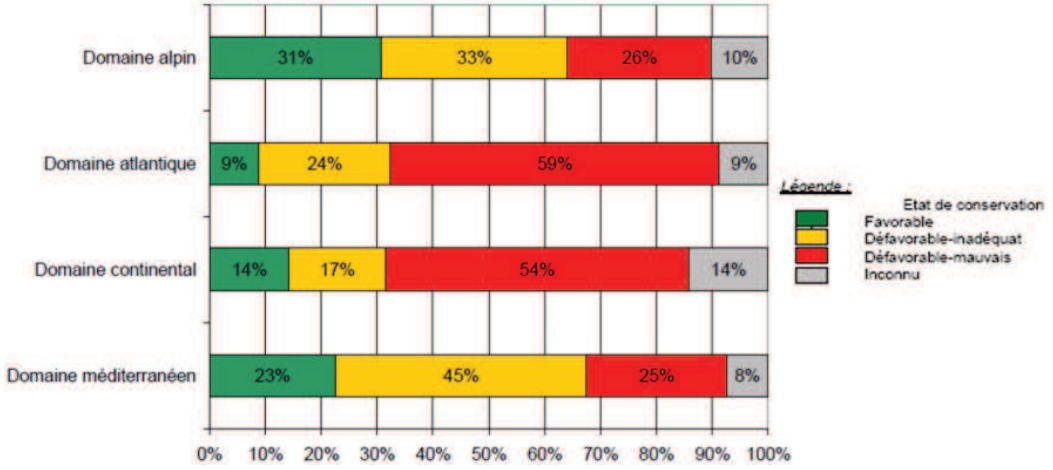
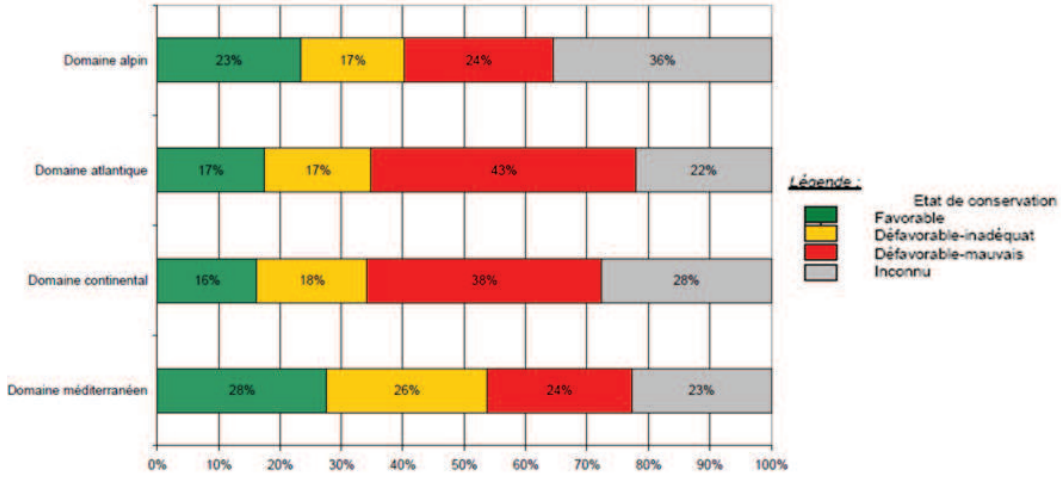


FIGURE 32 - ETAT DE CONSERVATION DES ESPÈCES ANIMALES PAR DOMAINE BIOGÉOGRAPHIQUES (SOURCE : MEDDTL, 2007)



De la même manière que pour les milieux naturels, ce constat est lié pour partie à un facteur anthropique, qu'illustre parfaitement la pression – opérée depuis plusieurs décennies et parfois jusqu'à aujourd'hui – par les activités de pêche sur les ressources halieutiques.

Même s'il est difficile à apprécier aujourd'hui, le facteur climatique joue également un rôle important dans l'évolution des écosystèmes, de l'aire de répartition des espèces et, par voie de conséquence, dans celle des activités qui en dépendent (pêche, tourisme, etc.).

Là encore, de la même façon que pour les milieux, il apparaît difficile de distinguer ce qui relève des impacts anthropiques de ce qui relève des impacts climatiques. Une certitude toutefois : les espèces et écosystèmes fragilisés par l'action de l'homme disposeront d'une capacité d'adaptation amoindrie pour faire face aux impacts du changement climatique.

2.2 Les impacts attendus du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes terrestres

2.2.1 La modification de l'aire de répartition des espèces

Les variations du climat ont toujours eu une influence sur l'évolution de l'aire de répartition des espèces animales et végétales. L'oscillation nord-atlantique se traduit par une alternance régulière de courtes périodes de refroidissement et de réchauffement et constitue par exemple une composante de la variabilité climatique.
C'est pour cela que **le lien entre changement climatique et les déplacements de l'aire de répartition des espèces <u>observés actuellement</u> est pour l'instant très difficile à démontrer**, hormis pour quelques espèces spécifiques. L'absence de données statistiques suffisamment longues en est la principale raison.

Néanmoins, il est possible, en se fondant sur les scénarios A2 et B2 du GIEC, de faire des hypothèses quant à l'évolution de l'aire de répartition des espèces en fonction de celle des paramètres climatiques. L'ONERC a ainsi réalisé une modélisation de l'évolution de la biodiversité à l'horizon 2080, sur la base de 1062 espèces végétales, 328 oiseaux nicheurs en France, 106 reptiles ou amphibiens et 139 mammifères.

FIGURE 33 - EVOLUTION DE L'AIRE DE RÉPARTITION DES ESPÈCES À L'HORIZON 2080 (SOURCE : ONERC, 2009)

	A2			B2		
	perte	stable	gain	perte	stable	gain
Plantes	30%	13%	57%	31%	17%	52%
Oiseaux	32%	24%	45%	33%	27%	40%
Reptiles/amphibiens	62%	21%	17%	62%	22%	16%
Mammifères	33%	19%	48%	35%	23%	42%

Cette étude révèle tout d'abord un **déplacement vers le nord de l'aire de répartition de nombreuses espèces**. Au-delà, un tiers des espèces végétales, des mammifères et des oiseaux pourraient voir leur aire de répartition diminuer d'au moins 20%. De même, près de 62% des reptiles ou amphibiens perdraient au minimum 20% de leur aire actuelle de répartition. Cette réduction pourrait 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.

La vulnérabilité future de la biodiversité paraît ainsi plus élevée pour les reptiles et les amphibiens. Cette **vulnérabilité dépend en effet de la capacité des espèces à se déplacer en fonction de l'évolution du climat**. De ce fait, elle dépend également **de l'existence ou non de continuité écologiques dans les territoires**.
Le Grand Ouest présente peu d'obstacles au déplacement des espèces, hormis la Loire. Dans ce contexte, le paysage bocager de l'arrière-pays breton et vendéen apparaît comme un atout pour favoriser ces continuités écologiques et donc l'évolution vers le nord de l'aire de répartition des espèces.

2.2.2 L'évolution physiologique des espèces

Les hypothèses concernant l'évolution de l'aire de répartition des espèces ne tiennent pas compte de l'adaptation possible des espèces à l'évolution du climat. Or, le suivi de certaines espèces, en particulier végétales, révèle une capacité d'adaptation à l'évolution des conditions climatiques. L'augmentation des températures moyennes annuelles a ainsi conduit à un décalage des stades phénologiques pour de nombreux végétaux, cultivés ou non (voir le chapitre consacré à l'agriculture). Du côté animal, certains évènements périodiques, telles que les mouvements migratoires ou la nidification pour les oiseaux, connaissent également une adaptation ponctuelle à l'évolution du climat.

Chaque espèce évolue cependant à son rythme. La vulnérabilité future des espèces dépendra donc de leur capacité à s'adapter à un changement climatique plus ou moins rapide. Cet élément doit également être mis en relation avec l'interdépendance entre les espèces au sein des écosystèmes. Le décalage saisonnier d'une espèce a ainsi une incidence potentielle sur la capacité d'adaptation de plusieurs autres. Ces décalages sont susceptibles de provoquer d'importants bouleversements dans le fonctionnement des chaînes alimentaires et pourraient à terme se traduire par l'extinction de certaines espèces et la réorganisation du fonctionnement de certains écosystèmes. Sur ce dernier point l'incertitude demeure élevée. La compréhension fine de ces phénomènes complexes fait toujours l'objet de recherches scientifiques et d'observation sur le long terme.

Selon le Groupe interministériel, *« 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 »*.

Dans ce cadre, toute évaluation de la vulnérabilité au changement climatique apparaît particulièrement complexe.

2.2.3 Le développement possible des espèces invasives

Au-delà de la vulnérabilité des espèces existantes, le changement climatique est susceptible de favoriser l'implantation de nouvelles espèces et notamment d'espèces dites invasives.

Définition

« Une espèce est dite invasive ou envahissante lorsque, s'étant établie et se reproduisant naturellement dans un domaine géographique dont elle n'est pas originaire, elle devient un agent de perturbation et nuit à la diversité biologique.

Ces « invasives » peuvent perturber les milieux naturels et être source de désagrément pour les activités humaines (qualité de l'eau, irrigation, agriculture, pêche…) ou la santé publique (allergies, toxicité, transmissions de maladies…). »

Source : Conservatoire d'espaces naturels de la région Centre, 2012

Comme le rappelle l'encadré ci-avant, une espèce invasive est une espèce exotique implantée volontairement ou non, le plus souvent par l'action de l'homme, ce qui exclut les espèces dont l'aire de répartition s'est déplacée naturellement pour coloniser de nouveaux territoires.

Le territoire du Grand Ouest est déjà confronté à un certain nombre de plantes invasives, comme la jussie, qui envahit les zones humides, ou encore l'ambroisie, plante particulièrement allergène[44]. Toutefois, le nombre d'espèces invasives s'étant développé dans le Grand Ouest en raison de l'évolution des paramètres climatiques reste relativement faible. Le lien entre l'évolution du climat et le développement de ces espèces reste par ailleurs difficile à démontrer actuellement. La vulnérabilité actuelle du Grand Ouest à ce type d'impact est donc relativement incertaine.

Néanmoins, cette vulnérabilité pourrait cependant augmentera, et ce pour deux raisons principales :

- Anthropique : La mondialisation des échanges favorise la circulation des espèces invasives ;
- Climatique : L'évolution des paramètres climatiques est susceptible de favoriser leur implantation dans le Grand Ouest.

Pour finir on notera que certaines espèces introduites accidentellement se révèlent – ou pourraient se révéler à l'avenir – mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques que les espèces locales. Dans ce cas, la question se pose de savoir si, globalement, les espèces envahissantes sont une menace (perte de biodiversité, etc.), ou au contraire une opportunité, compte tenu des impacts déjà évoqués du changement climatique sur la biodiversité : les espèces envahissantes pourraient en effet contribuer à l'organisation de nouveaux écosystèmes mieux adaptés à l'évolution du climat.

[44] Voir le chapitre consacré à la santé.

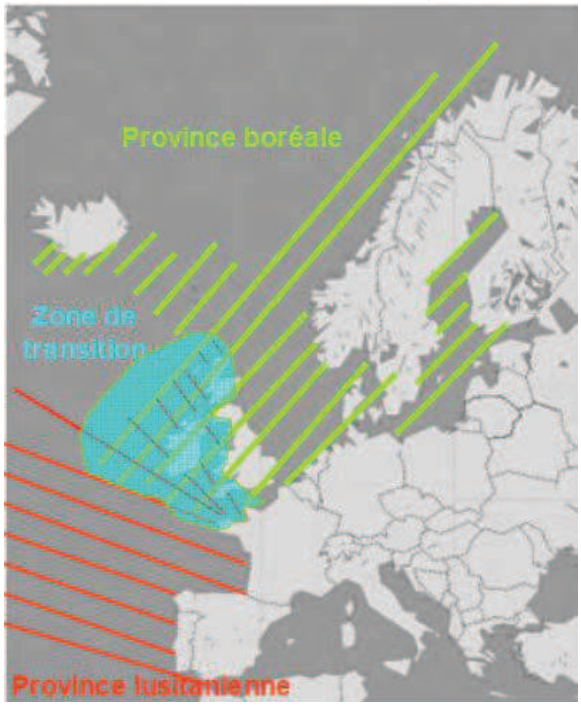
2.3 Zoom sur les impacts attendus du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes marins et les activités qui en dépendent

Il apparaît nécessaire de consacrer un point spécifique à l'espace maritime, du fait de la situation particulière du Grand Ouest du point de vue de la biodiversité marine et de son importance pour une partie de l'économie littorale (pêche et conchyliculture).

2.3.1 Les impacts observés du changement climatique

La péninsule bretonne constitue en effet une zone de transition entre deux zones biogéographiques, l'une septentrionale et l'autre méridionale.

FIGURE 34 - LA ZONE DE TRANSITION ENTRE LES PROVINCES BIOGÉOGRAPHIQUE BORÉALE ET LUSITANIENNE (SOURCE : CSE BRETAGNE, 2009, D'APRÈS BRIGGS, 1974)



Cette situation de zone de transition est un important facteur d'incertitude, rendant les impacts du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes marins très difficiles à détecter. Toute zone de transition est en effet le siège de fluctuations constantes de l'aire de répartition des espèces. Dans ce cadre, la détection d'un changement à long terme s'avère très complexe.

Les différentes études et publications[45] sur le sujet ont permis de mettre en évidence l'impact direct du changement climatique sur la migration de l'aire de répartition de quelques autres espèces uniquement :

- Deux espèces tropicales ;
- Une espèce de gastéropode d'origine méditerranéenne ;
- L'huître creuse du Pacifique : introduite dans les années 1970 pour répondre à l'effondrement de l'huître portugaise et des huîtres plates, les scientifiques de l'Ifremer affirmaient à l'époque qu'elle ne pourrait pas s'acclimater dans le milieu naturel. Les études récentes montrent que tel est le cas aujourd'hui sur l'ensemble des côtes françaises[46].

Le lien entre le changement climatique et l'évolution de l'aire de répartition des espèces marines n'a pu être établi, à ce jour, que pour ces espèces.

Le projet CPR : une source de données particulièrement fiable

Depuis les années 1930, les scientifiques anglais placent des **« enregistreurs de planctons » (Continuous Plankton Recorder)** à la remorque des navires transatlantiques.
Les séries de données statistiques obtenues, traitées par Grégory Beaugrand, permettent de distinguer ce qui relève de la variabilité interannuelle normale – liée à l'oscillation nord Atlantique – d'une part, et ce qui relève de l'anomalie liée à l'évolution de la température de l'eau d'autre part.
Ses travaux montrent ainsi que les **populations de plancton ont migré vers le nord, ce qui peut provoquer un déséquilibre alimentaire pour les larves de morues qui s'en nourrissent**. Ce phénomène a un **impact direct sur la pêche au cabillaud**, impact qui s'associe par ailleurs à celui de la surexploitation de cette ressource halieutique pour expliquer la diminution très importante de cette dernière en mer du Nord.

Source : Entretien avec M. Paul Tréguer, de l'Institut Universitaire Européen de la Mer, 2012

2.3.2 La vulnérabilité future des écosystèmes marins : de nombreuses incertitudes

Il est démontré que l'aire de répartition de certaines espèces se déplace vers le nord dans le contexte d'un changement climatique. Toutefois, il ne s'agit pas là de l'unique facteur d'évolution des écosystèmes marins, qui dépendront également de la capacité et de la vitesse d'adaptation des espèces[47]. Cet élément met en évidence la grande incertitude quant à l'évolution des écosystèmes marins (qui résultent de l'interaction entre les espèces marines) dans le contexte du changement climatique.

[45] Tréguer, Lhuillery et Viard, *Changement climatique et impacts sur les écosystèmes marins de l'ouest de la France*, septembre 2009.
[46] Voir à ce sujet les travaux du programme PRODIG.
[47] Source : Entretien avec M. Paul Tréguer, de l'Institut Universitaire Européen de la Mer, 2012.

Pour ce qui concerne les organismes calcaires, la réduction progressive du pH ne laisse pas présager d'impact majeur avant la fin du XXIème siècle, au regard des modélisations actuelles.

2.3.3 Les conséquences attendues pour les activités piscicoles et conchylicoles

Dans un tel contexte et devant l'importance des incertitudes, il apparaît difficile d'évaluer la vulnérabilité des activités piscicoles et conchylicoles aux impacts du changement climatique, au-delà d'une forte vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer, qui aurait un impact non négligeable sur les infrastructures.
Dans le cadre de l'augmentation des épisodes de fortes précipitations attendue à horizon 2030, il est à noter comme point de vigilance l'impact négatif de ce type d'aléa sur la qualité des productions conchylicoles et ce dès un niveau de précipitation supérieur à 10mm/j. Une augmentation de la vulnérabilité des activités conchylicoles est donc attendue.

On notera toutefois que malgré les nombreuses incertitudes, il est bien évident que la pression anthropique aura une influence sur les ressources halieutiques et leur capacité d'adaptation.

3 Tableau de synthèse thématique

Impact	*Territoire(s) cohérent(s) le(s) plus concerné(s)*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Evaluation de la vulnérabilité (ou de l'opportunité)*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité (ou d'opportunité) future*	*Capacité d'adaptation*
Fragilisation des milieux	Arrière-pays breton et vendéen Vallées de la Loire et de ses affluents Sud de la région Centre	Moyenne	Elevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Elevée	-Fragmentation des milieux ; -Pressions anthropiques sur les milieux.	-Protection des milieux et de leur alimentation en eau (pour les zones humides) ; -Choix d'aménagement.
Modification de l'aire de répartition des espèces	Tous les territoires	Faible à moyenne	Moyenne à élevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Elevée	-Vulnérabilité fonction des espèces concernées (amphibiens plus vulnérables que les oiseaux) ; -Maintien des continuités écologiques.	-Remembrement du bocage ; -Préservation des « milieux refuges » (zones humides, etc.).
Evolution physiologique des espèces et évolution des écosystèmes	Tous les territoires	Faible à moyenne	Moyenne à élevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : incertaine	Incertaine	-Type de protection des milieux : patrimoniale ou écosystémique ; -Capacité des espèces à s'adapter rapidement à l'évolution du climat.	

Implantation et développement des espèces invasives	Tous les territoires	Moyenne	Elevée	Vulnérabilité actuelle : moyenne Vulnérabilité future : élevée	Elevée	-Concurrence espèces invasives/espèces autochtones.	-Programme de lutte contre certaines espèces (Ambroisie à feuille d'armoise : programme de l'ARS en Pays de la Loire).

LA SANTÉ DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

1 Les impacts directs du changement climatique sur la santé humaine

Ce qu'il faut retenir…

La **canicule a un effet direct sur la santé des personnes fragiles** : populations âgées, jeunes enfants, malades, etc. Comme l'a révélé la canicule d'août 2003, **la plupart des territoires du Grand Ouest sont déjà vulnérables de ce point de vue,** particulièrement la région Centre et dans une moindre mesure les Pays-de-la-Loire, la Bretagne étant plus épargnée.

Dans la perspective du changement climatique, la hausse attendue de l'intensité et de la fréquence des épisodes caniculaires entraînera, en l'absence de mesures d'adaptation, une **hausse de la vulnérabilité de la population sur le plan sanitaire, renforcée également par son vieillissement attendu**. Elle dépendra de la capacité à **réduire la vulnérabilité des personnes âgées et/ou dépendantes** et **les inégalités sociales** vis à vis du logement et de l'accès aux soins, de la **robustesse du système** d'alerte et de gestion de crise dans un contexte d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des canicules et **des réponses en matière d'aménagement**.

La vulnérabilité est **particulièrement forte dans les grandes villes** (notamment à Rennes et Nantes). En milieu urbain dense, la minéralisation de l'espace, la densité du bâti et la concentration des activités se traduisent, en période de canicule, par la formation des **îlots de chaleur urbains**, dont l'impact sanitaire pourrait se trouver démultiplié dans le contexte du changement climatique.

1.1 Une population vulnérable aux épisodes de canicule

Les conséquences sanitaires des variations extrêmes de température constituent sans doute l'impact climatique sur la santé humaine le plus facilement identifiable aujourd'hui. Comme en ont témoigné la canicule de l'été 2003 ou le froid rigoureux du mois de février 2012, la chaleur ou le froid extrêmes, lorsqu'ils durent plusieurs jours, provoquent une augmentation de la mortalité pour les populations les plus exposées et/ou les plus sensibles.

Comme le montrent les Figure 35 et Tableau 16, la plus forte hausse de mortalité liée à la canicule d'août 2003 dans le grand Ouest a concerné la région Centre et, dans une moindre mesure, la région Pays de la Loire (en particulier dans la Sarthe) et enfin la Bretagne.

FIGURE 35 - RAPPORT DU NOMBRE DE DÉCÈS EN AOÛT 2003 AU NOMBRE DE DÉCÈS ATTENDUS (SOURCE : INED, 2004)

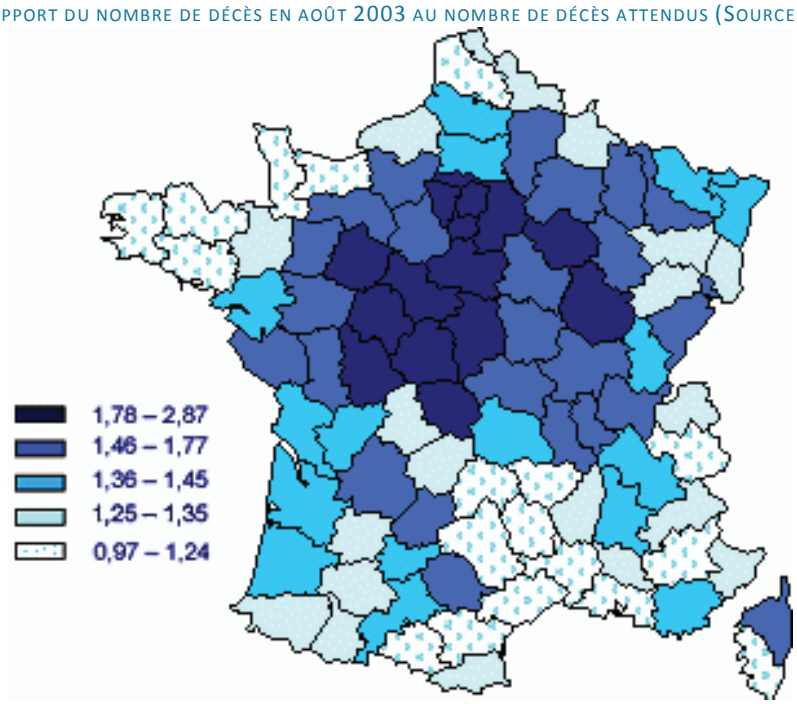


TABLEAU 16 - AUGMENTATION DE LA MORTALITÉ DANS LES RÉGIONS DU GRAND OUEST EN AOÛT 2003 (SOURCE : INSERM, 2003)

Territoire	Nb de décès	Nb de décès attendus	Augmentation de la mortalité	Part de l'augmentation globale de mortalité
Bretagne	1855	1550	19,7%	2,1%
Pays de la Loire	2399	1431	67,6%	6,5%
Centre	2441	1203	102,9%	8,4%
France métropolitaine	41621	26819	55,2%	100,0%

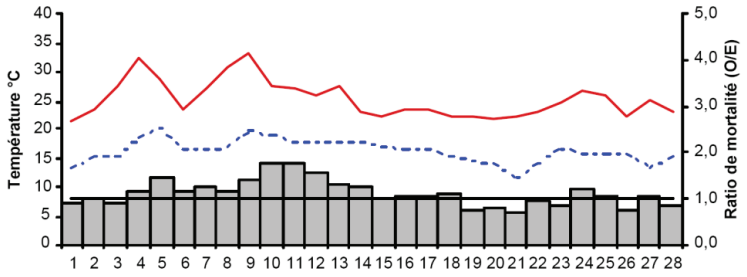
Depuis la canicule de 2003 et dans la perspective d'une aggravation de l'intensité et de la durée des épisodes de fortes chaleurs liée au changement climatique, la question de l'impact sanitaire des canicules sur les populations est devenue un enjeu de premier ordre en France. Á titre indicatif, la surmortalité liée à la canicule 2003 a atteint son plus haut niveau dans les régions Centre (+103 %) et Ile-de-France[48].

[48] Inserm, D.Hemon, E.Jougla, 2003, Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques, rapport d'étude.

Figure 36 - Évolution des ratios de mortalité au cours du mois d'août 2003 en fonction des températures moyennes maximales (en rouge) et minimales (en bleu) enregistrées dans les régions du Grand Ouest

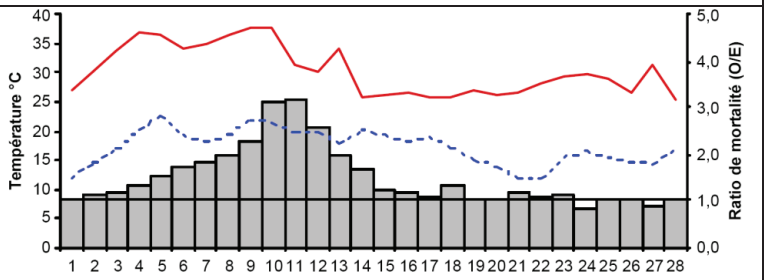
Bretagne

La canicule de 2003 a eu un effet relativement faible sur la mortalité en Bretagne, ce qui s'explique par des températures plus réduites par rapport aux autres régions du Grand Ouest.



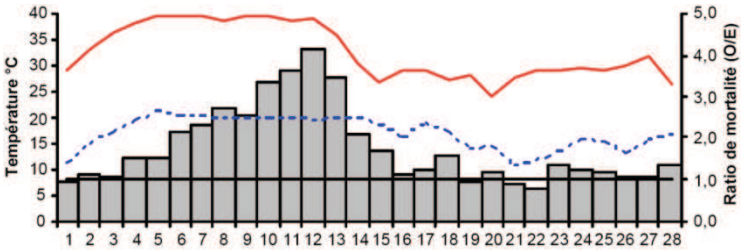
Pays de la Loire

Le pic de chaleur enregistré début août s'est traduit par une augmentation importante de la mortalité.



Centre

Comme précisé plus haut, la région Centre a été l'une des plus touchées par la canicule de 2003, avec une hausse importante de la mortalité, liée à des températures moyennes élevées sur une longue durée.



Source : INSERM, HEMON & JOUGLA, *Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques*, 2003.

Le présent chapitre vise à caractériser la vulnérabilité des populations du Grand Ouest à ces évènements extrêmes, aujourd'hui puis dans le futur, au regard des évolutions climatique et démographiques attendues. Nous approfondirons en particulier cette vulnérabilité dans les espaces urbains denses, où «l'effet îlots de chaleur » (IECU) agit comme un facteur de vulnérabilité supplémentaire.

1.1.1 La vulnérabilité actuelle aux épisodes caniculaires

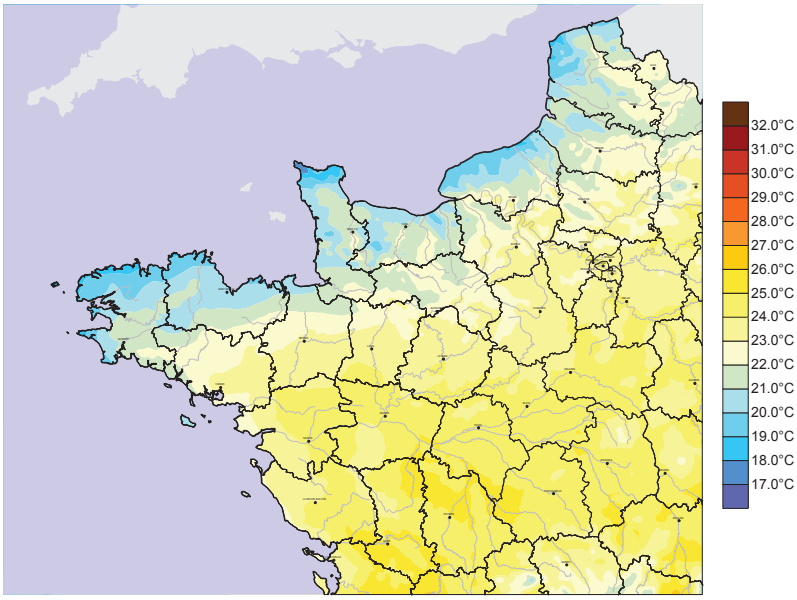
1.1.1.1 L'exposition à la canicule : l'effet d'Îlot de chaleur urbain

Les épisodes de canicule sont des phénomènes climatiques extrêmes et se caractérisent par deux éléments principaux :

- Des températures particulièrement élevées durant plusieurs jours ;
- Une faible amplitude thermique entre le jour et la nuit.

Néanmoins, on notera qu'il n'existe pas de définition type de ce phénomène, qui dépend étroitement de la sensibilité des populations aux vagues de chaleur. Selon Météo-France, il existe un risque de canicule lorsque les températures nocturnes ne s'abaissent pas en deçà de 20°C et que les températures diurnes maximales dépassent les 33°C, durant au moins 72 heures.

FIGURE 37 - MOYENNE DES TEMPÉRATURES ESTIVALES DANS LE GRAND OUEST (1971-2000) - SOURCE : MÉTÉO-FRANCE



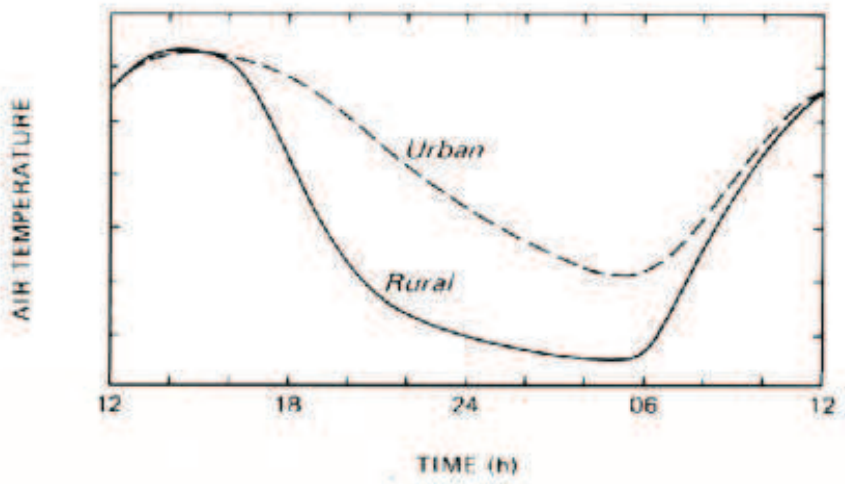
Des températures plus faibles peuvent toutefois être ressenties comme caniculaires dans le nord Finistère, où la moyenne estivale des températures ne dépasse pas 16°C[49]. Comme l'illustre la carte de la Figure 37, hormis le Finistère et les Côtes d'Armor, la moyenne des températures estivales dans le Grand Ouest est comprise entre 22 et 26°C.

[49] Voir le rapport d'analyse des simulations de Météo-France.

Si l'exposition à la canicule dépend de la situation géographique, elle dépend également de l'aménagement de l'espace qui permet d'atténuer, ou au contraire d'aggraver le phénomène. La minéralisation des espaces urbains, le fonctionnement des appareils ménagers et de production de froid (climatiseurs) et l'activité économique en général (industrie, transport, etc.) favorisent ainsi l'accumulation de la chaleur diurne et sa restitution nocturne, conduisant à une réduction notable de l'amplitude thermique journalière. On parle de l'Effet Îlot de Chaleur Urbain (EICU).

Les espaces urbains présentent ainsi une exposition plus élevée que le reste du territoire à la canicule, l'exposition s'accroissant globalement avec la densité urbaine. La faiblesse des espaces végétalisés en ville limite en effet fortement le rafraîchissement nocturne lié à l'évapotranspiration des végétaux. Comme le montre la Figure 38, l'aggravation de l'exposition à la canicule liée aux EICU est moins liée à des températures plus élevées en milieu urbain qu'à une amplitude thermique plus faible.

FIGURE 38 - EVOLUTION DES TEMPÉRATURES JOURNALIÈRES SELON L'OCCUPATION DU SOL (SOURCE : CNRM)



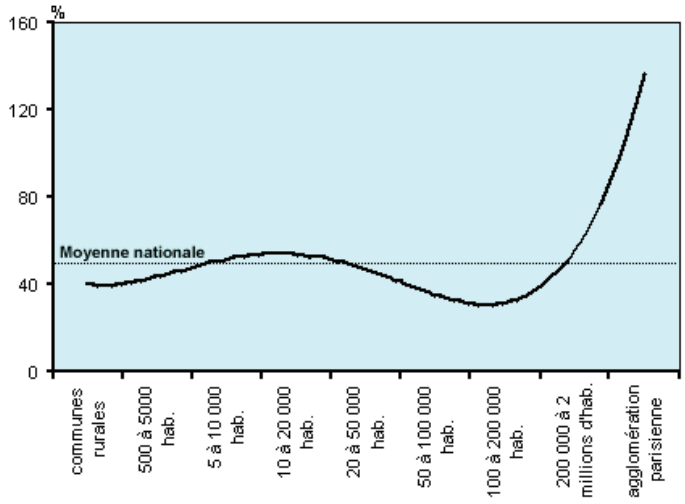
Dans le Grand Ouest comme ailleurs, les villes présentent donc une exposition plus forte que les espaces ruraux, particulièrement dans la vallée de la Loire, en Vendée et en région Centre, où les températures estivales moyennes sont d'ores et déjà élevées.

TABLEAU 17 - LA CANICULE DE 2003 DANS LES VILLES DES RÉGIONS BRETAGNE ET PAYS DE LA LOIRE

	Nb / jours sup à 30°C	Nb / jours sup à 35°C	Remarques
Le Mans	23	12	taux supérieur à 35° C du 2 au 12 août
Rennes	19	7	dont 6 jours à plus de 35° C du 4 au 10 août
Brest	4	1	
Nantes	21	8	dont 6 jours à plus de 35° C du 4 au 10 août
Caen	10	5	concentrés du 5 au 12 août

Toutefois, comme le souligne Jean-Pierre Besancenot quant au retour d'expérience de la canicule de 2003, l'aggravation de la surmortalité liée au phénomène d'îlot de chaleur urbain est très nette à partir du seuil de 200 000 habitants, avec un effet exponentiel (voir Figure 39).

FIGURE 39 - LA SURMORTALITÉ (%) EN FONCTION DE LA TAILLE DE LA POPULATION COMMUNALE DURANT LA CANICULE DE 2003 (SOURCE : JEAN-PIERRE BESANCENOT)[50]



Dans le Grand Ouest, seules les villes de Nantes et Rennes seraient donc directement concernées par une aggravation exponentielle de la surmortalité liée aux EICU. On notera sur la Figure 38 qu'entre 50 000 et 100 000 habitants, les villes présentent une surmortalité moindre que la moyenne nationale, ce qui peut s'expliquer par un accès facilité aux services de soins par rapport au milieu rural.

1.1.1.2 Une population de plus en plus sensible

Extrait du Plan Canicule 2011

L'exposition d'une personne à une température extérieure élevée pendant une période prolongée, sans période de fraîcheur suffisante pour permettre à l'organisme de récupérer, est susceptible d'entraîner de graves complications par dépassement des capacités de régulation thermique du corps humain. Les périodes de fortes chaleurs sont alors propices aux pathologies liées à la chaleur et à l'aggravation de pathologies préexistantes, surtout chez les personnes fragiles et les personnes particulièrement exposées à la chaleur.

Source : Plan Canicule 2011, Ministère de la Santé.

[50] Besancenot, *Une vague de chaleur meurtrière : les enseignements de l'été 2003 en France*, 2004 (http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/breves/2004/6.htm).

La sensibilité des populations dépend également de plusieurs autres facteurs, mis en évidence lors de la canicule de 2003 :

- **L'âge des individus :** les personnes âgées sont particulièrement vulnérables aux canicules (82% des décès attribués à la canicule de 2003 en France ont touché les personnes âgées de plus de 75 ans)[51]. Le Grand Ouest présente une démographie proche de la moyenne nationale, avec une population de plus de 60 ans légèrement plus élevée (25% de la population, contre 22% à l'échelle nationale).
- Cette sensibilité plus élevée est liée à la moindre capacité thermorégulatrice d'un organisme vieillissant. Lors de la canicule de 2003, en région Centre, la chaleur a été la cause directe du décès pour ces populations et elle a agit comme un facteur aggravant[52] dans la plupart des autres cas. Dès lors, il est possible de considérer que la hausse importante de la mortalité en août 2003 est moins liée à l'importance intrinsèque de la hausse des températures (comparativement à d'autres évènements passés : 1947 par exemple), qu'au vieillissement de la population.
- **L'isolement social et l'accessibilité aux soins** agissent comme des facteurs aggravants, en particulier pour les personnes âgées, qui présentent par exemple des difficultés à s'hydrater seules et à se déplacer. Cet isolement concerne en particulier les populations âgées situées dans les zones rurales les plus exposées, notamment en région Centre.
- **Les conditions de santé des individus :** au-delà des personnes âgées, l'ensemble des personnes fragilisées sur le plan sanitaire sont particulièrement sensibles à la canicule (maladies cardiovasculaires et respiratoire, etc.) ;
- **Le niveau de vie :** les populations à faible revenu sont particulièrement sensibles, en raison le plus souvent de la qualité thermique de leur logement (précarité énergétique).
- **La « culture de la chaleur » :** la sensibilisation au risque de canicule constitue un facteur de vulnérabilité non négligeable. Ainsi, en août 2003, les régions du sud de la France n'ont pas été les plus touchées par la hausse de la mortalité. La surmortalité importante observée en région Centre et nord Pays de la Loire (notamment au Mans) s'explique en partie par cette faible culture du risque, qui se traduit aussi bien sur le plan comportemental que sur le plan de la qualité thermique du bâti.
- **La qualité thermique du bâti** : elle conditionne le confort thermique intérieur en période de canicule (voir la fiche infrastructures)
- **L'efficacité des systèmes de préventions :** la mise en place des Plans Canicules par l'ARS à l'échelle départementale vise à réduire la sensibilité des populations. La surmortalité observée en 2006, plus réduite qu'en 2003 proportionnellement aux conditions climatiques, a contribué à prouver leur efficacité.

On notera pour finir que la sensibilité des populations se trouve aggravée en présence de niveaux élevés de concentration en polluants atmosphériques. Cette question sera abordée dans un second temps.

[51] ONERC 2010, rapport Villes et changement climatique. Plus précisément, une surmortalité significative a été observée à partir de 45 ans, croissante avec l'âge : +20% chez les 45-54 ans; +40% chez les 55-74 ans, +70% chez les 75-94 ans et +120% chez les + de 80 ans.
[52] Article de J.P. Besancenot cité plus haut.

1.1.2 La vulnérabilité future aux épisodes de canicules

1.1.2.1 Un accroissement attendu de l'exposition aux canicules

L'évolution du climat[53]

Les projections réalisées par Météo-France sur la base des scénarios du GIEC indiquent toutes, quel que soit le scénario, une augmentation des températures estivales plus importantes que celle des températures hivernales. Cette augmentation touche davantage la vallée de la Loire, la Vendée et la région Centre. À 2030, cette augmentation s'échelonnerait entre 1 et 2°C selon les zones quel que soit le scénario, puis attendrait plus de 3°C en 2050 pour le scénario A2. À l'horizon 2080, selon ce même scénario, l'augmentation pourrait atteindre plus de 5°C en région Centre.

L'évolution du nombre de jours de canicule sur une période de 30 ans indique également une exposition accrue de la vallée de la Loire, de la Vendée et de la région Centre, quel que soit le scénario, cette exposition augmentant sur tout le territoire au cours du XXIème siècle.

L'exposition aux épisodes de canicules, dans le contexte du changement climatique, devrait donc s'aggraver dans les territoires déjà exposés dès 2030 : Vendée, vallée de la Loire et région Centre. On note que cette aggravation touchera tout particulièrement le littoral au sud de la Loire. En Bretagne et au nord des Pays de la Loire, l'augmentation de l'exposition ne paraît pas significative avant 2050 pour les scénarios A1B et A2 ; pas avant 2080 selon le scénario le plus optimiste (B1).

L'évolution des formes urbaines

La hausse des températures et du nombre de jours caniculaires se trouvera aggravée en milieu urbain dense par l'EICU, en particulier à Nantes et à Rennes, où la densité de bâti et de population est déjà significative. L'évolution des formes urbaines apparaît comme un facteur déterminant de l'exposition future à la canicule en milieu urbain.

Par ailleurs, les villes bretonnes et des Pays de la Loire disposent d'une forte attractivité démographique. En l'absence d'une planification urbaine tenant compte des effets du changement climatique, l'EICU devrait se trouver renforcé et démultiplié, avec la croissance des agglomérations et une adaptation spontanée potentiellement contre-productive (installation massive de climatiseurs par exemple).

[53] Voir le rapport d'analyse des simulations climatiques de Météo-France, Artelia, 2012.

La lutte contre les îlots de chaleur, une approche plus environnementale que sanitaire

Sur le plan de la lutte contre les îlots de chaleur urbains, l'approche environnementale prime largement sur l'approche sanitaire. De nombreuses études ont été menées suite à la canicule de 2003 par l'Institut de Veille Sanitaire à l'échelle nationale. Toutefois, sur le plan des impacts, le lien entre la hausse de la mortalité et l'EICU reste à démontrer scientifiquement.

L'essentiel des réponses portent sur l'aménagement du territoire et l'amélioration de la qualité thermique des logements. Ces actions sont abordées d'un point de vue environnemental et non sanitaire. En effet, il est plus facile de quantifier l'impact environnemental d'une politique d'aménagement (gain en émissions de CO2 évitées, en économie d'énergie, etc.) que son impact sanitaire (amélioration de l'espérance de vie, évolution de la consommation de médicaments, etc.).

Source : entretien avec Mme Gwenaëlle Hivert et M. Meunier, ingénieurs sanitaires à l'ARS Pays de la Loire.

Exemple : le programme de recherche VEGDUD (Institut de Recherche Sciences et Techniques de la Ville

La question des îlots de chaleur urbains fait l'objet d'un programme de recherche financé par l'Agence Nationale de Recherche (2010-2013) : VEGDUD (Végétation pour un Développement Urbain Durable). L'objectif de ce projet, qui a pour terrain d'expérimentation la Communauté urbaine Nantes Métropole – est de qualifier et quantifier l'impact du végétal sur la réduction des ICU (îlots de fraîcheur). La végétalisation des espaces urbains favorise en effet la réduction des températures nocturnes en période estivale, en créant des « îlots de fraîcheurs ».

« De nos jours, l'étalement urbain est porteur de nuisances : l'augmentation des surfaces artificielles au détriment des surfaces naturelles a des conséquences sur la qualité de l'environnement urbain (îlot de chaleur urbain, pollution, …) mais aussi sur les dépenses énergétiques. Cependant, avec l'augmentation de la population urbaine, il est nécessaire de trouver des compromis. Dans le projet VEgDUD, nous étudions la végétation comme une des solutions possibles au développement durable des villes. Cette étude se décline en domaines de questions sur les rôles climatiques, énergétiques et ambiantaux du végétal urbain. »

Source : entretien avec M. Joël Garreau, Direction Environnement, Energie et Risques de la Communauté Urbaine de Nantes Métropole, 2012.

1.1.2.2 Une population de plus en plus vulnérable

Une population vieillissante

Les exercices de prospectives démographiques menés par l'INSEE et par certaines collectivités (Nantes 2030) à l'horizon 2030 indiquent tous un vieillissement généralisé de la population dans le Grand Ouest.

TABLEAU 18 - ÉVOLUTION DE LA PART DES PLUS DE 60 ANS DANS LA POPULATION DU GRAND OUEST À L'HORIZON 2030 (SOURCE : INSEE, 2008)

Part des plus de 60 ans dans la population du Grand Ouest	2008	2030
Bretagne	24%	32%
Pays de la Loire	22%	31%
Centre	23%	33%

Dans ce contexte général, la sensibilité des populations aux canicules devrait fortement augmenter, d'autant plus que ce vieillissement concerne, à l'échelle infrarégionale, les territoires les plus exposés. En région Centre par exemple, le vieillissement toucherait davantage les départements ruraux du sud de la région (39% de plus de 60 ans à l'horizon 2030) que ceux de l'axe ligérien (29% de plus de 60 ans à l'horizon 2030).

Ce vieillissement de la population est lié en majeure partie au phénomène du « papy-boom », à une réduction de la fécondité et à un solde migratoire négatif pour les jeunes. Sur le littoral, il se trouve accentué par l'arrivée non négligeable de ménages âgés, attirés par la qualité de vie sur ces territoires.

Une augmentation attendue de l'isolement des personnes

Ce vieillissement de la population devrait se doubler d'une augmentation de l'isolement des personnes, avec deux facteurs de sensibilité supplémentaires:

- L'isolement géographique : les personnes âgées en milieu rural, de plus en plus nombreuses, seront particulièrement sensibles aux canicules, en particulier en région Centre, hors axe ligérien, où l'exposition est particulièrement forte, mais également en Vendée. Cet isolement géographique se double d'une faible accessibilité aux soins, pour des personnes dont la situation de dépendance devrait s'accroître sensiblement ;

- La solitude : comme l'affirme l'INSEE pour la région Pays-de-la-Loire, « le nombre de ménages de 65 ans ou plus composés d'une seule personne va doubler entre 2005 et 2030 »54. Cette situation souligne une hausse importante de la sensibilité liée à l'isolement des personnes quel que soit le territoire.

1.2 La vulnérabilité à la pollution atmosphérique

Ce qu'il faut retenir…

Le **Grand Ouest** est **peu producteur de polluants atmosphériques**, hormis en basse vallée de la Loire, autour des pôles urbains et des réseaux de transports les plus importants (Rennes, Nantes et Tours pour l'essentiel). Toutefois, la localisation des zones vulnérables apparaît relativement complexe, les polluants se déplaçant au gré des courants atmosphériques. De ce fait, le **nord de la région Centre et la Sarthe**, soumis à des influences plus continentales que le reste du Grand Ouest, apparaissent comme les territoires **les plus exposés aux pollutions produites en région Île-de-France.**

Le **changement climatique** devrait entraîner une **augmentation de l'exposition à ces polluants**, en raison de l'accroissement attendus de la fréquence et de l'intensité des épisodes de canicules, favorables à leur concentration, en particulier en milieu urbain. Cette pollution, associée à la chaleur, aura dans ce contexte un impact sanitaire plus important.

1.2.1 Exposition et vulnérabilité actuelles : la problématique des pics de pollution

Étroitement liée aux épisodes de canicule, la dégradation de la qualité de l'air se traduit en règle générale par une augmentation de la concentration de l'ozone (surtout en milieu urbain), ou d'autres polluants atmosphériques. Elle trouve son origine dans la conjonction de deux facteurs principaux :

- Un facteur climatique : des températures élevées sur un temps long provoquent une augmentation des émissions naturelles de composés organiques, accélérant la formation d'ozone. Associé à l'absence de vent, la chaleur favorise la stagnation des masses d'air permettant à la pollution de s'accumuler. On parle de pic de pollution ;
- Un facteur humain : les émissions liées aux activités humaines sont à l'origine de la pollution atmosphérique (chauffage/climatisation, transports, industrie, agriculture etc.).

Sur le plan sanitaire, cette dégradation de la qualité de l'air – qui touche essentiellement les grandes villes – affecte directement l'appareil respiratoire de façon aigue ou chronique chez les populations les plus fragiles, à

[54] INSEE Pays de la Loire, *Les incidences du vieillissement de la population dans les Pays de la Loire*, Etudes N°70, juillet 2008.

savoir les jeunes enfants et les personnes âgées, ainsi que toutes les personnes atteintes de pathologies respiratoires ou cardiovasculaires.

Dans le Grand Ouest, deux types de territoires sont particulièrement exposés à ces pics de pollution :

- Le nord-est de la région Centre et la Sarthe : la proximité de l'agglomération parisienne, associée à une situation climatique plus continentale, entraîne une pollution de l'air ponctuelle en milieu rural, liée au déplacement des masses d'air. La station de mesure de la qualité de l'air de LIG'AIR ayant recensé les plus forts pics de pollution dans la région est celle d'Oysonville, à la frontière entre l'Eure et Loir et les Yvelines. Comme le précise LIG'AIR : « ces dépassements sont dus essentiellement à la formation de l'ozone pendant le transport des masses d'air vers notre région »[55] ;
- Les principales villes de la région, en particulier lorsqu'elles accueillent une activité industrielle importante, sont particulièrement exposées à la pollution de l'air. C'est le cas pour l'essentiel des villes de Tours, Nantes et Rennes.

La faible exposition du Grand Ouest aux pics de pollution

Le Grand Ouest, et notamment les Pays de la Loire et la Bretagne, sont aujourd'hui peu concernés par les pics de pollution atmosphérique. Une dizaine d'épisodes par an dépassent le seuil de pollution relevant de l'information, mais aucun n'a dépassé le seuil d'alerte sanitaire. Ces dernières années, seul l'abaissement des normes donne l'illusion d'une hausse des pics de pollution.

Cette faible exposition s'explique par deux raisons principales :

- Les vents d'ouest dominants et le climat océanique limitent la stagnation des masses d'air polluées ;
- Hormis quelques installations en basse vallée de la Loire (centrale thermique et raffinerie) et les sources classiques de pollutions atmosphériques (transports, agriculture, chauffage, etc.), la région est peu émettrice de pollutions.

Lors des canicules de 2003 et 2006, les territoires continentaux ont le plus souffert, en particulier la Sarthe, soumise aux pollutions de l'agglomération parisienne.

Source : entretien avec Mme Gwenaëlle Hivert et M. Meunier, ingénieurs sanitaires à l'ARS Pays de la Loire.

Malgré une plus faible exposition que le nord-est de la région Centre, la Bretagne est également concernée ponctuellement par la problématique les impacts sanitaires liés à la qualité de l'air. À titre d'exemple, Air Breizh a enregistré lors de la canicule d'août 2003 à Lorient l'un des plus fort taux de concentration en ozone à l'échelle nationale.

[55] *L'air et la santé en région Centre*, ORS Centre, 2005.

Impact sanitaire de la pollution atmosphérique à Brest

Lors d'une étude réalisée à Brest par la CIRE Ouest, le gain sanitaire associé à une diminution de 25 % des niveaux chroniques de pollution atmosphérique (PM10) a été évalué pour l'année 1999 à 38 (23-53) décès, soit 1 à 2 % de la mortalité totale pour une population de 149 634 habitants. Il correspond, pour la population âgée de 30 ans révolus en 1999, à une espérance de vie supplémentaire de l'ordre de 48 (29-68) jours. Une augmentation de 15 % des niveaux chroniques de PM10 est par ailleurs associée à 23 (14-32) décès supplémentaires.
Lors des canicules de 2003 et 2006, les territoires continentaux ont le plus souffert, en particulier la Sarthe, soumise aux pollutions de l'agglomération parisienne.

Source : SGAR Bretagne, 2012.

1.2.2 Exposition et vulnérabilité futures aux pics de pollution

L'augmentation du nombre de jours de fortes chaleurs et la recrudescence de périodes de canicule pourraient entraîner une augmentation de l'exposition future aux pics de pollutions, en particulier en région Centre, à proximité de la région parisienne, ainsi que dans les villes de l'axe ligérien. Il reste cependant difficile d'évaluer l'évolution de la mortalité liée à l'ozone.

Néanmoins, les pics d'ozone étant fortement liés aux activités anthropiques, leur évolution future dépendra largement des politiques d'amélioration de la qualité de l'air qui seront menées dans les prochaines années. L'évolution des émissions liées aux transports constituera un facteur déterminant : le recours aux transports en commun ou aux véhicules « propres » pourrait atténuer l'exposition future aux pics de pollutions. Des efforts ont déjà été faits dans ce domaine dans la plupart des grandes villes : depuis quelques années tous les polluants réglementés évoluent à la baisse (exception faite des particules fines)[56]. Cependant, avec le vieillissement de la population et une part plus importante de personnes vulnérables, une augmentation de la mortalité estivale et des maladies cardio-respiratoires est à prévoir.

[56] ONERC, 2007, Changements climatiques et risques sanitaires en France. Rapport au Premier Ministre et au Parlement.

2 Les impacts indirects du changement climatique sur la santé humaine

2.1 Les impacts du changement climatique sur les maladies allergiques

Ce qu'il faut retenir…

La **population touchée par les allergies est en augmentation constante depuis une trentaine d'année**, dans le Grand Ouest comme dans le reste de la France. Cette augmentation est liée à une exposition plus importante et plus longue des populations aux pollens, consécutive, entre autres, à l'évolution du climat.

La hausse des températures moyennes se traduit depuis plusieurs années par une **remontée vers le nord de l'aire de répartition de certaines espèces allergènes**, comme l'ambroisie. Encore peu touché par ce phénomène, le **Grand Ouest pourrait être impacté dès l'horizon 2030**.

2.1.1 Une exposition et une vulnérabilité actuelle déjà élevées

Près de 16% de la population française est aujourd'hui touchée par les maladies allergiques liées aux pollens – rhinite saisonnière (le classique « rhume des foins »), conjonctivite, toux sèche et/ou gêne respiratoire, voire de crise d'asthme – contre seulement 8% au début des années 1980.

Cette situation s'explique par différentes causes[57] :

- La hausse des pollutions domestiques (air intérieur) et atmosphériques rend les populations plus sensibles aux vecteurs allergènes, en particulier en milieu urbain ;
- Des défenses immunitaires réduites face à de nouvelles substances allergènes ;
- L'évolution du climat : « Nombre d'études récentes convergent en effet pour indiquer que le changement climatique a déjà un impact sur les quantités de pollen émises par la végétation, sur la répartition de ce pollen dans le cours de l'année, et probablement sur ses propriétés allergisantes (David et Thibaudon, 2003) ».

Quatre effets de l'évolution actuelle du climat sur la hausse de l'exposition aux maladies allergènes liées aux pollens sont d'ores et déjà observés dans le Grand Ouest :

- Le décalage des stades phénologiques des plantes se traduit par une apparition de plus en plus précoce des pollens. La période moyenne de floraison du bouleau se situe aujourd'hui autour du 15 mars, alors qu'elle se situait aux alentours du 15 avril dans les années 1970 ;

[57] *Changement climatique et impacts sanitaires : une évolution déjà observable ?*, Besancenot, 2007.

- La fin de la période de pollinisation n'est pas décalée pour autant et se trouve même retardée pour certains végétaux. Dès lors, la phase d'exposition aux pollens a tendance à s'accroître de plusieurs jours ;
- La quantité de pollens émise tend à augmenter.
- L'aire de répartition de certaines espèces particulièrement allergènes tend à remonter vers le Nord. C'est le cas notamment de l'ambroisie et de certaines graminées (voir Tableau 19) en régions Centre et Pays de la Loire.

TABLEAU 19 - TABLEAU COMPARATIF DU POTENTIEL ALLERGISANT DES ARBRES ET HERBACÉES (0 = POTENTIEL NUL ; 5 = FORT POTENTIEL) - SOURCE : RÉSEAU NATIONAL DE SURVEILLANCE D'AEROBIOLOGIE)

Arbres	Potentiel	Arbres	Potentiel
Cyprès	5	**Platane**	3
Noisetier	3	**Mûrier**	2
Aulne	4	**Hêtre**	2
Peuplier	2	**Chêne**	4
Orme	1	**Pin**	0
Saule	3	**Olivier**	3
Frêne	4	**Tilleul**	3
Charme	3	**Châtaignier**	2
Bouleau	5		

Herbacées	Potentiel	Herbacées	Potentiel
Oseille	2	**Ortie**	1
Graminées	5	**Chénopode**	3
Plantain	3	**Armoise**	4
Pariétaire	4	**Ambroisie**	5

La vulnérabilité des populations aux allergies liées aux pollens est donc en augmentation, en particulier pour les enfants et jeunes adultes, avec des pathologies globalement plus sévères et longues que par le passé.

2.1.2 Exposition et vulnérabilité future

Dans le contexte du changement climatique, la hausse des températures moyennes annuelles pourrait agir comme un facteur aggravant de l'évolution actuelle, avec un impact sanitaire élevé. L'évolution des aires de répartition des espèces végétales pourrait introduire dans le Grand Ouest des pollens peu présents ou absents actuellement[58]. L'ambroisie par exemple, apparue depuis peu dans le Grand Ouest, pourrait se développer rapidement.

[58] ONERC, 2007, Changements climatiques et risques sanitaires en France. Rapport au Premier Ministre et au Parlement.

À noter par ailleurs, qu'il existe un lien probable entre les pics de pollutions, tels que l'ozone, le dioxyde d'azote et les allergies. En effet ceux-ci ont pour conséquence des irritations des muqueuses respiratoires et oculaires, ce qui peut accroître la sensibilité aux pollens[59].

Exemples d'actions d'adaptation

Les pollinariums sentinelles de l'ARS

Un réseau de « pollinariums sentinelles » est en cours de réalisation dans les régions du Grand Ouest. Il en existe actuellement deux : Nantes, mis en place en 2004, et Laval. Ces « pollinariums sentinelles » sont des jardins réunissant des plantes allergisantes, l'objectif étant d'étudier leur évolution et d'alimenter un système d'information et d'alerte . Six ou sept autres devraient voir le jour prochainement à Angers, Rennes (inauguration prévue en juin 2012), La Rochelle, Quimper, Vannes, Le Havre et peut être Limoges. Il s'agit de disposer à terme d'une meilleure connaissance de la territorialisation de l'évolution du risque sanitaire dans le Grand Ouest.

Le programme de lutte contre l'ambroisie en Pays de la Loire

Un système de détection précoce, de repérage et d'arrachage de l'ambroisie a été mis en place dans les Pays de la Loire par la Fédération de Destruction des Organismes Nuisibles, avec le soutien de l'ARS. Ce système s'appuie sur un réseau d'observateurs (environ 3000 personnes) réparties sur tout le territoire.

L'ensemble de l'opération coûte environ 50 000 € par an, avec une participation de l'ARS de 15 000 €. Actuellement, l'ambroisie est en régression en termes d'espace occupé, mais en augmentation en termes de lieux détectés. Elle arrive le plus souvent avec les semences agricoles.

Le même type de programme sera prochainement engagé en Bretagne, avec le soutien financier de l'ARS de l'ordre de 15 000 €.

Programme Atopica

Ce programme de recherche, mené par le CEA, le CNRS et l'INERIS, et financé par l'Union Européenne, vient d'être lancé pour trois ans. Son objectif est de mieux comprendre les effets du climat, de l'usage des sols et de la qualité de l'air sur les allergies liées aux pollens.

Dans le cadre de ce programme, le mode de propagation de l'ambroisie à feuille d'armoise sera notamment étudié.

Source : entretien avec Mme Gwenaëlle Hivert et M. Meunier, ingénieurs sanitaires à l'ARS Pays de la Loire.

[59] Atmo Nord-Pas-de-Calais :www.atmo-npdc.fr

2.2 Les impacts du changement climatique sur les maladies infectieuses et vectorielles

Ce qu'il faut retenir…

L'**exposition** du Grand Ouest aux maladies infectieuses ou à transmission vectorielle et **la vulnérabilité** des populations sont aujourd'hui **faibles**.

De nombreuses incertitudes demeurent quant au lien entre changement climatique et évolution de ce type de maladies. Cependant, le changement climatique pourrait augmenter l'exposition des populations en créant **des conditions environnementales plus propices à leur développement.** Par contre, leur développement à grande échelle devrait être limité sous réserve du maintien et/ou du renforcement des programmes de surveillance et d'alerte et de gestion de crise.

La **vulnérabilité future reste difficile à qualifier** en raison de multiples incertitudes scientifiques. Elle dépendra de facteurs tels que la capacité régionale d'alerte et de gestion de crise et de la capacité à contrôler les habitats favorables au développement et à l'implantation des micro-organismes infectieux ou parasitaires en cause.

2.2.1 Éléments de contexte

Une maladie infectieuse est causée par la transmission d'un agent pathogène (bactérie, virus, prion etc.), qui se développe et infecte l'organisme. Cette transmission peut s'effectuer par contagion ou par voie alimentaire (eau et nourriture).

Une maladie à transmission vectorielle est causée par un agent pathogène transmis par un vecteur animal (insecte piqueur, oiseau, rongeurs, etc.). La présence du vecteur sur un territoire ne signifie pas mécaniquement la présence de la maladie. Il doit pour cela être porteur de l'agent pathogène.

Deux exemples[60] :

- Exemple passé de maladie à transmission vectorielle, la grippe aviaire : le virus en question était régulièrement présent depuis longtemps en Extrême Orient. Or, il semblerait que le phénomène La Niña, en décalant le rythme de certains oiseaux migrateurs, ait permis à ces derniers de rencontrer les oiseaux porteurs du virus. Le virus a ainsi pu muter, être transmis à l'homme et introduit dans les pays occidentaux.
- Exemple de maladie infectieuse, la méningo-encéphalite amibienne primitive (MEAP) : l'amibe responsable de cette maladie se développe dans l'eau chaude, pénètre par voie nasale et provoque dans la quasi-totalité des cas le décès de l'individu infecté. Présente dans les pays chauds (Australie par exemple), cette amibe a été repérée dans les rejets des réseaux de refroidissement des centrales nucléaires. Dans le contexte du changement climatique (hausse des températures moyennes, réduction

[60] Source : entretien auprès de Mme Hivert et M. Meunier de l'ARS Pays de la Loire.

du débit d'étiage des cours d'eau et réchauffement des cours d'eau, etc.), elle pourrait survivre dans l'environnement en période estivale, contaminant les eaux de baignade et potentiellement les réseaux d'eau potable dépendant des prises d'eau superficielles.

2.2.2 Une exposition et une vulnérabilité actuelle faibles

L'exposition actuelle aux maladies infectieuses liées à la qualité de l'eau ou à l'alimentation est faible en France, en raison de systèmes de contrôle qualitatifs efficaces. La qualité des eaux de baignade est globalement bonne.
Il en va de même des maladies à transmission vectorielle. Le moustique tigre susceptible de transmettre la dengue et le chikungunya a bien été repéré durant l'été 2011 dans les marais arrière-littoraux de Vendée, mais hormis quelques cas ponctuels, aucun risque épidémique n'a pour le moment été relevé sur ce point.

2.2.3 Une exposition et une vulnérabilité future en hausse ?

Il est difficile de distinguer ce qui relève du climat d'une part et de l'homme d'autre part, pour ce qui concerne l'implantation et le développement de nouvelles maladies infectieuses ou à transmission vectorielle.

2.2.3.1 Maladies à transmission vectorielle

Cependant, dans le contexte du changement climatique, certaines espèces à vecteurs introduites accidentellement pourraient trouver des conditions environnementales de plus en plus propices à leur développement. À ce jour, le moustique porteur de la dengue ou du chikungunya progresse régulièrement vers le nord et se trouve déjà bien implanté sur le pourtour méditerranéen. Dans les trente prochaines années, le littoral vendéen et les marais de Sologne[61] pourraient présenter des conditions propices à son implantation avec l'augmentation des températures moyennes estivales, exposant davantage les populations à ce type de risque. Les incertitudes sur l'implantation de nouvelles espèces à vecteurs et donc sur l'exposition future restent cependant grandes.
Concernant la sensibilité des populations, le développement à grande échelle de maladies à transmission vectorielle devrait cependant être limité en raison des facteurs modérateurs que sont les programmes de surveillance, d'alerte et de gestion de crise sanitaire et les moyens de lutte contre les nuisibles, sous réserve du maintien et de l'adaptation des moyens actuels.

La vulnérabilité future reste difficile à évaluer, en raison de nombreuses incertitudes sur l'exposition (quelle implantation future ? quelle ampleur potentielle du développement de ces nouvelles maladies ?). Ces questions font l'objet de nombreux travaux de recherche.

[61] Source : entretien auprès de Mme Hivert et M. Meunier de l'ARS Pays de la Loire.

2.2.3.2 Maladies infectieuses

Le changement climatique pourrait avoir un impact sur la qualité de l'eau destinée à la consommation celle des eaux de baignade. Ainsi ;

- L'augmentation attendue de la température de l'eau douce et salée et/ou d'épisodes des précipitations intenses pourraient entraîner le développement de bactéries, de pathogènes ou d'algues toxiques potentiellement nuisibles à l'homme avec des risques d'intoxication alimentaire, notamment par la consommation de coquillages marins, mais également une dégradation de la qualité des eaux de baignade ;
- La diminution des débits des cours d'eau pourrait engendrer une concentration diffuse des polluants, notamment aux points de rejet des stations d'épuration, et donc une baisse de la qualité des eaux de surface, en particulier des eaux douces de baignade, affectant directement la santé des populations.

Dans ce contexte, il est donc important que des travaux à l'échelle locale soient menés afin de connaître plus précisément l'impact du changement climatique sur la qualité de l'eau et les conséquences sanitaires qui en découlent.

2.2.4 Risques sanitaires et catastrophes naturelles

La vulnérabilité future des littoraux du Grand Ouest aux risques de submersion marine et d'inondation (par crue ou ruissellement) est relativement élevée (voir le chapitre consacré aux risques naturels). Or de tels événements ne sont pas sans conséquences sanitaires pour les populations exposées.

Il apparaît tout à fait possible qu'une crue majeure de la Loire soit par exemple favorable au développement de maladies infectieuses. De tels risques sanitaires futurs restent empreints d'une grande incertitude. Cependant, c'est un facteur à prendre en compte dans la gestion de crise, afin de pouvoir le maîtriser si nécessaire.

Deux types d'impacts sanitaires interviennent lors d'un tel événement :

- Impacts traumatiques (blessures, ensevelissements, noyades, etc.) durant l'événement ;
- Impacts post-événements : infectieux et mentaux. Ces risques font l'objet de travaux de recherche. Une étude a été par exemple menée sur les impacts médico-psychologiques de la tempête Xynthia[62]

[62] ARS & INVS, *Bilan de la surveillance des conséquences psychologiques et sanitaires de la tempête Xynthia dans le sud-ouest de la Vendée en 2010*, 2011.

3 Tableau de synthèse des impacts sanitaires du changement climatique sur le Grand Ouest

Impact	*Territoire(s) cohérent(s) le(s) plus concerné(s)*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Évaluation de la vulnérabilité (ou de l'opportunité)*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité (ou d'opportunité) future*	*Capacité d'adaptation*
Surmortalité liée à l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des canicules	Vallée de la Loire Sud de la région Centre Beauce (Villes : Nantes et Rennes)	Moyenne	Moyenne à élevée	Actuelle : moyenne à élevée ; Future : élevée.	Élevée	-Vieillissement -Isolement social ; -Accès aux soins ; -Efficacité des systèmes de prévention ; -Évolution des formes urbaines, Qualité thermique des logements ;	-Plans canicule ; -Projet VEGDUD : prise en compte du changement climatique dans l'aménagement urbain pour limiter les îlots de chaleur.
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des pics de pollution atmosphérique.	Beauce Vallée de la Loire	Faible	Faible	Actuelle : faible ; Future : Moyenne.	Moyenne	-Accès aux soins ; -Efficacité des systèmes de prévention ; -Évolution des émissions de polluants (industrie, transports, logements).	-Dépendra du suivi effectué de la qualité de l'air.

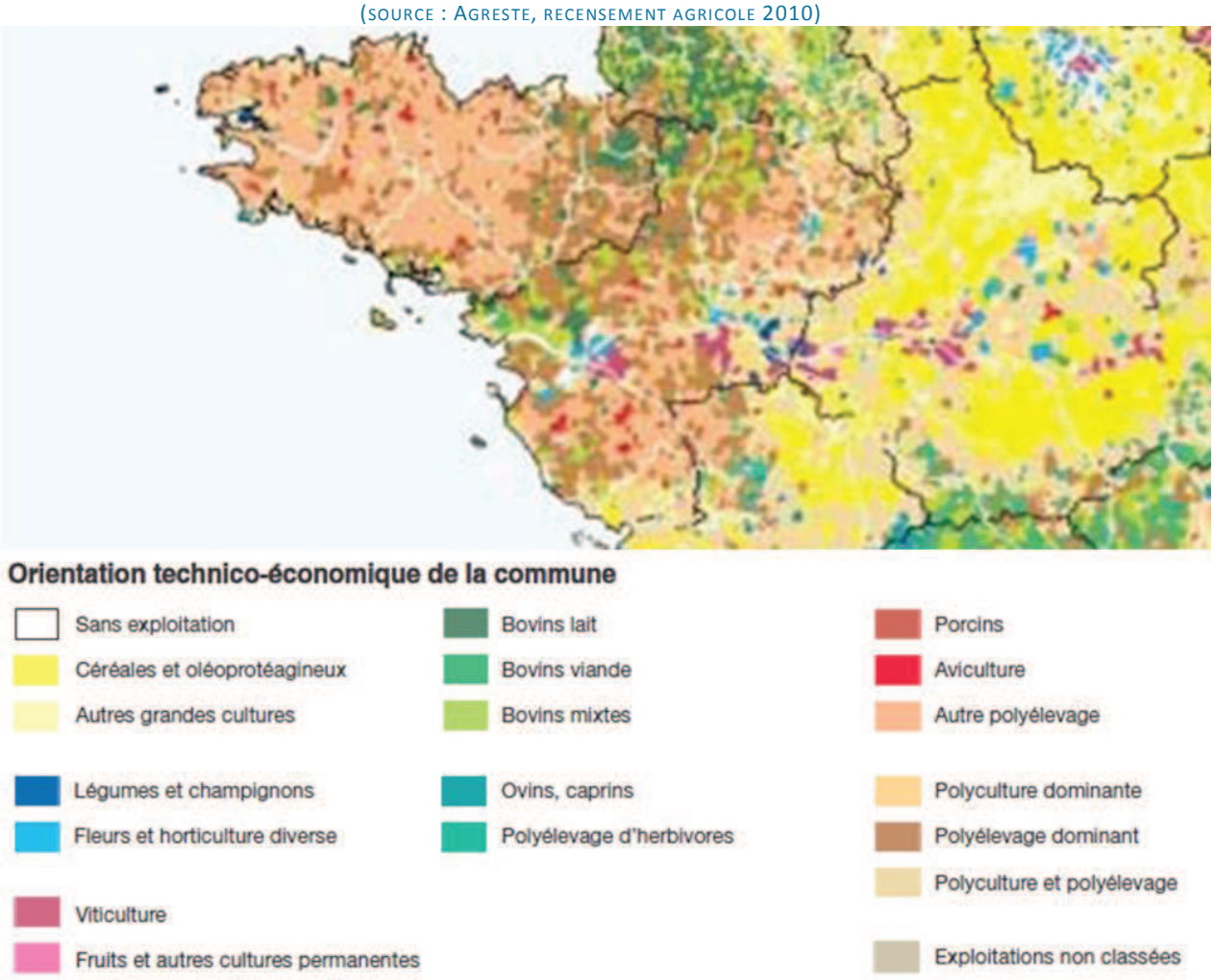
Augmentation de l'exposition aux allergies	Tous	Moyenne	Moyenne	Actuelle : Moyenne Future : Élevée	Élevée	-Évolution des pollutions domestiques et atmosphériques ; -Évolution des défenses immunitaires des populations ;	-Dépendra du suivi de l'évolution des émissions de pollens : l'ARS développe pour cela un réseau de « pollinarium sentinelles » et suit l'évolution des plantes allergènes comme l'ambroisie (programme de lutte contre son développement).
Apparition de nouvelles maladies infectieuses ou à vecteurs	Littoral au sud de la Loire ; Sud de la région Centre (Sologne)	Faible	Faible	Actuelle : Faible ; Future : Incertaine.	Incertaine	-Contrôle des zones d'implantation potentielle de vecteurs ; -Efficacité des réseaux de surveillance, d'alerte et de gestion.	-Dépendra de l'évolution des réseaux de surveillance et d'alerte épidémiologique.
Augmentation des risques sanitaires liés à certains risques naturels	Littoraux au sud et au nord de la Loire Vallée de la Loire	Faible	Faible	Actuelle : faible ; Future : Incertaine.	Incertain	-Culture du risque des populations ; -Exposition des populations aux risques naturels ; -Accessibilité aux soins.	-Dépendra des politiques de prévention des risques (planification, sensibilisation, etc.)

VULNÉRABILITÉ DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

1 Agriculture et élevage dans le Grand Ouest : des spécificités territoriales bien marquées pour une vulnérabilité contrastée

Comme l'illustre la carte ci-dessous, issue du recensement agricole de 2010, le Grand Ouest est marqué par un contraste territorial très net entre les régions Bretagne et Pays de la Loire, ou domine très largement l'élevage, et la région Centre, marquée par la prédominance des grandes cultures, en particulier céréalières et d'oléo-protéagineux.

FIGURE 40 - ORIENTATION AGRICOLE PRINCIPALE DES COMMUNES DU GRAND OUEST (SOURCE : AGRESTE, RECENSEMENT AGRICOLE 2010)



Ce contraste territorial est lié au contexte physique et climatique, ainsi qu'aux choix d'aménagement du territoire et de développement économique du territoire. Il ne doit cependant pas masquer une diversité locale des cultures et des formes d'élevage. Certaines d'entre elles, à l'emprise foncière plus faible – vignes, cultures maraîchères, etc. – présentent toutefois une forte valeur ajoutée, souvent nécessaire à l'équilibre économique des exploitations et, plus largement, des filières agricoles dans le Grand Ouest.

1.1 L'élevage à l'ouest (Bretagne/Pays de la Loire)

Ce qu'il faut retenir…

La région Bretagne associée à la moitié ouest de Pays de la Loire constitue **l'une des principales zones d'élevage françaises**, en particulier pour l'élevage avicole et porcin.

La **vulnérabilité actuelle** de l'élevage est **moyenne** en raison de la sensibilité de l'alimentation animale (fourrages notamment) à la variabilité climatique. La sécheresse du printemps 2011, qui a eu un impact considérable sur la production fourragère, illustre parfaitement cette situation.

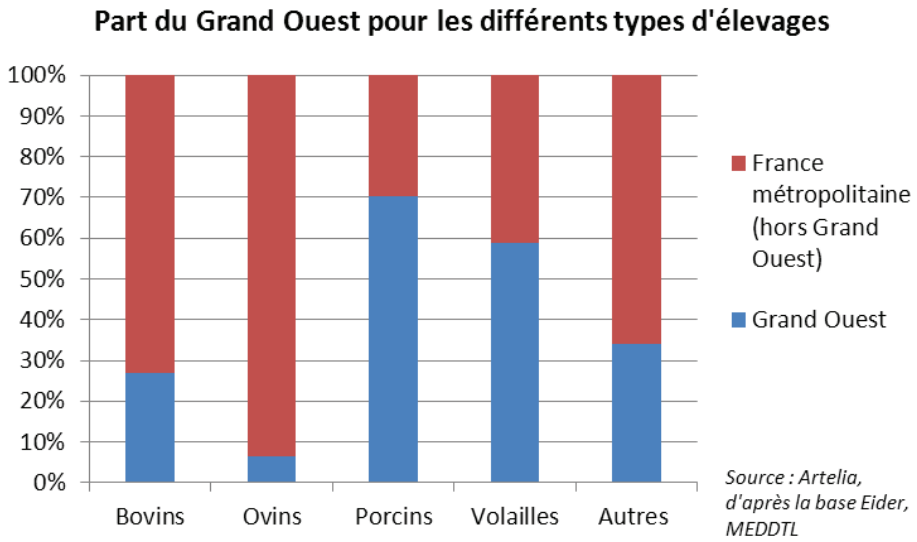
Dans le contexte du changement climatique et de l'augmentation des sécheresses et des canicules, cette **vulnérabilité,** liée à la dépendance de l'élevage vis-à-vis des productions végétales locales et importées, elles-mêmes sensibles aux conditions climatiques, **devrait s'accroître**, avec de plus des conséquences potentiellement **négatives sur la santé animale et in fine sur la productivité**.

L'intensification et la durée plus longue des épisodes caniculaires auront par ailleurs un impact important sur la production des élevages et la reproduction des animaux.

1.1.1 Éléments de contexte

Le Grand Ouest constitue l'une des principales zones d'élevage de France métropolitaine, en particulier pour l'élevage de porcs (70% de la production nationale), de volailles (près de 60%) et de bovins (plus du quart).

FIGURE 41- LA PART DU GRAND OUEST À L'ÉCHELLE NATIONALE POUR LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉLEVAGE EN % DES EFFECTIFS (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE EIDER DU MEDDTL, 2008)

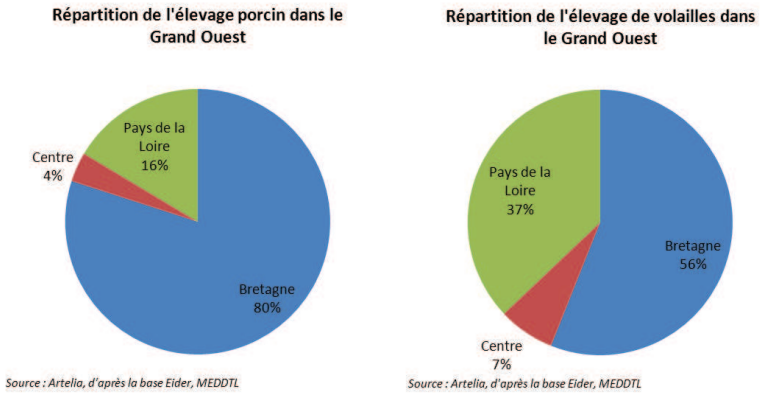


L'essentiel des exploitations d'élevage est concentré en régions Bretagne et Pays de la Loire. Deux grandes raisons permettent d'expliquer une telle concentration de l'élevage dans cette zone :

- Le climat et le contexte physique sont davantage propices à l'élevage (pluviométrie importante et présence d'un relief collinéen). Historiquement s'y était implantée une agriculture de bocage marquée par la polyculture et le poly-élevage. L'étroitesse des parcelles a ensuite, pour partie, conduit l'élevage à s'imposer, à l'orée de la mécanisation de l'agriculture et de la construction européenne (PAC) ; et ce malgré une politique de démembrement du bocage amorcée après 1945 ;

- La politique agricole commune a par ailleurs conduit à une spécialisation régionale de l'agriculture. Les aliments destinés aux animaux d'élevage sont pour partie importés (depuis d'autres pays de l'Union Européenne ou hors UE). Dans ce contexte, la proximité des ports maritimes a favorisé le renforcement des activités d'élevage dans les territoires arrière-littoraux, en particulier pour les élevages hors sol, tels que l'élevage porcin et de volailles, qui dominent largement en Bretagne (voir Figure 42).

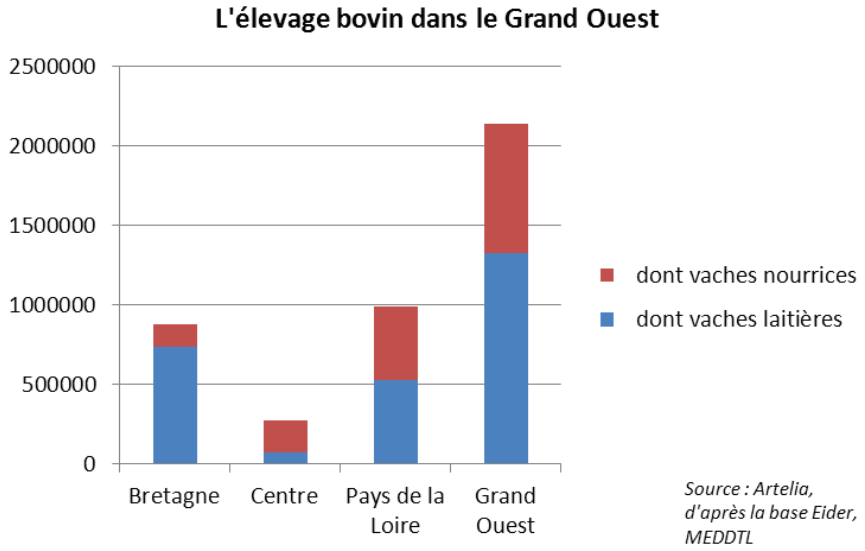
FIGURE 42 - RÉPARTITION DES ACTIVITÉS D'ÉLEVAGE PORCIN ET DE VOLAILLES DANS LE GRAND OUEST EN % DES EFFECTIFS EN 2009 (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE EIDER DU MEDDTL)



L'élevage bovin, quant à lui, est présent de façon un peu plus diffuse en Bretagne (40% du cheptel du Grand Ouest) et Pays de la Loire (50% du cheptel), mais également dans le sud de la région Centre (en particulier dans le Berry – contreforts du Massif Central).

Ce type d'élevage dépend de l'importation de protéines végétales (tourteaux de soja, etc.), mais également pour une grande part des cultures fourragères (maïs ensilage notamment) et des surfaces en herbe locales (pâturages), qui représentent une bonne part (46%) de la surface agricole utile des exploitations dans le Grand Ouest[63], essentiellement en région Pays de la Loire et Bretagne.

FIGURE 43 - L'ÉLEVAGE BOVIN DANS LE GRAND OUEST EN EFFECTIF, 2009 (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE EIDER DU MEDDTL)



1.1.2 La vulnérabilité actuelle des activités d'élevage aux événements climatiques

D'après les études de l'INRA menées auprès des éleveurs dans le Grand Ouest[64], ces derniers ne ressentent aujourd'hui aucun impact climatique direct sur leur activité propre (santé animale, reproduction, etc.), au regard des événements climatiques passés (canicule, sécheresse, etc.). Aucun effet de seuil affectant la santé animale de manière chronique n'a donc été franchi pour le moment dans le Grand Ouest.

Néanmoins, les activités d'élevage sont indirectement touchées en raison de leur dépendance vis-à-vis de l'approvisionnement destiné à l'alimentation des animaux d'élevage (fourrage, maïs ensilé, etc.). En période de sécheresse, la capacité de production des prairies diminue, obligeant les éleveurs à avoir recours aux réserves de fourrage de plus en plus tôt dans l'année, voire, en cas de pénurie, à l'approvisionnement depuis d'autres régions, ce qui bouleverse toute l'économie du marché des fourrages. Pour prendre un autre exemple, en

[63] Base Eider, MEDDTL, chiffres 2009.
[64] Source : entretien réalisé auprès de M. Mérot, responsable du projet Climaster à Rennes (INRA).

période de sécheresse, certains producteurs évoquent des questions de qualité alimentaire du maïs après récolte due à un état trop sec du végétal.

Ces problèmes touchent moins les éleveurs du Finistère que ceux des Pays de la Loire ou de la région Centre, où les sécheresses observées sont plus intenses et durables.

Retour d'expérience – La sécheresse de printemps 2011

Mi-juin 2011 à l'échelle nationale, le bilan fourrager faisait état d'un déficit de 15 millions de tonnes de matière sèche, le coût permettant de le compenser étant estimé à plus de 2 milliards d'euros. À cette date, l'institut de l'élevage estimait : « a minima la perte de production de matière sèche à 1 t/ha sur les prairies permanentes et à 1,5 t/ha sur les prairies artificielles et temporaires », alors qu'en année dite normale, la production annuelle est respectivement de l'ordre de 4 à 4,5 t/ha et de 7,5 t/ha.

Source : Sécheresse 2011 – le manque d'herbe estimé à 15 millions de tonnes de matière sèche, 17/06/2011
http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/culture-fourrage/article/le-manque-d-herbe-estime-a-15-millions-de-tonnes-de-matiere-seche-1178-72019.html

En conclusion, les retours d'expérience sur les événements climatiques récents montrent une vulnérabilité significative des activités d'élevage aux sécheresses, liée pour l'essentiel aux impacts sur la disponibilité des fourrages. La vulnérabilité aux canicules, avec un impact sur la santé et la production animale, reste pour le moment relativement faible dans la majeure partie des zones d'élevages du Grand Ouest, moins exposées actuellement que d'autres territoires de France métropolitaine.

1.1.3 La vulnérabilité future de l'élevage aux impacts du changement climatique

1.1.3.1 Une menace sur l'alimentation animale

Comme nous venons de le voir, le premier impact du changement climatique sur les activités d'élevage est indirect et concerne la production ou l'importation des aliments destinés aux animaux : cultures fourragères, prairies et protéines animales.

Pour ce qui concerne les cultures et prairies, elles sont susceptibles d'être affectées par le manque d'eau, en particulier en période estivale. Pour la zone Ouest (Pays de la Loire, Bretagne et Basse Normandie), même si le Projet Climator[65] met en évidence une production annuelle des fourrages inchangée (*« le bilan annuel fait ressortir une constance de la production de fourrage pour le futur proche »*[66]), il envisage dans le même temps un

[65] Projet Climator 2007-2010, Livre Vert, 2010.
[66] Climator.

accroissement de la variabilité interannuelle du rendement des prairies, avec une hausse de la production hivernale et du début de printemps des prairies et une réduction importante de la production estivale.

À propos des protéines végétales importées, la question de la dépendance de l'élevage vis-à-vis de son approvisionnement en alimentation animale sur le marché international se pose, car le changement climatique affectera aussi ces productions. Cette dépendance est un facteur important de la vulnérabilité future de l'élevage dans le Grand-Ouest.
En l'absence d'évolution des pratiques actuelles, la continuité de l'approvisionnement alimentaire des exploitations d'élevage pourrait donc se trouver menacée.

Comme pour les autres cultures, la vulnérabilité au stress hydrique dans le contexte du changement climatique apparaît cependant moins élevée dans le Finistère qu'en région Centre.

1.1.3.2 Une possible baisse de la productivité des exploitations d'élevage

Même si cet impact est aujourd'hui peu ressenti par les éleveurs dans le Grand Ouest, les retours d'expériences issus de régions françaises ou étrangères plus exposées aux épisodes caniculaires et de sécheresse montrent que les animaux d'élevage pourront être affectés directement par l'augmentation des températures, avec plusieurs impacts :

- Impacts directs sur la santé animale : stress thermique en cas de fortes chaleurs, stress hydrique, avec pour conséquence une baisse de la productivité (notamment pour ce qui concerne l'élevage laitier) ;
- Impacts indirects, via notamment le possible développement de nouvelles maladies parasitaires.

Les animaux élevés hors sol, le plus souvent confinés dans des bâtiments d'élevage, sont particulièrement vulnérables à ces impacts. En l'absence de mesures d'adaptation zootechniques et/ou sur les bâtiments d'élevage, les épisodes caniculaires liés au changement climatique pourraient entraîner pour ce type d'élevage intensif une baisse importante de la productivité animale, ainsi que des épisodes récurrents de mortalité massive.

L'impact des épisodes caniculaires sur la production laitière et la reproduction des bovins

Plusieurs études menées dans le sud-est des États-Unis (Virginie et Floride) montrent que la production laitière est directement affectée par la canicule estivale, au-delà d'un certain seuil de température et de durée de l'épisode caniculaire : *« Sans qu'aucun autre facteur que la température ambiante soit modifié, la production peut chuter de 5 %, 10 %, voire 20 % dans les cas extrêmes. »*.

Ces études montrent également un impact différé de la canicule sur la reproduction des bovins : *« le résultat se fait sentir plusieurs mois après la canicule, lorsqu'on se rend compte, l'automne venu, que plusieurs vaches du troupeau ne sont toujours pas gestantes. »*

Source : J. Brisson, http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/PATLQ_2003-11a.pdf

Retour d'expérience : l'impact de la canicule de 2003 sur les activités avicoles

Suite à la canicule de 2003, un recensement des problèmes rencontrés par les éleveurs a été réalisé par les DFSEA/FRSEA et la CFA (Confédération Française de l'Aviculture), en relation avec les organisations économiques et les Chambres d'Agriculture. Deux conséquences majeures ont été relevées :

- Augmentation importante de la mortalité des animaux (notamment 3,5 millions de poulets) ;
- Réduction de la performance des élevages : perte de poids à l'abattage, déclassement, dégradation des indices alimentaires, baisse de la fertilité.

Le préjudice des éleveurs a été estimé à 44,5 millions d'euros pour les éleveurs avicoles. À ceci s'ajoute l'impact sur la sécurité sanitaire : engorgement du service public d'équarrissage.

« Élévation excessive de la température corporelle de l'animal, le phénomène de coup de chaleur est à l'origine de cette catastrophe, tant en terme de bien-être animal qu'en terme économique pour les éleveurs. Depuis quelques années des solutions préventives sont étudiées et répertoriées. »

Source : Sciences et techniques avicoles, Hors-série 2004

1.2 La prédominance des grandes cultures en région Centre

Ce qu'il faut retenir…

L'essentiel des grandes cultures du Grand Ouest se concentre **en région Centre**, les régions Pays de la Loire et Bretagne étant globalement tournées vers la production fourragère destinée à l'alimentation des animaux d'élevage.

Toutes choses égales par ailleurs, les effets observés de l'évolution du climat sur les cultures seraient globalement positifs à court terme, avec une augmentation des rendements agricoles liée à l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère et des températures moyennes estivales. Cependant, ces **effets positifs sur les rendements agricoles se trouvent annulés en situation de manque d'eau**. Le **système agricole de grandes cultures** présent dans le Grand-Ouest présente d'ores et déjà une **vulnérabilité moyenne en raison de sa dépendance à l'irrigation**.

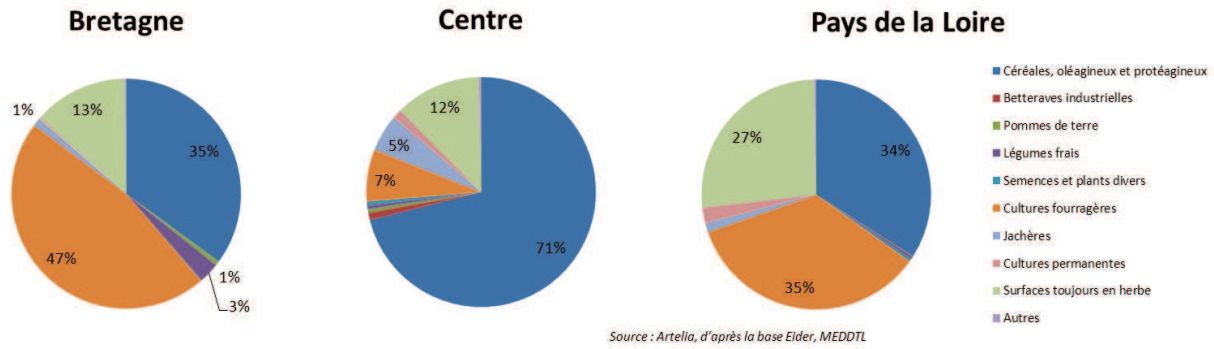
Avec le changement climatique, les stress hydrique et thermique lors de la phase végétative devraient atténuer à moyen et long terme (à partir de l'horizon 2050), voire annuler ces effets positifs. Comme l'illustrent les retours d'expérience issus d'épisodes de sécheresse passés, les **zones agricoles irriguées où les pressions sur les ressources en eau sont déjà fortes** (région Centre hors Sologne et sud Vendée) **seront particulièrement vulnérables à court et moyen terme**. En Bretagne et nord Pays de la Loire, la situation s'annonce plus incertaine et contrastée.

1.2.1 Éléments de contexte

La Figure 44, qui présente la répartition de la SAU (Surface Agricole Utile) en fonction des différents types de cultures, illustre les contrastes territoriaux relatifs à l'usage des sols agricoles dans le Grand Ouest :

- Les régions Bretagne et Pays de la Loire, où dominent les cultures fourragères et les surfaces toujours en herbe destinées à l'élevage ;
- La région Centre, où dominent largement les grandes cultures de céréales, oléagineux et protéagineux (71% de la SAU).

FIGURE 44 - RÉPARTITION DES TYPES DE CULTURE DANS LES RÉGIONS DU GRAND OUEST (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LES DONNÉES DE LA BASE EIDER, MEDDTL, 2009)



L'importance des grandes cultures en région Centre s'explique historiquement par la proximité de Paris d'une part, et la présence de sols fertiles et d'un relief de plaines et plateaux favorable au développement d'espaces agricoles ouverts (openfield) d'autre part. Aujourd'hui, les grandes cultures de la région Centre – en particulier au nord de la Loire – constituent un espace de production agricole d'envergure européenne et internationale et présentent parmi les rendements les plus élevés au monde.

La place prépondérante des grandes cultures ne doit pas faire oublier la diversification récente des exploitations vers les cultures dites spécialisées (depuis les années 1970), en particulier au nord de la Loire (Eure et Loir, Loir et Cher et Loiret). Moins notables sur le plan de l'occupation des sols, ces cultures – betterave, pomme de terre, semences et cultures maraîchères – souvent à plus forte valeur ajoutée, constituent toutefois un élément non négligeable dans le chiffre d'affaire actuel des exploitations et l'équilibre des filières agricoles.

1.2.2 Les effets observés du climat sur les cultures (vulnérabilité et opportunités actuelles)

1.2.2.1 Le décalage des stades phénologiques

Sur la base des séries de mesures effectuées depuis quelques décennies, les chercheurs ont mis en évidence un décalage phénologique des cultures : les dates de semis et de récoltes des cultures sont en moyenne de plus en plus précoces dans l'année. Il en va de même concernant les périodes de floraison pour l'arboriculture. Deux éléments principaux permettent d'expliquer ce décalage phénologique :

- L'augmentation moyenne des températures durant la période de croissance des végétaux ;
- La croissance de la part de CO_2 dans l'atmosphère.

Aujourd'hui, ce type d'évolution est globalement perçu de façon positive par les agriculteurs, en particulier en Bretagne, où l'augmentation des températures s'avère particulièrement positive pour les raisons évoquées plus haut (croissance plus rapide des végétaux, réduction de l'impact des maladies liées à l'humidité, etc.).

1.2.2.2 Sécheresse, irrigation et rendements agricoles

Les effets positifs d'une telle évolution se trouvent annulés en situation de manque d'eau, en particulier en régions Centre et Pays de la Loire (notamment en Vendée et dans le Maine et Loire). Les épisodes de sécheresse récents, marqués par des arrêtés de restriction des usages de l'eau de plus en plus précoces et fréquents (notamment pour la nappe de Beauce, pour laquelle sont définis des volumes prélevables pour l'agriculture), révèlent donc une vulnérabilité significative de l'agriculture, en particulier en région Centre, mais aussi dans le sud de la Vendée.

En effet, en période de sécheresse et en l'absence d'irrigation, le stress hydrique limite considérablement, voire stoppe la croissance des végétaux, avec des conséquences non négligeables en termes de rendements et un important manque à gagner pour les agriculteurs.

Éléments d'information du rapport interministériel sur l'évaluation des coûts des impacts du changement climatique – Rapport du groupe agriculture[67]

Toutes choses égales par ailleurs, l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère se traduira, quel que soit le scénario du GIEC retenu, par une augmentation des rendements agricoles – et donc des revenus des agriculteurs – à l'horizon 2050, voire 2100 (scénario B2), en particulier pour le blé et avec plus d'incertitude pour le maïs. Au-delà, la tendance s'inverse.

Toutefois, cette analyse ne tient pas compte de la disponibilité des ressources en eau et doit donc être mise en perspective au regard du coût des épisodes passés de sécheresse.

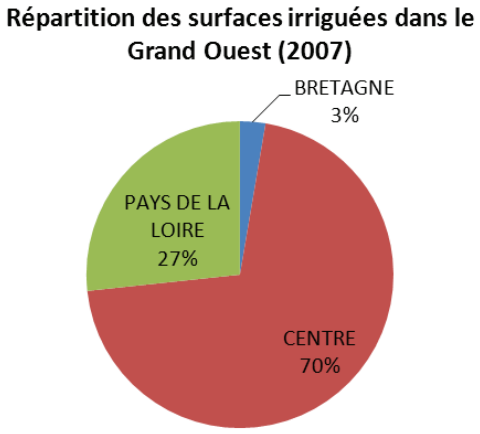
« En France, la canicule de 2003 s'est traduite par des pertes de rendement de l'ordre de -16% pour le blé et de -20% pour le maïs grain, en comparaison à une année « normale » (l'année 2002). […]

Dans le scénario A2, on aboutirait sur la période 2001-2100 à un coût pour le blé compris entre -20 et -33 milliards d'€ et entre -12 et -19 milliards d'€ pour le maïs. Le coût annuel moyen serait ainsi compris entre -209 et -334 millions d'€ pour le blé et entre -120 et -192 millions d'€ pour le maïs. Dans le scénario B2, le coût annuel moyen serait compris entre -118 et -163 millions d'€ pour le blé et entre -68 et -94 millions d'€ pour le maïs »

C'est notamment pour parer à sa forte exposition à la sécheresse que la région Centre a vu se développer ses réseaux d'irrigation. Elle concentre aujourd'hui 70% de la SAU irriguée du Grand Ouest (voir Figure 45). Dès lors, de remède à la sécheresse, l'irrigation se mue en facteur de vulnérabilité supplémentaire, l'équilibre économique de nombreuses exploitations en dépendant désormais directement.

[67] Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France, Rapport de seconde phase, Partie III – Rapports des groupes sectoriels, 2009.

FIGURE 45 - RÉPARTITION DES SURFACES IRRIGUÉES DANS LE GRAND OUEST (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EIDER DU MEDDTL)



Source : Artelia, d'après la base Eider, MEDDTL

Comme le montre le tableau suivant, les surfaces irriguées ont augmenté de près de 75% dans le Grand Ouest au cours des vingt dernières années. La sensibilité de l'agriculture aux épisodes de sécheresse s'est donc en conséquence fortement accrue. On notera que les surfaces irriguées ont quasiment doublé en région Centre, pour les raisons évoquées plus haut, accroissant d'autant la pression sur les ressources.

TABLEAU 20- ÉVOLUTION DES SURFACES IRRIGUÉES DANS LE GRAND OUEST (1988-2007) - SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EIDER DU MEDDTL

Territoire	Superficie en cultures irriguées			
	Superficie		Evolution	Part dans la SAU totale
	1988	2007	1988-2007	2007
	ha	ha	%	%
BRETAGNE	6814	10878	+59,6	0,7
CENTRE	149543	286753	+91,8	12,2
PAYS DE LA LOIRE	76200	108386	+42,2	5,0
GRAND OUEST	232557	406017	+74,6	6,6
France métropolitaine	1147037	1488685	+29,8	5,4

Deux raisons principales permettent d'expliquer ce développement massif de l'irrigation depuis les années 1970 :

- L'irrigation permet de maintenir de bons rendements agricoles, même en période de sécheresse, sur l'ensemble des parcelles (quel que soit le bilan hydrique des sols), permettant ainsi une homogénéité de la production à l'hectare. On parle alors « d'irrigation assurance », en particulier pour les grandes cultures (céréales, maïs, etc.) ;
- C'est l'irrigation qui a permis à l'agriculture de se diversifier, en particulier en région Centre (notamment dans la Beauce), en développant des cultures à plus forte valeur ajoutée : betteraves, semences, pommes de terre et oignons, etc. Aujourd'hui, l'irrigation constitue un critère de contractualisation assurant au producteur un débouché pour sa récolte.

Les situations de restrictions d'eau n'ayant pour le moment pas atteint un seuil critique remettant fondamentalement en cause les pratiques culturales, la vulnérabilité actuelle des cultures irriguées peut être qualifiée de moyenne. La sensibilité aux épisodes de sécheresse n'en demeure pas moins élevée, en raison de la dépendance accrue – depuis une trentaine d'années – à la disponibilité des ressources en eau. Aujourd'hui, la région Centre et le sud de la Vendée sont les deux secteurs où les pressions sur la ressource et les conflits d'usage sont les plus exacerbés, en raison précisément de cet accroissement des besoins estivaux en eau d'irrigation.

1.2.3 La vulnérabilité des cultures aux impacts du changement climatique

Trois facteurs climatiques sont susceptibles d'avoir un impact sur les cultures dans le contexte du changement climatique :

- L'augmentation attendue des températures moyennes annuelles sur l'ensemble du Grand Ouest et en particulier au sud de la vallée de la Loire ;
- L'augmentation de la concentration en CO2 dans l'atmosphère, qui favorise le processus de photosynthèse et diminue les besoins en eau, à des degrés divers selon les types de culture ;
- L'évolution de la disponibilité des ressources en eau, aussi bien dans les sols (réserve utile) que pour les cultures irriguées.

1.2.3.1 Des effets positifs à court terme sur les rendements

Comme nous l'avons évoqué, l'évolution climatique actuelle est plutôt favorable à l'agriculture dans le Grand-Ouest : l'augmentation des températures et la hausse des concentrations en CO2 dans l'atmosphère se traduisent par une croissance plus rapide des végétaux (décalage des stades phénologiques) et par de meilleurs rendements et si la question des restrictions d'eau pour l'irrigation se pose, elle reste pour le moment relativement ponctuelle dans le temps et dans l'espace.

L'augmentation du CO2 dans l'atmosphère : un effet positif à court et moyen terme, mais plus incertain à long terme

Avec le changement climatique, l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère et des températures devrait rester favorable à l'augmentation des rendements. Cette évolution positive n'est cependant valable que jusqu'à un certain seuil et variable selon le type de culture. Comme le souligne le rapport agriculture du groupe interministériel sur l'évaluation des coûts des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France, le blé ou la vigne profiteraient davantage et plus longtemps de cette augmentation du CO2 (jusqu'en 2100 selon le scénario A2) dans l'atmosphère que le maïs ou le sorgho.

Le décalage des stades phénologiques lié à l'augmentation des températures moyennes annuelles : des effets positifs et négatifs

L'évolution des stades phénologiques, quant à elle, touche davantage les cultures de printemps (notamment le maïs et les cultures permanentes comme la vigne). Les modèles développés dans le cadre du programme Climator soulignent diverses conséquences à cette évolution :

- Positives : réduction partielle des effets du déficit hydrique et limitation des risques d'échaudage, liée au déplacement de la phase de remplissage des grains ;
- Négatives : raccourcissement de la phase de remplissage des grains réduisant les rendements pour les cultures les plus touchées et aggravation des impacts liés au gel (à court terme), en particulier pour les cultures permanentes et notamment la vigne. L'avancée de la date de floraison augmente ainsi la probabilité d'exposition au gel printanier durant la période sensible du cycle de la vigne.[68]

Éléments d'information par type de culture issus du projet Climator

Impact du changement climatique sur le blé :

Le blé (tendre et dur) profite fortement de l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère, qui permet d'augmenter les rendements et de limiter l'effet du stress hydrique. Il est cependant très sensible au stress thermique de fin de cycle. Le changement climatique devrait donc se traduire par une augmentation des rendements plus forte pour les variétés précoces que pour les variétés plus tardives. A court, moyen et long terme, le modèle CERES indique une stabilité globale des rendements dans le Grand Ouest.

En Bretagne et Pays de la Loire, la réduction des précipitations estivales devrait limiter les maladies actuelles (rouille et septoriose notamment) et rendre ces territoires plus propices à la culture du blé.

Impact du changement climatique sur le maïs et le sorgho :

Le maïs et le sorgho profitent beaucoup moins de l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère. L'évolution des rendements du maïs dans le Grand Ouest est relativement incertaine à court terme, mais décroît à moyen terme (2050) quel que soit le scénario, en particulier en région Centre et sud Vendée.

Le sorgho, mieux adapté à la sécheresse, devrait au contraire voire ses rendements augmenter significativement dans tout le Grand Ouest.

[68] *Angenis-Nevers, Impacts du changement climatique sur les activités vitivinicoles*, ONERC, juin 2005

1.2.3.2 Une réduction attendue de la disponibilité des ressources en eau préjudiciable aux rendements

Les effets positifs du changement climatique pourraient se trouver atténués à moyen terme (dès 2030 en région Centre) par la réduction des précipitations estivales et l'augmentation de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse printaniers et estivaux, durant la phase végétative[69].

Une telle augmentation des sécheresses sera progressive dans le Grand Ouest, pour s'élever fortement à partir de 2050[70]. Dans ce contexte, compte tenu également de l'augmentation attendue des températures estivales, les besoins en eau de l'agriculture pourraient augmenter rapidement. Dans ce cadre, les cultures fortement consommatrices d'eau, situées sur des sols à faible réserve utile et/ou dépendantes de l'irrigation apparaissent particulièrement vulnérables au stress hydrique. Les territoires déjà exposés au manque d'eau et où la pression sur les ressources est actuellement forte – région Centre et sud Vendée – seront donc les premiers touchés.

Les possibilités d'accroître le recours à l'irrigation sont limitées, en particulier en région Centre où les besoins sont les plus forts et où les ressources sont déjà très sollicitées. En l'absence de modification des pratiques culturales, la baisse de la disponibilité en eau en période estivale, associée à une augmentation de la demande climatique des végétaux, devrait donc entraîner une augmentation du stress hydrique impactant directement les rendements des cultures, en particulier en région Centre et en sud Vendée.

La Bretagne apparaît globalement moins vulnérable de ce point de vue (au moins jusqu'en 2050), en particulier dans le Finistère, selon un gradient nord-sud et ouest-est d'aridité croissante.

[69] Voir le rapport d'analyse des simulations climatiques de Météo-France.
[70] Climator.

Actions engagées et actions prioritaires pour l'adaptation de l'agriculture

De l'adaptation spontanée à la promotion de systèmes culturaux plus flexibles et adaptés

Les agriculteurs – et le monde des techniciens agricoles en général – sont très attentifs aux effets du changement climatique, mais préfèrent parler « d'évolution climatique ». Pour cette activité très dépendante de la variabilité climatique, il est plus facile de penser l'évolution de système que le changement de système (rupture).

Dans ce cadre, l'adaptation est le plus souvent spontanée. Les études montrent ainsi que l'évolution des pratiques permet en général de faire face à une mauvaise année climatique (sécheresse).

En parallèle, d'importants essais agronomiques sont réalisés, afin notamment de mieux adapter les systèmes fourragers au manque d'eau : mélanges prairiaux et céréales-protéagineux immatures (MCPI), expérimentations de la culture du sorgho, etc. Des recherches sont en cours pour en améliorer les rendements.

Gouvernance de l'adaptation

La réflexion sur l'adaptation de l'agriculture aux impacts du changement climatique est aujourd'hui portée en partenariat par :

- Les chercheurs (INRA, etc.) ;
- Les chambres consulaires ;
- Les agriculteurs ;
- Les groupements (CEDAPA, etc.) ;

L'approche territoire est donc privilégiée à l'approche filière, qui apparaît davantage comme un frein à l'adaptation. L'objectif de la filière est en effet de se maintenir, non de se transformer pour s'adapter.

Les actions prioritaires

Le développement du lien entre la recherche sur les impacts du changement climatique et le développement agricole est fondamental.

Sur le terrain, il apparaît nécessaire de promouvoir une plus grande flexibilité et diversité des systèmes agricoles, aussi bien à l'échelle du territoire, de la filière et de l'exploitation.

Il conviendrait également de favoriser le développement d'une gestion parcellaire plus fine, en fonction de la réserve utile des sols. Une telle gestion n'est possible que via la réalisation d'une cartographie de la réserve utile des sols.

Concernant la gestion des ressources en eau, il convient de bien distinguer l'eau bleue (qui s'écoule) et l'eau verte (consommée par l'agriculture), puisque leur vulnérabilité est différente. Il faudra sans doute penser un jour les cultures en fonction de leur capacité à laisser percoler une fraction de l'eau de pluie vers les nappes phréatiques.

Éléments issus d'un entretien téléphonique réalisé auprès de M.Mérot, responsable du projet Climaster

1.2.3.3 L'amplification de l'impact des bioagresseurs

Nombreuses sont les études à s'être intéressées, ces dernières années, aux relations complexes entre changement climatique et bioagresseurs, à travers, par exemple, la question des espèces invasives. Avec le changement climatique, beaucoup de systèmes biologiques et agricoles vont changer, avec un risque de sensibilité accrue aux ravageurs. À titre d'exemple, les parasites du pommier pourraient passer de deux à trois générations par an. Là encore, les effets du changement climatique sont différenciés en fonction des cultures considérées.

Les observations de l'INRA sur ce point mettent en avant :

- Une extension vers le Grand Ouest de l'aire de répartition de certains ravageurs aujourd'hui présents plus au sud, liée notamment à des hivers plus doux facilitant leur survie ;
- L'apparition de ravageurs et de maladies, liées à la mondialisation des flux (tourisme, transport de marchandises, etc.), et dont le changement climatique pourrait faciliter l'implantation dans le Grand Ouest ;
- Le renforcement du taux de reproduction de certaines populations de ravageurs et de la virulence de certaines maladies.

Toutefois, il convient de prendre en compte la forte incertitude concernant l'évolution de la propagation de ces bioagresseurs. L'augmentation des températures estivales pourrait par exemple faciliter l'élimination de certains d'entre eux. La canicule de 2003 a ainsi contribué à l'éradication de certains insectes ne supportant pas les fortes chaleurs.[71] De même, les étés moins pluvieux en Bretagne rendent les cultures plus résistantes, car moins sujettes à certaines maladies liées à l'humidité (maladie de la rouille par exemple).

Dans un contexte de réduction de l'usage des pesticides et d'augmentation des stress hydrique et thermique, la réduction de la vulnérabilité future de l'agriculture aux ravageurs est au cœur des activités de recherche de l'INRA.

Pour finir, la sensibilité de l'agriculture aux nouvelles maladies et ravageurs pourrait se trouver fortement accrue par la faible diversité spécifique et génétique des cultures, en particulier dans les zones de grandes cultures de la région Centre. L'arrivée, difficilement prévisible, d'un ravageur ou d'une maladie affectant particulièrement l'une d'entre elle pourrait avoir des conséquences très importantes sur la filière agricole toute entière.

[71] Seguin, 2007, Forêts et milieux naturels face au changement climatique – RDV Techniques de l'ONF

1.3 La culture de la vigne dans la vallée de la Loire

Ce qu'il faut retenir

Le Val de Loire constitue **l'une des grandes régions de production viti-vinicole françaises**.
Les travaux de l'INRA confirment la perception positive des évolutions climatiques par les viticulteurs du Val de Loire : *« globalement ces nouvelles conditions climatiques sont plus favorables à un bon fonctionnement de la vigne qu'elles ne l'étaient il y a trente ans. »*[72]. Certains cépages trouvent aujourd'hui des conditions de développement optimales en Val de Loire qui constituait il y a trente ans la limite nord de leur utilisation.
L'évolution climatique actuelle constitue donc une **opportunité pour la culture de la vigne** dans le Grand Ouest.

En continuité avec cette évolution récente, le changement climatique devrait s'avérer globalement positif pour la culture de la vigne dans le Grand Ouest à court et moyen terme. Cependant, les vignobles du Val de Loire se trouveront confrontés, **à moyen ou long terme, à un stress hydrique**, accentué sur sols à faible réserve utile du fait d'épisodes de sécheresse plus récurrents et intenses. La **vulnérabilité future** devrait donc augmenter en l'absence de mesures d'adaptation.

1.3.1 Vulnérabilité actuelle de la vigne à l'évolution du climat

D'après une étude menée par l'INRA sur un domaine expérimental situé dans le Maine et Loire et portant sur l'influence de l'évolution du climat sur la vigne[73], on observe dans les vignobles du Val de Loire – comme pour les autres cultures dans le Grand Ouest – un décalage des stades phénologiques : avance des dates de vendanges à des degrés divers pour l'ensemble des cépages.

De même, les taux de sucre et d'alcool tendent à augmenter. Ainsi, depuis une trentaine d'années, les séries de mesures montrent une augmentation du taux de sucre de 30 à 40 g par litre, selon les cépages et les territoires.

Deux raisons permettent d'expliquer cette situation, et il apparaît pour le moment difficile de distinguer la part de chacune dans ces évolutions :

- Une raison climatique : des températures plus élevées en moyenne annuelle et un accroissement du rayonnement global et de l'ensoleillement favorisent une croissance plus rapide du raisin et une plus forte concentration de sucre dans les grains ;
- Une raison humaine : les pratiques agro-viticoles ont aussi évolué au cours des trente dernières années.

[72] Idem.
[73] BARBEAU G., *Climat et vigne en moyenne vallée de la Loire*, UMT VINITERA, Unité Vigne et Vin, INRA, 2007.

L'évolution actuelle du climat est globalement perçue de façon positive par les viticulteurs du Val de Loire. Comme le précise l'étude de l'INRA : *« Globalement ces nouvelles conditions climatiques sont plus favorables à un bon fonctionnement de la vigne (sommes de températures plus élevées, rayonnement photo synthétiquement actif plus important, meilleure efficience de l'eau) qu'elles ne l'étaient il y a trente ans. »*[74]
L'étude souligne par ailleurs que certains cépages – tels que le Cabernet Sauvignon – et qui étaient considérés comme étant situés en limite nord de la culture de la vigne dans le Val de Loire, se trouvent aujourd'hui dans des conditions climatiques idéales.

La vulnérabilité actuelle de l'activité viticole à l'évolution du climat est donc relativement faible dans le Val de Loire. Néanmoins, l'étude de l'INRA souligne que malgré l'absence de réduction sensible de la pluviométrie annuelle, la fréquence des épisodes de sécheresse au printemps et en été a tendance à augmenter. Dans ce contexte, la sensibilité ponctuelle au stress hydrique des vignobles situés sur des sols superficiels à faible réserve hydrique est significative.
L'effet de seuil au-delà duquel les avantages liés à l'augmentation des températures et du rayonnement seraient annulés par le stress hydrique n'a pas été atteint. C'est pour cette raison que la vulnérabilité actuelle des activités viticoles peut être qualifiée de faible.

1.3.2 Vulnérabilité des vignobles du Val de Loire aux impacts du changement climatique

Les effets positifs liés devraient se poursuivre dans le contexte du changement climatique. Compte tenu de l'augmentation attendue des températures et de la réduction des précipitations en période estivale, le Val de Loire pourrait constituer un territoire particulièrement propice à la culture de la vigne (réduction de la sensibilité aux maladies telles que le mildiou, l'oïdium ou le botrytis par exemple).

Le principal impact négatif concerne les parcelles de vignes situées sur les sols à faible réserve utile, très sensibles à la sécheresse. Le stress hydrique pourrait dès lors avoir des conséquences négatives en terme quantitatif (rendements) et qualitatif (qualité du grain). La question de la remontée de parasites de régions plus méridionales se pose également, comme pour les cultures annuelles.

[74] Idem

Les marges d'adaptation de la viticulture dans le Val de Loire

« Une enquête sur la perception des changements climatiques a été effectuée en 2002 auprès de vignerons de plusieurs pays européens (Battaglini et al. 2005). En France, les vignerons du Val de Loire y avaient fortement contribué (50% des réponses). […]

Face à ces changements qui semblent bien réels et commencent à préoccuper les producteurs, quelles sont les marges d'adaptation? Le changement variétal est mentionné comme une possibilité dans seulement 30% des réponses ; il y a là certainement un aspect réglementaire lié aux décrets d'appellations d'origine contrôlée. Mais il y a d'autres possibilités. En moyenne vallée de la Loire, plusieurs grands vignobles disposent maintenant d'une cartographie de leurs unités de terroir. La connaissance des potentialités qui en résulte – potentiel de précocité, potentiel de vigueur –, en relation avec la profondeur d'enracinement de la vigne et la réserve en eau du sol, offre aux viticulteurs une série d'options à court, moyen et long terme pour une meilleure adéquation entre propriétés physiques de l'environnement, matériel végétal et pratiques. »

Source : G.Barbeau, Climat et vigne en moyenne vallée de la Loire, UMT VINITERA, INRA, 2007.

2 La forêt dans le Grand Ouest

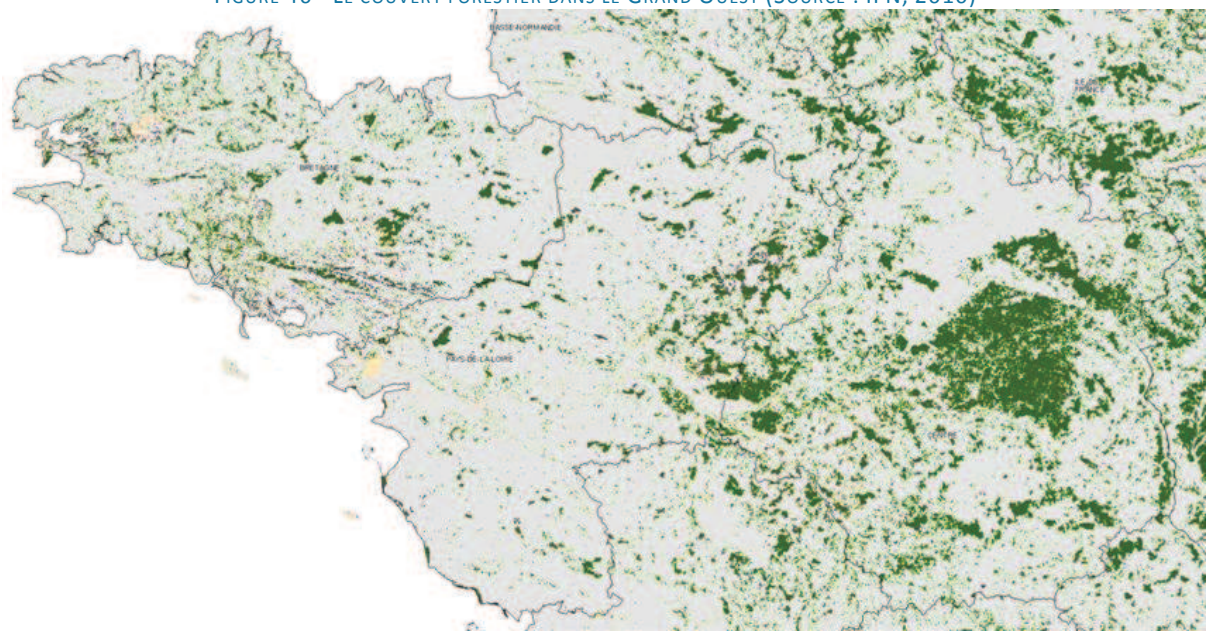
Ce qu'il faut retenir

Malgré une présence diffuse sur l'ensemble du territoire, l'essentiel des espaces forestiers du Grand Ouest est concentré en région Centre. Soumises à des sécheresses plus fréquentes, les forêts de cette région s'avèrent mieux adaptées que les forêts bretonnes. La **vulnérabilité actuelle des forêts** du Grand Ouest est **relativement faible.**

Dans le contexte du changement climatique, les forêts connaîtront à **court terme une hausse de productivité** liée aux concentrations plus importantes de CO2 dans l'atmosphère. Toutefois, l'intensification et la plus grande récurrence des épisodes de sécheresses devraient avoir un **impact négatif** sur la physiologie des arbres (dépérissement, ravageurs) et le risque de feux de forêt, avec des conséquences économiques non négligeables sur la filière bois, la biodiversité ou encore le tourisme. La **vulnérabilité future** des espaces forestiers **pourrait augmenter.**

2.1 Éléments de contexte

FIGURE 46 - LE COUVERT FORESTIER DANS LE GRAND OUEST (SOURCE : IFN, 2010)[75]

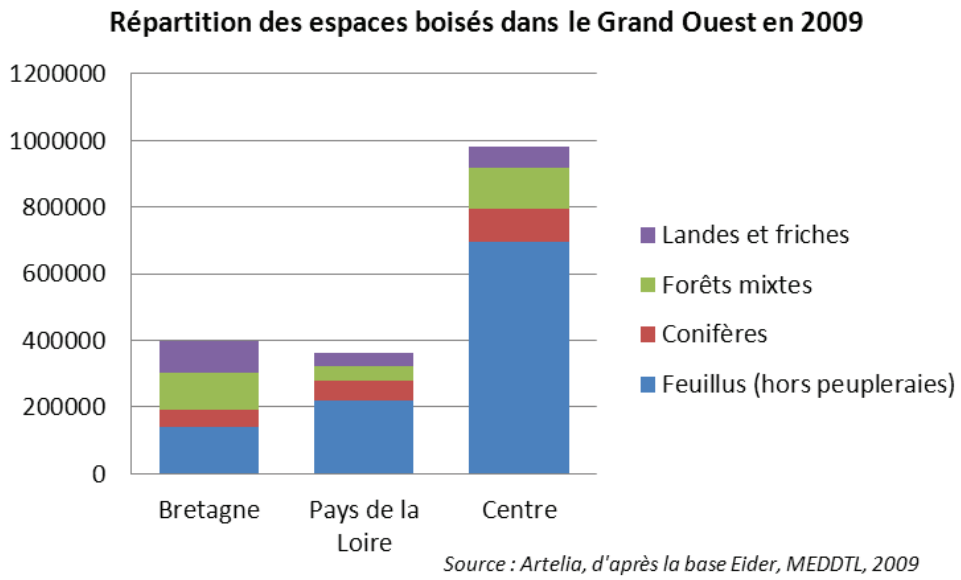


[75] Capture d'écran issue du portail cartographique de l'IFN (http://www.ifn.fr/carto/carto/afficherCarto).

Au regard de la carte de l'IFN (Figure 46) ainsi que de l'histogramme présentant la répartition spatiale des zones boisées dans le Grand Ouest (Figure 47), trois éléments permettent de caractériser globalement les espaces boisés dans le Grand Ouest :

- Plus de 50% des espaces boisés du Grand Ouest sont concentrés en région Centre. Se distinguent particulièrement les massifs de la Grande Sologne et de l'Orléanais. Le reste de l'inter-région est marqué par la présence de petits massifs et d'une forêt plus diffuse et segmentée, hormis à la frontière entre les Pays de la Loire et la région Centre (massif du Baugeois notamment) ;
- 60% des espaces boisés sont occupés par des forêts de feuillus ;
- Le territoire breton concentre près de 50% des friches et landes, zones particulièrement sensibles au risque de feux de forêt en période de sécheresse.
- Entre 1993 et 2009, les surfaces boisées se sont accrues de plus de 7% dans le Grand Ouest, en particulier en Bretagne (+13%) et en Pays de la Loire (+12%). Cette croissance est liée pour l'essentiel à l'augmentation des landes et friches, aux dépens notamment des surfaces agricoles (déprise rurale). Globalement, la part des forêts de feuillus et de conifères diminue au profit des forêts mixtes, et surtout des espaces de landes et friches.

FIGURE 47 - RÉPARTITION DES TYPES D'ESPACES BOISÉS DANS LE GRAND OUEST (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EIDER DU MEDDTL, 2009)



2.2 Vulnérabilité actuelle des forêts du Grand Ouest à l'évolution du climat

Les impacts du changement climatique sur la forêt sont déjà visibles dans le Grand Ouest. De même que pour les cultures, les forêts bénéficient de l'effet positif de l'augmentation de la concentration de CO2 dans l'atmosphère sur le processus de photosynthèse et de l'accroissement relatif des températures annuelles. Une hausse de productivité (volumes de bois) a d'ores et déjà été constatée.

Toutefois la succession de deux ou trois épisodes de sécheresses, comme en 2003, 2004 et 2005, a démontré une certaine sensibilité des forêts du Grand Ouest au stress hydrique. Paradoxalement, cette sensibilité est plus forte en Bretagne et à l'ouest des Pays de la Loire qu'en région Centre, où le climat plus sec a conduit au développement d'essences mieux adaptées à la sécheresse (chêne vert, châtaigniers, pin maritime, etc.) qu'en Bretagne (hêtre, chêne pédonculé, etc.).
Quant au risque feux de forêt, la sensibilité des espaces boisés du Grand Ouest tend à augmenter. Cette augmentation est liée, pour l'essentiel, à l'évolution des peuplements forestiers vers une présence accrue de matériaux combustibles (landes, broussailles, etc.).

La vulnérabilité actuelle des espaces forestiers dans le Grand Ouest peut donc être qualifiée de faible à moyenne (si on tient compte de la sensibilité au stress hydrique et aux feux de forêt).

2.3 Les impacts du changement climatique sur les forêts du Grand Ouest[76]

L'identification des impacts du changement climatique sur la forêt doit être envisagée en tenant compte de trois scénarios possibles, correspondant aux scénarios pessimiste, médian et optimiste analysés dans le cadre du rapport sur les projections climatiques de Météo-France :

- Positif : la forêt du Grand Ouest évolue vers la forêt type Bayonne ;
- Tendanciel : la forêt évolue vers la forêt type Toulouse.
- Négatif : évolution vers une forêt type sud de l'Espagne.

2.3.1 Impacts physiologiques : dépérissement des arbres et réduction de la productivité des forêts

Comme exposé plus haut, les forêts bénéficient de l'augmentation de la concentration en CO2 dans l'atmosphère. Quel que soit le scénario, cette augmentation se traduira par une croissance de la production ligneuse.
Ce qui distingue ces trois scénarios, c'est le bilan hydrique, soit la différence entre les besoins en eau des plantes et l'eau effectivement disponible (intégrant l'eau stockée dans le sol issue des précipitations). Un tel bilan peut être équilibré ou négatif. Plus il est négatif, plus le stress hydrique et la sécheresse sont intenses, avec un impact accru sur la biodiversité forestière.

Le stress hydrique se traduit par un dérèglement dans le fonctionnement de l'arbre, qui entre en dépérissement et devient plus sensible aux maladies et aux parasites. Cette situation de fragilité le rend susceptible d'être concurrencé par d'autres espèces mieux adaptées.

[76] L'essentiel de cette partie est issu de l'entretien réalisé auprès de M. Le Bouler, DRAF Pays de la Loire.

Or, les arbres sont le support de la biodiversité et du paysage, donc de services éco-systémiques, d'un espace vécu, etc. L'impact du stress hydrique va donc bien au-delà du dépérissement de l'arbre et du territoire forestier et de son effet sur la valorisation économique du bois, pour s'étendre au tourisme et aux autres activités récréatives, à la biodiversité, etc.

Une sensibilité territoriale contrastée dans le Grand Ouest

Le Grand Ouest (régions Centre, Pays de la Loire et Bretagne), s'organise autour d'un axe Brest-Orléans d'aridité actuelle croissante (il fait plus humide à Brest qu'à Orléans). Sur l'ensemble du territoire, le changement climatique devrait se traduire par des températures plus élevées doublées d'une plus grande aridité ; ce qui se traduira par des besoins en eau croissants d'une part, et une réduction de la disponibilité des ressources en eau d'autre part, aussi bien pour l'agriculture que pour la forêt.

L'analyse de cette évolution révèle une conséquence paradoxale :

- La région Centre (et Est de Pays de Loire) est déjà relativement sèche (plateaux/plaines de faible altitude). Certaines espèces déjà adaptées à la sécheresse sont donc présentes (chêne vert, châtaignier, pin maritime, etc.) et se trouvent donc relativement bien adaptées à l'évolution attendue du climat ;
- La région Bretagne (et Ouest des Pays de la Loire) est aujourd'hui relativement humide. Les peuplements sont bien moins adaptés à la sécheresse (chêne pédonculé, hêtre, etc.). Dans cette partie du Grand Ouest, les impacts du changement climatique sont donc beaucoup plus incertains. Selon l'hypothèse basse (Pays Basque), cela poserait peu de problème, mais au-delà, le dépérissement de la forêt serait inévitable à moyen terme (2050), en raison d'épisodes de sécheresse et de canicule plus intenses et fréquents.

2.3.2 Impact sur l'évolution des feux de forêt[77]

Les prévisions de Météo-France, quel que soit le scénario retenu, indiquent une augmentation significative de ce risque dans le contexte du changement climatique.

Le risque incendie est issu de la conjonction de deux éléments :

- Climatique : la sécheresse et les températures élevées ;
- Humain : la baisse de vigilance quant à l'aménagement et l'occupation des espaces forestiers. Ainsi, les grands incendies de 1947, notamment dans la Sarthe et en Bretagne Sud (pin maritime), interviennent au sortir de la guerre, suite à l'occupation des forêts par des groupes de combattants (présence de carburants, etc.).

[77] Voir également le chapitre consacré aux risques naturels.

Les conséquences sociales, économiques et psychologiques des grands incendies de forêt ne sont pas négligeables. L'impact va en effet bien au-delà de la destruction d'un espace forestier pour toucher de nombreux secteurs, à commencer par le tourisme.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, les peuplements forestiers dans le Grand Ouest évoluent vers une présence accrue de matériaux combustibles. La conjonction avec les effets du changement climatique (augmentation de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse et accroissement des températures) pourraient augmenter la vulnérabilité aux feux de forêts.

2.3.3 L'impact des bioagresseurs sur la forêt du Grand Ouest

L'incertitude quant à l'évolution des parasites est importante. Deux certitudes cependant :

- Les parasites se déplacent plus vite que les arbres : actuellement, on constate dans l'hémisphère nord l'arrivée de parasites favorisée par l'évolution du climat, mais aussi par la mondialisation des échanges ;
- Les impacts physiologiques du changement climatique (liés à des sécheresses plus longues et plus intenses) renforcent la vulnérabilité des arbres à ces parasites.

Mettre en place une gestion adaptative de la forêt

Trois grandes entrées, qui peuvent être mises en œuvre de façon simultanée, permettent de mettre en œuvre une véritable gestion adaptative de la forêt :

- Diminuer la vulnérabilité et augmenter la résilience : c'est le champ des politiques sans regret, qui auraient de toute façon été mises en œuvre.

Exemple : limiter le tassement des sols, qui réduit leur capacité de rétention et de stockage de l'eau ;

- Augmenter la biodiversité en forêt : favoriser la mixité et la diversité des classes d'âge, pour mieux répartir les risques[78] ;
- Réduire la combustibilité des forêts : il s'agit de suivre l'exemple méditerranéen : sortir la biomasse de la forêt, éclaircir, etc.

La mise en œuvre de cette gestion adaptative demande des moyens financiers, qui ne peuvent venir que de deux sources :

- La subvention publique ou privée (difficile à mettre en œuvre sauf ponctuellement dans le cadre des crédits carbone) ;
- Trouver une valeur économique à cette gestion, via notamment une valorisation de la biomasse. Pour exemple, le plan de développement de massif incluant le Pays de Redon valorise la biomasse pour financer l'éclaircissement du massif de pins maritimes.

Sur le plan de la recherche, si la réponse physiologique des espèces d'arbres à la sécheresse est bien connue, la plus grande incertitude demeure quant à l'évolution des écosystèmes forestiers dans le contexte du changement climatique. Les nombreuses interactions entre les espèces rendent toute modélisation complexe. Il en va de même de l'intervention future de l'homme sur la forêt dans le contexte du changement climatique.

Le projet Nomade (2012-2013)

Ce projet, mené en région Centre, vise à identifier les espèces susceptibles d'être implantées à la place des espèces d'arbres actuelles, moins bien adaptées. Des plantations tests seront réalisées dans la région durant l'automne 2012.

Une dizaine d'autres plantations expérimentales ont également été mises en place, dans le cadre d'autres projets, afin d'implanter des espèces mieux adaptées pour faire face à un éventuel dépérissement des forêts. Certaines espèces implantées sont exotiques. D'autres au contraire sont issues de territoires situés à quelques dizaines de kilomètres.

[78] Voir à ce propos les travaux de Prosilva (http://www.prosilva.fr)

3 Tableau de synthèse thématique

Impact	*Territoire(s) cohérent(s) le(s) plus concerné(s)*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Evaluation de la vulnérabilité (ou de l'opportunité)*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité (ou d'opportunité) future*	*Capacité d'adaptation*
Réduction de la production fourragère	Arrière-pays breton et vendéen	Moyenne	Moyenne	Actuelle : moyenne ; Future : élevée.	Elevée	- Evolution des espèces cultivées ; -Disponibilité des ressources en eau ; - Dépendance des exploitations d'élevage à cette production ; - Evolution des formes d'élevage (hors sol, etc.).	-Adaptation spontanée constatée durant les années de sécheresse.
Dégradation de la santé animale et baisse de la productivité	Arrière-pays breton et vendéen	Faible	Moyenne	Actuelle : faible ; Future : Elevée.	Elevée	-Exposition au stress thermique ; -Apparition de nouvelles maladies ; -Evolution des formes d'élevage (hors sol, etc.).	-Dépendra de l'anticipation des risques ; -Cette capacité est plus faible pour les élevages hors sols.
Hausse de la productivité de certaines cultures (C3 pour l'essentiel)	Beauce Sud de la région Centre Arrière-pays breton et vendéen	Moyenne	Moyenne	Opportunité actuelle : moyenne ; Opportunité future : Elevée.	Elevée	- Décalage des stades phénologiques et croissance plus rapide des cultures ; - Disponibilité des ressources en eau.	-Elevée, mais dépendante de la disponibilité des ressources en eau.

Réduction des ressources en eau disponibles pour des besoins accrus d'irrigation	Beauce Sud de la région Centre	Faible à moyenne	Elevée	Actuelle : moyenne ; Future : élevée.	Elevée	-Dépendance des exploitations et des cultures à l'irrigation ; -Poids de la filière (ressenti comme un frein à l'adaptation).	-Adaptation spontanée constatée durant les années de sécheresse ; -Nombreux travaux de recherche pour développer des cultures et des pratiques culturales mieux adaptées au manque d'eau.
Augmentation du nombre et de l'impact des bioagresseurs sur les cultures, l'élevage et la forêt	Beauce Sud de la région Centre Arrière-pays breton et vendéen	Faible	Moyenne	Actuelle : faible ; Future : incertaine.	Incertaine	-Etat de la diversité spécifique et génétique des cultures et des forêts ; -Etat des systèmes de surveillance et d'alerte.	-Travaux de recherche en cours sur le sujet (INRA)
Amélioration des conditions climatiques pour la culture de la vigne	Vallée de la Loire	Moyenne	Moyenne	Opportunité actuelle : moyenne ; Opportunité future : Élevée.	Élevée	-Implantation de cépages mieux adaptés ; -Réserve utile des sols où sont plantés les vignobles.	-Élevée.
Evolution de la productivité des forêts	Sud de la région Centre	Faible	Faible	Actuelle : faible ; Future : moyenne à élevée.	Élevée	-Bilan hydrique des essences forestières ; -Type de peuplement des forêts	-Plus forte en région Centre qu'en Bretagne ; -Dépendra du choix des essences forestières (projet Nomade en région Centre

VULNÉRABILITÉ DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

1 L'énergie dans le Grand Ouest : une situation contrastée

Ce qu'il faut retenir

Le secteur de l'énergie est intimement lié au climat au sens large et le **changement climatique** aura des **impacts significatifs aussi bien sur la production que sur la consommation d'énergie.**

La Région **Bretagne** et la Vendée présentent d'ores et déjà une **fragilité structurelle en matière d'approvisionnement** électrique, qui ne se retrouve pas dans les régions Pays-de-la-Loire et Centre.

Quant à la demande énergétique, son évolution paraît plus incertaine. Elle dépendra à la fois de l'évolution des conditions climatiques – qui déterminent la consommation d'énergie pour le chauffage ou la climatisation – du comportement de la population et de l'évolution du bâti (isolation) et des équipements.

1.1 Éléments de cadrage

Le secteur de l'énergie est intimement lié au climat au sens large (températures, ressources en eau, évènements extrêmes), que ce soit pour sa production et sa distribution d'une part, ou les besoins énergétiques d'autre part. La variabilité climatique et le changement climatique ont et auront des impacts significatifs sur le secteur de l'énergie en France. Les analyses du groupe interministériel mettent en évidence les éléments suivants au niveau national[79]:

- Des menaces sur la production en été en raison de difficultés liées au refroidissement des centrales nucléaires et thermiques (qui utilisent les eaux superficielles pour leur refroidissement) et de la baisse du débit des cours d'eau ;
- Des difficultés potentielles sur la production et la distribution de l'énergie en relation avec les risques naturels (chutes de lignes électriques aériennes en cas de tempête, dommages liés aux incendies de forêt, etc.) ;
- La modification saisonnière de la demande en énergie avec, au niveau national, une diminution des besoins énergétiques en hiver et une hausse en été, le solde net dépendant de la localisation de la région considérée.

[79] Source : *MEEDDM- Groupe interministériel, Impacts du changement climatique, adaptation et couts associés en France,* 2009.

Définitions

- **L'énergie primaire** est constituée de l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés. Il s'agit principalement du pétrole brut, des schistes bitumineux, du gaz naturel, des combustibles minéraux solides, de la biomasse, du rayonnement solaire, de l'énergie hydraulique, de l'énergie du vent, de la géothermie et de l'énergie tirée de la fission de l'uranium.
- **La consommation finale** relève de l'ensemble de l'énergie effectivement consommée, hors pertes liées à la production, au transport et à la distribution d'énergie.

Le tableau ci-dessous fait état de grandes disparités au sein de l'inter-région avec, d'une part, la Bretagne et les Pays de la Loire, en situation de grande dépendance énergétique vis-à-vis des autres régions et, d'autre part, une région Centre excédentaire sur le plan énergétique. C'est sur la base de ce premier constat qu'il s'agira d'examiner la vulnérabilité de la production, du transport et de la distribution d'énergie aux impacts du changement climatique.

TABLEAU 21 - PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE ET CONSOMMATION FINALE DANS LE GRAND OUEST EN 2009 EN KTEP (SOURCE : BASE EIDER DU MEDDTL, 2012)

	Bretagne	Pays de Loire	Centre
Total production énergie primaire	112	38	18564
Dont production électricité nucléaire	0	0	18416
Dont production électricité d'origine renouvelable	112	38	09
Total consommation finale	7105	8269	6367

1.2 Une situation inter-régionale très contrastée vis à vis de l'énergie

1.2.1 La Bretagne : une péninsule énergétique déjà très exposée en période hivernale

Le portail de l'État en Bretagne a permis de relever les éléments suivants :

- **Une situation de péninsule électrique et un déséquilibre structurel qui s'accentue** : « Actuellement, l'électricité qui arrive chez le consommateur breton est produite à 90% à l'extérieur de la région (centrales nucléaires du Val de Loire et de Flamanville, centrale thermique de Cordemais, etc.). En soi ce n'est pas forcément un problème. Néanmoins, contrairement à la région parisienne par exemple, dans le même cas de faible production, mais qui peut être alimentée directement par les différentes régions qui l'entourent, la Bretagne est pour sa part dans une situation de « péninsule électrique ». Cela signifie que l'électricité est acheminée depuis la zone Est de la région seulement, et depuis des sites de production éloignés. Cet **éloignement fragilise la sécurité de l'alimentation électrique durant les périodes de forte consommation**, notamment en cas d'incident technique directement sur le réseau de transport d'électricité ou sur une centrale de production. Ce déséquilibre entre consommation et

production est accentué en Bretagne par une croissance de la consommation électrique bretonne qui est, depuis 10 ans, 2 fois plus forte que la moyenne nationale, en lien avec le dynamisme démographique et économique breton. »

- **Une vulnérabilité hivernale** : « En période hivernale, aux heures de forte consommation d'électricité, le réseau atteint ses limites de capacité pour acheminer l'énergie vers les consommateurs, avec un risque de coupure électrique massive en Bretagne, notamment si un incident devait intervenir sur le réseau ou sur un site de production. La région Sud Est qui se trouve dans la même situation que la Bretagne a connu une telle coupure, le 21 décembre 2009. Un incident dans un poste électrique a obligé RTE (Réseau de Transport d'Électricité) à réaliser une coupure d'électricité d'environ 2 millions de personnes, pour éviter un black-out de toute la région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur). »
- **Une tendance lourde à la hausse des consommations** : « Aujourd'hui, les efforts déjà réalisés par les Bretons en matière d'économies d'énergie ne permettent pas de compenser la nouvelle demande électrique générée par l'attractivité de la Bretagne : croissance démographique (+ 25 000 habitants/an) et dynamisme économique. Pour les prochaines années, les prévisions montrent que, même avec des efforts soutenus en matière d'économie d'énergie, l'évolution de la consommation se poursuivra à la hausse. Il reste cependant essentiel de poursuivre nos efforts. L'enjeu est en effet de limiter cette augmentation de la consommation. »

La Région Bretagne s'est engagée dans une politique de développement ambitieux de la production d'énergies renouvelables. En conclusion, en dehors de toute considération liée au changement climatique, la Région Bretagne présente d'ores et déjà une fragilité structurelle en matière d'approvisionnement électrique avec une perspective d'augmentation de ses besoins futurs. La question posée est celle de l'évolution de cette vulnérabilité en relation avec le changement climatique, avec un questionnement sur la robustesse de réseaux de transport et de distribution de l'électricité.

1.2.2 Les Pays de la Loire

La Région des Pays-de-la-Loire[80] est aussi en situation de grande dépendance vis à vis de sa production d'énergie primaire. En revanche, contrairement à la Bretagne, elle n'est pas dans une situation de péninsule énergétique et bénéficie de l'exploitation du pétrole importé à la raffinerie de Donges (44), les produits pétroliers représentant 42 % de la consommation énergétique régionale (chiffre légèrement supérieur à la moyenne nationale) et de l'exploitation de la centrale thermique de Cordemais (44) (fuel et charbon), du CCG (Cycle Gaz Combiné) de Montoir, de l'éolien terrestre et de quelques microcentrales, situées principalement en Mayenne (puissance

[80] Contexte énergétique 2001 site DREAL Pays de la Loire

installée environ 2 MW) et en Vendée. Il est à noter que la Vendée est elle aussi en situation de péninsule énergétique (source DDTM 85).

On notera également que l'estuaire de la Loire assure 11 % de l'approvisionnement énergétique de la France. L'énergie représente 70 % du trafic du port de Nantes – Saint-Nazaire[81].

1.2.3 La région Centre

Les quatre centrales nucléaires situées en région Centre produisent près de trois fois plus d'énergie primaire (18 506 Ktep en 2009) que la consommation finale régionale (6 267 Ktep en 2009)[82]. Elle est à ce titre la seconde région française en termes de production électrique (derrière la région Rhône Alpes). De nombreux territoires au-delà du Grand Ouest – et en particulier l'Île de France – dépendent de cette production électrique, étroitement liée à la capacité de refroidissement des eaux de la Loire. Dès lors, la production électrique de la région Centre apparaît comme un enjeu stratégique d'envergure nationale très sensible à l'évolution du climat, dont dépend cette capacité de refroidissement de la Loire.

2 Impact du changement climatique sur la production électrique

Ce qu'il faut retenir

L'exposition et la sensibilité du parc nucléaire de la Vallée de la Loire (dans sa configuration technologique actuelle) aux épisodes de fortes chaleurs **augmenteront** avec le changement climatique (augmentation des températures moyennes estivales et des épisodes de canicule, diminution du débit des fleuves), avec une **menace potentielle directe sur l'approvisionnement électrique** en période estivale.
De plus, alors que les Régions s'engagent dans des programmes ambitieux de production d'énergies renouvelables, la **vulnérabilité des énergies renouvelables au changement climatique reste à évaluer**.
Quant à l'exposition des réseaux aux impacts du changement climatique, les incertitudes sont grandes. En revanche, les **travaux de sécurisation des réseaux de distribution** de l'énergie devraient permettre de **réduire leur sensibilité à horizon 2020**.

[81] Site Internet de la DREAL Pays de la Loire : http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/
[82] Base de données Eider du MEDDTL, chiffres 2009.

2.1 Éléments de cadrage

Souvent étudié sous l'angle de l'atténuation, l'approvisionnement énergétique peut également être influencé par les événements climatiques :

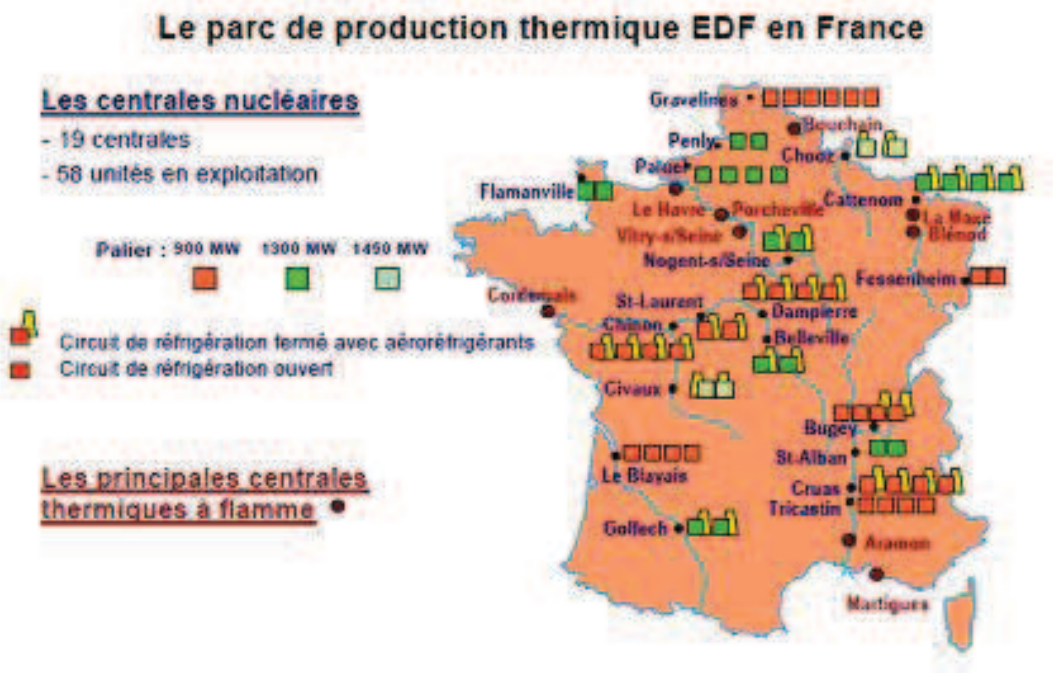
- La production d'énergie nucléaire peut être impactée en période de fortes chaleurs ou de sécheresse (réduction du débit des cours d'eau) ;
- Les réseaux de distribution électrique, ainsi que la production de certaines énergies renouvelables (l'éolien en particulier) peuvent également être touchés par les catastrophes naturelles (tempêtes, incendies de forêt, submersion marine, etc.).
- Enfin, certaines productions renouvelables sont étroitement dépendantes des conditions climatiques

2.2 Production électrique et ressource en eau

2.2.1 Exposition et sensibilité actuelle

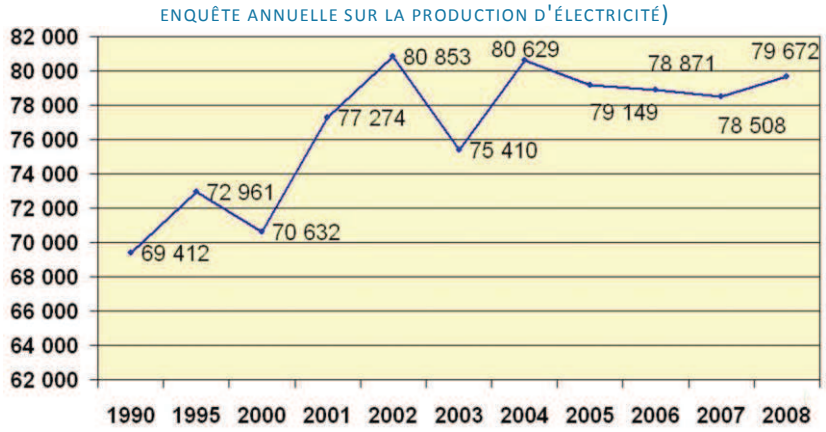
Le Grand Ouest dispose d'un parc nucléaire et thermique important, concentré sur le bassin de la Loire (quatre centrales nucléaires en région Centre) et son estuaire (centrale thermique de Cordemais).

FIGURE 48 - LE PARC DE PRODUCTION THERMIQUE D'EDF EN FRANCE (SOURCE : EDF, 2007)



Les centrales nucléaires et thermiques ont besoin d'une source froide pour alimenter leurs circuits refroidissement ou produire de la vapeur pour faire tourner les turbines, cette eau prélevée étant en majeure partie (70%[83]) restituée dans le milieu à une température plus élevée. Lorsque cette température est trop élevée et que le débit d'étiage de la Loire est faible, la situation peut s'avérer problématique pour l'équilibre des milieux aquatiques et la qualité sanitaire des eaux de baignade. C'est pour cette raison que les températures de rejets en aval de sites de production sont limitées en période estivale. Cette réglementation sur les températures de rejet ne pose généralement pas de problèmes en l'absence de sécheresse estivale. Toutefois, l'exemple des sécheresses récentes (2003 et 2011 en particulier) révèle la forte sensibilité de la production électrique à l'accroissement attendu de l'intensité et de la fréquence de ce type d'événement, dans la perspective du changement climatique.

FIGURE 49 - ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN RÉGION CENTRE EN GWH ENTRE 1990 ET 2008 (SOURCE : SOES, ENQUÊTE ANNUELLE SUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ)



Comme le montre le graphique ci-dessus, la production d'électricité en région Centre a chuté en 2003, en raison pour partie de la sécheresse estivale.

Sécheresse et production nucléaire

Retours d'expérience « Production et canicule »

La canicule de 2003 a cependant révélé la sensibilité du parc nucléaire aux fortes chaleurs : en effet, les températures de certains fleuves ont atteint des niveaux supérieurs aux températures maximum autorisées de rejet, justifiant des dérogations de l'Autorité de Sureté Nucléaire pour maintenir le fonctionnement de certaines centrales et la sécurité de l'approvisionnement énergétique (par exemple à la centrale de Golfech sur la Garonne et du Blayais en Gironde), certaines centrales ont été arrosées et la production nucléaire a baissé de 4% entre le 4 et le 24 aout.

Source : Dossier spécial « Canicules et nucléaire ». Sortir du nucléaire, 2011

[83] Agence de l'eau Loire-Bretagne.

Impact de la sécheresse sur le fonctionnement des centrales nucléaires : l'ASN rappelle le dispositif mis en place

A ce jour, le fonctionnement normal des centrales nucléaires n'est pas affecté par la sécheresse constatée en France, malgré l'enregistrement d'une diminution du débit de certains cours d'eau.
En cas de sécheresse et de canicule, les exploitants des centrales nucléaires doivent être en mesure de faire face à la perte totale ou partielle du refroidissement liée à une diminution du niveau et du débit d'eau dans les fleuves, ainsi qu'à l'élévation de la température ambiante dans les locaux contenant des équipements importants pour la sûreté.
Rappelons que les conditions climatiques de 2003 et de 2006, sans remettre en cause la sûreté des centrales nucléaires, avaient contraint le gouvernement à prendre des mesures exceptionnelles pour garantir la disponibilité du réseau électrique français. Ainsi, EDF avait été autorisé à déroger aux limites thermiques des rejets de certaines centrales nucléaires pour augmenter leur disponibilité.

L'ASN avait demandé à EDF de tirer les enseignements de ces épisodes de sécheresse et de canicule et de prendre les mesures nécessaires :

- réévaluer les dispositions de protection des installations vis-à-vis des températures extrêmes et de la sécheresse ;
- apporter des modifications techniques pour améliorer la capacité de refroidissement et renforcer la résistance des matériels sensibles aux températures élevées ;
- mettre en place des dispositifs d'alerte permettant d'anticiper l'évolution des températures et du débit d'eau des fleuves.

Depuis lors, l'ASN participe au processus national de veille relatif à la canicule et la sécheresse déployé par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC).

Source : Note d'information de l'ASN, mai 2011

2.2.2 Exposition et sensibilité futures

Les projections climatiques prévoient une augmentation significative des températures moyennes estivales et des épisodes caniculaires et de sécheresse, particulièrement marquée en Vallée de la Loire et en région Centre, qui accueillent justement le parc nucléaire du Grand-Ouest.

L'exposition et la sensibilité des centrales nucléaires (avec leur technologique actuelle de refroidissement) vont donc augmenter avec le changement climatique, entraînant une baisse potentielle des capacités de production dans une période où les besoins pourraient être en hausse.

2.3 L'impact des risques naturels sur l'approvisionnement électrique

2.3.1 Exposition et sensibilité actuelles

Les infrastructures de distribution d'énergie sont exposées et sensibles aux événements extrêmes tels que les tempêtes, les principales causes de coupure sur les réseaux étant liées aux chutes d'arbres et au vent. Feux de forêts et neiges collantes peuvent aussi impacter la distribution énergétique en endommageant les lignes aériennes à haute tension.

Retours d'expérience

« Réseaux électriques et tempêtes »

Les tempêtes de 1999 (1000 pylônes du réseau de transport d'électricité endommagés, rendant indisponibles 8% des lignes hautes et très haute tension du pays) et la tempête Klaus de 2009 (200 000 clients privés d'électricité, 50 000 client privés d'eau, trafic ferroviaire perturbé, connections téléphoniques interrompues), qui a principalement touché le Sud-Ouest, ont révélé la vulnérabilité des réseaux de distribution d'électricité aux tempêtes.

Suite à cette dernière, la FNCCR (Fédération Nationale des Collectivités Concédants et Régies) a d'ailleurs mis en cause ERDF pour n'avoir pas atteint les objectifs de continuité du service public. Depuis, cette préoccupation est prise en compte par les acteurs (ex ERDF, RTE) et les programmes de sécurisation à horizon 2020 sont en cours pour résister à un niveau de tempête équivalent à celui de 1999 pour les lignes, être capable de réalimenter sous 5 jours et sécuriser les postes électriques dans le cadre des PPRI des communes.

« Production et tempêtes »

Les dommages intervenus sur la centrale EDF de Cordemais suite à la tempête du 8 décembre 2006 ont fait peser des risques notables sur la sûreté d'approvisionnement électrique du Grand Ouest. En effet, ce sont les 2/3 de la puissance électrique du site (soit 1200 MW sur environ 1800) qui se sont retrouvés indisponibles pendant plusieurs semaines d'hiver.

Or la centrale de Cordemais constitue un point d'appui vital pour le système électrique des départements bretons, de la Loire-Atlantique et de la Vendée : un ensemble dont on sait qu'il est fortement déficitaire en production d'électricité. Dans une telle situation, le réseau de RTE est fortement sollicité pour satisfaire la demande d'électricité en acheminant de très grandes quantités de courant depuis les régions voisines.

Source : Dossier de presse RTE : le transport d'électricité en Région Bretagne. Bilan 2006 et perspectives 2007

2.3.2 Exposition et sensibilité futures

L'évolution du régime des événements extrêmes de type tempêtes ou neiges collantes, en relation avec le changement climatique, reste très incertaine et fait toujours l'objet de travaux de modélisation : il n'est pas possible à ce jour d'évaluer l'exposition future des infrastructures énergétiques à ces risques. Pour ce qui concerne la sensibilité future, les programmes de sécurisation à horizon 2020 en cours devraient permettre de réduire la sensibilité aux tempêtes.

En revanche, l'exposition aux feux de forêts augmentera dans le Grand-Ouest et pourrait impacter les réseaux de transport à haute tension. C'est le cas notamment en région Centre, mais également en Bretagne et en région Pays de la Loire à plus long terme (2050).

La vulnérabilité des infrastructures de transport d'énergie à la hausse des températures reste incertaine en l'absence d'études et de retour d'expérience sur le sujet dans la Région.

2.4 Les incertitudes liées au développement des énergies renouvelables

Le développement des énergies renouvelables est un objectif phare du Grenelle de l'environnement pour lutter contre le changement climatique et s'orienter vers un mix énergétique décarboné. La problématique de l'adaptation pour les énergies renouvelables est très différente de celle des infrastructures de production traditionnelles : leur capacité d'adaptation est plus importante car elles bénéficient d'une évolution technologique rapide et d'une durée de vie moins longue. Néanmoins, l'évolution des conditions de production est encore incertaine et varie en fonction du type d'énergie :

- **La production d'énergie éolienne** : il réside de fortes incertitudes quant à l'impact du changement climatique sur le régime des vents ;
- **La production d'énergie solaire** : il existe une incertitude sur l'évolution de l'ensoleillement ;
- **La biomasse** : la productivité des forêts pourrait croître à court et moyen termes mais diminuer à long terme. A cela s'ajoutent tous les impacts potentiels du changement climatique sur les forêts (dépérissement, ravageurs etc.)[84].

Évaluer l'évolution de l'exposition et de la sensibilité de la production d'énergies renouvelables au changement climatique apparaît donc particulièrement complexe en l'état actuel des connaissances et données disponibles mais cela est nécessaire. En effet, alors que les Régions s'engagent dans des programmes ambitieux de production d'énergies renouvelables (notamment la Bretagne à travers le Pacte Electrique Breton), la vulnérabilité du secteur énergétique dépendra plus fortement à l'avenir de la vulnérabilité des énergies renouvelables au changement climatique.

[84] Voir le chapitre consacré à la forêt.

Par ailleurs, si le développement des énergies renouvelables permet de mieux répartir les risques, il ne suffira pas à favoriser l'équilibre offre/demande, en raison de la complexité de la gestion des sources de production intermittentes (éolien et solaire) ; d'où l'intérêt du développement des réseaux intelligents (Smart Grid), qui permettent une gestion fine de l'offre et de la demande dans le cadre du changement climatique : en effet, au-delà de son effet direct sur l'atténuation, le développement des Smart Grids pourra permettre de s'adapter à certains impacts du changement climatique et notamment de « passer les pics de consommations » attendus en cas de forte chaleur et susceptibles de créer des coupures électriques généralisées. Les Smart Grids pourraient permettre aussi de réduire les coupures ponctuelles liées aux événements extrêmes.

3 Les impacts du changement climatique sur la demande énergétique

Ce qu'il faut retenir

De manière générale, le changement climatique aura un **impact sur la demande future en énergie.**
Cependant, **l'impact net sur la demande énergétique globale** au niveau du Grand Ouest est **difficile à évaluer**, en raison de disparités de températures inter-régionales particulièrement significatives.

3.1 Cadrage général

Les besoins en énergie sont intimement liés au climat, ce dernier conditionnant en particulier les besoins de chauffage et de rafraîchissement. Ils dépendent de la situation géographique : dans le Grand Ouest, les besoins les plus importants sont actuellement concentrés en période hivernale.
De manière générale, le changement climatique aura un impact sur la demande future en énergie : la hausse des températures moyennes annuelles pourrait entrainer une diminution des consommations en hiver (du fait de la diminution des besoins de chauffage) mais une augmentation des besoins en rafraîchissement en été, notamment en période de canicule, pour le résidentiel et les transports (sollicitation plus importante des dispositifs de climatisation et de ventilation). Il est à noter que dans les pays limitrophes ayant aujourd'hui un climat plus chaud, le taux d'équipement des ménages en climatiseurs, non souhaitable pour des questions d'atténuation, est beaucoup plus élevé qu'en France (3% en 2007 contre 25% en Italie et 36% en Espagne), avec une consommation d'électricité en période de forte chaleur désormais pratiquement au niveau de la consommation hivernale.

Extrait du rapport interministériel de 2009 sur le « Cout des impacts et de l'adaptation au changement climatique »

« Dans le cadre des hypothèses posées et des scénarios climatiques retenus, la hausse des températures pourrait conduire à l'horizon 2100 à un repli de plus de 3 % de la consommation énergétique nationale par rapport à la situation actuelle. La multiplication des dispositifs de climatisation entraînerait une multiplication des pics de demande en période estivale qui compliquerait la gestion du réseau électrique.
Au niveau régional, les situations seront contrastées : les régions chaudes pourraient voir leur consommation annuelle augmenter, alors que les régions plus fraîches la verraient diminuer. »

3.2 Changement climatique et demande énergétique : un impact difficile à évaluer

Il est vraisemblable que la demande moyenne hivernale diminue sur le Grand Ouest en raison de l'augmentation attendue des températures moyennes hivernales.
Pour ce qui concerne la demande estivale, les projections climatiques mettent en évidence des contrastes de températures importants entre des territoires plutôt « chauds » (Vallée de la Loire et Centre, littoral vendéen) et des territoires plutôt « plus frais » (littoral au nord de la Loire et Nord Bretagne), contrastes qui pourraient se traduire par une demande différenciée entre les différents sous-territoires et déplacer les pics annuels de demande d'électricité.
L'effet net sur la demande énergétique globale au niveau du Grand Ouest reste cependant difficile à évaluer. Elle dépend en effet, au-delà des disparités de températures inter-régionales particulièrement significatives l'été, de nombreux paramètres socio-économiques (démographie, fréquentation touristique, activité économique) et de la qualité du bâti vis à vis du stress thermique.

4 La vulnérabilité énergétique du Grand Ouest au changement climatique

Ce qu'il faut retenir

La **vulnérabilité énergétique** actuelle du Grand Ouest **en relation avec les évènements climatiques extrêmes** est **moyenne** et en cours de réduction pour ce qui concerne la vulnérabilité des réseaux aux tempêtes. La vulnérabilité aux autres risques naturels, y compris à la hausse des températures, est incertaine.
L'évolution de cette vulnérabilité est difficile à évaluer car elle dépend de nombreux facteurs non climatiques conditionnant l'offre énergétique (en relation avec le mix énergétique futur) et la demande (socio-économique, adaptation du bâti, etc.).

Comme l'ont démontré les récentes canicules, la vulnérabilité actuelle de la production d'électricité d'origine nucléaire aux canicules est relativement élevée et pourrait augmenter en l'absence de mesures d'adaptation d'ordre technologique (des recherches sur de nouvelles technologies de refroidissement sont menées chez EDF) ou réglementaire (portant sur les températures de rejets).
La vulnérabilité des réseaux de transport et de distribution aux tempêtes est en cours de réduction via les travaux de sécurisation des lignes engagés par RTE et ERDF, dans un contexte d'incertitude sur l'évolution des régimes de tempêtes. Il n'en demeure pas moins que ces réseaux restent vulnérables aux inondations et aux feux de forêts.

La sécurisation du réseau électrique face aux événements extrêmes[85]

Depuis la tempête Klaus de 1999, ERDF et RTE ont lancé des programmes de sécurisation à horizon 2020 pour résister à un niveau de tempête équivalent à celui de 1999 pour les lignes, être capable de réalimenter sous 5 jours et sécuriser les postes électriques dans le cadre des PPRI des communes. Dans son rapport « Sécurisation des réseaux de distribution publique d'électricité: pour un plan ambitieux de relance des investissements sur les réseaux », la FNCCR (Fédération Nationale des Collectivités Concédants et Régies) chiffre entre autres un plan d'investissement pour sécuriser les ouvrages de ERDF évalué à 10 milliards € sur 10 ans pour atteindre un taux d'enfouissement de 50%. D'ici 2017, RTE compte ainsi sécuriser près de 45 000 km de lignes aériennes. Le risque de tempête reste la motivation principale de ces programmes ; les risques futurs d'inondation, incendie et submersion ne semblent pas formellement pris en compte pour l'instant.

La vulnérabilité actuelle du Grand Ouest à un pic de demande hivernal concerne surtout la Bretagne, dont le réseau de transport à haute tension est en cours de renforcement[86].

[85] Source : étude MEDCIE Grand Sud-Est - phase 3, 2011.
[86] RTE rapport 2007.

Quant à la vulnérabilité énergétique future du Grand Ouest face à un pic de consommation estival (notamment en période caniculaire, elle semble difficile à évaluer en raison de l'absence de données à l'échelle inter-régionale. La réduction de cette vulnérabilité potentielle nécessitera de prendre plusieurs types de mesures d'adaptation :

- Des mesures visant à limiter l'augmentation de la demande électrique estivale : valorisation d'un urbanisme et d'un cadre bâti mieux adaptés à la future hausse des températures moyennes estivales, sensibilisation des populations aux économies d'énergie, etc. ; autant de mesures par ailleurs positives en termes d'atténuation ;
- Des mesures visant à réduire la vulnérabilité de la production énergétique et sa dépendance aux ressources en eau, via notamment le développement des énergies renouvelables et des réseaux intelligents (Smart Grid), afin de sécuriser l'approvisionnement.
- Des mesures visant à réduire la vulnérabilité intrinsèque des énergies renouvelables au changement climatique, vulnérabilité qui reste encore à préciser.

5 Tableau de synthèse thématique

Impact	*Territoires cohérents les plus concernés*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Évaluation de la vulnérabilité*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité future*	*Capacité d'adaptation*
Impact des canicules sur la production d'énergie nucléaire	Vallée de la Loire	Moyenne	Élevée	Actuelle : moyenne ; Future : élevée.	Élevée	-Technologie de refroidissement ; -Mesures organisationnelles.	Travaux de recherche en cours chez EDF
Impact des tempêtes sur le transport d'électricité	Arrière-pays breton et vendéen Littoral au nord de le Loire	Moyenne	Moyenne à élevée	Actuelle : moyenne à élevée ; Future : Incertaine.	Incertaine	-Sécurisation des lignes.	Investissements en cours chez RTE et ERDF
Impact des feux de forêt et des inondations sur le transport d'électricité	Vallée de la Loire Sud de la région Centre	Faible	Faible	Actuelle : faible ; Future : moyenne à élevée.	Incertaine	-Sécurisation des lignes vis à vis de ces événements.	
Impact du changement climatique sur les énergies renouvelables	Beauce Littoral au nord de la Loire	Non évaluée	Non évaluée (sauf biomasse)	Non évaluée	Incertaine	-Mise en œuvre des réseaux intelligents pour gérer les pointes ; -Évolution des technologies et prise en compte de l'impact potentiel des événements extrêmes.	Moyenne à élevée

Diminution de la demande hivernale	Sud de la région Centre Beauce	Exposition future moyenne	À évaluer	À évaluer	Moyenne à élevée	-Urbanisation et qualité du bâti vis à vis du froid ; -Évolution démographique ; -Sensibilité du mix énergétique.	Moyenne
Augmentation de la demande estivale	Vallée de la Loire Sud de la région centre Beauce Littoral au sud de la Loire	Exposition future élevée	À évaluer	À évaluer	Élevée	-Urbanisation et qualité thermique du bâti (réglementation thermique) ; -Évolution démographique ; -Sensibilité du mix énergétique	Moyenne

VULNÉRABILITÉ DU CADRE BÂTI ET DES INFRASTRUCTURES AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

1 La vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux canicules

1.1 Une vulnérabilité élevée du bâti aux canicules

Ce qu'il faut retenir

L'exposition du bâti aux fortes chaleurs pourrait **augmenter** avec le changement climatique, en raison de l'augmentation des températures moyennes, ainsi que de la fréquence et de l'intensité des épisodes de canicule. Ceci pourrait augmenter l'exposition des grandes villes du Grand Ouest aux **effets d'îlots de chaleur urbains** et renforcer le risque d'inconfort thermique.

En l'absence de mesures d'adaptation, la **vulnérabilité du bâti – aujourd'hui moyenne – pourrait augmenter dans le Grand Ouest,** avec des conséquences sur la **qualité de vie** (baisse du confort thermique) et la **sécurité sanitaire** des populations. **La longue durée de vie des bâtiments** demande une **prise en compte** de cette augmentation des températures dans leur conception ou leur rénovation thermique. Il s'agit notamment de développer une nouvelle approche de la construction fondée sur la notion de « bioclimatisme ».
Cependant, cette question devra se traiter dans le cadre plus large de la **planification des aménagements urbains qui devra rapidement intégrer les effets du changement climatique** sur le confort thermique et rechercher l'amélioration de la climatologie urbaine (albédo, morphologie urbaine, nature en ville).

1.1.1 Éléments de cadrage

Directement soumis aux aléas climatiques, le cadre bâti a pour fonction d'assurer la protection des personnes et de leurs biens. Face à la modification des conditions climatiques, les normes et pratiques de construction et de rénovation devront évoluer, afin d'assurer le confort thermique des populations face à l'augmentation des températures moyennes et des épisodes de canicule.

En effet, la canicule de 2003 a permis de montrer les limites d'une adaptation spontanée dans le domaine du bâtiment : la hausse du recours à la climatisation observée est incompatible, d'une part, avec les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et, d'autre part, avec la diminution des capacités de production d'énergie en été lors de ces épisodes extrêmes (voir chapitre « Energie »).

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la vulnérabilité du bâti au changement climatique dans le Grand Ouest.

1.1.2 Une exposition et une sensibilité inter-régionale contrastées

1.1.2.1 Une exposition accrue aux canicules[87]

Les épisodes de canicule sont des phénomènes climatiques extrêmes et se caractérisent par deux éléments principaux :

- Des températures particulièrement élevées durant plusieurs jours ;
- Une faible amplitude thermique entre le jour et la nuit.

Néanmoins, on notera qu'il n'existe pas de définition type de ce phénomène, qui dépend étroitement de la sensibilité des populations aux vagues de chaleur. Selon Météo-France, il existe un risque de canicule lorsque les températures nocturnes ne s'abaissent pas en deçà de 20°C et que les températures diurnes maximales dépassent les 33°C, durant au moins 72 heures.

Les projections réalisées par Météo-France sur la base des scénarios du GIEC indiquent toutes, quel que soit le scénario, une augmentation des températures moyennes estivales plus importante que celle des températures hivernales. Cette augmentation touche davantage la vallée de la Loire, la Vendée et la région Centre. À 2030, cette augmentation s'échelonnerait entre 1 et 2°C selon les zones quel que soit le scénario, puis atteindrait plus de 3°C en 2050 pour le scénario A2. À l'horizon 2080, selon ce même scénario, l'augmentation pourrait atteindre plus de 5°C en région Centre.

L'évolution du nombre de jours de canicule sur les trente dernières années indique également une exposition accrue de la vallée de la Loire, de la Vendée et de la région Centre. Quel que soit le scénario, cette exposition augmente sur tout le territoire au cours du XXIème siècle. Des températures plus faibles peuvent toutefois être ressenties comme caniculaires dans le nord Finistère, où la moyenne estivale des températures ne dépasse pas 16°C[88].

L'exposition aux épisodes de canicules, dans le contexte du changement climatique, devrait donc s'aggraver dans les territoires déjà exposés, et ce dès 2030, à savoir : la vallée de la Loire, la région Centre et la Vendée.

En Bretagne et au nord des Pays de la Loire, l'augmentation de l'exposition ne paraît pas significative avant 2050 pour les scénarios A1B et A2 ; pas avant 2080 selon le scénario le plus optimiste (B1). Toutefois, il convient de

[87] Voir le rapport d'analyse des simulations climatiques de Météo-France.
[88] Voir le rapport d'analyse des simulations de Météo-France.

nuancer cette analyse au regard du retour d'expérience de la canicule de 2003, en particulier pour le département de la Sarthe. Le Mans a par exemple été l'une des villes françaises les plus touchées par cet évènement extrême (en termes de surmortalité liée à la canicule).

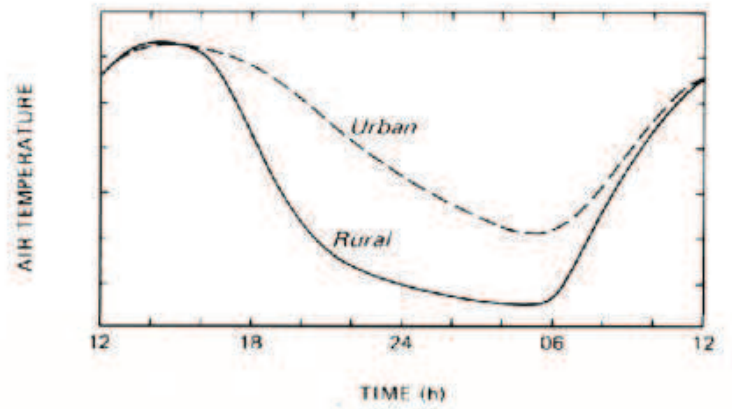
1.1.2.2 Une exposition amplifiée par le phénomène des Îlots de chaleur urbain

L'exposition à la canicule dépend donc de la situation géographique des populations.

Elle dépend également de l'aménagement de l'espace qui permet d'atténuer, ou au contraire d'aggraver le phénomène. La minéralisation des espaces urbains, le fonctionnement des appareils ménagers et de production de froid (climatiseurs) et l'activité économique en général (industrie, transport, etc.) favorisent ainsi l'accumulation de la chaleur diurne et sa restitution nocturne, conduisant à une réduction notable de l'amplitude thermique journalière. On parle de l'Effet Îlot de Chaleur Urbain (EICU).

Les espaces urbains présentent donc une exposition plus élevée que le reste du territoire à la canicule, l'exposition s'accroissant globalement avec la densité urbaine. La faiblesse des espaces végétalisés en ville limite en effet fortement le rafraîchissement nocturne lié à l'évapotranspiration des végétaux. Comme le montre la Figure 1, l'aggravation de l'exposition à la canicule liée aux EICU est moins liée à des températures plus élevées en milieu urbain qu'à une amplitude thermique plus faible.

FIGURE 50 EVOLUTION DES TEMPÉRATURES JOURNALIÈRES SELON L'OCCUPATION DU SOL (SOURCE : CNRM)



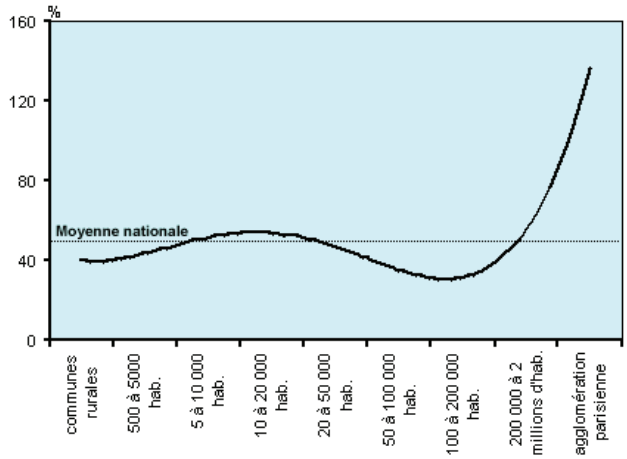
Dans le Grand Ouest comme ailleurs, les villes présentent donc une exposition plus forte que les espaces ruraux, particulièrement dans la vallée de la Loire, en Vendée et en région Centre, où les températures estivales moyennes sont d'ores et déjà élevées.

TABLEAU 22 - LA CANICULE DE 2003 DANS LES VILLES DES RÉGIONS BRETAGNE ET PAYS DE LA LOIRE

	Nb / jours sup à 30°C	Nb / jours sup à 35°C	Remarques
Le Mans	23	12	taux supérieur à 35° C du 2 au 12 août
Rennes	19	7	dont 6 jours à plus de 35° C du 4 au 10 août
Brest	4	1	
Nantes	21	8	dont 6 jours à plus de 35° C du 4 au 10 août
Caen	10	5	concentrés du 5 au 12 août

Toutefois, comme le souligne Jean-Pierre Besancenot quant au retour d'expérience de la canicule de 2003, l'aggravation de la surmortalité liée au phénomène d'îlot de chaleur urbain est très nette à partir du seuil de 200 000 habitants, avec un effet exponentiel (voir Figure 2)

FIGURE 51- LA SURMORTALITÉ (%) EN FONCTION DE LA TAILLE DE LA POPULATION COMMUNALE DURANT LA CANICULE DE 2003 (SOURCE : JEAN-PIERRE BESANCENOT)[89]



Dans le Grand Ouest, seules les villes de Nantes et Rennes seraient donc directement concernées par une aggravation de la surmortalité liée aux EICU. On notera sur la Figure 38 qu'entre 50 000 et 100 000 habitants, les villes présentent une surmortalité moindre que la moyenne nationale, ce qui peut s'expliquer par un accès facilité aux services de soins par rapport au milieu rural. Par ailleurs, si la sensibilité est importante dans les grandes villes, elle s'accroît quand on s'éloigne des côtes et du vent.

1.1.2.3 Un parc immobilier sensible aux canicules

Ces dernières années, la résistance aux températures élevées de différents types de bâtiments a été étudiée. Cette analyse a notamment permis de démontrer l'effet bénéfique des modes d'habitat traditionnels dans la lutte contre les risques associés aux canicules. En France, il est probable que les bâtiments construits entre 1950 et 1975 (date de la première Réglementation thermique) soient les plus sensibles au froid et à la chaleur.

Le retour d'expérience de la canicule de 2003 fournit des informations intéressantes quant à la résistance des différents types de bâtiments aux extrêmes de températures. Ainsi, on a constaté que :

- Les maisons anciennes, construites avec des murs épais, ont davantage résisté aux fortes chaleurs ;
- Les effets de la canicule ont été moindres dans le Sud de la France, grâce aux équipements spécifiques des habitations (tels que les volets à jalousie) ;
- Les bâtiments (résidentiels et tertiaires) caractérisés par d'importantes surfaces vitrées exposées ont connu des températures particulièrement élevées[90] ;

[89] Besancenot, *Une vague de chaleur meurtrière : les enseignements de l'été 2003 en France*, 2004 (http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/breves/2004/6.htm).
[90] ONERC, 2010 Villes et adaptation au changement climatique

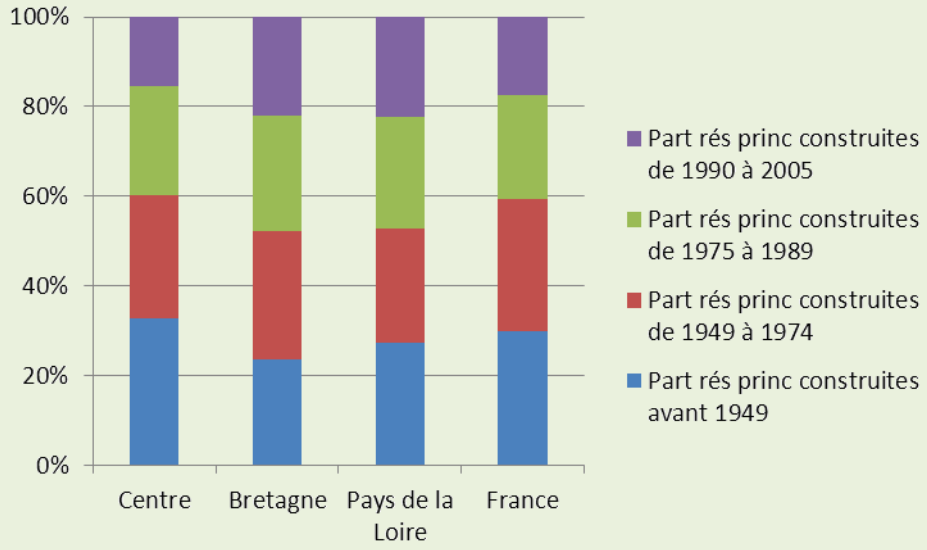
- La surmortalité a été plus élevée dans les étages supérieurs des immeubles, en raison principalement de la mauvaise isolation des toitures, qui favorise la pénétration des apports caloriques du rayonnement solaire direct[91].

Le diagramme ci-après dresse un bilan du bâti résidentiel dans le Grand Ouest en fonction des périodes de construction. Ce bilan nous renseigne sur la forte sensibilité globale aux extrêmes de température.

L'ancienneté du bâti dans le Grand Ouest

Le bâti ancien (construit avant 1949) a souvent une qualité thermique plus élevée que les standards actuels de construction, en particulier en matière de confort d'été. Dans le Grand Ouest, la part des résidences principales construites avant 1949 est supérieure au ratio national en région Centre mais inférieure en Bretagne et Pays de la Loire. En tenant compte de ce paramètre, le bâti résidentiel est plus sensible dans le Grand Ouest qu'à l'échelle nationale.

FIGURE 52 - ANCIENNETÉ DES RÉSIDENCES PRINCIPALES CONSTRUITES AVANT 2005 DANS LES RÉGIONS DU GRAND OUEST ET À L'ÉCHELLE NATIONALE (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LES DONNÉES INSEE 2006)



Source : Artelia outil CLE-BAT, d'après les données INSEE 2006, 2012.

Au-delà de cette analyse statistique, la forte sensibilité du bâti aux épisodes caniculaires s'explique pour le Grand Ouest, par une faible exposition passée à ce type d'évènements, comparativement à d'autres régions françaises, comme celles du Grand Sud Est.

[91] AFSSET, 2004. Impacts sanitaires des installations en climatisation. Contribution au Plan Canicule.

La « culture de la chaleur » reste peu développée. Côté offre, la formation des professionnels du bâtiment à la qualité thermique estivale du bâti est encore peu développée, à l'instar de leur sensibilisation aux impacts et à l'adaptation au changement climatique. De même, la demande sur ce point est encore relativement faible.

1.1.2.4 Un urbanisme favorisant les IECU

L'impact des fortes chaleurs sur le confort thermique dépend certes des caractéristiques du bâti mais aussi largement de la morphologie et des aménagements urbains.

De manière simplifiée, au-delà des données climatiques, les principaux facteurs influençant la climatologie urbaine sont :

- le degré de concentration des activités économiques et industrielles ou le degré d'urbanisation : les effets sont plus importants sur une zone urbaine importante et dense ;
- l'albédo des surfaces (toits, murs et voiries) : il peut contribuer ou non à augmenter le stockage de la chaleur. En effet, si la ville stocke plus de chaleur que la campagne, c'est principalement lié aux propriétés des matériaux qui composent les bâtiments, les voies de circulations et les infrastructures92.
- la morphologie urbaine (orientation des rues et des bâtiments, présence de canyons urbains) : elle peut favoriser ou non la ventilation de la ville ;
- la présence de la nature (espaces verts et de végétation, circulation de l'eau) : elle participe en effet au rafraîchissement.

1.1.3 Une vulnérabilité actuelle du bâti moyenne

En l'absence de mesures d'adaptation, la vulnérabilité du bâti aux canicules, aujourd'hui moyenne, va augmenter dans le Grand Ouest avec des conséquences sur la qualité de vie (inconfort thermique) et la sécurité sanitaire des populations (voir le chapitre consacré à la santé).

L'un des enjeux principaux consiste à améliorer la performance énergétique du bâti, en vue en particulier d'améliorer le confort d'été. En effet, si la notion de performance énergétique s'impose progressivement dans les normes de construction et de rénovation (formalisation de critères de performance dans le cadre de la réglementation thermique notamment), la notion de confort d'été en relation avec le changement climatique est en pratique peu prise en compte, y compris sur les constructions nouvelles dites « exemplaires », ainsi que le démontre l'étude menée par l'ADEME Languedoc-Roussillon (voir encadré ci-après). La réglementation thermique de 2012 devrait cependant permettre de mieux prendre en compte cette question avec l'introduction d'un coefficient de besoin bioclimatique (BBIO) (*« l'introduction d'une exigence **d'efficacité énergétique minimale du bâti** pour le chauffage, le **refroidissement** et l'éclairage artificiel. Cette exigence prendra en compte l'isolation thermique et permettra de promouvoir la **conception bioclimatique** d'un bâtiment»*[93]*)*

[92] IAU, 2010, les îlots de chaleur urbains, répertoire des fiches de connaissance.

[93] http://www.plan-batiment.legrenelle-environnement.fr/index.php/actualites-du-plan/grands-dossiers/121-comprendre-la-reglementation-thermique-2012#principes

Des bâtiments BBC mis en défaut vis à vis du confort estival

En 2009, la direction régionale Languedoc-Roussillon de l'ADEME a commandé une étude visant à évaluer le comportement thermique de 10 bâtiments actuellement retenus (de nature et de localisation différentes) dans le cadre des appels à projets « Bâtiments Basse Consommation d'énergie - BBC », dans les conditions climatiques attendues pour 2030 et 2050 afin d'interroger la pertinence des choix techniques basés initialement sur la performance des bâtiments du point de vue des consommations énergétiques, en particulier hivernales, pour affronter les défis climatiques à venir.

Les résultats sont les suivants :

En situation climatique moyenne actuelle, neuf projets sur les dix étudiés présentent un très bon niveau de confort estival. Une bonne isolation, caractéristique des bâtiments BBC, n'est donc pas incompatible avec un niveau acceptable de confort d'été. Pour cela il faut impérativement l'associer à de bonnes protections solaires et des modalités de décharge thermique nocturne.

Dès 2030 cependant, il n'y en a plus que cinq qui auraient un inconfort acceptable. Deux présenteraient un inconfort modéré (entre 50 et 100 heures avec des températures intérieures supérieures à 28 °C) et trois un inconfort significatif (>100 heures). En 2050, seuls deux projets garantiraient une durée d'inconfort inférieure à 100 heures.

Avec ce type d'approche comparative, on constate que les performances de certains types de bâtiment se dégradent plus ou moins fortement en réponse à une accentuation des contraintes climatiques. Ainsi, les bâtiments présentant des configurations techniques moins adaptées atteignent rapidement leur limite et l'épisode caniculaire de 2003 aurait été notablement ressenti dans tous les bâtiments résidentiels, avec des durées d'inconfort importantes, proches de celles estimées pour 2050. Seules les deux rénovations arrivent à les contenir dans des limites inférieures à 200 heures.

Des améliorations constructives du bâti permettent de limiter la durée de ces périodes d'inconfort, toujours dans la mesure où sont respectés tous les principes de base de la construction basse consommation (orientation favorable du bâtiment, protection solaire, ventilation nocturne, apports internes maîtrisés, ...). Elles concernent en particulier :

- le renforcement de l'inertie de la toiture, des parois extérieures et des cloisons intérieures,
- le renforcement de l'isolation, en privilégiant l'isolation par l'extérieur,
- une construction sur terre-plein plutôt que sur vide sanitaire,
- l'utilisation d'équipements performants gérés de façon optimale.

Source : ADEME Languedoc-Roussillon, 2010. Évaluation du comportement des bâtiments BBC dans les conditions climatiques prévues à l'échéance 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon

1.1.4 Vers une augmentation de la vulnérabilité aux IECU ?

La hausse des températures et du nombre de jours caniculaires se trouvera donc aggravée en milieu urbain dense par l'EICU, en particulier à Nantes et à Rennes, où la densité de bâti et de population est déjà significative. L'évolution des formes urbaines apparaît comme un facteur déterminant de la vulnérabilité future à la canicule en milieu urbain.

Par ailleurs, les villes bretonnes et des Pays de la Loire disposent d'une forte attractivité démographique. En l'absence d'une planification urbaine tenant compte des effets du changement climatique, l'EICU devrait se trouver renforcé et démultiplié, avec la croissance des agglomérations et une adaptation spontanée potentiellement contre-productive (installation massive de climatiseurs par exemple).

La lutte contre les îlots de chaleur

Exemple : le programme de recherche VEGDUD (Institut de Recherche Sciences et Techniques de la Ville[94]

La question des îlots de chaleur urbains fait l'objet d'un programme de recherche financé par l'Agence Nationale de Recherche (2010-2013) : VEGDUD (Végétation pour un Développement Urbain Durable). L'objectif de ce projet, qui a pour terrain d'expérimentation la Communauté urbaine Nantes Métropole – est de qualifier et quantifier l'impact du végétal sur la réduction des ICU (îlots de fraîcheur). La végétalisation des espaces urbains favorise en effet la réduction des températures nocturnes en période estivale, en créant des « îlots de fraîcheurs ».

« De nos jours, l'étalement urbain est porteur de nuisances : l'augmentation des surfaces artificielles au détriment des surfaces naturelles a des conséquences sur la qualité de l'environnement urbain (îlot de chaleur urbain, pollution, …) mais aussi sur les dépenses énergétiques. Cependant, avec l'augmentation de la population urbaine, il est nécessaire de trouver des compromis. Dans le projet VEgDUD, nous étudions la végétation comme une des solutions possibles au développement durable des villes. Cette étude se décline en domaines de questions sur les rôles climatiques, énergétiques et ambiantaux du végétal urbain. »[95]

[94] Source : entretien avec M. Joël Garreau, Direction Environnement, Energie et Risques de la Communauté Urbaine de Nantes Métropole, 2012.

[95] Résumé du projet, IRSTV (www.irstv.fr).

1.2 La vulnérabilité des infrastructures de transport aux canicules

Ce qu'il faut retenir…

La **vulnérabilité des infrastructures de transport** routier et ferroviaire aux épisodes de forte chaleur dans le Grand Ouest **pourrait augmenter** avec le changement climatique. La **durée de vie longue de ces infrastructures** impose la prise en compte dès aujourd'hui de ces paramètres de températures dans la conception et la maintenance de ces ouvrages.

1.2.1 Éléments de cadrage

La thématique des transports vis-à-vis du changement climatique est principalement traitée sous l'angle de l'atténuation, dans l'objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre, en développant notamment des solutions à échéances plus ou moins longues : engagement volontaire à la réduction de émissions de CO2, encouragement de solutions de mutualisation de transport, soutien des modes doux et de solutions alternatives à la route par fer et par mer et recherches et innovations (technologies informatiques et techniques.
La vulnérabilité des réseaux de transport urbains (tramway, métro, bus, etc.) et interurbains (routes, autoroutes, voies ferrées) est difficile à évaluer, cette thématique n'ayant pas fait l'objet jusqu'ici d'une littérature déclinée au niveau régional ou local.

Cependant, le CDC climat (filiale de la Caisse des Dépôts et Consignation en charge de la lutte contre le changement climatique) a réalisée en 2009 une étude[96] à l'échelle nationale sur la vulnérabilité des infrastructures de transport au changement climatique et les possibilités d'adaptation.
Outre l'inconfort thermique dans les véhicules de transport, l'élévation des températures est le paramètre climatique qui devrait avoir le plus de répercussions sur les infrastructures :

- **Sensibilité du réseau routier aux canicules** : les surfaces bitumées (routes, pistes aériennes, etc.), sensibles aux fortes chaleurs, pourraient montrer une usure plus rapide. Les fortes chaleurs combinées à l'intensité des flux provoquent en effet la dégradation de l'asphalte, la remontée du bitume à la surface de la chaussée (ressuage) et la formation d'ornières. Ces impacts, qui remettent en cause la fiabilité des infrastructures, accroissent la fréquence et les coûts des travaux d'entretien pour leur maintenance ; en l'absence de laquelle c'est la sécurité des usagers qui pourrait se trouver compromise. Il faut aussi noter l'augmentation du risque d'accidents de la route en cas de conditions extrêmes.
- **Sensibilité du réseau ferroviaire aux canicules :** les impacts de la chaleur sont très spécifiques. Il s'agit principalement d'une dilatation ou d'une déformation des rails, qui provoque des mouvements de voies. Cela se traduit par une baisse des vitesses d'exploitation voire une interruption partielle ou totale

[96] CDC Climat. Étude Climat numéro 18 : infrastructure de transport en France : vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation. 2009.

du service, selon l'ampleur du phénomène. Selon des études récentes, le type de rail utilisé pour la construction des lignes à grande vitesse (LGV) est moins sujet à ce type d'impact. Toutefois, sa robustesse aux températures extrêmes reste à évaluer plus précisément. Il faut aussi noter le risque accru de panne en cas d'incendie sur les abords des voies, de froid intense ou de fortes pluies en relation avec l'alimentation électrique des trains.

Impacts de la canicule de 2003 sur l'exploitation du réseau ferré

La canicule de 2003 a provoqué plusieurs interruptions dans l'exploitation normale des services de la SNCF en raison de la dilatation et de la déformation des rails, avec pour conséquences des retards fréquents et significatifs. Durant cette période, la régularité des trains s'est réduite à 77% (contre 85-87% pour la même période de 2001 et 2002). Au-delà des conséquences économiques, une telle situation a entraîné des pertes comprises entre 1 et 3 millions d'euros, découlant des remboursements en relation avec la garantie de ponctualité.

Source : Létard, 2004

A l'heure actuelle, la neige, le gel et les températures froides hivernales en général s'accompagnent de dégâts sur les infrastructures de transport, en particulier les surfaces bitumées. La chaussée a tendance à se fissurer sous l'action du gel à basse température et sous l'effet des gels et dégels successifs.

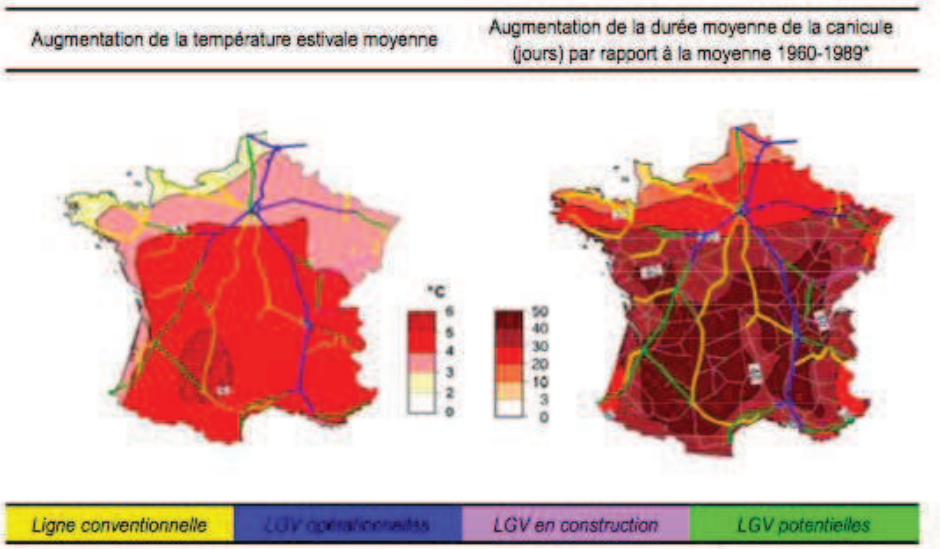
Au-delà des événements météorologiques violents, les évolutions des variables climatiques au quotidien auront également des impacts sur les infrastructures de transport. Celles-ci nécessiteront probablement une adaptation des matériaux et techniques, une maintenance plus fréquente des infrastructures, mais également des réflexions nouvelles sur la localisation des infrastructures.

1.2.2 Exposition des infrastructures de transport du Grand Ouest

Les cartes[97] ci-après représentent l'exposition future des réseaux routiers et ferroviaires au changement climatique. L'exposition des infrastructures de transport dans le Grand Ouest à l'augmentation des températures moyennes estivales et à l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des épisodes caniculaires, devrait globalement croître dans des proportions moindres que pour d'autres régions françaises.
Localement, les infrastructures situées en Vendée, dans la vallée de la Loire et au sud de la région Centre devraient être les plus exposées.

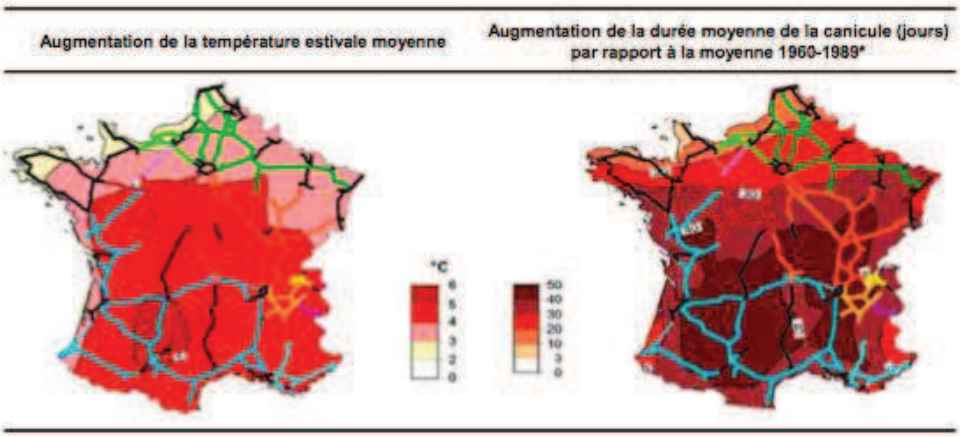
[97] Etude Climat numéro 18 : infrastructure de transport en France : vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation. 2009. CDC Climat

FIGURE 53 - EXPOSITION DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES ACTUELLES À L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES MOYENNES ESTIVALES ET DE LA DURÉE MOYENNE DE LA CANICULE PAR RAPPORT À LA MOYENNE 1960-1989, D'APRÈS LE SCÉNARIO A2 DU GIEC À L'HORIZON 2080 (CDC CLIMAT 2005 ; RFF 2009)



** Évolution de la durée moyenne de la canicule (nombre de jours par période dans laquelle, dans un intervalle d'au moins six jours consécutifs, la température dépasse de plus de 5 °C la moyenne 1960-1989 sur une fenêtre de cinq jours centrée sur le même jour calendaire) entre les décennies de 2100 et la période 1960-1989.*

FIGURE 54 - EXPOSITION DES PRINCIPALES AUTOROUTES ACTUELLES À L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES MOYENNES ESTIVALES ET DE LA DURÉE MOYENNE DE LA CANICULE PAR RAPPORT À LA MOYENNE 1960-1989, D'APRÈS LE SCÉNARIO A2 DU GIEC À L'HORIZON 2080 (SOURCE : CDC CLIMAT 2005, MEDDTL, 2009)



** Les différentes couleurs représentent les divers opérateurs concessionnaires exploitant les infrastructures, les tronçons noirs représentant les sections non concédées.*

*** Évolution de la durée moyenne de la canicule (nombre de jours par période dans laquelle, dans un intervalle d'au moins six jours consécutifs, la température dépasse de plus de 5 °C la moyenne 1960-1989 sur une fenêtre de cinq jours centrée sur le même jour calendaire) entre les décennies de 2100 et la période 1960-1989.*

1.2.3 Une évaluation difficile de la vulnérabilité régionale

Même si la vulnérabilité actuelle des réseaux de transport du Grand Ouest est limitée, leur exposition pourrait augmenter avec celle des températures moyennes et la multiplication des canicules. La mise en œuvre de mesures d'adaptation des infrastructures de transport est complexe, en raison des incertitudes des impacts spécifiques sur les réseaux au niveau local qui pourront faire l'objet d'études spécifiques.

Toujours est-il que la durée de vie longue de ces infrastructures (de 20 ans pour les routes à 50 ans pour les voies ferrées) impose la prise en compte dès aujourd'hui du changement climatique, que ce soit pour l'élaboration des normes et critères de construction nouveaux, ou pour les travaux de réhabilitation ou d'entretien.

Le Plan d'adaptation au changement climatique de la SNCF

La SNCF a mis en place son propre plan d'adaptation au changement climatique, en partenariat avec Météo-France et RFF. Les trois raisons avancées par cet acteur majeur du transport pour la réalisation de ce plan sont les suivantes :

-Les investissements de la SNCF sont réalisés sur le long terme : 60 ans pour les gare, 35 à 40 ans pour le matériel roulant et 100 ans pour les lignes ;

-La SNCF doit anticiper les risques, en intégrant notamment l'analyse de cycle de vie ;

-Il s'agit enfin de s'adapter à de nouvelles demandes de mobilités : évolution des destinations touristiques par exemple.

Source : conférence Agrion, intervention de M. Kaddouri, chefs de projets chargé des questions Climat Energie à la SNCF, 2012.

2 La vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux risques naturels

Le changement climatique devrait accroître l'exposition des infrastructures de transport et des ouvrages d'art (ponts, tunnels, etc.), aux risques naturels et à l'évolution des moyennes climatiques (précipitations et températures). Deux types d'impacts potentiels se distinguent :

- Les impacts directs, liés à la survenance d'événements extrêmes : inondations, glissements de terrain et coulées de boue et tempêtes. Comme évoqué dans le chapitre consacré aux risques naturels, l'évolution de ces événements est très incertaine dans le contexte du changement climatique ;
- Les impacts indirects relèvent, en l'absence de mesure d'adaptation des techniques de construction et des matériaux utilisés, d'une réduction possible de la durée de vie des infrastructures. Le risque de retrait gonflement des argiles, qui devrait s'accroître avec l'augmentation de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse, agit ainsi de façon différé, dégradant progressivement les infrastructures.

NB : le chapitre consacré aux risques naturels précise ce chapitre pour l'ensemble des enjeux exposés aux risques naturels dans le Grand Ouest. Dans un souci de synthèse et de cohérence, les paragraphes ci-dessous ne considèrent l'évolution des risques naturels dans le contexte du changement climatique qu'au regard de la vulnérabilité du bâti et des infrastructures.

2.1 Vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux impacts directs des risques naturels dans le contexte du changement climatique

La vulnérabilité du territoire du Grand Ouest aux risques d'inondation – à cinétique lente, à cinétique rapide ou par submersion marine – est décrite dans le chapitre consacré aux risques naturels. Concernant les infrastructures et le bâti, nous retiendront quelques points :

2.1.1 Une vulnérabilité élevée dans la vallée de la Loire

La vallée de la Loire présente une vulnérabilité particulièrement élevée de ce point de vue. Elle porte en effet un réseau de villes relativement dense, structuré autour d'importantes infrastructures de transport. À titre d'exemple, les zones inondables de la vallée de la Loire accueille environ 400 000 personnes, un certain nombre de portions d'autoroute et de voies ferrées qui suivent son cours ou le franchissent et des ports fluviaux.
L'évolution de ce risque dans le contexte du changement climatique est très incertaine. Celle de la vulnérabilité du bâti et des infrastructures à ses impacts directs dépendra néanmoins pour beaucoup, d'une part, de l'évolution du nombre et de l'importance des enjeux dans les zones exposées et, d'autre part, des mesures d'adaptation éventuellement mises en place pour limiter cette vulnérabilité.

2.1.2 Une augmentation de l'exposition aux inondations à cinétique rapide et à ses phénomènes associés

L'exposition du bâti et des infrastructures au risque d'inondation à cinétique rapide et à leurs phénomènes associés (glissement de terrain et coulée de boue) pourrait augmenter avec l'accroissement des épisodes de fortes précipitations, en particulier en Bretagne. Dans ce cas de figure, la vulnérabilité des zones urbaines situées en fond de vallée devrait augmenter. L'évolution de la vulnérabilité des infrastructures de transport est plus incertaine. Elle pourrait notamment augmenter pour le réseau routier secondaire et, ponctuellement, pour le réseau ferré ;

2.1.3 Une vulnérabilité élevée aux inondations par submersion marine

2.1.3.1 Une vulnérabilité actuelle déjà élevée

La tempête Xynthia a révélé une forte vulnérabilité des infrastructures de transport et du bâti sur les côtes basses, en particulier en Vendée et dans l'estuaire de la Loire. L'urbanisation littorale sur le cordon dunaire et en arrière, dans les marais littoraux poldérisés, sont notamment particulièrement vulnérables.

Le tableau ci-après reprend une étude du CETMEF[98] réalisée en 2010 et recensant les enjeux situés sous la cote centennale. Il apparaît ainsi que près de 115 000 bâtiments et plus de 6000 kms d'infrastructures de transport sont d'ores et déjà exposés, en particulier sur le littoral des Pays de la Loire.

Territoire	Bâtiments		Infrastructures
	Nombre	Surface (ha)	Linéaire (km)
Ille-et-Vilaine	8879	268	990
Côtes d'Armor	3042	75	164
Finistère	10674	255	445
Morbihan	11309	255	560
Loire Atlantique	30396	800	1815
Vendée	50364	1096	2208
Bretagne	**33904**	**853**	2159
Pays de la Loire	**80760**	1896	4023
Grand Ouest	**114664**	**2749**	**6182**
France métropolitaine	383406	11332	22380
Part Grand Ouest/France	30%	24%	28%

Deux sous-ensembles se distinguent nettement :

- Le littoral au sud de la Loire et particulièrement en Vendée où l'urbanisation quasi-continue du littoral sableux, liée pour l'essentiel au développement du tourisme balnéaire, est particulièrement exposée. Afin de protéger le bâti et les infrastructures sur le cordon dunaire et en arrière, les collectivités ont investit – localement massivement – pour protéger leur littoral (construction d'épis, de digues, rechargement des plages, etc.) ;
- Les estuaires, fonds de baies, sur l'ensemble du littoral du Grand Ouest, sont particulièrement vulnérables à la submersion marine. C'est le cas par exemple de l'estuaire de la Loire (du Croisic à Donges), fortement urbanisé et qui comporte de nombreuses infrastructures portuaires et de transport. C'est également le cas de nombreux sites sur le littoral Sud de la Bretagne : abers et polders (Audierne) bretons, parfois urbanisés (Morlaix) et ports (Lorient, Brest), des abers, polders bretons et le Golfe du Morbihan.

[98] Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux, CETMEF, 2010.

Vulnérabilité des infrastructures portuaires du Grand Port Maritime de Nantes St Nazaire

Les principaux impacts climatiques observés, susceptibles de toucher les infrastructures ou l'activité portuaire sont :

- - Les tempêtes : submersion des voies de communication et endommagement potentiel des ouvrages. Par ailleurs, en cas d'événement extrême, les activités cessent afin notamment de ne pas exposer les personnes travaillant sur site. À ce jour, aucun dégât important n'a été à déplorer ;
- - La submersion des plus anciens quais, en particulier à St Nazaire, en cas de submersion marine. Les ouvrages construits avant la seconde moitié du XXème siècle ont été conçu pour résister à une surcote d'1m par rapport aux plus hautes eaux et présentent de ce fait une plus grande exposition à ce type d'événement que les ouvrages construits par la suite, qui tiennent compte d'une surcote de 2m.

L'élévation du niveau de la mer, dans le contexte du changement climatique, aurait donc deux impacts majeurs :

- - Une exposition importante des ouvrages construits avant la seconde moitié du XXème siècle. En cas d'élévation d'1m du niveau marin, les quais de Saint Nazaire seraient submergés à la moindre tempête en période de hautes eaux.
- - L'évacuation des eaux poserait également problème, à Nantes comme à Saint Nazaire

Source : Entretien avec M. Guérin et M. Lijour, du Grand Port Maritime de Nantes St Nazaire, 2012

2.1.3.2 Vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux inondations par submersion marine dans le contexte du changement climatique

La vulnérabilité future des infrastructures dépendra en premier lieu de l'ampleur de l'élévation du niveau de la mer. Pour la France, l'ONERC retient une hypothèse « optimiste » de 0,40m, une hypothèse « pessimiste » de 0,60m et une hypothèse dite « extrême » de 1m en 2100 par rapport à l'année 2000.

L'écart entre ces hypothèses révèle une forte incertitude quant à la vulnérabilité future du bâti et des infrastructures de transport au risque d'inondation par submersion marine dans le contexte du changement climatique.

Impacts de l'élévation du niveau de la mer sur les infrastructures portuaires

Si l'élévation n'est que de 20 ou 30 cm, il n'y aura pas d'impact significatif, mais si l'on atteint 1m, il faudra revoir en profondeur la conception des ouvrages et des infrastructures, ce qui demande de lourds investissements. Or, le déblocage de ces investissements demande plus de certitude quant aux impacts du changement climatique sur l'élévation du niveau de la mer.

Par ailleurs, à +2m, c'est toute l'organisation des infrastructures industrialo-portuaires qu'il faudra revoir, certaines zones classées SEVESO se trouvant exposées.

Source : Entretien avec M. Guérin et M. Lijour, du Grand Port Maritime de Nantes St Nazaire, 2012

Comme l'illustre l'encadré ci-avant, la notion de seuil est au cœur de la qualification de la vulnérabilité des infrastructures et des secteurs bâti exposés au risque d'inondation par submersion marine.

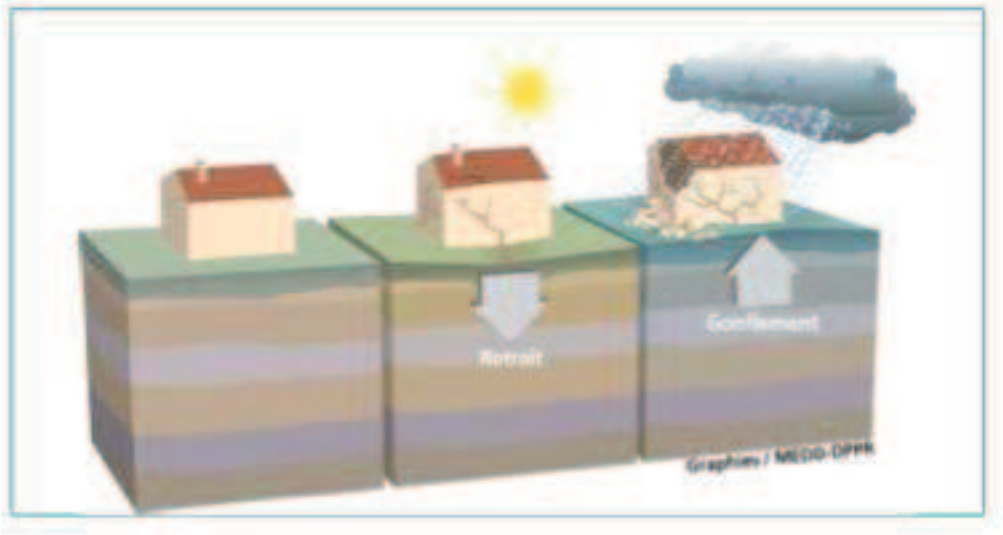
Sans qu'il soit possible de la quantifier, l'augmentation attendue du niveau de la mer pourra exercer de nouvelles pressions sur les infrastructures existantes, voire les menacer directement (certaines routes et voies ferrées sur le littoral, habitations situées en zones devenues à risque, infrastructures portuaires, etc.). Pour ce qui concerne les constructions de bâti ou d'infrastructures neufs, ces paramètres devront être pris en compte dans leur localisation géographique et leur conception afin de protéger ces nouveaux investissements. Pour ce qui concerne le réseau structurant des routes nationales en Bretagne, il est relativement protégé des submersions marines car en retrait des côtes.

À l'avenir, en l'absence de stratégie d'adaptation littorale incluant des mesures qui pouvant s'avérer radicales et aller jusqu'au retrait stratégique de certaines zones, le nombre d'infrastructures littorales exposées pourrait donc augmenter dans le Grand Ouest, en particulier sur le littoral vendéen, où la pression foncière liée au tourisme est particulièrement forte. Les outils de planification tels que les PPR littoraux ou les PAPI permettent de réduire partiellement cette vulnérabilité en encadrant l'urbanisation et le développement des enjeux dans les zones à risque, en s'appuyant sur une cartographie précise des zones exposés et des enjeux. La plupart d'entre eux tiennent aujourd'hui compte des impacts du changement climatique.

2.2 Vulnérabilité du bâti et des infrastructures aux impacts indirects des risques naturels dans le contexte du changement climatique : le cas du risque de retrait gonflement des argiles

Sous l'effet de la sécheresse, certaines argiles se rétractent de manière importante et l'alternance sécheresse-réhydratation entraîne alors localement des mouvements de terrain non uniformes pouvant aller jusqu'à provoquer la fissuration de certaines maisons individuelles, bâti industriel et installations (classées dont les installations de production d'énergie) lorsque leurs fondations sont peu profondes.

FIGURE 55 - L'IMPACT DU RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES SUR LE BÂTI (SOURCE : DDT DU VAL DE MARNE)



Dans le Grand Ouest, la région Centre et la vallée de la Loire jusqu'à Angers sont les territoires les plus exposés. L'augmentation de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse dans le contexte du changement climatique devrait accroître la vulnérabilité de ces territoires.

Comme l'illustre le schéma ci-avant, l'impact de ce risque est souvent différé : la succession des épisodes de sécheresse et de précipitation fragilise peu à peu le bâti ou les infrastructures de transport.

Dans le contexte du changement climatique, la plus grande récurrence des épisodes de sécheresses estivales, associée à une stabilité ou une faible diminution des précipitations hivernales, devrait accroître ce risque, avec une dégradation plus rapide du bâti et des infrastructures dans les zones exposées.

3 Tableau de synthèse thématique

Impact	*Territoires cohérents les plus concernés*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Evaluation de la vulnérabilité*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité future*	*Capacité d'adaptation*
Inconfort thermique dans les logements	Littoral au sud de la Loire Vallée de la Loire Beauce Sud de la région Centre	Faible	Élevée	Moyenne	Élevée	Prise en compte du confort thermique dans le parc immobilier neuf et ancien Réduction des EICU dans le cadre des politiques urbaines	Bonne pour le neuf Moyenne pour l'ancien (problème du financement dans le cadre des programmes visant l'efficacité énergétique) Difficultés techniques d'allier confort thermique estival et hivernal
Dégradation des infrastructures de transport liées aux canicules	Vallée de la Loire Littoral au sud de la Loire	Faible	Moyenne	Moyenne	Élevée	Prise en compte de ce paramètre dans la conception ou l'entretien des réseaux de transport	Moyenne à élevée selon les ouvrages
Dégradation des infrastructures et des logements sous l'effet des crues à cinétique lente	Vallée de la Loire	Élevée	Élevée	Élevée	Incertaine	Évolution de l'occupation du sol en zone exposée ; Entretien des ouvrages de protection (digues, dispositif de régulation) ; Capacité à gérer une crise et de résilience.	

Dégradation des logements et infrastructures sous l'effet du RGA	Sud de la région Centre Vallée de la Loire	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée	Prise en compte dans les normes de construction (fondations) Zonage et suivi des zones soumises à aléa réalisé par le BRGM	Moyenne (sur l'ancien) à élevée (sur le neuf)
Dégradation des infrastructures et des logements sous l'effet des inondations par submersion	Littoral au sud de la Loire Littoral au nord de la Loire	Exposition moyenne a élevée selon les zones	Moyenne à élevée selon le niveau de montée du niveau de la mer	Moyenne à élevée selon les territoires	Élevée	Évolution de l'occupation du sol en zone exposée ; Entretien des ouvrages de protection (digues, dispositif de régulation)	Complexité de la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation littorale

VULNÉRABILITÉ DU TOURISME AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND OUEST

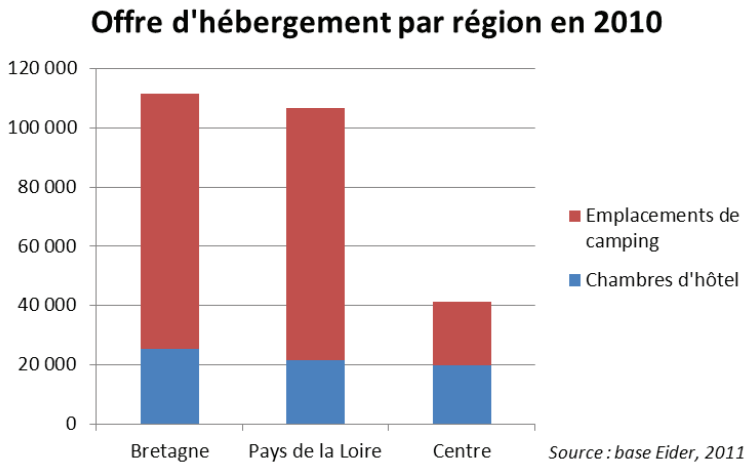
1 Le tourisme dans le Grand Ouest : éléments de contexte

Le Grand Ouest présente une offre touristique très diversifiée, liée à trois éléments principaux :

- D'importants contrastes géographiques, du littoral breton au marais poitevin, en passant par la vallée de la Loire et la Sologne ;
- Une identité et un patrimoine culturel riches : châteaux de la Loire, terroirs viticoles du Val de Loire, etc.
- De nombreux sites naturels remarquables : la Sologne, le Golfe du Morbihan, les littoraux breton et vendéen, le marais Poitevin, etc.

C'est en raison de ces trois éléments que le Grand Ouest concentre aujourd'hui près de 17% de l'offre d'hébergement touristique française, concentrés à plus de 80% dans les régions Bretagne et Pays de la Loire (voir Figure 56).

FIGURE 56 - OFFRE D'HÉBERGEMENT TOURISTIQUE DANS LE GRAND OUEST (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LA BASE EIDER).



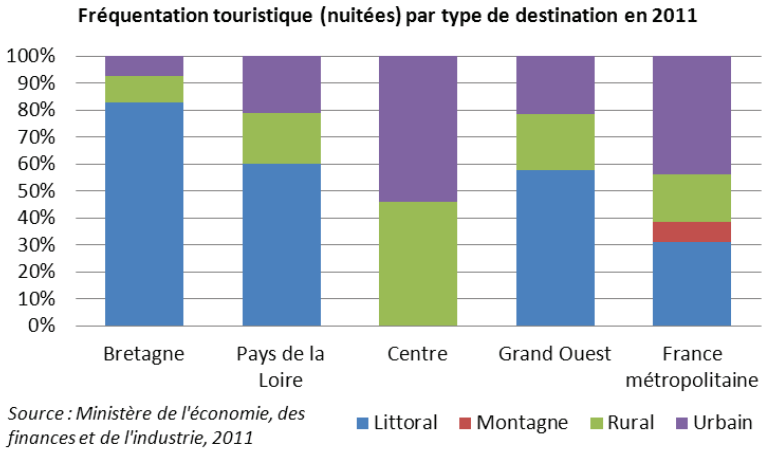
À l'échelle de l'inter-région, l'espace littoral représente près de 60% des nuitées, ce qui révèle la forte attractivité touristique des territoires littoraux du Grand Ouest. Cette attractivité s'explique par le tourisme balnéaire, mais également par le tourisme vert et patrimonial, lié à la fréquentation des nombreux sites naturels et patrimoniaux qui jalonnent les littoraux bretons et des Pays de la Loire, du marais Poitevin au sud à la baie du Mont St Michel au Nord.

Une enquête MORGOAT (Mise en Œuvre Régionale et Globale de l'Observation de l'Activité Touristique), réalisée en 2005 par le Comité Régional du Tourisme en Bretagne auprès des touristes dans la région a permis d'évaluer

les activités pratiquées par ces derniers au cours de leur séjour. Les quatre activités arrivant en tête témoignent de cette diversité de l'offre touristique :

- La balade (à pied ou en vélo) : 75,3 % ;
- Le tourisme balnéaire (plage/baignade) : 47,9% ;
- La visite de sites naturels : 40,6 % ;
- La visite de monuments ou de musées : 20,9 %.

FIGURE 57 - RÉPARTITION DES NUITÉES (HÔTELS ET CAMPINGS) PAR TYPE DE DESTINATION EN 2011 (SOURCE : ARTELIA, D'APRÈS LES DONNÉES DU MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE)



En région Centre et à l'intérieur des Pays de la Loire, l'essentiel des activités touristiques est tourné vers la vallée de la Loire. Là encore, il s'agit avant tout d'un tourisme vert et patrimonial : tourisme fluvial, Sologne, châteaux de la Loire, vignobles du Val de Loire.

Quelle que soit l'activité touristique, le climat apparaît comme un élément fondamental, déterminant l'attractivité des territoires et la qualité de l'offre touristique (accessibilité des ressources, sécurité des personnes, entretien des paysages, du patrimoine, etc.). Toutefois, à la vue des études accessibles, les liens entre les impacts du changement climatique d'une part, et l'évolution de l'attractivité et des pratiques touristiques d'autre part, est difficile à identifier et, *à fortiori*, à quantifier à l'échelle du Grand Ouest.

Ce chapitre s'appuie donc avant tout sur le résultat d'observations empiriques liées, en particulier, aux retours d'expérience de l'impact d'événements climatiques passés sur l'économie touristique (la canicule de 2003 ou la tempête Xynthia par exemple).

2 Vers un climat plus favorable au tourisme dans le Grand Ouest ?

Ce qu'il faut retenir…

Dans la perspective du changement climatique, **l'augmentation des températures moyennes et la réduction des précipitations en période estivale** apparaissent à première vue comme autant **d'opportunités pour l'activité touristique** dans le Grand Ouest, en particulier sur le littoral et l'ensemble de la région Bretagne.
L'inter-région pourrait en effet bénéficier d'une **redistribution des flux touristiques en été** liée à la dégradation du confort thermique estival sur le sud de la France et en particulier sur le littoral méditerranéen, ainsi que des opportunités pour le **tourisme d'intersaison**.

Lors des épisodes de canicule des étés 2003 et 2006, les littoraux du Grand Ouest ont bénéficié d'un accroissement notable[99] de la fréquentation touristique, en raison de conditions climatiques particulièrement favorables et du report de population touristique de la côte méditerranéenne vers la côte atlantique.

Ce phénomène, qui reste à l'heure actuelle temporaire, révèle l'opportunité que pourrait représenter le changement climatique pour l'activité touristique dans le Grand Ouest et en particulier en Bretagne. La hausse des températures moyennes et la réduction des précipitations estivales constitueraient en effet autant de facteurs très positifs pour l'attractivité touristique.

Au-delà de ce constat empirique, les recherches actuelles[100] s'appliquent à mieux définir les effets de l'évolution des paramètres climatiques (ensoleillement, précipitations, températures, etc.) sur les activités et l'attractivité touristiques des territoires. Des indices de confort climatique[101] ont ainsi été construits, permettant d'identifier les conditions climatiques propices au tourisme.

Ces indices permettent d'évaluer l'effet du changement climatique sur le tourisme, en intégrant l'évolution attendue des paramètres climatiques selon les différents scénarios définis par le GIEC. Le MEDDTL a réalisé une première étude sur le sujet en 2009 pour le tourisme estival (essentiellement balnéaire), en fonction des scénarios A1B et A2. Cet exercice a permis de dégager deux grandes tendances :

- Le changement climatique devrait se traduire par une diminution du confort thermique, particulièrement marquée pour les régions du sud de la France, mais généralisée à l'horizon 2100 à l'ensemble de la France et donc au Grand Ouest ;

[99] Source : Entretien réalisé auprès de M. Coedel, de la DIRECCTE Pays de la Loire.
[100] Brunet, 1970 ; Escourrou, 1993 ; Besancenot, 1989 ; Harlfinger, 1991 ; Becker, 1998 ; Morgan, Gatell et al., 2000
[101] Mieczkowski 1985 ; Matzarakis and De Freitas, 2001 ; Matzarakis, C.R. de Freitas et al., 2004

- Le confort thermique devrait s'accroître durant les intersaisons : mai-juin et septembre-octobre, avec de bonnes conditions climatiques au regard des attentes des touristes. Au regard des simulations climatiques de Météo-France, ce phénomène devrait davantage concerner le littoral au sud de la Loire que le littoral breton, où la hausse attendue des températures est moins marquée.

Dans ce contexte, le changement climatique pourrait se traduire par une redistribution des flux touristiques estivaux favorables aux littoraux et à l'arrière-pays breton et vendéen du Grand Ouest. Toutefois, ce report de l'attractivité touristique du sud de la France vers le nord ne saurait dépendre du seul facteur climatique :

- Saisir une telle opportunité représente un processus de long terme et lourd en termes d'investissement (développement d'activités nouvelles, mise à niveau des infrastructures d'accueil, de transport et de desserte, augmentation de la capacité d'accueil et des services attenants) que les acteurs économiques et les collectivités n'envisagent pas encore.[102]
- Le changement climatique pourrait avoir un impact négatif sur la qualité des paysages, la sensibilité aux risques naturels, ou encore la disponibilité des ressources en eau, autant de facteurs déterminants pour l'attractivité touristique d'un territoire qu'il est difficile d'évaluer à ce jour ;
- La hausse des températures se traduira ponctuellement par des épisodes de canicules plus fréquents et plus intenses, en particulier sur la côte vendéenne[103]. Or, la littérature sur les impacts du changement climatique sur le tourisme, ainsi que les retours d'expériences de 2003 et 2006, indiquent que l'inconfort thermique, accentué dans les zones urbaines denses des stations balnéaires, a un impact négatif sur le tourisme, malgré l'attrait évident des activités aquatiques en période de forte chaleur.

Si le changement climatique apparaît à court terme (2030) comme une opportunité pour l'économie touristique dans le Grand Ouest, il nécessite d'être pris en compte dès à présent par les acteurs dans leurs choix en termes d'investissement et d'aménagement, afin notamment d'éviter que cette opportunité se trouve annulée par les effets plus négatifs du changement climatique.

[102] Source : Entretien réalisé auprès de M. Coedel, de la DIRECCTE Pays de la Loire.
[103] Rapport d'analyse des simulations climatiques de Météo-France, Artelia, 2012.

3 Des effets plus négatifs sur les ressources et les infrastructures touristiques

Ce qu'il faut retenir…

En l'absence de mesures d'adaptation, les **opportunités liées au changement climatique pourraient se trouver contrebalancées, voire annulées**, par les impacts plus négatifs du changement climatique, aussi bien sur les **ressources** dont dépend le tourisme (biodiversité, plages, paysages, etc.) que sur les **infrastructures** elles-mêmes (cadre bâti, réseaux de transports, etc.).

Ces **impacts** sont susceptibles de toucher **tous les types de tourisme**, du balnéaire au tourisme vert et patrimonial et pour l'ensemble du Grand Ouest, du littoral breton au sud de la région Centre. Il apparaît cependant difficile à ce jour d'évaluer la part d'opportunité et de vulnérabilité de chaque type de tourisme et pour chaque territoire.

3.1 La vulnérabilité du tourisme balnéaire aux risques littoraux

3.1.1 L'érosion des plages

La plage constitue la ressource principale de l'activité touristique littorale au nord et au sud de la Loire. Comme évoqué dans le chapitre consacré aux risques naturels, bon nombre de ces plages sont affectées aujourd'hui par l'érosion, en raison de leur exposition à la houle et de la réduction des apports sédimentaires.

Pour y faire face, les communes littorales concernées – dont les activités économiques relèvent pour beaucoup du tourisme balnéaire – ont mis en place des stratégies de défense du trait de côte souvent lourdes et coûteuses : rechargement des plages, construction d'épis, de digues, de brise-lames, etc.

La lutte contre l'érosion des plages : quelques éléments de coût

Coût en investissement par type d'ouvrage ou de travaux de protection contre l'érosion :

- Digue frontale : 1 800 € HT/ml (mètre linéaire) ;
- Epi : 2 500 € HT/ml
- Brise-lames : entre 4 000 € HT/ml (émergé) et 6 200 € HT/ml (semi-immergé)
- Restauration dunaire : 75 € HT/ml ;
- Rechargement en sable : 7 à 14 € HT/m³.

Source : PNR de Camargue.

Dans la perspective du changement climatique, l'élévation du niveau de la mer devrait se traduire par un accroissement du phénomène d'érosion, auquel de nombreuses communes n'auront probablement pas les moyens techniques et financiers de faire face[104].

3.1.2 Le risque de submersion marine

Le corollaire du risque érosion, c'est le risque de submersion marine. L'érosion des cordons dunaires et des plages, associée aux tempêtes hivernales, se traduit par un risque accru de submersion, auquel sont exposés :

- Les infrastructures touristiques côtières : zones urbanisées des stations balnéaires, infrastructures de transport, commerces et infrastructures hôtelières, ports de plaisance etc. ;
- Les zones basses et marais arrières-littoraux, qui constituent des sites naturels non négligeables en termes d'attractivité touristique, que ce soit en Vendée (marais breton et poitevin) ou en Bretagne (îles du Golfe du Morbihan[105], etc.) ;

L'accentuation du risque d'érosion dans le contexte du changement climatique devrait accroître l'exposition de ces enjeux (infrastructures et sites naturels littoraux et arrières-littoraux) au risque de submersion lors des tempêtes hivernales, avec un impact sur les activités et l'économie touristiques. Au-delà de ce simple constat, il apparaît aujourd'hui difficile, au regard des données disponibles, d'évaluer plus finement et de quantifier les impacts sur l'activité touristique elle-même.

Retour d'expérience sur la fréquentation touristique après la tempête Xynthia

Ainsi, la tempête Xynthia a eu un impact non négligeable sur l'économie touristique, lié non seulement aux dommages directs causés aux infrastructures, mais aussi en termes d'image et d'attractivité. D'après les professionnels du tourisme, la forte médiatisation de la tempête aurait ainsi eu pour effet une baisse des effectifs touristiques durant l'été 2010, bien que la qualité de l'accueil des touristes ait été rétablie dès le début de la saison.

Source : Région Poitou Charentes, 2010

Cette hausse de la vulnérabilité du tourisme au risque de submersion n'est pas uniquement liée à l'évolution du climat. Elle dépend également – et pour beaucoup – des choix dans l'aménagement des territoires littoraux. L'urbanisation massive du littoral vendéen en érosion en est un exemple.

[104] Voir également à ce sujet la partie consacrée aux risques côtiers dans le chapitre risques naturels.
[105] Voir à ce propos les travaux du SIAGM et de l'Université de Brest (UMR AMURE) réalisés dans le cadre du projet européen IMCORE (se référer au chapitre risques naturels) et qui tiennent compte des impacts du changement climatique sur les activités touristiques.

Pour reprendre l'exemple de la tempête Xynthia, les dommages causés aux infrastructures touristiques ne sont pas liés au caractère exceptionnel de la tempête, mais aux choix d'aménagement dans des zones à risque, déjà confrontées par le passé à ce type d'événement, mais qui n'étaient auparavant pas urbanisées.

Un développement de l'urbanisation du littoral sans véritable régulation

La très forte pression liée au développement du tourisme balnéaire

La Vendée est le deuxième département touristique français par sa capacité d'hébergement dans les cantons littoraux, avec 660 000 lits en 2010, derrière le Var 865 000 lits, et devant les Alpes-Maritimes 656 000 lits (INSEE, 2010). La façade littorale départementale a enregistré la plus forte augmentation de la capacité d'hébergement touristique au niveau national entre 1990 et 2010, avec + 27,5 % du nombre de lits, loin devant les Alpes-Maritimes pourtant deuxième par son dynamisme, avec +23,9 % (+11,7 % pour l'ensemble du littoral français). Pourtant, en 1968, la Vendée n'est que le 6e département littoral français pour son parc de résidences secondaires avec 24 000 logements, alors que la Loire Atlantique est 3e avec 34 000 logements. En 2007, la Vendée est au 4e rang avec 108 000 logements et la Loire Atlantique 11e avec 70 510 (INSEE, 2007).

Au tournant des années 1970, le littoral vendéen entre dans une ère d'urbanisation massive. […]

… conjuguée à une activité agricole en perte de vitesse

Ce développement urbain s'est fait à la faveur d'une activité agricole en perte de vitesse. La reconversion du foncier a été bien accueillie dans nombre de communes. Entre 1970 et 1980, la surface agricole utilisée des communes littorales vendéennes s'est réduite de 5,1 %, contre 2,5 % pour l'ensemble du département, traduisant ainsi une agriculture du littoral "périmée", comparée au "modèle dominant de l'agriculture vendéenne productiviste" (Renard, 1983).

La déstructuration de l'agriculture traditionnelle des territoires littoraux vendéens a provoqué une rupture du lien étroit qui existait entre la rive du marais (contact dune-marais) et le marais lui-même (Chauvet, 1980). Alors que les espaces à bâtir étaient limités sur les longs cordons dunaires de ce littoral, le processus d'urbanisation s'est diffusé dans un premier temps sur la rive, pour connaître ensuite une diffusion aux terres des marais, topographiquement basses.[…]

… dans un contexte de régulation bien timide, le plus souvent exonérée de contraintes d'urbanisation

[…] En Vendée, le littoral est composé de longs cordons dunaires souvent plantés d'une forêt de pins maritimes et isolant de nombreux marais et zones humides rétro-littoraux. Il a été très vite saturé de constructions là où les dispositions étaient les meilleures, c'est-à-dire bien souvent au plus près de la mer. […]

La vulnérabilité de ces communes est liée à la difficulté de faire admettre un outil de régulation tenant compte des configurations géographiques et des secteurs sensibles.

Xynthia : leçons d'une catastrophe, Université de Nantes, UMR 6554 CNRS, 2011.

Comme évoqué dans le chapitre consacré aux risques naturels, l'impact possible du changement climatique sur les risques côtiers est aujourd'hui relativement bien connu. L'exposition des littoraux touristiques est donc bien connue. Elle est généralisée sur le littoral au Sud de la Loire (sableux Vendéen) et plus localisée à certaines zones sensibles du littoral au nord de la Loire. Néanmoins, peu d'éléments permettent d'évaluer la vulnérabilité des activités touristiques à ces impacts.

3.2 La problématique de l'eau

La part du tourisme dans la consommation d'eau du Grand Ouest est relativement modeste comparée à celle de l'agriculture ou de la production d'énergie. Toutefois, la demande en eau liée aux activités touristiques se concentre sur la période estivale, période à laquelle la pression sur les ressources est la plus forte (irrigation) et, dans beaucoup de cas, dans des territoires aux ressources limitées (en particulier sur le littoral).

Ainsi, comme évoqué dans le chapitre consacré aux ressources en eau, la pression estivale sur les ressources est déjà forte dans le sud de la Vendée et la plupart des îles qui présentent par ailleurs un déficit structurel en eau. Dans le contexte du changement climatique et en l'absence de mesures d'adaptation, ces pressions devraient s'aggraver dans les zones déjà touchées, et pourraient s'étendre à des territoires aujourd'hui moins concernés, en particulier en Bretagne. Les conséquences pour les activités touristiques seraient diverses :

- Restriction des usages récréatifs de l'eau : remplissage des piscines, arrosage des espaces verts et des golfs, etc.
- Dégradation de la qualité des eaux de baignades, à l'intérieur des terres, mais aussi sur le littoral, avec de possibles impacts sanitaires : la réduction des débits d'étiage des cours d'eau et l'augmentation des températures de surface pourraient se traduire par une aggravation du phénomène des algues vertes sur le littoral ;
- De façon plus générale, l'exacerbation des conflits d'usage entre les activités touristiques littorales et les autres usages de l'eau (en particulier agricoles) pourraient affecter ces activités, ainsi que l'image et l'attractivité des littoraux. En période de sécheresse, ce type de crispation s'observe déjà dans le sud de la Vendée et en Charente-Maritime, où les restrictions d'eau pour l'irrigation favorisent le ressentiment contre les activités touristiques littorales.

Là encore, les données actuelles ne permettent pas de distinguer clairement et de quantifier l'impact du changement climatique sur les activités touristiques en relation avec la réduction de la disponibilité des ressources en eau.

3.3 Les impacts du changement climatique sur le tourisme vert et patrimonial

3.3.1 Évolution de la biodiversité et des espaces naturels et paysages

L'attractivité touristique du Grand Ouest dépend pour beaucoup de la qualité de ses paysages et de ses sites naturels remarquables. Les différents impacts du changement climatique – hausse des températures moyennes annuelles et perturbation du régime annuel des précipitations, élévation du niveau de la mer, etc. – pourraient avoir un impact non négligeable sur ces paysages et sites.

Comme évoqué dans les chapitres consacrés à la forêt et à la biodiversité, le changement climatique devrait entraîner une évolution des aires de répartition des espèces végétales et animales et une modification des habitats naturels.

Ces impacts sur la biodiversité, les milieux et les paysages sont en eux-mêmes souvent très incertains. Les conséquences de ces évolutions sur le tourisme constituent un degré d'incertitude complémentaire. Au regard des enquêtes réalisées auprès des touristes à l'échelle nationale, bien que la beauté des paysages et des sites naturels soit identifiée comme un élément essentiel de l'attractivité touristique d'un territoire, il semblerait que le maintien de certaines activités soient prioritaires pour le choix des destinations : la baignade en particulier.[106] Toutefois, il est raisonnable de penser que le tourisme de la région Centre en particulier, mais également dans de nombreux territoires bretons et des Pays de la Loire, pourrait être affecté par une dégradation de la qualité des paysages et sites naturels.

3.3.2 Impact sur les ressources du terroir

Les terroirs, en particulier viticoles, constituent un facteur d'attractivité touristique non négligeable pour certains territoires, en particulier en vallée de la Loire. Avec le changement climatique, les activités touristiques directement liées aux cultures et produits de terroir pourraient être impactées.

Néanmoins, pour ce qui concerne le vignoble du Val de Loire, les perspectives d'évolution dans le contexte du changement climatique sont globalement positives. L'évolution des cépages et la remise en cause possible de certaines AOC de devraient pas particulièrement affecter les activités touristiques. Par ailleurs, de façon plus générale, il est probable que le tourisme dispose de larges capacités d'adaptation face à de telles perspectives d'évolution : diversification des activités, substitution des produits devenus rares ou disparus[107].

[106] *Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme*, TEC, 2006.
[107] TEC, 2006

4 Tableau de synthèse thématique

Remarque : l'évaluation de la vulnérabilité du secteur touristique aux impacts du changement climatique est particulièrement complexe. À l'incertitude liée aux impacts sur les territoires, ressources et infrastructures dont il dépend se surimpose l'incertitude liée à l'évaluation de la sensibilité future des populations touristiques.

Impact	*Territoire(s) cohérent(s) le(s) plus concerné(s)*	*Exposition actuelle*	*Sensibilité actuelle des enjeux*	*Évaluation de la vulnérabilité (ou de l'opportunité)*	*Probabilité d'occurrence de l'impact*	*Facteurs de vulnérabilité (ou d'opportunité) future*	*Capacité d'adaptation*
Des conditions estivales plus propices à l'activité touristique estivale et intersaison	Territoires littoraux Arrière-pays breton et vendéen	Faible	Moyenne	Actuelle : opportunité ponctuelle ; Future : opportunité élevée.	Élevée	-Développement de l'offre d'hébergement et des infrastructures ; -Choix d'aménagement urbain dans les stations balnéaires.	Moyenne (nécessite une planification et des investissements importants
Erosion des plages	Littoral au sud de la Loire Littoral au nord de la Loire (plus localisé)	Elevée	Moyenne à élevée	Actuelle : élevée ; Future : élevée.	Élevée	-Évolution de l'urbanisation sur le front de mer ; -Entretien des ouvrages de protection.	-Actions de sensibilisation des touristes pour limiter le piétinement des cordons dunaires. -Nouvelles techniques moins coûteuses de lutte contre l'érosion (drainage aux Sables d'Olonne par exemple).

Impact de la submersion marine sur l'attractivité touristique	Littoral au sud de la Loire Littoral au nord de la Loire (plus localisé)	Faible et Moyenne ponctuellement	Moyenne	Actuelle : moyenne ; Future : Incertaine.	Incertain	-Évolution de l'urbanisation sur le front de mer et de l'offre touristique; -Degré de sensibilisation des touristes aux risques côtiers et à l'évolution naturelle des sites remarquables.	-Dépendra des choix d'aménagement du littoral.
Impact de la réduction des ressources en eau sur les activités touristiques	Littoral au sud de la Loire ; Vallée de la Loire	Faible	Moyenne	Actuelle : faible ; Future : moyenne à élevée.	Incertain	-Évolution de la dépendance des activités touristiques à la ressource en eau ; -Évolution de la demande des autres usages de l'eau et des conflits d'usage.	-Dépendra de la sensibilisation des touristes à l'économie de la ressource.
Impact de l'évolution des paysages et des écosystèmes (liée au changement climatique) sur les activités touristiques	Arrière-pays breton et vendéen ; Vallée de la Loire Sud de la région Centre	Faible	Faible	Actuelle : faible ; Future : Incertaine.	Incertain	-Évolution des sites naturels et des paysages (adaptation ou dégradation de la qualité des sites) ; -Évolution de la demande touristique.	-Dépendra de la capacité à accompagner l'évolution des sites naturels dans le contexte du changement climatique et de la sensibilisation des touristes à cette évolution.

STRATÉGIE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND-OUEST

PARTIE 4 : LA VULNÉRABILITÉ DU GRAND OUEST AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR TERRITOIRE COHÉRENT

Table des matières de la partie 4

1 MÉTHODE DE CONSTRUCTION DES TERRITOIRES COHÉRENTS 246
2 LES TERRITOIRES COHÉRENTS 247
2.1 LE LITTORAL AU NORD DE LA LOIRE 248
2.1.1 ÉLÉMENTS DE CONTEXTE 248
2.1.2 LES SIMULATIONS CLIMATIQUES DE MÉTÉO-FRANCE 248
2.1.3 LES IMPACTS CLIMATIQUES DÉJÀ OBSERVÉS 249
2.1.4 LES PRINCIPAUX AXES DE LA VULNÉRABILITÉ DU LITTORAL AU NORD DE LA LOIRE AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 250
2.1.4.1 AXE CLÉ 1 : UN RISQUE ACCRU D'ÉROSION ET D'INONDATION PAR SUBMERSION 250
2.1.4.2 AXE CLÉ 2 : UN IMPACT ENCORE INCERTAIN SUR LA BIODIVERSITÉ MARINE ET LA PÊCHE 250
2.1.4.3 AXE CLÉ 3 : LE TOURISME, ENTRE OPPORTUNITÉ ET VULNÉRABILITÉ 251
2.2 LE LITTORAL AU SUD DE LA LOIRE 252
2.2.1 ÉLÉMENTS DE CONTEXTE 252
2.2.2 LES SIMULATIONS CLIMATIQUES DE MÉTÉO-FRANCE 252
2.2.3 LES IMPACTS CLIMATIQUES DÉJÀ OBSERVÉS 253
2.2.4 LES PRINCIPAUX AXES DE LA VULNÉRABILITÉ DU LITTORAL AU SUD DE LA LOIRE AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 254
2.2.4.1 AXE CLÉ 1 : ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN, ÉROSION LITTORALE ET SUBMERSION MARINE 254
2.2.4.2 AXE CLÉ 2 : LE TOURISME – UNE ATTRACTIVITÉ RENFORCÉE MAIS DES INFRASTRUCTURES ET DES RESSOURCES VULNÉRABLES 254
2.2.4.3 AXE CLÉ 3 : UN IMPACT ENCORE MAL CONNU SUR LES MILIEUX ET ÉCOSYSTÈMES LITTORAUX 255
2.3 L'ARRIÈRE-PAYS BRETON ET VENDÉEN 256
2.3.1 ÉLÉMENTS DE CONTEXTE 256
2.3.2 LES SIMULATIONS CLIMATIQUES DE MÉTÉO-FRANCE 256
2.3.3 LES IMPACTS CLIMATIQUES DÉJÀ OBSERVÉS 257
2.3.4 LES PRINCIPAUX AXES DE LA VULNÉRABILITÉ DE L'ARRIÈRE-PAYS BRETON ET VENDÉEN AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 258
2.3.4.1 AXE CLÉ 1 : UNE MENACE ACCRUE SUR LES ACTIVITÉS D'ÉLEVAGE 258
2.3.4.2 AXE CLÉ 2 : IRRIGATION, MILIEUX NATURELS, TOURISME ET EAU POTABLE – LA QUESTION DE L'EAU DANS L'ARRIÈRE-PAYS BRETON ET VENDÉEN 258
2.3.4.3 AXE CLÉ 3 : LA SÉCURISATION DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE 259
2.3.4.4 AXE CLÉ 4 : DES ESPACES FORESTIERS PEU ADAPTÉS DANS L'ARRIÈRE-PAYS BRETON 259
2.4 LA VALLÉE DE LA LOIRE ET DE SES AFFLUENTS 260
2.4.1 ÉLÉMENTS DE CONTEXTE 260
2.4.2 LES SIMULATIONS CLIMATIQUES DE MÉTÉO-FRANCE 260
2.4.3 LES IMPACTS CLIMATIQUES DÉJÀ OBSERVÉS 261
2.4.4 LES PRINCIPAUX AXES DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA VALLÉE DE LA LOIRE AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 262
2.4.4.1 AXE CLÉ 1 : RÉDUCTION DU DÉBIT D'ÉTIAGE, SÉCURITÉ DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET QUALITÉ DES MILIEUX AQUATIQUES 262
2.4.4.2 AXE CLÉ 2 : UN IMPACT ENCORE TRÈS INCERTAIN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉVOLUTION DES CRUES DE LA LOIRE 263
2.4.4.3 AXE CLÉ 3 : UN RÉSEAU DE VILLES EXPOSÉ 263
2.4.4.4 AXE CLÉ 4 : LES CULTURES SPÉCIALISÉES ET LES VIGNOBLES 263
2.5 LA BEAUCE 264
2.5.1 ÉLÉMENTS DE CONTEXTE 264

2.5.2 Les simulations climatiques de Météo-France 264
2.5.3 Les impacts climatiques déjà observés 265
2.5.4 Les principaux axes de la vulnérabilité de la Beauce aux impacts du changement climatique 266
2.5.4.1 Axe clé 1 : des tensions accrues sur la ressource en eau 266
2.5.4.2 Axe clé 2 : l'agriculture, entre opportunité et vulnérabilité 266
2.5.4.3 Axe clé 3 : des populations vulnérables soumises à la canicule et aux pics de pollution 267
2.6 Le sud de la région Centre 267
2.6.1 Éléments de contexte 267
2.6.2 Les simulations climatiques de Météo-France 268
2.6.3 Les impacts climatiques déjà observés 268
2.6.4 Les principaux axes de la vulnérabilité du sud de la région Centre aux impacts du changement climatique 269
2.6.4.1 Axe clé 1 : l'agriculture, entre augmentation des rendements et réduction de la disponibilité de la ressource en eau 269
2.6.4.2 Axe clé 2 : l'accroissement des risques sanitaires 269
2.6.4.3 Axe clé 3 : une vulnérabilité accrue au retrait-gonflement des argiles 270
2.6.4.4 Axe clé 4 : les impacts sur la forêt, entre vulnérabilité et opportunité 270

1 Méthode de construction des territoires cohérents

L'étude sur la vulnérabilité et l'adaptation du Grand Ouest au changement climatique concerne trois régions, elles-mêmes découpées en quinze départements.

Des données existent en termes de changement climatique, à l'échelle de ces différentes entités administratives. Toutefois, il apparaît que ces limites institutionnelles sont peu cohérentes en termes de fonctionnalité des territoires et apparaissent de ce fait peu pertinentes pour une analyse de leur vulnérabilité aux impacts du changement climatique. C'est pour cette raison que le cahier des charges de cette étude prévoit, en complément d'un diagnostic de vulnérabilité par thématique, de réaliser une synthèse de ce diagnostic par grande entité géographique homogène ou « territoires cohérents », permettant d'identifier des enjeux prioritaires à l'échelle inter-régionale. Il s'agit bien de conserver ainsi la dimension inter-régionale de l'étude.

Sur le plan méthodologique, la construction de ces territoires cohérents intervient suite au diagnostic de vulnérabilité réalisé par grandes thématiques sectorielles ou transversales. Cette construction s'articule en trois temps :

- **Prédéterminer de grands ensembles territoriaux**, en fonction de spécificités présentant une certaine cohérence : situation climatique (type de climat d'aujourd'hui et de demain), grands milieux naturels, activités phares, dynamisme économique et démographique, cohérence géographique de l'entité (il s'agit dans la mesure du possible de ne pas scinder en plusieurs entités un espace homogène) ;
- **Croiser ces grands ensembles avec les analyses thématiques et les réajuster en fonction**. À ce stade, l'objectif est en quelque sorte de « superposer » les vulnérabilités par thématique sur les ensembles pressentis du Grand Ouest (sans rechercher pour autant l'exhaustivité). Cette seconde étape permet de visualiser les principales vulnérabilités par grands ensembles territoriaux et notamment d'identifier les relations d'interdépendance entre les différents facteurs de vulnérabilité dans les territoires (voir le tableau correspondant en fin de document) ;
- Sur cette base, il devient possible d'**arrêter les limites de grands territoires**, cohérents sur le plan de leur vulnérabilité aux impacts du changement climatique et présentant de ce fait des enjeux prioritaires pour l'adaptation au changement climatique.

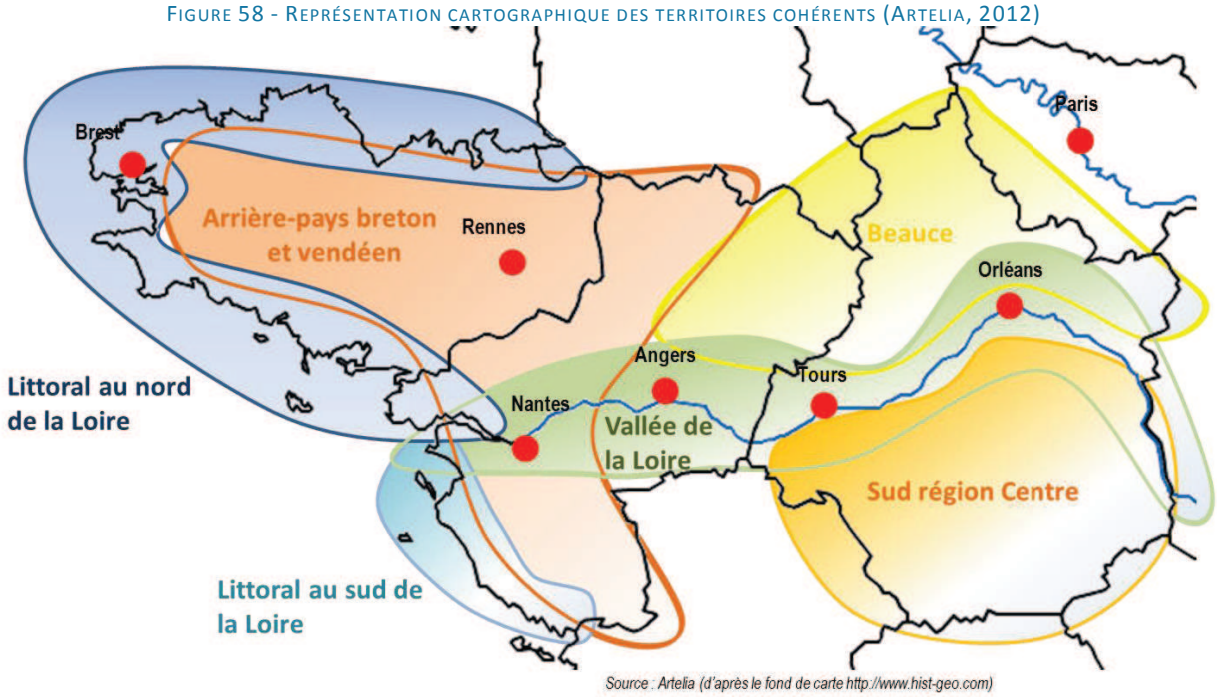
Les territoires ainsi obtenus ne sont donc pas homogènes sur tous les plans, mais présentent une cohérence globale sur les principaux « axes clés de vulnérabilité » les concernant. C'est pour cette raison que ces territoires se superposent parfois en partie.

2 Les territoires cohérents

L'analyse territoriale du diagnostic de vulnérabilité aux impacts du changement climatique a mise en évidence un découpage du Grand Ouest en six territoires cohérents :

- Le littoral au nord de la Loire ;
- Le littoral au sud de la Loire ;
- L'arrière-pays breton et vendéen ;
- La vallée de la Loire ;
- La Beauce ;
- Le sud de la région Centre

FIGURE 58 - REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES TERRITOIRES COHÉRENTS (ARTELIA, 2012)



Les fiches qui suivent présentent pour chaque territoire cohérent ses spécificités, ainsi que sa cohérence du point de vue de la vulnérabilité aux impacts du changement climatique.

2.1 Le littoral au nord de la Loire

2.1.1 Éléments de contexte

Le territoire cohérent du « littoral au nord de la Loire » s'étend de la **baie du Mont St Michel au nord jusqu'à l'estuaire de la Loire** inclus au sud. Ce littoral, très découpé, présente un linéaire côtier d'environ 1 200 km, marqué par une alternance de pointes rocheuses et de rentrants sableux.

Au-delà de ces caractéristiques générales, ces côtes présentent une **grande diversité géomorphologique** :

- Falaises de roches dures (granit, grés, etc.) ;
- Grandes baies formées de plages et de marais littoraux parfois en parti poldérisés (maritime ou non) : baie du Mont St Michel, baie d'Audierne, Golfe du Morbihan, etc.
- Îles ;
- Basses vallées ennoyés de petits fleuves côtiers : Rias et abers ;
- Estuaire de la Loire (marais de Brière, marais salants de Guérande, etc.).

Cette diversité géomorphologique appelle une **diversité de milieux naturels**. Le littoral breton se caractérise ainsi par sa faible urbanisation, relativement à d'autres littoraux métropolitains (à commencer par la côte vendéenne). Il présente ainsi de nombreux sites remarquables, dont beaucoup font l'objet de mesures de protection (PNR d'Armorique, nombreux sites du Conservatoire du littoral, etc.). On notera toutefois un important mitage urbain de l'espace littoral localement.

Cette richesse biologique et paysagère a pour pendant un tourisme vert et patrimonial particulièrement développé, en complément d'un **tourisme balnéaire** également bien implanté, dans des proportions moindres toutefois que sur le littoral au sud de la Loire.

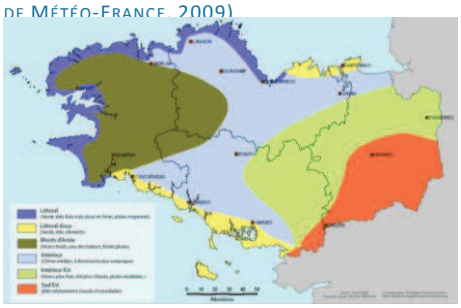
Pour finir, ce territoire cohérent intègre un certain nombre de **ports maritimes**, dont les principaux sont le Grand Port Maritime de Nantes-St-Nazaire, dans l'estuaire de la Loire, et le port de Brest. L'importance commerciale et/ou industrielle de ces ports ne doit cependant par faire oublier les ports de pêche, qui ont aussi leur importance dans l'économie littorale (Le Guilvinec, etc.).

2.1.2 Les simulations climatiques de Météo-France

Au vue de l'analyse des statistiques Météo France des trente dernières années, le territoire cohérent du « littoral au nord de la Loire » présente aujourd'hui le climat océanique le plus tempéré du Grand Ouest :

L'amplitude thermique saisonnière y est la plus faible (moins de 10°C d'écart entre les moyennes de températures estivale et hivernale), avec des températures moyennes annuelles entre 11 et 12°C ;

Les zones climatiques bretonnes (source : GIP Bretagne environnement, d'après les données de Météo-France, 2009)



Les précipitations y sont abondantes : entre 700 et plus de 800 mm en moyenne annuelle.

Comme l'illustre la carte ci-avant, le littoral de la pointe et du nord Bretagne est plus frais et arrosé que le littoral sud (de Concarneau à l'estuaire de la Loire) et nord-est (St Malo). On notera au passage que les Monts d'Arrée présentent une plus forte pluviométrie que la frange littorale, en raison du relief.

L'analyse des simulations climatiques réalisées par Météo-France indique, quel que soit le scénario :

- Une hausse des températures moins marquée pour ce territoire que pour le reste du Grand Ouest, en particulier pour la pointe et le nord Bretagne. En moyenne annuelle, la hausse des températures n'atteint pas 2°C avant l'horizon 2080. En moyenne estivale toutefois, l'augmentation des températures pourrait être notable dès 2030, en particulier du Morbihan à la Loire. Cette hausse pourrait atteindre +3°C dès 2050 et se généraliser à l'ensemble du territoire cohérent à l'horizon 2080.
- En moyenne annuelle, la baisse attendue des précipitations n'apparaît pas significative avant 2080. En moyenne estivale, on observe cependant une baisse marquée dès 2030 (80 à 85% seulement des précipitations estivales actuelles) et qui s'accroît ensuite de façon significative de la pointe bretonne vers l'est en 2050 et en 2080.

Selon cette analyse, le littoral au nord de la Loire devrait connaître une légère hausse de son amplitude thermique, doublée d'une baisse significative des précipitations estivales, globalement compensée par une hausse en période hivernale. Dans ce contexte, l'exposition aux épisodes de sécheresse devrait s'accroître significativement à court ou moyen terme, en particulier pour le littoral du Morbihan jusqu'à l'estuaire de la Loire.

2.1.3 Les impacts climatiques déjà observés

Le territoire cohérent du « littoral au nord de la Loire » est déjà exposé au risque d'inondation par submersion marine, comme l'a encore récemment démontré la tempête Xynthia. La vulnérabilité est particulièrement forte :

- Sur les côtes basses des baies et marais littoraux : les zones poldérisées, en particulier lorsqu'elles sont urbanisées, présentent une vulnérabilité élevée à la submersion. Il en va de même des infrastructures touristiques.
- Dans l'estuaire de la Loire et les rias (ou abers) : souvent urbanisés en fond de vallée, les rias présentent une double vulnérabilité aux inondations par submersion marine et à cinétique rapide. Ces deux types d'inondation peuvent en effet se trouver conjuguées lors des tempêtes : le fort cumul de précipitations s'ajoutant à la surcote marine. Les infrastructures portuaires de St Nazaire sont également vulnérables à la submersion.

2.1.4 Les principaux axes de la vulnérabilité du littoral au nord de la Loire aux impacts du changement climatique

2.1.4.1 Axe clé 1 : un risque accru d'érosion et d'inondation par submersion

L'élévation du niveau de la mer, associée à une augmentation des précipitations hivernales et des épisodes de fortes précipitations, devrait conduire dans le contexte du changement climatique à un accroissement des risques d'érosion et d'inondation par submersion, en particulier dans les secteurs déjà exposés concentrant des enjeux humains, socio-économiques et environnementaux : estuaire de la Loire, fond urbanisé des rias (Morlaix, Quimper, etc.) et côtes basses des baies : Golfe du Morbihan, Baie du Mont St Michel (en particulier le marais de Dole et St Malo), etc.

Le littoral ligérien, très urbanisé (en particulier du Croisic à Donges), présente également une forte exposition à l'élévation du niveau marin et pourrait être confronté à une vulnérabilité accrue au risque de submersion. Au-delà des zones urbanisées, cet accroissement de la vulnérabilité concerne aussi le marais de la Brière et ses salines, dont la richesse biologique dépend de la circulation des eaux marines.

La vulnérabilité des zones urbaines et des infrastructures touristiques et portuaires dépendra étroitement de l'ampleur et des impacts localisés de l'élévation du niveau de la mer mais aussi des stratégies d'adaptation littorale et en particulier des choix d'aménagement du trait de côte (stratégie de défense ou de recul).

Initiatives :

-Le programme européen IMCORE vise, à travers neuf études de cas réalisées en partenariat entre des chercheurs et des collectivités territoriales, à identifier quel est le degré de prise en compte du changement climatique dans l'aménagement du littoral. Il s'agit notamment d'améliorer les synergies entre les attentes des décideurs locaux et les productions de la recherche (données, connaissances et outils). Le Golfe du Morbihan a été retenu comme étude de cas.

-Exercice de cartographie du littoral en cours de réalisation.

2.1.4.2 Axe clé 2 : un impact encore incertain sur la biodiversité marine et la pêche

L'espace maritime bordant la péninsule bretonne constitue une zone de transition entre deux zones biogéographiques méridionale et septentrionale. Bien que les relations entre le changement climatique et l'évolution de l'aire de répartition des espèces et des écosystèmes marins soient encore incertains, il est possible que le réchauffement des eaux marines se traduise par une remontée vers le nord de cette zone de transition, avec des conséquences potentiellement importantes pour les activités piscicoles.

On notera par ailleurs que la pression sur les ressources halieutiques limite la capacité d'adaptation des espèces et écosystèmes à l'évolution du climat, et donc à terme la pérennité des activités de pêche.
Concernant les activités piscicoles, la hausse de la température de l'eau et d'éventuelles percées de langues salées pourraient avoir un impact sur la santé des poissons d'élevage et donc sur la productivité.

Les activités conchylicoles pourraient également être touchées par l'élévation de la mer et l'accroissement du risque de submersion. Le processus dit « d'acidification des océans », lié au captage du CO2 par les eaux marines, pourrait également fragiliser ces activités sur le long terme (à l'horizon 2080).
Par ailleurs, l'augmentation attendue des épisodes de fortes précipitations pourrait entraîner une contamination bactériologique de l'eau de mer, avec des conséquences directes sur les activités conchylicoles et un impact sanitaire potentiel sur les populations touristiques.

2.1.4.3 Axe clé 3 : le tourisme, entre opportunité et vulnérabilité

L'augmentation des températures moyennes et la réduction attendue des précipitations en période estivale apparaissent comme autant d'opportunités pour l'activité touristique sur le littoral au nord de la Loire, qui comptabilise plus de 80% des nuitées bretonnes. Le littoral au nord de la Loire pourrait ainsi bénéficier d'une redistribution des flux touristiques d'été liée à la dégradation du confort thermique estival dans le sud de la France et bénéficier de nouvelles opportunités pour le tourisme d'intersaison.
Pourtant, ces opportunités pourraient se trouver contrebalancées, voire annulées, par des impacts plus négatifs du changement climatique :

- L'élévation du niveau marin et l'accroissement du risque de submersion auront un impact sur les infrastructures touristiques et l'érosion des plages ;
- L'évolution des précipitations et des températures sont susceptibles d'impacter les milieux naturels dont dépend une bonne part de l'attractivité touristique de ce littoral.

Il apparaît cependant difficile à ce jour d'évaluer la part d'opportunité et de vulnérabilité sur le littoral au nord de la Loire. Cela dépendra, pour l'essentiel, de la capacité des acteurs locaux à anticiper ces impacts par des mesures adaptées.

2.2 Le littoral au sud de la Loire

2.2.1 Éléments de contexte

Le territoire cohérent du « littoral au sud de la Loire » s'étend **de la baie de l'Aiguillon au sud de la Vendée, à l'estuaire de la Loire (non inclus)** au nord. Sur le plan géomorphologique, il s'agit pour l'essentiel d'un **littoral sableux**, formé d'un cordon dunaire séparant l'espace maritime de marais arrière-littoraux. Comme l'illustre la carte ci-contre, ce littoral est fortement **exposé à l'érosion** de la houle (en rouge sur la carte), les zones abritées de l'Anse de l'Aiguillon et de la baie de Bourgneuf constituant des **secteurs d'accumulation**, à l'avant respectivement des marais Poitevin et Breton (en vert sur la carte).

FIGURE 59 - L'EXPOSITION DU LITTORAL AU SUD DE LA LOIRE À L'ÉROSION (SOURCE : IFEN, D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES EUROSION, 2007)

Ce littoral, qui présente de **nombreuses zones urbaines** de la pointe de l'Aiguillon à la presqu'île de Noirmoutier, est largement tourné vers le **tourisme balnéaire**, en complément du tourisme vert et patrimonial de l'arrière-pays lié à la présence des marais Breton et Poitevin (voir la fiche concernant l'arrière-pays breton et vendéen).
Ce tourisme balnéaire a orienté l'aménagement du territoire : urbanisation relativement dense du littoral, présence de nombreuses infrastructures de transport sur le front de mer, urbanisation de polders ayant à l'origine une vocation agricole, etc. Ces choix d'aménagement se traduisent par une **forte sensibilité aux inondations par submersion marine** et aux tempêtes, comme l'a récemment révélé la tempête Xynthia.

2.2.2 Les simulations climatiques de Météo-France

Les séries statistiques concernant les différents paramètres climatiques sur les trente dernières années indiquent pour le territoire cohérent du « littoral au sud de la Loire » un **climat océanique tempéré**, dans une moindre mesure toutefois que le littoral au nord de la Loire :

- Les températures moyennes annuelles y sont les plus élevées du Grand Ouest (supérieures à 12°C), avec une amplitude thermique saisonnière moyenne relativement à l'ensemble de l'inter-région. L'écart entre les températures moyennes estivales et hivernales est d'environ 12°C, soit supérieur à celui du littoral au nord de la Loire, mais inférieur à celui des territoires cohérents de la région Centre.
- De la même façon, les précipitations y sont relativement abondantes, dans une moindre mesure que sur le littoral au nord de la Loire et dans l'arrière-pays, mais davantage qu'en région Centre (environ 700 mm en moyenne annuelle).

L'analyse des simulations climatiques de Météo-France indique pour ce territoire :

- Une augmentation marquée des températures (par rapport au reste du Grand Ouest), notable dès 2030 en moyenne estivale (+2°C). Si cette hausse n'est significative qu'à partir de 2050 en moyenne annuelle dans deux scénarios sur trois, tous les scénarios soulignent ainsi un accroissement non négligeable de l'amplitude thermique dès le court terme.
- En moyenne annuelle, l'évolution des précipitations semble plus incertaine, avec une légère baisse attendue à l'horizon 2080 dans deux scénarios sur trois. Toutefois, la répartition interannuelle des précipitations pourrait évoluer, avec une stabilité, voire une hausse de la moyenne hivernale et une baisse sensible en moyenne estivale. Dans tous les scénarios, cette réduction des précipitations estivales se traduirait à l'horizon 2080 par des cumuls de précipitations de l'ordre de 60 à 70% des cumuls actuels.

L'augmentation des températures et la réduction attendue des précipitations en période estivale pourraient conduire le littoral au sud de la Loire à une **exposition accrue aux canicules et aux épisodes de sécheresse**.
L'analyse des simulations climatiques de Météo-France indique ainsi que ce territoire est le plus exposé à l'augmentation du nombre de jours passés en situation de canicule : jusqu'à 100 jours sur trente ans à l'horizon 2030, plus de 200 à l'horizon 2050 et jusqu'à 600 jours à l'horizon 2080, soit une augmentation exponentielle de l'exposition à ce type d'événement climatique.

2.2.3 Les impacts climatiques déjà observés

Le territoire cohérent du « littoral au sud de la Loire » est déjà marqué par **une vulnérabilité élevée au risque d'inondation par submersion marine**, comme l'a illustré de façon tragique la tempête Xynthia, en particulier dans les communes littorales du sud de la Vendée. **Deux facteurs** principaux permettent de rendre compte de cette vulnérabilité :

- Le littoral, essentiellement constitué de côtes basses sableuses, est particulièrement exposé aux surcotes. Les secteurs en érosion (plage et/ou cordon dunaire) ou endigués sont par ailleurs particulièrement vulnérables aux effets de seuil, qui s'ils sont franchis, exposent de larges territoires arrière-littoraux à la submersion marine ;
- L'aménagement du littoral : la forte urbanisation du trait de côte, dans les secteurs en érosion ou poldérisés exposés à la submersion, accroît considérablement la vulnérabilité à la submersion marine, que ce soit sur le plan humain ou socio-économique.

2.2.4 Les principaux axes de la vulnérabilité du littoral au sud de la Loire aux impacts du changement climatique

2.2.4.1 Axe clé 1 : élévation du niveau marin, érosion littorale et submersion marine

L'élévation du niveau de la mer devrait se traduire par une aggravation des risques littoraux d'érosion et de submersion marine. L'exposition future du territoire dépendra de l'ampleur de la hausse du niveau marin et de l'évolution du régime des tempêtes, sur laquelle pèsent encore de nombreuses incertitudes, avec un risque de rupture (effet de seuil).

Néanmoins, l'essentiel de la vulnérabilité future dépendra de l'évolution de l'aménagement et de la gestion de l'espace littoral, et en particulier du trait de côte. **La forte pression foncière** actuelle laisse présager une **poursuite de l'urbanisation**, en dépit de l'élaboration d'outils de planification destinés à l'encadrer en tenant compte des risques (PPR littoraux, etc.). Cette urbanisation se traduit par une imperméabilisation des sols, rendant le littoral d'autant plus sensible aux risques de submersions marines et d'inondation par ruissellement et accumulation des eaux de pluies.

Avec l'aggravation des risques émerge l'impératif d'élaborer une stratégie territoriale de gestion du trait de côte intégrant notamment, selon les enjeux concernés, les options suivantes :

- La défense du trait de côte actuel et des enjeux exposés, ce qui passe souvent par des aménagements lourds et coûteux (en investissement et en fonctionnement) ;
- Le recul stratégique.

On note que ces choix relèvent des institutions publiques (État et collectivités) mais également du milieu des assurances.

Initiatives : Suite à la tempête Xynthia, un certain nombre d'initiatives ont été prises afin, d'une part, de mieux évaluer le risque et, d'autre part, de prendre des mesures pour mieux encadrer l'aménagement des littoraux exposés. Un certain nombre d'acteurs – en particulier les chercheurs – soulignent toutefois un essoufflement de ce mouvement à mesure que le temps passe.

2.2.4.2 Axe clé 2 : le tourisme – une attractivité renforcée mais des infrastructures et des ressources vulnérables

Le littoral au sud de la Loire est déjà très attractif sur le plan touristique, comme en témoigne l'importance des infrastructures ou encore des résidences secondaires. Dans ce cadre, l'augmentation attendue des températures et la réduction des précipitations estivales devraient renforcer cette attractivité, sur une période de temps plus longue.

Néanmoins, cette opportunité pourrait se trouver en partie contrebalancée par des impacts plus négatifs du changement climatique :

- L'élévation du niveau marin et l'accroissement du risque de submersion auront un impact sur les infrastructures touristiques et l'érosion des plages ;
- L'extension des zones urbaines littorales, associée à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des canicules et à une densité de population renforcée en été, pourrait conduire à une baisse relative du confort thermique des touristes, en dépit de la proximité de l'océan ;
- Enfin, la réduction des précipitations estivales et l'accroissement de l'intensité des épisodes de sécheresse pourraient avoir un impact sur la disponibilité des ressources en eau, en particulier dans le sud de la Vendée, où des conflits d'usage pourraient se renforcer entre les usages agricoles et touristiques et l'alimentation des milieux.

Il apparaît cependant difficile à ce jour d'évaluer la part d'opportunité et de vulnérabilité sur le littoral au sud de la Loire. Cela dépendra, pour l'essentiel, de la capacité des acteurs locaux à anticiper ces impacts.

2.2.4.3 Axe clé 3 : un impact encore mal connu sur les milieux et écosystèmes littoraux

La pression foncière sur le littoral au sud de la Loire a considérablement réduit et fragmenté l'espace disponible pour les milieux et les écosystèmes littoraux, en particulier pour les milieux dunaires. Cette pression humaine pourrait avoir une influence négative sur la capacité de ces milieux et écosystèmes à s'adapter à l'évolution du climat et en particulier au recul du trait de côte dans un contexte d'élévation du niveau marin.

2.3 L'arrière-pays Breton et Vendéen

2.3.1 Éléments de contexte

Les limites du territoire cohérent de « l'arrière-pays breton et vendéen » correspondent approximativement à celles du **Massif armoricain**, de la Pointe bretonne à la Sarthe et jusqu'au sud de la Vendée. Historiquement et géographiquement, il s'agit également de **l'aire d'extension du bocage**, système agricole fondé sur un habitat rural dispersé, un parcellaire fragmenté et des paysages fermés.

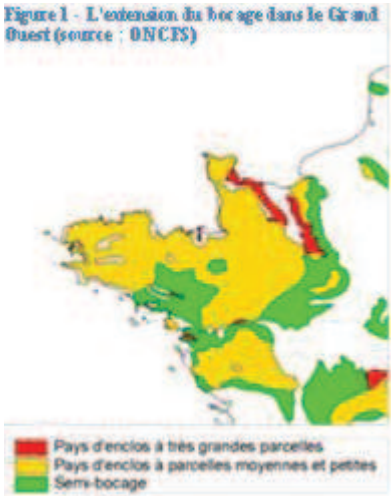


Figure 1 - L'extension du bocage dans le Grand Ouest (source : ONCFS)

À dominante rurale, ce territoire constitue **l'une des premières régions françaises d'élevage**. Autour de cette activité s'organise une filière amont (pour l'alimentation des animaux : cultures fourragères et importation de protéines animales) et aval (industrie agro-alimentaire) structurante pour l'économie régionale.
Le territoire présente également un certain nombre de cultures plus spécialisées, en particulier des vergers.

Par ailleurs, l'organisation du territoire lui confère un **rôle important sur le plan de la biodiversité spécifique, éco-systémique et paysagère** :

- Le paysage fragmenté et fermé du bocage favorise les corridors écologiques. Au-delà, les haies constituent un milieu particulièrement propice à la biodiversité.
- Les marais arrières-littoraux, en particulier en Vendée (marais breton, poitevin et Brière) constituent quant à eux des sites naturels remarquables et reconnus comme tels.

Cette richesse biologique est un **support majeur de l'activité économique locale, en particulier du tourisme**. Le tourisme vert et patrimonial est en effet bien implanté dans ces territoires, en complément du tourisme balnéaire sur le littoral. Ainsi, selon une enquête réalisée en 2002, près de 800 000 visiteurs fréquentent le site du marais poitevin tous les ans.

2.3.2 Les simulations climatiques de Météo-France

Le territoire cohérent « arrière-pays breton et vendéen » est marqué par un **climat tempéré océanique,** caractérisé par une **amplitude saisonnière des températures relativement faible** et des précipitations abondantes (plus de 700 mm en moyenne annuelle).

Au-delà de ce constat global, il existe quelques contrastes territoriaux qu'il convient de prendre en compte dans la perspective du changement climatique : la pointe bretonne est ainsi plus arrosée et fraîche (en moyenne annuelle) que la Vendée ou la Sarthe et les contrastes saisonniers y sont moins marqués.

L'analyse des simulations climatiques de Météo-France permet de relever quelques points essentiels concernant l'évolution du climat sur ce territoire, dans le contexte du changement climatique :

- Une augmentation notable des contrastes saisonniers : tous les scénarios soulignent une augmentation des températures et une réduction des précipitations plus importantes en été qu'en hiver, tout au long du XXIème siècle. Concernant les précipitations, l'ensemble des scénarios souligne même – pour la Bretagne – une stabilité, voire une augmentation en hiver par rapport aux moyennes actuelles, doublée d'une réduction importante en été (aux horizons 2030 et 2050).
- Des contrastes territoriaux plus marqués en moyenne annuelle : tous les scénarios soulignent à court, moyen et long terme, une augmentation des températures et une réduction des précipitations plus importante en Vendée et en Loire-Atlantique qu'en Bretagne, selon un gradient sud-nord bien marqué. Toutefois, la réduction des précipitations en période estivale, à court et moyen terme, devrait être plus importante en Bretagne qu'au sud de la Loire, entraînant des épisodes de sécheresse plus intenses dès 2030 selon un gradient ouest-est et non plus sud-nord.
- Une augmentation attendue des épisodes de fortes précipitations : aux horizons 2030 et 2050, les simulations de Météo-France indiquent une augmentation des épisodes de fortes précipitations en Bretagne et, selon les scénarios, en Mayenne et dans la Sarthe. En 2080, l'évolution de ce paramètre est plus incertaine.

En conclusion, si l'évolution des précipitations et des températures en moyenne annuelle paraît relativement faible avant 2080, les contrastes saisonniers et territoriaux devraient croître dès l'horizon 2030 dans l'arrière-pays breton et vendéen.

2.3.3 Les impacts climatiques déjà observés

L'arrière-pays breton et vendéen est déjà soumis à un certain nombre d'impacts climatiques, tels que :

- Les inondations à cinétique rapide et leurs phénomènes associés (glissement de terrain et coulée de boue), liés à des précipitations abondantes et au relief, qui favorisent le ruissellement des eaux de pluies et l'érosion des sols ;
- La sécheresse, qui affecte en particulier la production fourragère destinée à l'alimentation des animaux d'élevage et dont les effets se font particulièrement ressentir dans le sud de la Vendée, aussi bien pour l'irrigation que pour l'alimentation des marais littoraux ;
- Les événements extrêmes (tempêtes), susceptibles d'affecter directement les infrastructures de transport d'électricité, dans une zone en situation de péninsule énergétique.

2.3.4 Les principaux axes de la vulnérabilité de l'arrière-pays Breton et Vendéen aux impacts du changement climatique

Le diagnostic thématique réalisé à l'échelle du Grand Ouest a permis de mettre en évidence les axes clés de la vulnérabilité de l'arrière-pays Breton et Vendéen, au regard des impacts attendus du changement climatique sur ce territoire cohérent.

2.3.4.1 Axe clé 1 : une menace accrue sur les activités d'élevage

La réduction des précipitations et l'augmentation des épisodes de sécheresse en période estivale devraient **accroître la vulnérabilité, aujourd'hui moyenne, des activités agricoles et d'élevage** de l'arrière-pays breton et vendéen, en **affectant directement cultures (céréales, oléo-protéagineux) et prairies** (décalage des périodes de production d'herbe, de productivité, etc.)**.** On notera également la dépendance de l'élevage vis à vis de productions végétales importées, elles-mêmes sensibles à l'évolution des conditions climatiques. La sécheresse du printemps 2011 offre un aperçu de cette possible évolution. La baisse des rendements en période estivale pourrait toutefois se trouver compenser par une hausse sur le reste de l'année.

Au-delà, l'augmentation des températures moyennes annuelles et surtout estivales pourrait conduire à une **baisse de la productivité des exploitations d'élevage**, probablement plus marquée en Vendée, où la hausse attendue des températures est la plus forte. Le **stress thermique** et le **développement de maladies parasitaires**, pourraient en effet affecter directement la santé des animaux et, *in fine*, la productivité, notamment dans les élevages hors-sol.

Initiative : travaux d'Arvalis, institut du Végétal.

2.3.4.2 Axe clé 2 : irrigation, milieux naturels, tourisme et eau potable – la question de l'eau dans l'arrière-pays breton et vendéen

La gestion des ressources en eau est déjà problématique dans le sud de la Vendée, où **les prélèvements agricoles entrent directement en concurrence avec l'alimentation du marais poitevin**. L'augmentation de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse devraient accroître cette tension. L'élévation du niveau de la mer pourrait compliquer la situation en favorisant le déplacement du **biseau salé** dans les aquifères vers l'intérieur des terres (en Vendée comme dans l'arrière-pays breton).

Au-delà de la problématique de l'irrigation, **la baisse de l'alimentation en eau des marais** vendéens aura un impact sur les écosystèmes, les milieux et, *in fine*, les paysages ; éléments **dont dépendent certaines activités et en particulier le tourisme**. Concernant ce secteur, l'opportunité que représente le changement climatique pour l'attractivité touristique de l'arrière-pays breton et vendéen pourrait ainsi se trouver pour partie contrebalancée par les impacts sur les milieux naturels et les paysages.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse en période estivale devrait également affecter l'alimentation des petits cours d'eau et fleuves côtiers vendéens et breton, avec un impact quantitatif (baisse du débit d'étiage), mais aussi qualitatif, l'augmentation de la température de l'eau favorisant par exemple le développement de micro-organismes et de bactéries.

2.3.4.3 Axe clé 3 : la sécurisation des infrastructures de transport d'énergie

Le territoire de l'arrière-pays breton et vendéen se trouve en situation de **« péninsule énergétique »**. Son alimentation électrique est dépendante de la qualité et de l'intégrité des réseaux de transport amenant l'électricité de sources de production situées hors du territoire (en particulier en région Centre). Avec le changement climatique, **l'exposition des réseaux aux** tempêtes **pourrait augmenter** même si l'évolution du régime des tempêtes reste encore très incertaine, de même que l'exposition aux fortes chaleurs et aux feux de forêts.

Dans le contexte du changement climatique et en l'absence de mesures d'adaptation, **la demande en énergie pourrait croître** sur ce territoire, en raison de la croissance démographique et de l'augmentation des besoins en rafraîchissement.

Initiatives :

- Travaux de sécurisation des lignes à haute tension contre le risque de tempête à l'horizon 2020 (RTE) ;
- Différentes stratégies et plans d'actions ont été réalisés en matière d'efficacité énergétique et de maîtrise de l'énergie (SRCAE, PCET, actions de l'ADEME, etc.). Leur mise en œuvre effective permettra de limiter la hausse possible de la demande énergétique en période estivale.

2.3.4.4 Axe clé 4 : des espaces forestiers peu adaptés dans l'arrière-pays breton

L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses pourrait accroître le dépérissement des forêts et le risque d'incendies. Les forêts de l'arrière-pays breton, adaptées à un climat océanique relativement humide, sont particulièrement exposées à ce type d'impact.

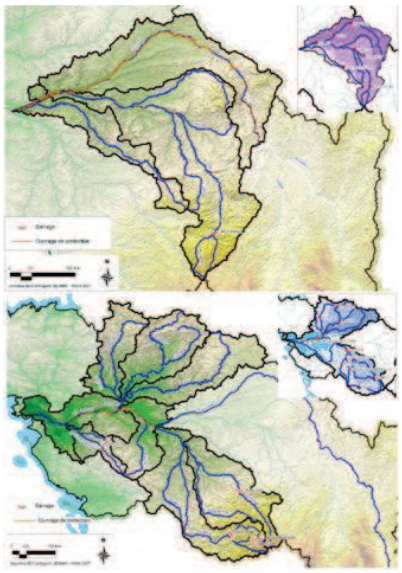
Initiatives : de nombreux programmes de recherche sont en cours en Pays de la Loire (QDDIC GIONO, FORESTCLIM, CLIMASTER, Protocoles d'observation Santé des Forêts, etc.).

2.4 La vallée de la Loire et de ses affluents

2.4.1 Éléments de contexte

Le territoire cohérent de la « Vallée de la Loire et de ses affluents » tire d'abord son unité et sa cohérence du réseau hydrographique, correspondant à celui des deux sous-bassins de la **Loire moyenne** et de la **Loire aval** (voir les deux cartes ci-contre).

FIGURE 60 - LES SOUS-BASSINS DE LOIRE AVAL ET LOIRE MOYENNE (SOURCE : DREAL CENTRE, 2011)



Au-delà de ce périmètre physique, **l'axe ligérien structure l'organisation territoriale des deux régions Centre et Pays de la Loire** autour :

- d'un réseau urbain réunissant les principales villes grandes et moyennes des deux régions : Orléans, Tours, Angers et Nantes pour ne citer que les principales ;
- de réseaux de transport structurants, aussi bien sur un axe ouest-est que sud-nord (franchissement du fleuve).

On notera également une certaine « unité de terroir », autour des **vignobles du Val de Loire** mais aussi de certaines cultures spécialisées profitant de la richesse des sols alluviaux et de l'exposition des coteaux : horticulture, maraîchage, semences, arboriculture, etc.

Le **fleuve** lui-même est **peu régulé**, les principaux barrages étant situés sur ses affluents en amont du Grand Ouest. Toutefois, malgré la qualification de « fleuve sauvage » qui lui est souvent attribué, le cours de la Loire est **fortement endigué**. Il s'agit en particulier de protéger les nombreux **Vals** du risque d'inondation, territoires accueillant aujourd'hui de multiples enjeux humains et socio-économiques, voire culturels.

Ce territoire cohérent constitue également un **secteur de production énergétique d'envergure nationale**. Ses quatre centrales nucléaires, toutes situées en Loire moyenne, dépendent en effet du fleuve pour leur refroidissement.

Pour finir, la **diversité et la richesse des milieux naturels**, des **paysages et du patrimoine culturel** confèrent à la vallée de la Loire une **attractivité touristique** fondamentale pour l'équilibre économique local et régional.

2.4.2 Les simulations climatiques de Météo-France

Le climat actuel du territoire cohérent de la « Vallée de la Loire » n'est pas homogène. **L'influence de l'océan décroît avec l'éloignement du littoral**. Toutefois, l'analyse des données climatiques (en moyenne sur les trente dernières années) met en évidence une atténuation de ce **gradient ouest-est** par la vallée de la Loire, qui permet à l'influence océanique de pénétrer davantage à l'intérieur des terres :

- Les températures moyennes annuelles sont légèrement inférieures à Orléans (environ 11°C) par rapport à Nantes (autour de 12°C). Cet écart, sensiblement identique en période estivale, est plus important en hiver (2°C d'écart environ) ;
- Sur le plan des précipitations, les cumuls enregistrés en Loire aval sont plus important qu'en Loire moyenne, selon le même gradient climatique. Toutefois, l'absence de relief liée à la vallée de la Loire explique des précipitations plus faibles dans l'arrière-pays de Loire-Atlantique que dans l'arrière-pays breton et vendéen.

L'analyse des simulations climatiques de Météo-France met en évidence un certain nombre de points essentiels quant à l'évolution du climat sur le territoire, dans le contexte du changement climatique :

- Une accentuation du gradient ouest-est des températures : l'amplitude thermique saisonnière pourrait augmenter de façon significative en Loire moyenne, et dans une moindre mesure en Loire aval, accentuant le gradient ouest-est des températures, surtout à l'horizon 2050. À court terme (2030) l'augmentation des températures devrait surtout concerner la période estivale en Loire moyenne.
- Une évolution contrastée des précipitations : le territoire de la vallée de la Loire se trouve, dans beaucoup de scénarios et d'horizons, à la limite entre une zone nord-ouest où les moyennes de précipitations sont relativement stables, voire augmentent à court et moyen terme, et une zone sud-est où elles diminuent (en moyenne annuelle). Toutefois, en moyenne estivale, les cumuls de précipitations diminuent de façon plus importante en Loire aval qu'en Loire moyenne.

Cette évolution des paramètres climatiques devrait se traduire par une augmentation significative de la fréquence et de la durée des épisodes de canicule et de sécheresse estivale, en particulier en Loire moyenne. Sur ce point, on notera la dépendance du territoire cohérent « Vallée de la Loire » à l'évolution climatique dans le sous-bassin de la Loire amont, qui pourrait être encore plus exposé au manque d'eau, avec des conséquences directes sur le débit de la Loire en aval.

2.4.3 Les impacts climatiques déjà observés

Le régime de la Loire est étroitement lié à l'évolution des paramètres climatiques. De ce fait, le territoire cohérent de la « Vallée de la Loire » est déjà soumis à un certain nombre d'impacts climatiques :

- Les inondations à cinétique lente : la Loire et ses affluents sont susceptibles d'entrer en crue suite à de forts cumuls de précipitations sur une large partie du bassin ligérien. L'importance des enjeux exposés rend ce territoire particulièrement vulnérable à ce type d'événement. Cette vulnérabilité est notamment forte dans les Vals en cas de rupture des digues. Les dernières grandes crues de la Loire remontent à la seconde moitié du XIXème siècle. Lors de crues plus récentes (1910 pour la Loire aval et 2003 pour la Loire moyenne), les digues ont résisté.

- Les épisodes de sécheresse se traduisent par une réduction du débit d'étiage de la Loire. Bien que les barrages situés en amont du Grand Ouest permettent de soutenir le débit d'étiage, certaines sécheresses récentes ont eu un impact sur le milieu aquatique et interrogent quant à la sécurisation de la production électrique des centrales nucléaires, qui dépendent du fleuve pour leurs circuits de refroidissement.

Au-delà, les recherches de l'INRA ont mis en évidence un **effet positif de l'évolution récente du climat sur les vignobles** du Val de Loire.[108]

2.4.4 Les principaux axes de la vulnérabilité de la vallée de la Loire aux impacts du changement climatique

Initiative transversale aux axes clés 1 et 2 : Plan Loire Grandeur Nature[109].

2.4.4.1 Axe clé 1 : réduction du débit d'étiage, sécurité de la production d'énergie nucléaire et qualité des milieux aquatiques

La réduction attendue des précipitations dans le sous-bassin de la Loire moyenne et en amont – notamment en période estivale – associée à l'augmentation des besoins en eau dans un contexte d'augmentation des températures, devrait se traduire par une **réduction du débit d'étiage de la Loire**.

Ce phénomène aurait deux conséquences majeures :

- La réduction du débit disponible pose la question de la sécurisation de la production électrique des quatre centrales nucléaires situées sur son cours ;
- Elle se traduirait également par une dégradation de la qualité du milieu aquatique, avec une influence sur le milieu naturel et, indirectement, sur d'autres enjeux comme le tourisme (baignade, pêche, paysage, etc.). L'impact combiné de l'élévation du niveau de la mer et de la réduction du débit sur la salinité dans le secteur estuarien et sur les usages qui en dépendent reste pour le moment très incertain.

Ces deux impacts ne sont pas indépendants l'un de l'autre. L'eau prélevée par les centrales est en effet restituée dans le milieu à une température plus élevée, avec un impact sur les milieux aquatiques particulièrement important en période d'étiage.

[108] BARBEAU G., *Climat et vigne en moyenne vallée de la Loire*, UMT VINITERA, Unité Vigne et Vin, INRA, 2007.
[109] http://www.plan-loire.fr/

2.4.4.2 Axe clé 2 : un impact encore très incertain du changement climatique sur l'évolution des crues de la Loire

L'effet du changement climatique sur **l'évolution du risque d'inondation à cinétique lente est encore très incertain**. Néanmoins, la vulnérabilité future des enjeux situés dans les zones exposées dépendra beaucoup des choix d'aménagement dans la vallée de la Loire et en particulier dans les Vals.

2.4.4.3 Axe clé 3 : un réseau de villes exposé

Dans le contexte du changement climatique, les **espaces urbains denses** de la vallée de la Loire seront particulièrement touchés par l'augmentation de la durée et de la fréquence des épisodes caniculaires. **L'effet îlot de chaleur urbain**, lié à la densité du bâti et à la concentration de population, devrait avoir un **impact sanitaire non négligeable**, notamment sur les populations les plus fragiles (personnes âgées, jeunes enfants, etc.).
En l'absence de mesure d'adaptation du bâti, la vulnérabilité de ces espaces urbains au phénomène de **retrait-gonflement des argiles** pourrait également se trouver renforcée, dans des vallées alluviales où la présence de sols argileux est souvent diffuse et difficile à cartographier.

Quant aux nombreux **réseaux de transport** de l'axe ligérien, leur vulnérabilité est **plus incertaine**. Elle devra néanmoins être prise en compte, en particulier pour les ouvrages de franchissement de la Loire, dont la fonction est stratégique, au-delà de l'échelle interrégionale.

Initiative : le programme de recherche VEGDUD (Végétation pour un Développement Urbain Durable), de l'Institut de Recherche Sciences et Techniques de la Ville, vise à qualifier et quantifier l'impact du végétal sur la réduction des îlots de chaleur urbains, et a pour terrain d'étude la Communauté Urbaine de Nantes Métropole.

2.4.4.4 Axe clé 4 : les cultures spécialisées et les vignobles

Compte tenu de l'augmentation attendue des températures et de la réduction des précipitations en période estivale, le Val de Loire pourrait constituer un **territoire particulièrement propice à la culture de la vigne** (réduction de la sensibilité aux maladies telles que le mildiou, l'oïdium ou le botrytis par exemple).
Le principal impact négatif concerne les parcelles de vignes situées sur les sols à faible réserve utile, très sensibles à la sécheresse. Le stress hydrique pourrait dès lors avoir des conséquences négatives en terme quantitatif (rendements) et qualitatif (qualité du grain). La question de la remontée de parasites de régions plus méridionales se pose également
En l'état actuel des connaissances, les **opportunités semblent l'emporter sur les impacts négatifs** du changement climatique.

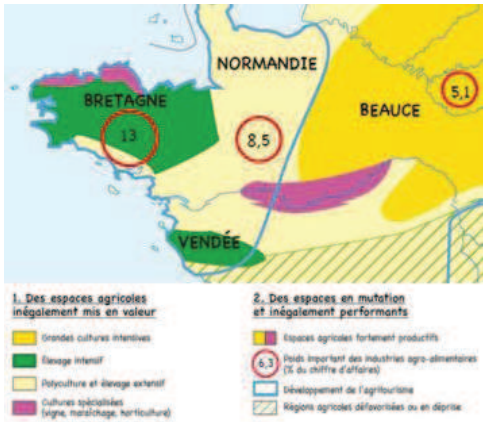
Initiatives : recherche active sur le sujet (INRA, Arvalis, CETIOM, Vegepolys, ITEIPMAI, etc.).

2.5 La Beauce

2.5.1 Éléments de contexte

Le territoire cohérent de la « Beauce » s'étend de la région Centre au nord de la Loire à l'est des Pays de la Loire, jusqu'à la zone de transition entre le Bassin Parisien et le Massif Armoricain.

FIGURE 61 - CARTE ILLUSTRATIVE DU GRAND OUEST



Source : www.lewebpedagogique.com

Comme en témoigne son nom, qui désigne **l'une des principales régions agricoles françaises,** le territoire cohérent « Beauce » est fortement marqué par la présence de **grandes cultures** (céréalières et d'oléo-protéagineux) :

Sur le plan économique : les grandes cultures de cette partie du bassin parisien alimentent des **filières agro-alimentaires bien établies et structurent l'économie locale** ;

Sur le plan de l'organisation spatiale et de la structure du paysage : ce territoire se caractérise par un **paysage ouvert d'openfield** laissant peu d'espace aux milieux naturels.

Après avoir constitué pendant plusieurs siècles le « grenier à blé » de l'agglomération parisienne, les grandes cultures de ce territoire sont aujourd'hui un **espace de production agricole intensive d'envergure européenne et internationale**. Elles présentent d'ailleurs parmi les rendements les plus élevés au monde.

La présence dominante des grandes cultures ne doit toutefois pas faire oublier **l'importance de cultures spécialisées à plus forte valeur ajoutée**, également bien implantées : betterave, pommes de terre, arboriculture, etc. Ces dernières constituent des revenus complémentaires non négligeables pour les agriculteurs et sont à la base de filières non moins importantes que celles des grandes cultures classiques.

Au-delà de l'agriculture, le réseau urbain de ce territoire, peu dense, est **fortement polarisé par l'agglomération parisienne**.

On notera également l'importance de la forêt sur la frange Est du territoire cohérent (forêt de Bercé notamment). Cette thématique est néanmoins traitée dans la fiche concernant le territoire cohérent de « l'arrière-pays breton et vendéen ».

2.5.2 Les simulations climatiques de Météo-France

Le territoire cohérent « Beauce » présente le **climat actuel le plus continental du Grand Ouest**, au regard de l'analyse des paramètres climatiques des trente dernières années :

- Les moyennes annuelles de températures sont les plus faibles du Grand Ouest (entre 10 et 11,5°C sur les trente dernières années). L'amplitude saisonnière y est néanmoins la plus forte, de l'ordre de 14°C entre les moyennes estivale et hivernale ;
- Les moyennes annuelles de précipitations sont parmi les plus faibles du Grand Ouest (entre 500 et 600 mm sur les trente dernières années.

À ce titre, les départements les plus au nord (Sarthe et Eure et Loir) peuvent être considérés comme les plus continentaux.

L'analyse des simulations climatiques de Météo-France souligne, quel que soit le scénario, une **accentuation plus ou moins importante du caractère continental du climat** pour ce territoire cohérent :

- Les températures moyennes estivales pourraient augmenter plus rapidement (jusqu'à +3°C en 2050 et +5°C en 2080 selon le scénario A2) que les températures moyennes hivernales (jusqu'à +2°C en 2050 et +3°C en 2080 selon le même scénario), accentuant d'autant l'amplitude thermique saisonnière ;
- Les cumuls de précipitations (en moyenne annuelle, estivale et hivernale) pourraient se réduire. Cette réduction attendue est moins forte que sur le littoral. Néanmoins, dans la mesure où les cumuls actuels sont plus faibles que pour le reste du Grand Ouest, cette réduction aurait des conséquences non négligeables pour ce territoire.

Cette évolution climatique pour le territoire cohérent « Beauce » se traduirait par une **augmentation marquée de la fréquence et de la durée des événements extrêmes liés à la chaleur et au manque d'eau.**
Les simulations climatiques de Météo-France soulignent ainsi une augmentation marquée du nombre de jours passés en situation de canicule et de sécheresse, en particulier à partir de l'horizon 2050.

2.5.3 Les impacts climatiques déjà observés

Le territoire cohérent « Beauce » est d'ores et déjà soumis à un certain nombre d'impacts climatiques, qui affectent directement ou indirectement :

- L'agriculture et les ressources en eau : de nombreuses exploitations agricoles sont aujourd'hui dépendantes de l'irrigation, en particulier pour les cultures spécialisées à haute valeur ajoutée, mais également pour les grandes cultures, pour lesquelles elle permet d'homogénéiser et de maintenir les rendements en période de manque d'eau. Globalement, les ressources en eau exploitées – essentiellement souterraines – ne présentent pas de tendance à la baisse. Toutefois, les récents épisodes de sécheresses (tels que celui de 2005) ont mis en évidence de fortes tensions locales sur la ressource en eau pour l'irrigation ;
- Canicule et pics de pollution : le climat relativement continental, associé à la proximité de l'agglomération parisienne, expose fortement ce territoire cohérent aux épisodes caniculaires et aux

pics de pollution. C'est le cas en particulier en Eure et Loir et dans la Sarthe. Le Mans a ainsi été l'une des villes françaises les plus touchées par la canicule d'août 2003.

2.5.4 Les principaux axes de la vulnérabilité de la Beauce aux impacts du changement climatique

2.5.4.1 Axe clé 1 : des tensions accrues sur la ressource en eau

La réduction attendue du volume annuel de précipitations et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse pourraient se traduire par une **recharge plus lente des nappes** ; soumises par ailleurs à une **pression plus forte des divers usages** et en particulier de l'agriculture.

En l'absence de mesures d'adaptation, la tension sur les ressources en eau, déjà ponctuellement élevée en période de sécheresse, devrait donc s'accroître pour ce territoire cohérent.

Initiatives

L'Agence de l'eau Loire Bretagne mène une politique active d'économie d'eau. Cela se traduit par exemple, pour les agriculteurs, par la subvention pour la construction d'une retenue de substitution, conditionnée au lancement d'une stratégie agricole d'économie d'eau (via les pratiques culturales notamment).

2.5.4.2 Axe clé 2 : l'agriculture, entre opportunité et vulnérabilité

L'augmentation des températures moyennes annuelles d'une part, et de la concentration en CO2 de l'atmosphère d'autre part, auront des **effets positifs sur les rendements agricoles**.

Néanmoins, cette opportunité offerte par le changement climatique pourrait se trouver **annulée à moyen terme (horizon 2050) par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de canicule et de sécheresse**.

L'accroissement de la tension sur les ressources en eau devrait ainsi conduire à une augmentation de la vulnérabilité des cultures irriguées au stress hydrique.

Par ailleurs, les stress hydrique et thermique, associés à la faible diversité spécifique et génétique des cultures, pourraient **accroître leur sensibilité aux nouvelles maladies et aux ravageurs**.

Initiatives

Les agriculteurs – et le monde des techniciens agricoles en général – sont très attentifs aux effets du changement climatique. À l'heure actuelle, l'adaptation est le plus souvent spontanée. Les études montrent ainsi que l'évolution des pratiques permet en général de faire face à une mauvaise année climatique (sécheresse).

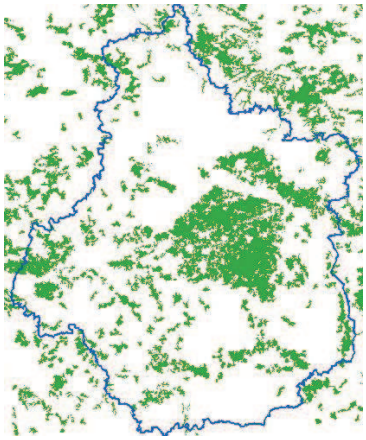
Sur un plan plus large, les filières sont souvent considérées comme un frein à l'adaptation de long terme, qui demande de les restructurer en profondeur afin par exemple d'assurer un débouché aux agriculteurs souhaitant développer des cultures mieux adaptées.

2.5.4.3 Axe clé 3 : des populations vulnérables soumises à la canicule et aux pics de pollution

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de canicules devrait se traduire par un **accroissement de la vulnérabilité sanitaire de la population aux fortes chaleurs et aux pics de pollution**, dont l'isolement social et la diminution à l'accessibilité aux soins pourraient constituer un facteur aggravant pour les populations âgées situées dans les zones rurales de ce territoire.

C'est le cas en particulier dans la Sarthe et l'Eure et Loir, dont l'exposition aux polluants atmosphériques pourrait s'accroître en raison de leur proximité avec l'agglomération parisienne

FIGURE 62 - LA FORÊT EN RÉGION CENTRE (SOURCE : IFEN, 2010)



2.6 Le sud de la région Centre

2.6.1 Éléments de contexte

Le territoire cohérent du « sud de la région Centre » s'étend au sud de la Loire sur la région Centre et une petite portion de l'est des Pays de la Loire (frange sud-est du Maine et Loire).

L'unité de ce territoire est issue pour l'essentiel de son caractère **rural et périphérique**. Trop éloigné de Paris pour subir son influence et situé en marge de l'axe ligérien, le sud de la région Centre ne dispose pas d'un réseau urbain structurant et attractif.

TABLEAU 23 - ÉVOLUTION DE LA POPULATION ENTRE 1990 ET2009 (%) - SOURCE : INSEE, 2009

	Moins de 20 ans	60 ans et plus	Population totale
Cher	-16,5%	17,6%	-3,3%
Indre	-13,9%	11,3%	-2,2%

Hors de quelques pôles urbains secondaires (Bourges, Châteauroux, etc.), l'essentiel du territoire est constitué de **zones rurales en déprise**, marquées par un **vieillissement important de la population**. Les départements du Cher et de l'Indre sont ainsi les seuls du Grand Ouest à voir leur population totale régresser (voir tableau ci-dessus).

L'une des conséquences de cette déprise rurale, c'est la croissance spatiale des milieux naturels et en particulier de la forêt. Le territoire du sud de la région Centre accueille les plus importants massifs forestiers du Grand Ouest, comme en témoigne la carte ci-dessus, ainsi que plusieurs zones humides remarquables. La Sologne constitue à ce titre le site le plus emblématique de ce territoire.

Malgré cette déprise, l'activité agricole demeure bien présente dans cette partie du Grand Ouest. Plus diversifié que dans la Beauce, le sud de la région Centre est marqué par la polyculture et le poly-élevage. On notera la dominance des activités d'élevage bovin sur la frange sud de l'Indre et du Cher, sur les contreforts du Massif Central.

2.6.2 Les simulations climatiques de Météo-France

Au regard de l'évolution des paramètres de températures et de précipitations pour les trente dernières années, le territoire cohérent du « Sud de la région Centre » est, avec celui de la « Beauce », le plus continental du Grand Ouest :

- Les températures moyennes annuelles, bien que légèrement supérieures à celle de la « Beauce », restent parmi les plus faibles de l'inter-région (autour de 11°C). Comme pour la « Beauce », l'amplitude thermique saisonnière est la plus forte, avec une moyenne hivernale de 4 à 5 °C et une moyenne estivale de 18 à 19°C.
- La moyenne annuelle des précipitations est relativement faible, quoiqu'un peu plus élevée que pour le territoire de « Beauce » pour le Cher et l'Indre, en raison de la présence des contreforts du Massif Central au sud.

L'analyse des simulations climatiques de Météo-France souligne que ce caractère continental pourrait s'accentuer plus rapidement et plus fortement pour ce territoire du « Sud de la région Centre » que pour celui de la « Beauce » :

- L'amplitude saisonnière pourrait s'accentuer, avec une forte augmentation des températures estivales dès 2030, atteignant entre 4 et plus de 5°C à l'horizon 2080, contre une augmentation maximum d'environ 2,5°C en moyenne hivernale au même horizon.
- Le Sud de la région Centre pourrait être le territoire le plus touché (avec la Vendée) par la réduction des précipitations en moyenne annuelle. Toutefois, en moyenne estivale, cette baisse est moins sensible que sur le littoral.

Dans ce contexte d'augmentation importante des températures estivales et de réduction des précipitations, le territoire cohérent du « Sud de la région Centre » apparaît comme l'un des plus exposé du Grand Ouest à l'augmentation des épisodes de canicules et de sécheresse.

2.6.3 Les impacts climatiques déjà observés

Le territoire cohérent du « Sud de la région Centre » est déjà soumis à certains impacts climatiques, liés pour l'essentiel à son climat plus continental que le reste du Grand Ouest :

- Une vulnérabilité élevée aux épisodes caniculaires : le sud de la région Centre a été parmi les territoires les plus touchés par la surmortalité lors de la canicule d'août 2003, ce qui s'explique par une exposition d'ores et déjà élevée et une sensibilité relativement forte, liée à une population vieillissante, souvent isolée en zone rurale et habitant parfois des logements à la qualité thermique médiocre.
- Une vulnérabilité actuelle aux épisodes de sécheresse non négligeable : comme dans le territoire cohérent « Beauce », de nombreuses exploitations agricoles sont dépendantes de l'irrigation pour sécuriser leurs rendements. Les épisodes de sécheresse récents mettent en évidence une tension de

plus en plus forte sur la ressource en période estivale, illustrée ponctuellement par la prise d'arrêtés de restrictions d'eau ou la définition de volumes prélevables.

- Les sols argileux, relativement importants dans le sud de la région Centre, induisent par ailleurs une vulnérabilité élevée du bâti au risque de retrait gonflement des argiles, qui touche en particulier l'habitat individuel, majoritaire pour ce territoire à dominante rurale.

2.6.4 Les principaux axes de la vulnérabilité du sud de la région Centre aux impacts du changement climatique

2.6.4.1 Axe clé 1 : l'agriculture, entre augmentation des rendements et réduction de la disponibilité de la ressource en eau

L'augmentation attendue des températures et la croissance du taux de CO2 dans l'atmosphère devraient se traduire par une croissance plus rapide des végétaux et, par voie de conséquences, un décalage des stades phénologiques (floraison précoce, etc.). Une telle évolution, déjà observée pour certaines espèces, serait globalement positive pour l'agriculture.

Toutefois, ces effets positifs pourraient se trouver contrebalancés par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse et une baisse consécutive de la disponibilité des ressources en eau, dans un territoire déjà ponctuellement soumis à des tensions autour de ces ressources.
La part des effets négatifs et positifs du changement climatique semble néanmoins difficile à évaluer, dans la mesure où le décalage phénologique pour certaines espèces limiterait, par exemple, les stress hydrique et thermique lors de la phase végétative, donc les besoins en eau en période estivale.

Initiatives : un certain nombre de projets de recherche visent à réduire l'incertitude quant aux impacts positifs et négatifs du changement climatique sur l'agriculture. C'est le cas des programmes Climator et Climaster (propre au Grand Ouest).

2.6.4.2 Axe clé 2 : l'accroissement des risques sanitaires

Les impacts sanitaires du changement climatiques devraient plus particulièrement toucher le territoire cohérent du Sud de la région Centre. Deux impacts se distinguent :

- Un accroissement important de la vulnérabilité aux épisodes caniculaires : les simulations climatiques de Météo-France indiquent une augmentation significative du nombre de jours passés en situation de canicule pour ce territoire. Or, en l'absence de mesures d'adaptation, la sensibilité de sa population devrait également augmenter. Les projections de l'INSEE soulignent ainsi la poursuite du vieillissement de la population, avec des difficultés supplémentaires d'accès aux soins liées à l'isolement grandissant des personnes.

- Comme son nom l'indique, le territoire cohérent en question est, avec la Vendée, le secteur du Grand Ouest le plus méridional et pour lequel la hausse attendue des températures est la plus élevée. Cette situation pourrait favoriser l'implantation de plantes allergènes ou de nouvelles maladies infectieuses ou vectorielles. Sur ce point demeurent toutefois de nombreuses incertitudes. Les zones humides en particulier – telles que la Sologne – pourraient ainsi voir se développer certains vecteurs comme le moustique tigre, responsable de la transmission de la dengue et du chikungunya.

2.6.4.3 Axe clé 3 : une vulnérabilité accrue au retrait-gonflement des argiles

L'augmentation de la durée et de la fréquence des épisodes de sécheresse pourrait accroître significativement le risque de retrait-gonflement des argiles dans le sud de la région Centre.

La prise en compte de ce risque dans les méthodes de construction reste faible. Par ailleurs, les revenus d'une part de la population (en particulier les retraités) ne leur permet pas d'engager des travaux visant à adapter leur logement à ce risque ou à en réparer les dégâts, d'où une sensibilité particulièrement élevée pour ce territoire.

Initiatives :

Quelques Plans de prévention du risque de retrait-gonflement des argiles ont été approuvés dans le département de l'Indre.

Le BRGM a réalisé une cartographie des zones exposées à l'échelle nationale.

2.6.4.4 Axe clé 4 : les impacts sur la forêt, entre vulnérabilité et opportunité

Les forêts du sud de la région Centre apparaissent moins sensibles aux épisodes de sécheresse que les forêts bretonnes, les essences les composant étant mieux adaptées au manque d'eau (chêne vert, pin maritime, châtaignier, etc.). Dans un premier temps, la hausse des températures et du taux de CO2 dans l'atmosphère pourrait favoriser une croissance plus rapide des forêts.

En l'absence de mesures d'adaptation, ces impacts positifs pourraient se trouver à moyen terme contrebalancés par l'accroissement des températures, de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse, entraînant un risque de dépérissement des forêt et une vulnérabilité accrue aux feux de forêt.

Enfin, la situation méridionale de ce territoire cohérent l'expose à une remontée plus rapide de l'aire de répartition de certains bioagresseurs, dont l'implantation serait favorisée par la hausse attendue des températures.

Initiative : le projet Nomade (2012-2013) vise à identifier les espèces susceptibles d'être implantées à la place des espèces d'arbres actuelles, moins bien adaptées. Des plantations tests seront réalisées dans la région durant l'automne 2012.

ANNEXE 1 – BIBLIOGRAPHIE

1 Sources bibliographiques transversales

Stratégie Nationale d'Adaptation au changement climatique, ONERC, 2007

Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France, MEEDDM- Groupe interministériel, 2009

Villes et adaptation au changement climatique, ONERC, 2010

Plan National d'adaptation au changement climatique, ONERC, juillet 2011

2 Agriculture et forêt

Général

L'agriculture française en 2010 - Premiers résultats du recensement agricole, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire, septembre 2011.

Nadine BRISSON & Frédéric LEVRAULT, *Projet CLIMATOR : Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*, projet ANR, INRA & ADEME, 2007-2010.

MEROT Ph., D. DELAHAYE, V. DUBREUIL, Ph. DESNOS, *Le climat change dans le Grand Ouest : évaluation, impacts, perceptions* (à paraître aux PUR, Rennes, 2012)

Hervé LE BOULER, *Le(s) climat(s) futur(s) en Loire Atlantique - Vignoble, forêt, agriculture : évolution, changement, ou panique ?*, CNBF, 2010

Grandes cultures

Caroline LEJARS, Jean-Louis FUSILLIER, Laurent BRUNEL & Gabrielle RUCHETON, *Impact des restrictions d'eau sur les filières agro-alimentaires - Nappe de la Beauce*, AFEID (Association Française pour l'Irrigation et le Drainage), CEMAGREF, CIRAD, DIATAE et Chambres d'agriculture d'Eure-et-Loir et du Loiret, 2011

Vignoble

G. BARBEAU, *Climat et vigne en moyenne vallée de la Loire*, UMT VINITERA - INRA

Hervé QUENOL, *Adaptation au changement climatique à l'échelle des terroirs viticoles*, TERRADCLIM – CNRS

Elevage

Jean BRISSON, *Les répercussions du « stress thermique » bien après les jours de canicule*, article in « Le producteur de lait québécois », novembre 2003

Des élevages porcins toujours plus gros, Agreste, 2002

Forêt

SEGUIN, *Forêts et milieux naturels face au changement climatique* – RDV Techniques de l'ONF, 2007.
Christian CHATRY Jean-Yves LE GALLOU, Michel LE QUENTREC, Jean-Jacques LAFITTE, Denis LAURENS & Bertrand CREUCHET, *Rapport de la mission interministérielle - Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts*, MEDDTL, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire, Ministère de l'intérieur et de l'outre-mer, juillet 2010.

3 Biodiversité

Général

Natacha MASSU et Guy LANDMANN, Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine – synthèse de la bibliographie, GIP Ecofor, mars 2011

Etat de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire – Sortie de la première évaluation en France, MEDDTL, 2007

Milieux aquatiques et zones humides

Schéhérazade AOUBID et Helène GAUBERT, *Evaluation économique des services rendus par les zones humides*, CGDD, 2010

Sabine GREULICH, *Comment prédire la dynamique des espèces végétales du lit endigué de la Loire face aux changements climatiques* - présentation d'un projet de recherche, Plan Loire grandeur Nature, septembre 2010

Changement climatique, impacts sur les milieux aquatiques et conséquences pour leur gestion, ONEMA, janvier 2010

Milieux littoraux et marins

Paul TREGUER, Marie LHUILLERY & Frédérique VIARD, *Changement climatique et impacts sur les écosystèmes marins de l'ouest de la France*, CSEB, 2009.

Fabian BLANCHARD, *Effets de la pêche et du réchauffement climatique sur la coexistence spatiale des espèces de poissons du golfe de Gascogne. Conséquences pour les pêcheries*, IFREMER

4 Infrastructures et bâti

Evaluation du comportement des bâtiments BBC dans les conditions climatiques prévues à l'échéance 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon, ADEME Languedoc-Roussillon, 2007

Impacts sanitaires des installations en climatisation, Contribution au Plan Canicule, AFFSET

Estimation du parc de logement, INSEE, 2006

Comprendre la réglementation thermique 2012, MEDDTL, 2012

Ian COCHRAN, *Infrastructure de transport en France : vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation*, Caisse des dépôts – Mission climat, septembre 2009

5 Ressources en eau

Général

Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Loire-Bretagne 2010-2015, Agence de l'eau Loire Bretagne, novembre 2009

Evaluation des interventions de l'agence en faveur des économies d'eau, Rapport d'évaluation, Agence de l'eau Loire Bretagne, mai 2009

Disponibilité des ressources

Etat des masses d'eau 2009, Agence de l'eau Loire Bretagne, DREAL, ONEMA, 2010

Etat des nappes d'eau souterraine en Bretagne à fin mars 2011, ONEMA et BRGM, 2011

Etat quantitatif de la ressource en eau en région Centre, DREAL Centre, février 2011

Etiages de la Loire, Lettre du Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire n°6, décembre 2005.

Agnès DUCHARNE (UMR Sisyphe, Université Paris VI, CNRS), Dominique THIERY (BRGM, Service Eau, Orléans), Eric SAUQUET, Jean-Philippe VIDAL & Alexis BERNARD (CEMAGREF, UR HH, Groupement Lyon), Vincent BUSTILLO & Florentina MOATAR (Université François-Rabelais de Tours, UMR ISTO- Tours), *Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux*, Plan Loire grandeur Nature, novembre 2010.

Demande en eau

Les prélèvements d'eau en France en 2009 et leurs évolutions depuis dix ans, CGDD, février 2012

Alain VICAUD, *Les besoins en eau de refroidissement des centrales thermiques de production d'électricité*, EDF, octobre 2007.

Florent TORTRAT, Pierre AUROUSSEAU, Hervé SQUIVIDANT, Chantal GASCUEL-ODOUX et Marie Odile CORDIER, *Modèle Numérique d'Altitude (MNA) et spatialisation des transferts de surface : utilisation de structures d'arbres reliant les exutoires de parcelles et leurs surfaces contributives*, INRA Rennes, 2002.

Projet Aqua Team, Pôle de compétitivité DREAM (eau et milieux), 2011.

6 Energie

Enquête annuelle sur la production d'électricité, SOeS.

Le transport d'électricité en Bretagne, Bilan 2006, perspectives 2007, dossier de presse RTE, 2007

FAQ L'électricité en Bretagne, Portail de l'Etat en Bretagne

La canicule et la sûreté des centrales nucléaires, Note d'information de l'ASN, 2011.

Données de l'Observatoire des énergies en région Centre (http://www.observatoire-energies-centre.org)

7 Risques naturels

Général

Dossiers départementaux sur les risques majeurs (DDRM), Préfectures Départementales.

Base de données Cartorisque, MEDDTL (http://cartorisque.prim.net/)

Base de données GASPAR, DGPR (http://macommune.prim.net/gaspar/)

Base de données CatNat, Observatoire des arrêtés de catastrophes naturelles (http://www.catnat.net)

Inondations

Données et rapports issus des travaux du Plan Loire Grandeur Nature, Plateforme Prévention des inondations (http://www.plan-loire.fr/fr/les-plates-formes/prevention-des-inondations/index.html)

Schéma Directeur de Prévision des Crues (SDPC) - Loire-Bretagne, DREAL Centre, Service Loire et Bassin Loire-Bretagne, Délégation de Bassin, projet pour consultation, décembre 2011.

Evaluation préliminaire des risques d'inondation du bassin Loire-Bretagne, DREAL Centre Bassin Loire Bretagne, décembre 2011

La mise en œuvre de la directive inondations, rapport de présentation, Comité de bassin Loire-Bretagne, septembre 2011

Janique VALY, *Croissance urbaine et risque inondation en Bretagne*, Université Rennes 2, UMR 6554 CNRS, décembre 2010

Quinze expériences de réduction de la vulnérabilité de l'habitat aux risques naturels, MEDDTL et Etablissement public Loire, juillet 2008

Retour d'expérience sur la crue de décembre 2003, rapport de l'Etablissement Public Loire, mars 2005

Près de 183 000 km de haies et de talus en 2008 en Bretagne, DRAAF Bretagne, septembre 2009

Risques littoraux

Bruno TREGOUET, *Le littoral : chiffres-clés*, CGDD, janvier 2011

Céline PERHERIN, Amélie ROCHE, Frédéric PONS, Isabelle ROUX, Guy DESIRE & Céline BOURA, *Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux*, CETMEF, 2009

Répondre aux risques liés au changement climatique dans les zones côtières – Guide des bonnes pratiques, projet RESPONSE, programme LIFE Environnement de la Commission Européenne, 2003-2006

Thierry FEUILLET, Étienne CHAUVEAU & Laurent POURINET, *Xynthia est-elle exceptionnelle ? Réflexions sur l'évolution et les temps de retour des tempêtes, des marées de tempête, et des risques de surcotes associés sur la façade atlantique française*, Revue Norois n°222, 2012

Stratégie adaptative au changement climatique dans le Golfe du Morbihan - Projet IMCORE (2008-2011)

La submersion marine en Pays de la Loire, DREAL Pays de la Loire, octobre 2011

Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, Directorate General Environment European Commission, 2004 (Base de données Eurosion)

Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine, IFEN, octobre 2007

Retrait-gonflement des argiles

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles par département, BRGM.

Feux de forêt

Base de données Prométhée (http://www.promethee.com)

Bertrand CREUCHET, Jean-Jacques LAFITTE, Denis LAURENS, Michel LE QUENTREC, Christian CHATRY, Jean-Yves LE GALLOU & Jacques GRELU, *Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts, CGDD*, juillet 2010

8 Santé

Plan national canicule 2011, Ministère du travail, de l'emploi et de la Santé, 2011

Plan régional Santé environnement (PRSE) Bretagne, DREAL Bretagne, 2011

Plan régional Santé environnement (PRSE) Centre, DREAL Centre, 2010

Plan régional Santé environnement (PRSE) Pays de la Loire, DREAL Pays de la Loire, 2010

La population des pays bretons à l'horizon 2030, article de l'INSEE Bretagne in Le Flash d'Octant n° 152, juin 2009

La population de la région Centre à l'horizon 2030, article de l'INSEE Centre in INSEE Centre Info n° 154, mai 2009

Les incidences du vieillissement de la population dans les Pays de la Loire, INSEE Pays de la Loire, juillet 2008

Les enseignements de la canicule de l'été 2003 dans les Pays de la Loire, rapport du groupe de travail « Canicule » au Conseil Economique et Social des Pays de la Loire, juin 2004

Jean-Pierre BESANCENOT, *Changement climatique et impacts sanitaires : une évolution déjà observable ?*, article in Air Pur n°72, 2007

Denis HÉMON & Eric JOUGLA, *Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques*, INSERM, septembre 2003

L'air et la santé en région Centre, Observatoire Régional de la Santé, 2005

ARS & INVS, *Bilan de la surveillance des conséquences psychologiques et sanitaires de la tempête Xynthia dans le sud-ouest de la Vendée en 2010*, 2011

9 Tourisme

Nuitées en campings par départements et par régions en 2010, INSEE, Enquêtes hôtellerie de plein air, 2011

Nuitées en hôtels par départements et par régions en 2010, INSEE, Enquête hôtellerie homologuée, 2011

Luc ROUSSEAU, *Mémento du tourisme*, Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, 2011

Émilie DEQUIDT, *Tourisme : hébergements, emplois et conséquences pour les territoires*, INSEE Pays de la Loire, juin 2011

Les chiffres clés du tourisme en région Centre, INSEE Centre, 2010

Jean Paul Ceron & Ghislain Dubois, *Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme*, Ministère du tourisme, mai 2006

Jean Paul CERON & Ghislain DUBOIS, *Changement climatique : changement de destinations ?*, Université de Limoges & Tourisme Environnement Conseil (TEC), 2006