

RAPPORTS

Direction générale de
l'aménagement, du
logement et de la
nature

Direction de l'eau et
de la biodiversité

Décembre 2016

Trame verte et bleue et enjeux relatifs au changement climatique



Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer

www.developpement-durable.gouv.fr

Rédaction :

Antoine LOMBARD, Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (MEEM)
Justine ROULOT et Bernard CHEVASSUS-AU-LOUIS association Humanité et Biodiversité

Relecture :

Solène BELLANGER (FPNRF), Lucille BILLON (MNHN), Jean-Pierre CABARET (MEEM), Aurélie CAROGET (MEEM), Bastien COIGNON (MEEM), Sandrine CRENEAU (MEEM), Aurélien DALOZ (ATEN), Vincent DAMERON (MAAF), Claire-Cécile GARNIER (MEEM), Stéphane GRIVEL (MEEM), Didier LABAT (MEEM), Stéphane LUCET (MEEM) Thierry MOUGEY (FPNRF), Romain SORDELLO (MNHN), Sophie UNANOA (MEEM), Sylvie VANPEENE (Irstea), Isabelle VIAL (ONEMA).

SOMMAIRE :

Introduction.....	4
I. Influences du changement climatique sur la biodiversité.....	8
1. Conséquences du changement climatique sur la biodiversité.....	8
2. Mécanismes d'adaptation au changement climatique.....	8
2.1 Mécanismes d'adaptation des espèces face à des modifications de leur environnement...8	
2.2 Plasticité des espèces face au changement climatique.....	9
2.3 Rôle de la sélection des espèces dans l'adaptation au changement climatique.....	10
2.4 Impacts sur les communautés d'espèces et capacité de résilience des écosystèmes.....	10
3. Ajustement spatial.....	11
4. Lacunes et incertitudes.....	12
II. Quelles réponses la trame verte et bleue apporte-t-elle face au changement climatique ? 14	
1. Capacités des milieux constitutifs de la Trame verte et bleue à atténuer et limiter le changement climatique.....	14
1.1 Les tourbières.....	14
1.2 Les milieux forestiers.....	14
1.3 Les milieux herbacés.....	15
2. Rôle des écosystèmes dans la limitation des impacts du changement climatique sur les sociétés humaines.....	15
2.1 Risques relatifs à l'érosion côtière et à la submersion marine.....	15
2.2 Risques liés aux inondations.....	16
2.3 Risques liés aux épisodes de sécheresse.....	16
2.4 Tempêtes et cyclones.....	17
3. Rôle de la Trame verte et bleue pour limiter les conséquences du changement climatique sur la biodiversité.....	17
3.1 Préserver et restaurer un réseau fonctionnel de milieux naturels en bon état de conservation.....	17
3.2 Favoriser les capacités de dissémination et de dispersion des espèces.....	18
3.3 Favoriser le maintien d'une diversité génétique des populations d'espèces sauvages.....	19
4. Les enjeux par trames.....	20
4.1 La trame bleue.....	20
4.2 La trame verte.....	22
4.3 Les enjeux multi-trames.....	24
4.4 Le changement climatique dans les schémas régionaux de cohérence écologique.....	25
III. Importance de privilégier des stratégies « sans regrets ».....	26
1. Appliquer le principe de précaution.....	26
2. Agir sur les pressions existantes.....	26

3.	Prendre en compte l'ensemble des fonctions écologiques des espaces.....	26
4.	Favoriser l'adaptation des espèces plutôt que leur déplacement.....	27
	LEXIQUE :.....	28
	Principales références bibliographiques.....	30

Introduction

Le réchauffement climatique contemporain est considéré comme la conséquence de l'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et en particulier du dioxyde de carbone (CO₂). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit, a minima, une augmentation globale des températures de + 2°C d'ici 2100. Les activités humaines et en premier lieu l'utilisation des énergies fossiles sont à l'origine de cette augmentation. Ceci a des conséquences physiologiques sur les organismes autotrophes (organismes chlorophylliens, cyanobactéries...) dont la productivité est globalement favorisée. Mais l'augmentation de la teneur en CO₂ et plus particulièrement le changement climatique qui en découle causent de multiples perturbations sur les organismes vivants et par conséquent sur la biodiversité.

La présente note s'intéresse aux effets du changement climatique sur la biodiversité et aux processus d'adaptation des espèces et communautés d'espèces au regard de ces évolutions. Une synthèse est ensuite réalisée concernant les enjeux relatifs au changement climatique au regard de la politique trame verte et bleue. Enfin, des orientations sont présentées afin de mieux prendre en compte le changement climatique dans les politiques de préservation de la biodiversité et de favoriser les capacités d'adaptation à travers la trame verte et bleue.

Les tendances observées, les prévisions sur l'évolution des températures et les autres paramètres climatiques :

Les travaux du GIEC¹ et en particulier les rapports produits en 2013 et 2014 ont permis de dresser une synthèse des connaissances concernant le changement climatique à l'échelle planétaire, ses origines, ses conséquences et d'établir des scénarios sur les évolutions futures du climat.

Une augmentation des températures est d'ores et déjà perceptible sur l'ensemble de la planète et est estimée de l'ordre de 0,85°C depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Sur le territoire métropolitain, l'augmentation des températures est déjà enregistrée à travers principalement le recul des glaciers dans les Alpes et les Pyrénées. L'augmentation mise en évidence des températures n'est cependant pas homogène sur l'ensemble de la surface terrestre en général, et sur le territoire français en particulier. La région méditerranéenne ainsi que les départements insulaires d'outre-mer font partie des « hot spot » du changement climatique, c'est-à-dire des régions les plus impactées par ce phénomène.

En matière de prévisions le rapport du GIEC précise que :

- il est possible de limiter l'élévation de température à 2°C en moyenne planétaire de plus qu'avant la révolution industrielle si les émissions mondiales de gaz à effet de serre sont « réduites de 40 à 70% entre 2010 et 2050 » ;
- le CO₂ issu des combustibles fossiles joue le rôle majeur parmi les émissions de gaz à effet de serre ;
- si les réserves de combustibles fossiles disponibles sont entièrement utilisées, des réchauffements de l'ordre de +4 à +5°C seraient atteints en 2100. Ceci entraînerait une poursuite du réchauffement au siècle suivant jusqu'à 7 ou 8°C.

Le GIEC met également en évidence une tendance générale vers un accroissement des événements climatiques extrêmes tels que les tempêtes et sécheresses. Certaines régions sont identifiées en tant que « hot spot » car elles sont susceptibles d'être plus fortement impactées par le changement climatique. Le rapport du GIEC identifie également les enjeux par régions biogéographiques, notamment pour l'Europe (Cf. figure 1).

¹ https://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml



Source: IPCC, 2007; EEA.

Figure 1 : Impacts du changement climatique par régions biogéographiques en Europe. IPCC (2007a). Climate Change 2007

Autre conséquence du changement climatique, l'élévation du niveau des mers est estimé à 19 cm depuis le début du XX^{ème} siècle. Elle est due à la combinaison de deux phénomènes : la dilatation des masses d'eau avec l'augmentation des températures et son augmentation du fait de la fonte des calottes glaciaires. En outre, localement et notamment en France métropolitaine, l'affaissement du socle continental accentue l'effet de la montée du niveau de la mer.

Le changement climatique a également des conséquences sur le cycle de l'eau. Des études menées dans le cadre du programme Explore 2070 mettent en évidence que, d'ici le milieu du siècle actuel, les débits des cours d'eau diminueraient en moyenne de 20% (avec des écarts de +5% à -60% selon les bassins versants), les débits en période d'étiage estival diminueraient de 30 à 60%. La recharge des nappes phréatiques serait partout en forte baisse, en moyenne de 30% (avec des écarts de 0 à 60% suivant les aquifères considérés).

Le changement climatique est considéré comme un des principaux « changements globaux » contemporains. Un changement global est entendu comme une pression environnementale non pas

ponctuelle dans le temps ou dans l'espace, mais qui est étendue sur une grande partie de la planète voire son entièreté. Sont également considérés comme changements globaux la pollution de l'air et des eaux, les phénomènes d'eutrophisation des milieux, l'expansion des espèces exotiques envahissantes, la dégradation et l'artificialisation des sols, la raréfaction des ressources naturelles...

Ces changements ont un impact plus ou moins direct sur la biodiversité et agissent en interaction entre eux. Parmi ceux-ci, le changement climatique est mis particulièrement en avant, mais il ne faut pas oublier que de nombreuses autres pressions sont responsables de l'érosion de la biodiversité observée au cours de ces dernières décennies.

La politique trame verte et bleue :

La Trame verte et bleue (TVB) est une démarche qui vise à maintenir et à reconstituer un réseau de continuités écologiques sur le territoire national afin que les populations d'espèces animales et végétales puissent se déplacer et accomplir leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos...) dans des conditions favorables.

La TVB s'articule avec l'ensemble des autres politiques et réglementations environnementales (aires protégées, Natura 2000, plans nationaux d'actions en faveur des espèces menacées, objectifs de bon état écologique des masses d'eau, études d'impact etc.) encadrées par la [stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020](#). En complément des politiques fondées sur la connaissance et la protection d'espèces et d'espaces remarquables, la Trame verte et bleue prend en compte le fonctionnement écologique des espaces et des espèces dans l'aménagement du territoire en s'appuyant en particulier sur la biodiversité ordinaire.

Le code de l'environnement (article L. 371-1 I) assigne à la Trame verte et bleue les objectifs suivants :

1. Diminuer la fragmentation et la vulnérabilité des habitats* naturels et habitats d'espèces et prendre en compte leur déplacement dans le contexte du changement climatique ;
2. Identifier, préserver et relier les espaces importants pour la préservation de la biodiversité par des corridors écologiques ;
3. Mettre en œuvre les objectifs visés au IV de l'article L. 212-1² et préserver les zones humides visées aux 2° et 3° du III du présent article ;
4. Prendre en compte la biologie des espèces sauvages ;
5. Faciliter les échanges génétiques nécessaires à la survie des espèces de la faune et de la flore sauvages ;
6. Améliorer la qualité et la diversité des paysages.

Ainsi, le changement climatique constitue un enjeu devant être pris en compte dans le cadre de la trame verte et bleue. Encore faut-il bien comprendre ce phénomène et ses possibles conséquences sur les milieux naturels et les espèces sauvages.

La TVB est mise en œuvre à l'échelle régionale à travers les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) qui sont élaborés conjointement par l'Etat et la collectivité régionale en ce qui concerne l'hexagone. Dorénavant à l'exception de l'Ile-de-France, ce sont les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) qui comporteront un volet « préservation et restauration de la biodiversité » en lieu et place du SRCE³. En Corse et dans les départements d'outre-mer, un volet spécifique à la TVB est intégré respectivement dans le plan d'aménagement et de développement durable de la Corse et dans les schémas d'aménagement régionaux. La rédaction des SRCE et le volet « biodiversité » du SRADDET sont encadrés par les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques.

Les SRCE identifient en particulier les réservoirs de biodiversité, les corridors et les obstacles aux continuités à l'échelle régionale. Chaque SRCE comprend un volet intitulé *plan d'action stratégique*. Ce

² Définit les objectifs de bon état des masses d'eau.

³ Dans le cadre de la loi de Nouvelle organisation territoriale de la République, les SRCE ont été absorbés dans le SRADDET. Il est prévu que les Régions élaborent une première génération de ces schémas d'ici 2019-2020.

dernier définit les actions hiérarchisées en matière de maintien et de restauration des continuités écologiques, les outils et moyens mobilisables à cette fin et les mesures d'accompagnement nécessaires à la mise en œuvre de la TVB. Les SRCE sont mis en œuvre jusqu'à adoption de la première génération de SRADDET. En Ile-de-France, au terme de six années de mise en œuvre, il fait l'objet d'un bilan et au vu des résultats obtenus, il est maintenu ou révisé.

L'identification des continuités écologiques est réalisée par le biais d'une analyse par sous-trames, parmi lesquelles sont identifiés les milieux boisés, les milieux ouverts, les milieux humides, les cours d'eau et les milieux littoraux.

I. Influences du changement climatique sur la biodiversité

NB : Pour approfondir la synthèse présentée ci-dessous et retrouver les références bibliographiques complètes, le lecteur peut consulter le rapport intitulé « *Le changement climatique et les réseaux écologiques - Point sur la connaissance et pistes de développement* » produit par le Service du patrimoine naturel du MNHN (Sordello *et al.*, 2014) au titre de l'expertise fournie au MEDDE dans le cadre du Centre de ressources TVB.

Afin d'identifier les enjeux de biodiversité liés au changement climatique, la présente note identifie les impacts du changement climatique sur les espèces, les différents modes d'adaptation des espèces et des écosystèmes face au changement climatique (en faisant un état des lieux particulier sur les évolutions d'aires de répartition via l'ajustement spatial) et recense les principales lacunes en matière de connaissances scientifiques qui limitent les capacités d'identification des enjeux actuels et à venir.

1. Conséquences du changement climatique sur la biodiversité

Le changement climatique a des conséquences directes sur les organismes vivants du fait de l'élévation des températures moyennes et extrêmes. Mais ce sont surtout les conséquences indirectes qui sont susceptibles d'impacter la biodiversité telles que le renforcement des périodes de sécheresse impliquant un stress hydrique accentué pour la végétation (déperissement d'arbres) et les modifications des écosystèmes, conséquences des modifications des paramètres environnementaux. Les modifications du régime hydrique, la montée du niveau des mers pourraient également avoir pour conséquences l'altération ou la modification de nombreux habitats d'espèces.

Dans certains cas, les conséquences du changement climatique peuvent localement modifier fondamentalement la nature du milieu (retrait d'un glacier, assèchement d'une zone humide...).

D'autres effets peuvent également impacter les espèces et communautés d'espèces comme l'accroissement des phénomènes extrêmes (inondations, tempêtes...) qui peuvent avoir des effets dévastateurs ponctuels ou par effet de répétition.

Un impact significatif du réchauffement climatique est déjà perceptible sur les populations animales et végétales en particulier pour les espèces des milieux froids, des espèces alpines dont les milieux de vie régressent. Pour autant, il ne semble pas à ce jour exister de cas de disparition d'une espèce que l'on puisse imputer uniquement au changement climatique contemporain. Le changement climatique s'ajoute en effet aux menaces déjà existantes que sont les surexploitations, l'introduction de nouvelles espèces, la disparition et la fragmentation des habitats ou encore l'eutrophisation* des milieux. Il peut ainsi amplifier les conséquences de ces pressions : raréfaction des ressources alimentaires, apparition de nouveaux prédateurs, de nouvelles maladies, de nouveaux parasites et d'espèces plus compétitives qui peuvent avoir pour conséquence de supplanter des populations anciennement présentes, voire être à l'origine de la disparition de certaines espèces.

I. Mécanismes d'adaptation au changement climatique

Face au changement climatique, les espèces ont certaines capacités d'adaptation pour assurer leur survie. En effet, les espèces sauvages sont constamment soumises à des modifications de leur environnement et sont amenées à développer des mécanismes d'adaptation. La question est en particulier de savoir comment ces processus se mettent en œuvre dans le cas du changement climatique.

A. Mécanismes d'adaptation des espèces face à des modifications de leur environnement

A l'échelle d'une population, une espèce est constamment confrontée à des évolutions de son environnement. Face à cela et selon les situations, plusieurs phénomènes peuvent intervenir :

- l'évolution environnementale n'a pas d'incidence sur la population, cette dernière se maintient sans modifications particulières si elle est suffisamment plastique par rapport au paramètre ; c'est souvent le cas en ce qui concerne le changement climatique pour les espèces cosmopolites ;
- les individus ont les capacités de s'adapter sur place : leur physiologie peut être modifiée lors de leur développement, car l'expression de certains gènes est modifiée (il s'agit alors d'un phénomène de plasticité phénotypique) ou elles peuvent s'adapter tout au long de leur vie à travers des modifications comportementales et phénologiques*. Ces capacités d'adaptation sont rapides mais limitées ;
- la population développe un comportement migratoire ou renforce ses capacités de dissémination : de nombreuses espèces végétales favorisent la reproduction sexuée au détriment de la reproduction végétative lorsqu'elles sont confrontées à des conditions défavorables ; de nombreuses espèces animales migrent ou développent leurs capacités à se disséminer.
- le génome de l'espèce évolue par sélection naturelle (on parlera plutôt de microévolution dans le cas d'adaptations ponctuelles). Dans ce cas, soit un allèle minoritaire présent au sein de la population finit par s'imposer, car il apporte un avantage adaptatif ; soit il est introduit au sein de la population par des échanges génétiques avec d'autres populations ; soit encore, il apparaît par le hasard d'une mutation. Mais les capacités d'adaptation sont aléatoires dans ce cas et demandent généralement de nombreuses générations.

Outre la sélection naturelle, moteur de l'évolution des espèces, l'épigénétique (transmission de caractère acquis aux générations suivantes) pourrait jouer un rôle important dans les capacités d'adaptation des populations. Ce domaine n'est cependant reconnu que depuis peu de temps par la communauté scientifique et reste en très grande partie à explorer.

Dans les faits, plusieurs stratégies d'adaptation se cumulent le plus souvent et les mécanismes responsables des adaptations qui peuvent être observés ne sont pas forcément identifiés.

B. Plasticité des espèces face au changement climatique

S'agissant du changement climatique, les principaux phénomènes de plasticité des espèces concernent les domaines de :

- l'ajustement interne : il s'agit de modifications morphologiques, physiologiques ou anatomiques. Chez certaines espèces animales, le développement peut être modifié lorsque la température augmente. C'est le cas chez la drosophile dont la taille des ailes est modifiée en fonction de la température. S'agissant des espèces végétales, la forme et la taille des feuilles peuvent également varier.

- l'ajustement phénologique : le calendrier biologique de l'espèce est modifié. Par exemple, la période de reproduction est avancée dans la saison, les dates de migration de nombreux oiseaux sont modifiées. La date de floraison et la date d'arrivée à maturité des fruits sont des indicateurs intéressants en ce qui concerne les végétaux sauvages comme cultivés. Une étude du ministère de l'écologie en collaboration avec le Comité interprofessionnel du vin de Champagne montre qu'aujourd'hui, les vendanges ont lieu deux semaines plus tôt qu'il y a vingt ans dans cette région⁴.

- l'ajustement spatial : au fil des générations, les aires de répartition se réorganisent à leurs marges :

- par la disparition d'individus là où le climat devient incompatible avec les exigences des espèces ou du fait de l'apparition d'espèces plus compétitives ou de nouveaux prédateurs qui vont supplanter les précédentes. Dans les régions devenues moins favorables, les espèces peuvent néanmoins trouver des zones refuges au sein d'habitats offrant des conditions environnementales localement favorables à leur développement.
- par la dissémination ou la migration d'espèces vers des régions nouvellement favorables.

On peut également noter des modifications de destination chez les oiseaux migrateurs ou des cas de sédentarisation. Néanmoins, le phénomène de sédentarisation d'oiseaux migrateurs semble plutôt résulter de spécimens ayant renoncé à la migration (cas qui ont toujours été observés occasionnellement), qui ont survécu grâce à la clémence des hivers récents, plutôt qu'à un réel phénomène d'adaptation des espèces

⁴ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Dates-de-floraison-et-de-vendanges.html>

concernées. Chez l'oie cendrée, les distances de migration ont tendance à diminuer, l'espèce descendant nettement moins vers le sud en période hivernale.

C. Rôle de la sélection des espèces dans l'adaptation au changement climatique

Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique par l'évolution génétique ne font pas l'unanimité au sein de la communauté scientifique, car le changement climatique est très rapide et les fluctuations annuelles importantes du climat (absence de tendances nettes) ne favorisent pas les phénomènes de sélection naturelle qui nécessitent généralement des périodes assez longues.

Pour autant, ce phénomène ne peut être ignoré bien qu'il soit le plus souvent très difficile à observer et à mettre en évidence. Il pourrait avoir un rôle important à plus long terme, si l'espèce concernée a déjà pu s'adapter au moins partiellement par d'autres moyens. La sélection naturelle peut notamment permettre à une espèce d'augmenter ses capacités de plasticité phénotypique. Par ailleurs, la sélection aura un rôle important dans l'adaptation des espèces aux impacts indirects du changement climatique (nouveaux ravageurs, nouveaux pathogènes...) par la sélection de formes plus résistantes.

En outre, les capacités d'adaptation par la sélection des espèces (le potentiel évolutif) dépendent fortement de la diversité génétique existante (ou diversité des allèles présents dans une population pour un gène donné) à l'échelle d'une population et sont liées à plusieurs paramètres :

- la diversité augmente de manière exponentielle avec le nombre d'individus présents dans la population ;
- la diversité allélique peut être importante pour certains gènes et faible à nulle pour d'autres (polymorphisme ou au contraire, monomorphisme) ;
- la fréquence d'apparition de mutations génétiques est également variable en fonction du type de mutation (mutation ponctuelle, remaniement chromosomique, aneuploidie, polyploidie), du gène concerné (séquences mutagènes) et des paramètres environnementaux (substances polluantes, radioactivité...).

Aussi est-il possible de s'attendre à ce que certaines espèces subissent peu les conséquences du changement climatique, en particulier, les espèces à forte plasticité, celles qui ont une forte capacité de dispersion et, probablement, celles qui ont un fort potentiel évolutif (notamment présentant une importante diversité génétique au sein de leurs populations). Ainsi, de telles espèces pourraient ainsi bénéficier des effets du changement climatique, car elles obtiendraient un avantage comparatif par rapport aux autres. La plupart des espèces exotiques envahissantes, présentant le plus souvent une plasticité importante, appartiendraient à cette catégorie⁵.

Au contraire, les espèces très spécialisées, présentant des petites populations isolées, en particulier celles déjà limitées à des niches écologiques telles que les reliques glaciaires*, risquent d'être les plus impactées par le changement climatique.

D. Impacts sur les communautés d'espèces et capacité de résilience des écosystèmes

En dehors du contexte de changement climatique et plus globalement des changements globaux contemporains, les communautés au sein des écosystèmes ne sont pas figées, notamment parce que la pluviométrie, les températures, les périodes de sécheresse etc. ne sont pas identiques d'une année sur l'autre et que les équilibres entre les espèces (notamment entre proies et prédateurs) évoluent constamment. Ces évolutions restent cependant généralement modérées et, en l'absence de pressions extérieures particulières, un écosystème se trouve généralement dans une situation d'équilibre instable.

Le changement climatique, ajouté aux autres pressions environnementales contemporaines, peut avoir des conséquences sur les communautés d'espèces qui composent les écosystèmes et celles-ci peuvent ainsi évoluer. Cela peut se traduire par diverses formes d'ajustement - une espèce végétale dominée peut

⁵ <http://www.conservation-nature.fr> : Invasions biologiques : conséquences du changement climatique sur les invasions biologiques

devenir dominante ou des espèces ayant une fonction écologique particulière (pollinisateurs, parasites, espèces symbiotiques ou commensales*...) peuvent être remplacées par d'autres, apparaître ou disparaître – ce qui peut avoir des conséquences multiples sur les écosystèmes. Il peut en résulter des modifications profondes au sein des écosystèmes (développement de nouveaux ravageurs, parasites ou prédateurs...), notamment si les remaniements concernent des espèces « clé de voute »*.

Par ailleurs, dans le cadre de changements globaux et en particulier du changement climatique où, bien que l'évolution des paramètres soit progressive (s'agissant des températures, de la pluviométrie), il existe un risque que les réactions des écosystèmes puissent présenter un caractère brusque. Par exemple, il est mis en évidence, notamment dans le cas de certains lacs qui basculent brusquement dans un état d'eutrophisation ou de dystrophie, phénomènes de transition brutale appelés « transitions catastrophiques ». Le retour à une situation antérieure est alors très difficile.

Ces bouleversements conduiront bien, à terme, à un nouvel équilibre au sein de la biocénose, mais ils risquent d'entraîner une perte globale de biodiversité importante.

Enfin, plus un écosystème est riche en espèces, plus ses capacités de résilience seront importantes. En effet, si l'écosystème accueille de nombreuses espèces redondantes* (pollinisateurs généralistes par exemple), les chances seront nettement plus importantes pour que certaines d'entre elles puissent se maintenir et, qu'ainsi, les fonctions écologiques soient maintenues à la suite d'un changement environnemental.

3. Ajustement spatial

Le climat constitue un paramètre primordial qui détermine la répartition des espèces. De ce fait, l'ajustement spatial est considéré comme un phénomène majeur d'adaptation des espèces au changement climatique.

Les mouvements de régression/transgression des espèces au cours de l'histoire sont directement influencés par les variations cycliques du climat oscillant entre périodes glaciaires et périodes interglaciaires.

De nos jours, des mécanismes comparables se mettent à l'œuvre sous l'effet du changement climatique contemporain. Ces mouvements peuvent se traduire aussi bien par des glissements que par des expansions ou des contractions, voire des extinctions de populations d'espèces, selon que les espèces sont ou non favorisées par le nouveau climat. Cependant, l'évolution contemporaine constatée et prévue est nettement plus rapide que celles constatées au cours des périodes antérieures.

L'ajustement spatial est conditionné par la capacité de l'espèce à disperser et à conquérir de nouveaux territoires, sachant que :

- dans des conditions normales de développement, une population, pour se disséminer, doit disposer de populations « source » (dont la démographie est positive) et donc présenter un état de conservation suffisamment favorable ;
- dans des conditions défavorables, les réponses à une situation de stress peuvent engendrer des migrations (chez les insectes par exemple ou les vertébrés), favoriser les capacités de dispersion ou engendrer un comportement migratoire (chez les vertébrés notamment).

En outre, la population de l'espèce concernée doit disposer d'habitats favorables, lui permettant de réaliser l'ensemble de son cycle de développement, dans le périmètre au sein duquel elle est en capacité de se disperser.

On constate d'une manière générale que :

- les espèces plutôt méridionales (pour nos latitudes) bénéficient du réchauffement climatique et s'étendent vers le nord et en altitude. On peut citer ici le cas de la chenille processionnaire du pin à l'origine limitée au bassin méditerranéen et qui s'étend désormais jusqu'en région parisienne ou le Chêne vert dont l'aire de répartition progresse vers le nord, principalement sur la façade atlantique (figure 2) ;
- d'autres espèces, septentrionales ou confinées aux milieux montagnards ou alpins régressent vers le nord ou se retrouvent de plus en plus confinées dans les niches écologiques ou à des altitudes de

plus en plus élevées (en particulier pour les espèces reliques glaciaires telles que le Lagopède alpin, dont la disparition dans certains massifs pourrait être provoquée par le changement climatique).

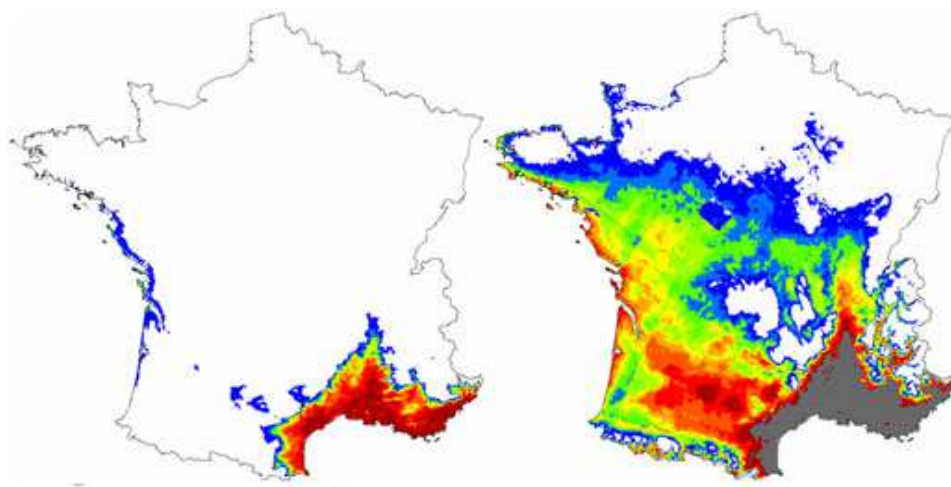


Figure 2 : Niche climatique potentielle du chêne vert, actuelle (à gauche), et à la fin du 21ème siècle (à droite). *Source : Vincent Badeau, 2006 : Impacts des changements climatiques sur les aires de répartition des essences forestières.*

Il a été mis en évidence pour la flore, à travers un exercice de modélisation, qu'un réchauffement de 1°C correspondrait à une évolution chorologique* (aire de répartition de l'espèce) du Sud vers le Nord d'environ 180 km pour la majeure partie de la France et d'une élévation de l'ordre de 150 m en région montagneuse. Cependant, ces évolutions chorologiques semblent se produire avec un retard important.

Pour autant, les évolutions d'aires des populations d'espèces constatées au cours des dernières décennies ne suivent pas toujours les tendances climatiques observées ; c'est par exemple le cas du pic noir dont l'aire de répartition progresse depuis 40 ans vers l'ouest et le sud de la France. Il peut exister plusieurs raisons à ces phénomènes. Il peut s'agir d'espèces qui recolonisent un territoire d'où elles avaient disparu antérieurement, d'habitats favorables nouvellement présents ou encore d'espèces qui ont évolué et sont devenues plus adaptées aux conditions environnementales, présentant ainsi une dynamique d'expansion. Ceci peut expliquer la progression de certaines espèces de l'est vers l'ouest ou du nord vers le sud. De plus, les espèces en déclin ont tendance à régresser plus particulièrement à la marge de leur aire de répartition au nord comme au sud.

Enfin, comme cela a été mis en évidence lors des précédentes périodes interglaciaires, l'ajustement spatial peut se produire avec un retard important pour des espèces à faibles capacités de dispersion mais également pour d'autres espèces parfois très mobiles pour lesquelles les raisons de ce retard ne sont pas toujours évidentes. Les capacités de dispersion ou de migration d'une espèce sont en effet limitées et nécessitent notamment la présence de populations et d'habitats dans un état de conservation suffisamment favorable. Des barrières écologiques (massifs montagneux, mers...) peuvent également constituer un obstacle naturel à leur dispersion. Mais de nos jours, c'est la fragmentation de l'espace, engendrée par l'aménagement du territoire (espaces urbanisés, infrastructures linéaires...) qui est le principal frein à la mobilité des espèces.

4. Lacunes et incertitudes

Un effort conséquent a été fait de la part de la communauté scientifique pour améliorer la compréhension des impacts du changement climatique sur la biodiversité. Malgré cela, de très nombreuses incertitudes persistent. S'agissant de la mise en évidence des impacts actuels, il est important qu'un suivi des effets du changement climatique sur les espèces et leurs communautés soit assuré dans la durée selon des méthodologies adaptées.

Il existe un dispositif de suivi pour l'avifaune (STOC : suivi temporel des oiseaux communs), mais il concerne un groupe taxonomique relativement peu sensible à la fragmentation et à fortes capacités de mobilité et ne peut apporter de réponses qu'à une partie des questionnements concernant les effets du changement climatique. Par ailleurs, d'autres projets ont été initiés concernant d'autres groupes taxonomiques (vigie nature, Renecofor pour les milieux forestiers, observatoire de la flore de Bourgogne...), mais ils ne sont pas suffisamment généralisés sur le territoire national.

S'agissant des milieux aquatiques, dans le cadre de la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau (DCE), un réseau de référence pérenne (RRP) a été mis en place dont l'objet est de conforter la connaissance des conditions de référence des écosystèmes aquatiques et de prendre en compte les changements à long terme des conditions naturelles, notamment le changement climatique.

En effet, dans le cadre de la DCE l'évaluation de l'état écologique des eaux de surface se mesure en fonction de l'écart observé entre une situation donnée et une situation de référence. Dans cette optique, plusieurs « éléments de qualité biologique » connus pour leur caractère bio-indicateur sont surveillés régulièrement. Pour les cours d'eau, les quatre compartiments biologiques surveillés sont les macrophytes*, le phytobenthos*, la faune benthique invertébrée et l'ichtyofaune*.

Pour réaliser ce suivi, un réseau référence pérenne composé de 340 sites a été constitué. Ces sites, exempts de pression anthropique, couvrent l'ensemble des typologies de cours d'eau de France métropolitaine et font l'objet d'un suivi annuel depuis 2012. Ce suivi des éléments de qualité biologique s'accompagne d'un suivi annuel de paramètres physico-chimiques (température, bilan d'oxygène, salinité, état d'acidification, concentration en nutriments) et d'un suivi de paramètres hydromorphologiques dont l'hydrologie.

D'une manière générale, les programmes de suivi représentatifs des enjeux, couvrant l'ensemble du territoire et permettant d'étudier finement les effets des changements globaux sur la biodiversité doivent être renforcés et complétés.

Outre l'amélioration des connaissances sur la répartition et l'évolution des espèces et de leurs habitats, les connaissances scientifiques sur les différents mécanismes d'adaptation sont également encore très lacunaires. Des efforts méritent d'être réalisés pour mieux identifier le rôle des différents moyens d'adaptation des espèces.

Les incertitudes existantes sur les évolutions climatiques - au-delà du consensus qui se dégage de la part de la communauté scientifique concernant l'évolution des températures - et les connaissances limitées des traits de vie* des espèces ne permettent pas une fiabilité suffisante des travaux de modélisation prédictive concernant les capacités d'adaptation des espèces face au changement climatique. A ce titre, les premiers travaux effectués visant à modéliser les évolutions d'aire de répartition des espèces (essences d'arbres, poissons) s'avèrent peu fiables. Les nouveaux travaux en cours permettent de prendre en compte des paramètres plus nombreux, en particulier la biologie des espèces, mais un certain nombre ne peut être modélisé avec une précision suffisante, tels que les modifications des équilibres des communautés d'espèces, les potentialités d'évolution génétique...

Malgré l'ensemble des incertitudes, des tendances concernant l'effet du changement climatique sur la biodiversité sont mises en évidence, et il est ainsi nécessaire de prendre en compte cet enjeu dans le cadre des politiques de conservation en améliorant les capacités d'adaptation de cette dernière.

II. Quelles réponses la trame verte et bleue apporte-t-elle face au changement climatique ?

Les objectifs de la Trame verte et bleue sont intéressants à plusieurs titres pour anticiper le changement climatique et adapter les écosystèmes aux nouveaux enjeux à venir.

D'une manière générale, la nécessité d'agir en faveur de la biodiversité au regard des menaces causées par le changement climatique concerne plusieurs domaines.

En premier lieu, il apparaît important de favoriser les capacités des écosystèmes à atténuer le changement climatique et de préserver des surfaces d'habitats en bon état de conservation. Dans un second temps la TVB, dont le principal objectif est de lutter contre la fragmentation, permet de garantir la perméabilité des milieux et donc le brassage génétique et les déplacements d'espèces entre populations d'espèces.

1. Capacités des milieux constitutifs de la Trame verte et bleue à atténuer et limiter le changement climatique

Certains écosystèmes jouent un rôle majeur de puits de carbone. Il est considéré que le principal puits de carbone est l'océan - nous n'aborderons pas ici cet aspect, car le milieu marin ne se trouve pas dans le périmètre d'action de la trame verte et bleue - cependant de nombreux écosystèmes terrestres jouent également un rôle majeur. C'est le cas en particulier des tourbières, des milieux forestiers et des sols végétalisés.

A. Les tourbières

Une tourbière est constituée d'un substrat de matière organique (la tourbe) qui ne se décompose que très lentement, car constamment immergé. La végétation qui s'y développe (habituellement constituée majoritairement de sphaignes) comprend des espèces très spécialisées dont de nombreuses espèces rares et menacées, parmi lesquelles divers végétaux, papillons, mollusques, odonates et champignons. Or, de nombreuses espèces inféodées aux tourbières sont menacées.

Les tourbières, formées de couches de plusieurs mètres de tourbe dont le pourcentage de carbone atteint en général 20 à 30 %, font partie des habitats qui stockent une quantité importante de carbone. Ces milieux naturels, déjà largement intégrés dans les réseaux d'espaces protégés, constituent pour une grande partie des réservoirs de biodiversité prioritaires de la trame bleue (zones humides et cours d'eau) identifiés dans le cadre des schémas régionaux de cohérence écologique.

L'altération et la dégradation par des aménagements, les drainages, les plantations d'arbres etc, ont le plus souvent des conséquences très importantes sur le milieu et peuvent entraîner la reprise de la minéralisation de la matière organique, ce qui implique une libération de carbone importante dans l'atmosphère. A contrario, la préservation des tourbières dans un bon état de fonctionnement permet au milieu de conserver son rôle de stockage de carbone, car le processus d'accumulation de tourbe se poursuit alors. Au cours des derniers siècles, les tourbières ont fortement régressé en France, en particulier en plaine, du fait des pressions évoquées ci-dessus. La conservation de ces habitats vulnérables est ainsi stratégique à plusieurs titres, dont la lutte contre le changement climatique.

B. Les milieux forestiers

L'appellation « milieux forestiers » regroupe un ensemble d'habitats très diversifiés constitués de peuplements de différentes natures, de densités différentes, d'âges variables et plus ou moins modifiés par l'homme. Ils jouent également un rôle important dans le stockage du carbone. D'une part, le bois est lui-même en grande partie constitué de carbone d'origine atmosphérique, mais les sols forestiers sont également riches en matière organique carbonée. Les préconisations afin que la forêt joue efficacement son rôle en matière de stockage de carbone consistent à favoriser le bois d'œuvre afin que le carbone soit fixé plus durablement (le bois est alors utilisé pour la construction, l'ébénisterie). Cet objectif induit une

gestion sylvicole adaptée, favorisant généralement le traitement en futaie ainsi que la sélection d'essences adaptées à la production de bois d'œuvre.

C. Les milieux herbacés

Les milieux herbacés ont également un rôle de stockage de carbone, principalement dans les sols. Dans le cas des prairies permanentes, la capacité de stockage des sols, déjà conséquente, pourrait augmenter avec le changement climatique.

Les pelouses, généralement caractérisées par des sols pauvres en matières organiques et une végétation peu productive, ont néanmoins une valeur patrimoniale majeure pour la France métropolitaine de par leur richesse en biodiversité. Il serait donc particulièrement préjudiciable d'enrichir ces milieux (favoriser leur eutrophisation) ou de favoriser leur fermeture pour augmenter les capacités de stockage.

Rôle des sols dans le stockage de carbone

D'une manière plus générale, lorsqu'ils ne sont pas dégradés, les sols des milieux naturels renferment des quantités importantes de matière organique. Cette dernière confère une stabilité aux sols et fixe le carbone. La dégradation, l'altération ou l'artificialisation des sols (mise en culture, défrichage...) peut entraîner des libérations importantes de gaz carbonique et leur appauvrissant en matière organique. En outre, ces pratiques ont pour conséquence une perte de biodiversité et le plus souvent une érosion importante.

Le sol est le principal réservoir de carbone de la planète si l'on excepte le carbone fossile. On estime qu'à l'échelle de la Terre, les sols représentent un stock de 2 000 milliards de tonnes de carbone organique (800 milliards sur les 30 premiers centimètres puis 1 200 milliards en dessous).

Enfin, le couvert végétal a également une influence directe sur le climat ; en son absence, l'albédo* est généralement diminué et l'absence d'évapotranspiration ne permet pas de limiter la température. A grande échelle cela peut avoir des conséquences sur le climat : à une même latitude, les températures sont différentes en fonction de la végétation présente.

2. Rôle des écosystèmes dans la limitation des impacts du changement climatique sur les sociétés humaines

Une des conséquences mise en évidence sur le cycle de l'eau est l'augmentation du niveau des mers, mais il en existe d'autres. Ainsi les régimes hydriques seront modifiés - vraisemblablement dans le sens d'une concentration des périodes pluvieuses en automne et hiver - et le phénomène d'évapotranspiration amplifié avec l'augmentation générale des températures. Les couvertures de neige et les glaciers sont déjà en forte régression sur les massifs montagneux notamment français. Les phénomènes extrêmes (inondations, sécheresses, tempêtes, cyclones...) risquent d'être amplifiés à l'échelle planétaire.

Les principaux risques susceptibles d'être amplifiés par le changement climatique sont, d'une part, liés aux inondations, aux submersions par la mer et, d'autre part, à la sécheresse, favorisant en particulier les incendies et les retraits et gonflements d'argile (risques d'effondrement).

Les probabilités pour que les impacts sur les sociétés humaines de ces phénomènes extrêmes soient augmentés par le changement climatique sont importantes. Aussi, la tendance est-elle à développer des projets visant à les anticiper. Les impacts potentiels de ces projets sur la biodiversité doivent systématiquement être pris en compte.

D. Risques relatifs à l'érosion côtière et à la submersion marine

Le changement climatique, de par la montée prévisible du niveau de la mer, accentue les risques de submersion et d'érosion et remet souvent en question, à terme, les aménagements qui ont permis la conquête de terres sur le milieu marin (poldérisation).

L'érosion du littoral est un phénomène qui touche près d'un quart des côtes françaises et est globalement observé sur les côtes de l'ensemble de la planète. C'est un phénomène naturel, mais son fonctionnement

normal peut être accentué par les activités humaines et les aménagements (extraction de sable en mer, aménagement de cours d'eau qui entrave l'alimentation en sédiments du littoral, épis et brises-lames). Le changement climatique peut avoir des conséquences majeures et accentuer les conséquences de phénomènes extrêmes ou rares (surcotes, tempêtes...).

La trame verte et bleue a pour objectif la restauration des fonctionnalités écologiques des milieux et des continuités écologiques, notamment des cours d'eau et de leur interface avec le milieu marin et le littoral. Dans bien des cas, l'abandon des stratégies défensives (maintien et surélévation des digues, enrochement, réensablement) en renonçant à une partie des usages des territoires concernés, est le seul moyen de réduire les risques.

E. Risques liés aux inondations

L'artificialisation des cours d'eau par la chenalisation* et la destruction ou l'altération de nombreuses zones humides accroissent les conséquences des inondations sur les biens et les personnes dans de nombreux secteurs en France. Ces questions font l'objet d'une attention particulière de la part des politiques publiques. Les objectifs des politiques européennes (directive 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation) et françaises (stratégie nationale de gestion des risques d'inondations) reposent désormais prioritairement sur la restauration de continuités écologiques et du fonctionnement naturel des cours d'eau plutôt que sur l'aménagement d'ouvrages de protection (digues, barrages...) comme cela pouvait être le cas antérieurement.

La trame verte et bleue s'inscrit dans ce cadre à travers la restauration des zones inondables qui permettent l'écrêtement des crues (zones d'épandage des crues), et sur les continuités longitudinales, par le rétablissement de la libre circulation des masses d'eau lorsque cela est possible au regard des activités humaines.

En outre, les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux, les plans de gestion des risques d'inondation et les SRCE agissent en synergie sur ces questions.

Par ailleurs, à l'échelle locale, la « gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations » (GEMAPI), instituée récemment par la loi du 27 janvier 2014 renforce cette nouvelle approche qui concilie la gestion du risque d'inondation et la conservation des milieux humides et aquatiques.

F. Risques liés aux épisodes de sécheresse

Le réchauffement climatique est susceptible de renforcer les épisodes de sécheresse. En effet, les modélisations disponibles à ce jour (dont Explore 2070) laissent penser que les pluies pourraient être plus rares en été et que les pluies efficaces* pourraient diminuer en lien avec l'augmentation de l'évapotranspiration. Ceci aurait des conséquences importantes pour les activités humaines, mais également sur les écosystèmes. L'augmentation des besoins de prélèvement en eau pour l'irrigation et les besoins domestiques risque d'amplifier ces conséquences et d'être incompatible avec la raréfaction de la ressource en eau, en particulier en période estivale. La limitation des risques liés à la sécheresse doit donc s'appuyer sur la conservation d'écosystèmes en bon état tels que les zones humides et le lit majeur des cours d'eau. En effet, il est important de conserver d'une part, le rôle tampon des zones humides contre les inondations et les phénomènes de sécheresse ainsi que le rôle de la végétation favorisant le maintien de la teneur en eau dans les sols en limitant l'évaporation en période de stress hydrique.

L'accroissement des périodes de sécheresse a des conséquences sur la biodiversité et en premier lieu sur la végétation. Les espèces les mieux adaptées pour résister au stress hydrique seront favorisées. Par exemple, le Pin d'Alep résiste particulièrement bien aux périodes de sécheresse et son expansion naturelle est déjà constatée dans la zone méditerranéenne française. S'il est particulièrement inflammable, il est également bien adapté pour se régénérer après un incendie.

En outre, l'augmentation des périodes de sécheresse accentue les risques d'incendies. La lutte contre les incendies consiste généralement à mettre en place des « pare-feux » qui constituent des barrières entre les massifs forestiers, par des fauches régulières, ou des opérations de débroussaillage qui peuvent être également conduites en sous-bois lorsque la végétation est sensible aux incendies. Bien localisés et écologiquement compatibles, ces pare-feux peuvent constituer des outils intéressants pour la mise en

place de la TVB. De telles démarches reposent sur le pastoralisme, notamment pour les opérations de débroussaillage, ce qui permet de restaurer également des écosystèmes herbacés favorables à la biodiversité, perméables pour les espèces forestières.

A titre d'exemple, le Parc naturel régional des Alpilles mène des travaux de débroussaillage des secteurs à risques d'incendies en favorisant au mieux le pâturage. Ceci permet de soutenir une filière soumise à des difficultés économiques, de restaurer des milieux naturels ouverts et de limiter les risques d'incendies.

G. Tempêtes et cyclones

Les prévisions, s'agissant de l'évolution des événements extrêmes tels que les tempêtes et les cyclones, font l'objet de fortes incertitudes. Pour la métropole, les modélisations disponibles réalisées par Météo France ne mettent pas en évidence des augmentations notables. En ce qui concerne l'outre-mer, les événements les plus importants pourraient être renforcés.

Ce sont plus particulièrement les impacts cumulés de différents effets du changement climatique avec les événements extrêmes qui peuvent avoir des conséquences importantes sur la biodiversité. Ainsi, l'élévation du niveau de la mer augmentera les conséquences des tempêtes futures sur le littoral.

Ceci milite pour le renforcement des mesures de prévention des risques et une stratégie de restauration des fonctionnalités des milieux naturels en particulier pour le littoral et les milieux humides.

III. Rôle de la Trame verte et bleue pour limiter les conséquences du changement climatique sur la biodiversité

Dans un contexte général de changements globaux, aux conséquences diverses et très difficiles à anticiper, il est important de concentrer les efforts sur l'amélioration de l'état de conservation des espèces et habitats naturels et semi-naturels selon une approche de réseau écologique.

En effet, en dehors de quelques territoires en Guyane, le territoire français, largement aménagé, est en grande partie façonné par les activités humaines. L'aménagement du territoire a entraîné un fractionnement des milieux naturels et ainsi conduit à un isolement des populations de nombreuses espèces sauvages.

La trame verte et bleue se concentre sur cet enjeu à travers son approche centrée sur les continuités écologiques. La démarche de la trame verte et bleue se focalise en particulier sur les trois axes suivants qui constituent des éléments de réponse aux enjeux de préservation de la biodiversité face au changement climatique.

A. Préserver et restaurer un réseau fonctionnel de milieux naturels en bon état de conservation

La première partie de la présente note a mis en évidence l'importance de limiter la fragmentation et d'améliorer l'état de conservation des populations et des communautés d'espèces pour limiter les conséquences du changement climatique sur la biodiversité et améliorer la résilience des écosystèmes.

De même qu'un individu en mauvais état de santé risque de ne pas pouvoir survivre en cas de stress important, un habitat naturel ou un écosystème (constitué de communautés d'espèces) sera d'autant plus altéré par un stress environnemental qu'il sera dégradé. L'état de conservation d'un écosystème peut être évalué à travers la richesse en espèces, leur diversité génétique, la non dégradation des sols, la structuration de la végétation (par strates), la rareté des espèces exotiques envahissantes et des espèces indicatrices d'eutrophisation* et d'anthropisation, ainsi que la présence d'autres éléments structurants des milieux (présence de bois mort en milieu forestier).

L'état de conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire* (relevant de la directive habitats faune flore) a été évalué en 2013. Pour la France, seules 23% des espèces et 22% des habitats d'intérêt communautaire ont été évalués dans un état de conservation favorable. Les enjeux de conservation des habitats et des espèces sont donc particulièrement importants.

Il existe un réseau d'espaces protégés dotés d'une réglementation visant la protection de la biodiversité remarquable ainsi que des espaces naturels dont la maîtrise foncière est assurée par des pouvoirs publics ou des associations. Ce sont les réserves naturelles et réserves de chasse et de faune sauvage, les zones cœur de parcs nationaux, les espaces concernés par des arrêtés préfectoraux de protection du biotope*, les réserves biologiques, les espaces acquis ou gérés par les Conseils départementaux, le Conservatoire des espaces littoraux et des rivages lacustres, les conservatoires régionaux d'espaces naturels... D'autres espaces font l'objet de mesures de conservation par des mesures principalement contractuelles. Il s'agit notamment des parcs naturels régionaux et du réseau Natura 2000.

Dans le contexte du changement climatique, il est souvent considéré que ces réseaux d'espaces naturels pourraient être insuffisants pour permettre à la biodiversité de s'adapter et d'évoluer, car les enjeux de biodiversité pourraient se déplacer (par exemple en montagne ou à proximité du littoral). Au vu de ce constat, la mise en place d'un ensemble d'espaces « tampon », où la fonctionnalité des milieux serait préservée, est souvent avancée en complémentarité des politiques actuelles de protection des espaces naturels. Dans ce cadre, les réservoirs de biodiversité, tels qu'identifiés par la trame verte et bleue, peuvent jouer ce rôle.

B. Favoriser les capacités de dissémination et de dispersion des espèces

L'ajustement spatial décrit dans le chapitre précédent est le facteur d'adaptation le mieux mis en évidence à ce jour face au changement climatique. Au vu des projections, il est fort probable que les évolutions des aires de répartition de nombreuses espèces, déjà en partie constatées, se poursuivront et s'amplifieront au cours du XXI^{ème} siècle.

Or, pour de nombreuses espèces, ces mécanismes sont conditionnés par la présence de continuités écologiques qui permettent aux populations de migrer ou de se disséminer, en particulier entre réservoirs de biodiversité.

La TVB, à travers ses objectifs principaux de restauration des continuités écologiques, son approche par sous-trames et la prise en compte d'espèces d'importance nationale sensibles à la fragmentation, se donne précisément pour objectif d'intervenir sur ces paramètres.

Notamment, le traitement des obstacles aux continuités écologiques aquatiques et terrestres identifiées dans les SRCE constitue un objectif prioritaire de la TVB permettant d'améliorer les capacités de dissémination et migration des espèces et d'ajustement spatial ainsi que les capacités de reconquête d'un territoire par des espèces après leur disparition de ce dernier (Loutre, Castor, Saumon atlantique, Lynx, Loup...) ou suite à des réintroductions de spécimens (Gypaète barbus, Vautour moine, projet de réintroduction du Bouquetin ibérique).

Les espèces exotiques envahissantes et les enjeux de continuités écologiques dans un contexte de changement climatique :

Le développement des EEE risque fortement d'être favorisé par le changement climatique. En effet, la plupart des espèces exotiques envahissantes en France sont originaires de pays où le climat est globalement plus chaud que celui observé en France. Le développement de certaines de ces espèces est encore contenu en France, car elles ne sont pas en mesure de boucler leur cycle de reproduction. C'est le cas par exemple de la Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) originaire des régions tropicales qui, jusqu'à ce jour, ne peut assurer sa reproduction sexuée en France métropolitaine du fait des températures trop basses. Le changement climatique (également l'évolution génétique des populations) pourrait favoriser la reproduction sexuée de ces espèces comme cela a été observé récemment pour la Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans* Wied) dans le sud de la France.

Depuis les premières réflexions sur la mise en place de la TVB les risques que le rétablissement de continuités écologiques puisse entraîner un accroissement des capacités de développement et de progression d'espèces invasives sur le territoire a été pris en compte.

Ce risque peut être réel dans certains cas particuliers, notamment pour les milieux aquatiques (écrevisses exotiques). Dans ce cas, il est important d'évaluer préalablement l'impact du rétablissement d'une

continuité, anticiper les conséquences et, le cas échéant, renoncer à la restauration de la continuité tant que des conditions favorables ne sont pas réunies.

Néanmoins, la prolifération des EEE se fait dans la plupart des cas par l'intermédiaire de continuités écologiques dégradées sur des habitats fortement perturbés (bords de routes, friches industrielles et urbaines, milieux rudéralisés* et eutrophisés*). Or, l'objectif de la TVB est bien de restaurer des continuités écologiques fonctionnelles constituées d'habitats en bon état de conservation.

Ainsi, la restauration de continuités écologiques dans un bon état de fonctionnement et de conservation sera plus favorable aux espèces sauvages indigènes qu'aux espèces exotiques.

C. Favoriser le maintien d'une diversité génétique des populations d'espèces sauvages

D'une manière générale, lorsque des populations sont isolées entre elles, celles-ci sont soumises à des risques de dérive génétique limitant leurs capacités d'adaptation. Dans le cas de très petites populations, il est possible d'assister à des phénomènes de stochasticité (variations aléatoires d'une population d'une année sur l'autre) qui peuvent entraîner, par le hasard des fluctuations des effectifs des populations, l'extinction de la population. Le rétablissement d'échanges génétiques entre ces populations (migration ou dissémination d'une population vers une autre, possibilité de pollinisation d'une population d'espèce végétale par une autre population...) permet d'augmenter la variabilité génétique.

L'objectif de la TVB est de restaurer des fonctionnalités importantes nécessaires à la biodiversité notamment pour faciliter son adaptation aux évolutions environnementales. Il est entendu ici par « fonctionnalités », le rétablissement du fonctionnement naturel de l'écosystème en l'absence d'aménagement (fonctionnement d'un cours d'eau en l'absence de digue et d'ouvrage hydrauliques...). La finalité de la TVB est de restaurer des continuités écologiques que les activités humaines ont altérées, dans certains cas depuis des siècles. La restauration des continuités écologiques doit permettre de favoriser les échanges génétiques entre populations d'une même espèce et plus particulièrement les échanges génétiques au sein des sous-trames identifiées.

Pour que la politique de la trame verte et bleue soit efficace, il est également nécessaire de limiter les phénomènes de « pollution génétique* » qui peuvent être à l'origine de modifications indésirables dans le génome de populations d'espèces sauvages par hybridation avec des espèces exotiques ou avec des spécimens d'origine lointaine d'une même espèce.

S'agissant des cours d'eau, les pratiques d'empoisonnement par des espèces exotiques ont pu engendrer des hybridations avec des populations de nombreux poissons indigènes (hybridation du carassin commun avec la carpe et le rotengle, hybridation du Hottu avec le Toxostome...). Parmi l'avifaune, l'introduction dans le nord-ouest de l'Europe de l'Erismature rousse menace la rare Erismature à tête blanche, car ces deux espèces s'hybrident facilement.

L'homme est amené à procéder à des interventions de renaturation et de verdissement sur de nombreux espaces et ainsi à introduire dans les milieux naturels des espèces végétales en les plantant ou en les semant. Il introduit donc des espèces qui peuvent être indigènes ou exotiques susceptibles de s'intégrer au sein des écosystèmes et, pour les espèces indigènes, de se croiser avec des populations sauvages. Les conséquences peuvent être la modification des communautés d'espèces et, dans le second cas, l'apparition d'un génome inadapté aux conditions locales induisant une perte importante de la diversité génétique originelle de ces populations qui seront ensuite moins à même de s'adapter aux modifications environnementales.

Le cycle d'exploitation des forêts amène à un renouvellement des arbres, qui peut être réalisé par régénération naturelle ou par des plantations ou semis. Le repeuplement naturel est encouragé afin de conserver des populations adaptées aux conditions locales et ainsi permettre une meilleure adaptation à des évolutions climatiques. Par ailleurs, la commercialisation des plants et graines est réglementée pour la plupart des essences forestières. Cette réglementation, dite « matériels forestiers de reproduction » vise à privilégier l'utilisation de plants d'origine locale, adaptés aux conditions écologiques du site de

plantation. Toutefois, les pratiques de sélection encadrées par la réglementation favorisent le maintien d'une diversité génétique au sein des spécimens sélectionnés.

Des démarches de labellisation sont également développées pour assurer l'approvisionnement en matériel végétal local, notamment dans le cadre des opérations de replantation (marque {végétal-local}).

Il en va de même en ce qui concerne les espèces cultivées et domestiquées. Le maintien d'une diversité génétique au sein des espèces issues de la sélection et utilisées dans la production agricole et surtout sylvicole est un atout pour permettre le développement de nouvelles variétés adaptées au climat de demain.

IV. Les enjeux par trames

L'identification des enjeux relatifs aux continuités écologiques nécessite une analyse par trames.

La trame verte comprend l'ensemble des espaces terrestres et se subdivise en une sous-trame de milieux boisés - pouvant elle-même être subdivisée (bocages, vieux bois...) - et la sous-trame des milieux ouverts au sein de laquelle des distinctions peuvent également être faites en fonction des paramètres physiques de ces milieux (thermophiles-xériques, mésophiles, cryophiles...).

La trame bleue est définie par la sous-trame des cours d'eau et la sous-trame zones humides. Des éléments particuliers de ces sous-trames peuvent également être distingués tels que les mares et tourbières.

Enfin, la sous-trame littorale prend en compte les interactions entre les milieux marins et terrestres.

La distinction de sous-trames est justifiée par le fait que les cortèges d'espèces qui y sont inféodés ont des besoins de continuités écologiques proches. Pour autant, ces sous-trames ne sont pas isolées les unes des autres mais se recoupent le plus souvent et se superposent généralement pour partie.

Les « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » précisent le cadre de la mise en œuvre de la trame verte et bleue. Elles définissent des grandes continuités nationales pour les principaux enjeux relatifs aux sous-trames. Ces grandes continuités ont été identifiées afin de maintenir une cohérence globale des SRCE en identifiant en particulier les continuités écologiques importantes pour l'ajustement spatial (ajustement des aires de répartition des espèces) au regard du changement climatique à venir.

A. La trame bleue

• La sous-trame des cours d'eau :

La trame verte et bleue définit deux objectifs en matière de restauration de la continuité des cours d'eau :

- la restauration de la continuité longitudinale des cours d'eau qui permet en particulier :

- d'améliorer les potentialités des espèces aquatiques notamment des poissons migrateurs amphihalins (tels que l'anguille océanique, le saumon atlantique, etc.) mais aussi des espèces susceptibles de migrer sur des distances plus ou moins longues pour la complétude de leur cycle de vie (truite par exemple). Ceci permet notamment la colonisation ou recolonisation de tronçons de cours d'eau (par exemple suite à des assècs ou à des épisodes de pollution), ainsi que les échanges génétiques entre populations pour maintenir les capacités d'adaptation des populations en limitant la dérive génétique de sous populations isolées les rendant plus vulnérables aux altérations globales du milieu ;
- d'améliorer les potentialités de mobilité des espèces (poissons en particulier, crustacés également) pour se déplacer vers des habitats favorables plus particulièrement en prévision du réchauffement de parties de cours d'eau induit par le changement climatique ;
- de limiter le réchauffement des masses d'eau en limitant les obstacles à l'écoulement ;
- de restaurer la dynamique naturelle de transport des sédiments, ce qui assure notamment le maintien et le renouvellement d'habitats favorables à la biodiversité aquatique.

- la restauration de la continuité latérale des cours d'eau afin :

- d'améliorer les fonctionnalités des cours d'eau notamment la capacité des cours d'eau à supporter des événements exceptionnels (crues importantes, inondations exceptionnelles) ;
- de permettre une meilleure alimentation des nappes phréatiques et zones humides en période de crues et d'améliorer la restitution de l'eau en période de sécheresse ;
- de connecter le lit mineur au reste de sa plaine d'inondation en lui attribuant un espace de mobilité ou en favorisant les échanges hydrologiques avec les annexes hydrauliques ;
- de permettre à certaines espèces emblématiques de l'aval des cours d'eau et dont le rôle est prépondérant dans le fonctionnement de l'écosystème (haut de chaîne trophique) de compléter leur cycle vital.

La préservation et le rétablissement des continuités écologiques des cours d'eau constituent un des piliers des politiques européenne et nationale en Europe. En France, cette préoccupation date de 1865. Pour permettre à tous l'accès aux ressources halieutiques, les autorités décident de favoriser la libre circulation des poissons et introduisent l'obligation d'équiper en échelles à poissons les nouveaux ouvrages sur des cours d'eau dont la liste est fixée par décret. Les premiers décrets datent des années 1904-1905. Ce dispositif a été progressivement révisé pour répondre aux évolutions et nouveaux enjeux économiques et écologiques, et au cadre juridique européen en particulier la directive cadre sur l'eau (DCE) : Directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, adoptée le 23 octobre 2000. Ainsi, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 définit la continuité écologique des milieux aquatiques par la libre circulation des espèces et le bon déroulement du transport des sédiments (dimensions amont-aval et latérale). Elle introduit une révision des classements des cours d'eau (article L.214-17 du code de l'environnement) qui distingue les rivières à préserver (liste 1, interdiction de construire un nouvel obstacle) et les rivières à restaurer (liste 2, obligation de conformité des ouvrages). Pour appuyer sa mise en œuvre, un plan d'actions de restauration de la continuité écologique (PARCE) est lancé fin 2009 ; il tient compte et complète les politiques nationales spécifiques aux grands migrateurs en particulier pour l'anguille en application du règlement européen 1100/2007 du Conseil du 18 septembre 2007,

Cet ensemble est décliné au niveau territorial par les arrêtés de classement des cours d'eau, mais aussi à l'échelle des grands bassins par les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), les plans de gestion des poissons migrateurs (PLAGEPOMI), plus localement, par les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) ou les contrats de milieux dans les secteurs où les enjeux sont les plus importants.

Les SDAGE qui couvriront la période 2016-2021 sont en cours de révision pour être adoptés avant fin 2015. Cette révision est l'occasion de tenir compte des conséquences possibles du changement climatique, dans le double objectif de mettre en avant des mesures « sans regret » ou à « faible regret » et de s'inscrire dans une démarche de stratégies d'adaptation moyen-long terme sur le bassin. De plus, une articulation étroite est recherchée entre SDAGE et plan de gestion du risque d'inondation (PGRI) en application de la directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007.

Enfin, des démarches spécifiques existent également pour prendre en compte des enjeux de biodiversité aquatique localisés, comme c'est le cas dans le cadre du Plan national d'actions en faveur de l'apron du Rhône ou de la mulette perlière⁶.

Les objectifs de restauration des continuités écologiques des cours d'eau consistent, lorsque cela est possible, en l'effacement d'un ouvrage hydraulique, ou dans une moindre mesure son arasement. A défaut, un aménagement est demandé pour rétablir la continuité piscicole par l'aménagement de passes à poissons.

⁶ Plan national d'actions en faveur de la Mulette Perlière (*Margaritifera margaritifera* L.) 2012 - 2017

Le classement des cours d'eau (article L.214-17 du code de l'environnement)

Une liste 1 est établie sur la base des réservoirs biologiques des SDAGE. Elle comprend des cours d'eau en très bon état écologique et des cours d'eau nécessitant la protection stricte des poissons migrateurs amphihalins*. L'objet de cette liste est de contribuer à l'objectif de non dégradation des milieux aquatiques. Ainsi, sur les cours d'eau ou tronçons de cours d'eau figurant dans cette liste, aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique (article R.214-109 du code de l'environnement). Le renouvellement de l'autorisation des ouvrages existants est subordonné à des prescriptions particulières (article L.214-17 du code de l'environnement).

Une liste 2 concerne les cours d'eau ou tronçons de cours d'eau nécessitant des actions de restauration de la continuité écologique (transport des sédiments et circulation des poissons). Tout ouvrage faisant obstacle doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant.

• **La sous-trame milieux humides :**

Les modifications engendrées par les changements climatiques et notamment le réchauffement global du climat devraient conduire à des événements de sécheresse plus marqués - même si l'évolution des précipitations annuelles est incertaine - du fait d'une évapotranspiration plus élevée et de pluies moins abondantes en été.

Ceci peut être à l'origine de modifications importantes pour les milieux les plus sensibles (tourbières, mares...), la hauteur d'eau moyenne de ces milieux pouvant baisser et les niveaux de marnage* augmenter.

Le niveau d'eau des mares peut être impacté et entraîner des modifications profondes dans leur fonctionnement. L'augmentation des périodes d'assec peut avoir des conséquences sur le déroulement du cycle de reproduction des espèces qui les fréquentent, avec pour conséquences des têtards et insectes aquatiques incapables d'achever leur métamorphose, des espèces végétales subissant un stress hydrique important. La raréfaction des mares amplifiera leur fragmentation.

La politique de préservation et de restauration des milieux humides est traduite par le plan national en faveur des milieux humides (PNMH).

Le projet « LIFE » Tourbières du massif jurassien franc-comtois est un exemple de mise en œuvre du PNMH. Ce projet, d'une durée de 6 ans, a pour but d'agir sur les causes de dégradation des tourbières pour restaurer le fonctionnement de 60 tourbières du massif jurassien franc-comtois (départements du Doubs et du Jura), réparties au sein de 16 sites Natura 2000. Ce projet prend en compte les enjeux de préservation des continuités écologiques d'un des réseaux de tourbières les plus remarquables de France.

B. La trame verte

• **La sous-trame des milieux boisés**

La sous-trame boisée constitue une composante importante pour de très nombreux cortèges d'espèces, parmi lesquels, la plupart des grands mammifères de la métropole française qui ont des impératifs de mobilité.

Les milieux forestiers risquent d'être fortement impactés par les changements climatiques. En effet, il est très probable que plusieurs essences ne puissent plus être en station dans certaines régions du fait de l'évolution des conditions climatiques. Cela peut pousser les sylviculteurs, par anticipation des phénomènes prédits, à modifier les essences cultivées ou cibles. Le cas échéant, les espèces de remplacement qui pourraient être utilisées en sylviculture doivent être choisies en tenant compte des risques d'impacts sur la biodiversité.

Cette hypothèse a été étudiée en détail dans le cadre du travail piloté par l'ONERC : L'arbre et la forêt à l'épreuve du climat.

Les enjeux reposent en particulier sur la présence d'essences forestières adaptées localement, ce qui implique de favoriser la régénération naturelle ou, à défaut, d'utiliser des essences adaptées aux conditions locales. A ce titre, la commission des ressources génétiques forestières a engagé des travaux sur certaines espèces (peuplier noir...).

Les modes de gestion sylvicole sont également importants.

Les SRCE font largement référence au changement climatique s'agissant de la trame forestière. Les orientations le plus souvent retenues sont :

- favoriser la diversité des essences présentes et la présence d'essences autochtones adaptées aux conditions locales (Pays-de-la-Loire, Bretagne) ;
 - favoriser autant que possible la régénération naturelle des parcelles (Nord-Pas-de-Calais) ;
 - étudier le remplacement des espèces déperissantes et la conduite de migration assistée (Picardie, Lorraine, Limousin).
- **La sous-trame des milieux ouverts** : Quels sont les impacts particuliers du changement climatique sur les espèces herbacées, sur les prairies, pelouses et landes ?

L'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère peut engendrer une augmentation de la production d'une prairie, mais ceci est contrebalancé par l'augmentation des températures et des périodes de stress hydrique. Il semble que les capacités de stockage de carbone dans le sol pourraient être accrues dans le cas des prairies suite au changement climatique. Pour les milieux ouverts également, la diversité des espèces présentes et la diversité génétique au sein des populations des prairies et landes sont un atout pour leur future adaptation. Peu d'éléments font état de pertes importantes de biodiversité s'agissant des prairies. Les bouleversements des habitats peuvent cependant être conséquents, en particulier en milieu montagnard et pour les espèces septentrionales.

- **La sous-trame littorale** : Les principaux enjeux des milieux littoraux en relation avec la TVB, l'évolution du trait de côte, les interactions entre la trame bleue et la trame littorale.

Le littoral comprend des cortèges de milieux naturels très variés (dont des zones humides d'importance majeure) et un nombre particulièrement élevé d'espèces, notamment de nombreuses espèces endémiques (espèces végétales, arthropodes*...). Les enjeux relatifs aux continuités écologiques du littoral sont tout à fait particuliers puisqu'il s'agit d'un milieu linéaire. Les continuités écologiques sont donc fragiles et peuvent être rapidement remises en cause par artificialisation. Si le littoral joue un rôle de continuité écologique pour les espèces inféodées à ces milieux, lorsqu'il est peu artificialisé, il joue également un rôle important de corridor pour de nombreuses espèces généralistes de faune (oiseaux, mammifères...). Le maintien d'une sous-trame littorale en bon état de conservation constitue ainsi un enjeu important pour la trame verte et bleue.

Les limites du littoral appelées « trait de côte »* évoluent naturellement en particulier sur les secteurs dunaires. Néanmoins, les activités humaines peuvent amplifier très significativement les phénomènes d'érosion. L'impact des activités humaines sur les phénomènes d'érosion peut être direct (aménagement des plages, artificialisation, urbanisation) ou indirect (extraction de sable dans la zone d'influence, artificialisation des cours d'eau qui remettent en cause les capacités d'alimentation en sable).

Il est attendu que les effets du réchauffement climatique sur le littoral soient importants : amplification des phénomènes d'érosion déjà existants du fait de la remontée du niveau de la mer, difficultés accrues pour conserver des espaces gagnés sur la mer (Camargue, Marais Poitevin pour ne citer que les plus importants). De nombreux programmes sont ainsi en cours pour restituer les zones de polders à la mer en effaçant les digues lorsque cela est techniquement réalisable. En effet, les prévisions de montée du niveau de la mer font penser qu'il deviendra de plus en plus difficile dans le futur de lutter contre le retour de la mer sur ces territoires.

Les démarches visant à restaurer les zones dégradées du littoral prennent de plus en plus en compte les effets à long terme du changement climatique. Les réflexions portent en particulier sur la restauration des connexions et interactions entre milieu marin et terrestre

L'Etat a engagé la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte dont la mise en œuvre est en cours. Cette dernière a permis de définir un plan d'actions qui prend en compte les enjeux à long terme, notamment les effets du changement climatique sur le littoral.

Enfin, plusieurs SRCE s'intéressent aux effets du changement climatique sur la trame littorale. Les préconisations concernent la restauration ou le maintien de la dynamique naturelle d'évolution du trait de côte (Poitou-Charentes, Languedoc-Roussillon, Nord-Pas-de-Calais, Bretagne).

La trame verte et bleue en milieu urbain et périurbain

De nombreuses collectivités se sont engagées dans des démarches de préservation de la biodiversité au sein de grandes agglomérations. Il s'agit le plus souvent de restaurer un réseau d'espaces verts et d'espaces semi-naturels, ces démarches étant généralement inspirées par la trame verte et bleue et le plan nature en ville. De même, les programmes de restauration de zones humides et cours d'eau en milieu urbain se développent dans le cadre de la gestion des eaux pluviales. Ces techniques ont un grand intérêt pour lutter contre les inondations et permet de réduire le ruissellement et de favoriser l'autoépuration des eaux au contraire des aménagements plus classiques des réseaux d'eaux pluviales (bassins de rétention, canalisation souterraines...).

Les milieux urbains peuvent constituer des obstacles majeurs pour les continuités écologiques et le succès de ces démarches dépend de la capacité à restaurer au moins partiellement des continuités écologiques.

Ces démarches de renaturation visent également à limiter les effets de la chaleur, observés en particulier en milieu urbain, conséquence de la minéralisation de l'espace. Les mesures d'atténuation des phénomènes d'îlots de chaleur consistent généralement en la restauration de zones humides, l'augmentation de la présence d'arbres en ville, le développement d'espaces verts, l'aménagement de toitures végétalisées...

Pour aller plus loin :

- Guide ADEME :
<http://ile-de-france.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Changement-climatique/guide-lutte-effet-ilot-chaleur-urbain.pdf>
- Programme « *nature en ville* » : <http://www.nature-en-ville.com>
- La restauration de la fonctionnalité des zones humides en milieu urbain : gérer autrement les eaux pluviales (CG93)

Le plan biodiversité de la ville de Paris développe une réflexion importante sur les enjeux des continuités écologiques : <http://www.paris.fr/biodiversite>, dont l'action 7 du plan : élaborer le schéma des trames vertes et bleues de Paris intra-muros.

La lutte contre la pollution lumineuse

Cette approche de la trame verte et bleue allie conservation de la biodiversité et réduction de la consommation énergétique.

L'éclairage artificiel constitue une pression sur la biodiversité en particulier par son effet fragmentant sur les espèces et par son impact sur la physiologie des organismes (perturbation de l'horloge interne, perturbation des migrations...); de tels effets peuvent également être ressentis par l'être humain. Cet enjeu fait partie des objectifs de la trame verte et bleue comme cela est rappelé dans les orientations nationales (ONTVB).

Ainsi les démarches de lutte contre la pollution lumineuse peuvent apporter une réponse à certains enjeux de biodiversité tout en participant aux efforts en matière d'économie d'énergie et de santé.

4.3 Les enjeux multi-trames

Si l'analyse des continuités écologiques nécessite une approche par sous-trames pour identifier les enjeux sur un territoire donné, celle-ci n'est généralement pas suffisante car les sous-trames se superposent dans

de nombreux cas (c'est le cas par exemple des milieux forestiers humides). Une approche globale des enjeux de continuités écologiques est alors également nécessaire.

Par ailleurs, les mosaïques d'habitats constituant des réseaux de milieux ouverts (pelouses, clairières forestières, prairies) et de milieux boisés (haies, bosquets, forêts) sont généralement favorables, du point de vue des continuités écologiques pour les espèces inféodées aux sous-trames de milieux ouverts et de milieux boisés. C'est le cas notamment des milieux bocagers qui constituent un enjeu important de la trame verte et bleue. Ces espaces sont généralement considérés comme résilients vis-à-vis des changements globaux car très diversifiés.

A l'inverse, les milieux agricoles intensifs, en particulier les espaces de type openfield, contribuent à la fragmentation du territoire, car ils sont peu perméables aux espèces. Ceci dépend de leurs pratiques (utilisation d'intrants, uniformisation des milieux...) et du maintien ou non de micro-habitats favorables à la biodiversité (haies, bosquets, mares, pelouses, bandes enherbées). Il en va de même pour certaines pratiques sylvicoles très intensives.

En outre, l'urbanisation et les infrastructures linéaires engendrent une fragmentation du territoire qui a des effets sur l'ensemble des sous-trames vertes et bleues. En particulier pour les mammifères, les reptiles et les batraciens, les infrastructures linéaires constituent dans bien des cas des obstacles infranchissables en l'absence d'aménagements spécifiques. Ceci implique un isolement strict des populations et une incapacité à migrer pour ces espèces.

Si aujourd'hui, de tels enjeux sont pris en compte en amont de la conception des principales infrastructures telles que les autoroutes, voies ferrées etc., les ouvrages plus anciens ne sont, pour leur part, que rarement équipés de passages à faune ou de section permettant un franchissement par les espèces terrestres (tronçons en viaducs, secteurs recouverts...). Ainsi les SRCE identifient et priorisent les besoins en matière de restauration des continuités écologiques au regard des infrastructures linéaires.

4.4 Le changement climatique dans les schémas régionaux de cohérence écologique

Au delà de l'objectif principal de la TVB visant la restauration des continuités écologiques, une récente analyse effectuée par le Muséum national d'histoire naturelle (SORDELLO R., 2015) au titre du centre de ressources TVB met en évidence que 17 SRCE (sur 21) ont défini des actions qui sont justifiées au moins en partie au regard du changement climatique, ceci dans les domaines de la gestion sylvicole (utilisation d'essences forestières adaptées), de la gestion du trait de côte, de la préservation des milieux tampons tels que les espaces verts en ville pour la régulation des microclimats urbains ou la préservation de zones humides pour la ressource en eau.

La plupart des SRCE identifient également les risques d'accroissement de menaces indirectes liées au changement climatique sur la biodiversité. Les principaux enjeux identifiés sont l'accroissement des pressions dues aux espèces exotiques envahissantes, les risques élevés de tempêtes, les modifications des régimes hydriques.

Il n'y a pas forcément d'actions véritablement spécifiques au changement climatique mais une prise en compte importante de cette problématique dans la définition de nombreuses actions. Par ailleurs, la moitié des SRCE (11) définissent des objectifs d'amélioration des connaissances sur les effets du changement climatique. En effet, la plupart identifie un important manque de connaissances sur ces sujets qui ont limité les capacités d'analyse lors de l'état des lieux. Certains SRCE ont retenu un indicateur de suivi étroitement lié au changement climatique et à ses effets sur la biodiversité, concernant par exemple :

- le suivi de l'évolution des aires de répartition des espèces en limite d'aire,
- le suivi du trait de côte,
- l'évolution de la part des énergies renouvelables, dont hydroélectrique,
- l'évolution des points de conflits sur les dispositifs d'énergie renouvelable.

En conséquence, les fortes incertitudes et les déficits de connaissance n'ont globalement pas empêché les régions de définir des mesures d'adaptation dans leurs SRCE.

V. Importance de privilégier des stratégies « sans regret »

Les stratégies « sans regret » sont des mesures que l'on estime utiles quelles que soient les évolutions à venir. Elles sont fondées sur de grands principes qui doivent servir de socle fondateur aux futures actions de lutte contre le changement climatique et ses conséquences.

1. Appliquer le principe de précaution

Les incertitudes précédemment évoquées placent à l'évidence les actions à conduire dans le champ d'application du principe de précaution : ce sont des risques graves et irréversibles pour l'environnement, pour lesquels on ne dispose pas de certitudes scientifiques. Selon ce principe, ces incertitudes ne sauraient être invoquées pour différer l'action de l'ensemble des pouvoirs publics, qu'ils soient nationaux ou locaux. Il est donc nécessaire de veiller, d'une part « à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques » et, d'autre part, « à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage ». Ce principe comporte donc une double injonction, celle de prendre des mesures de gestion des risques et celle de faire évoluer l'incertitude en développant les observations, recherches et études appropriées pour mieux connaître ces risques.

2. Agir sur les pressions existantes

Les changements climatiques peuvent conduire à exacerber l'effet des pressions que subit d'ores et déjà la biodiversité et compromettre ainsi sa capacité d'adaptation à ces changements. Quelles que soient la nature et l'ampleur de ces changements, il importe donc de ne pas relâcher - et même d'accentuer - les efforts pour réduire ces pressions, qu'il s'agisse des pollutions, de la fragmentation ou de la réduction des habitats favorables à la biodiversité, de la surexploitation des ressources naturelles ou du risque croissant d'introduction d'espèces invasives. Les moyens consacrés à ces actions ne doivent donc pas être réorientés vers des mesures visant plus directement l'atténuation des changements climatiques.

Il convient en outre d'élaborer ces actions dans un cadre prospectif, c'est-à-dire en anticipant dans la mesure du possible les comportements des acteurs socio-économiques vis-à-vis des changements climatiques. Ainsi, confrontés à la diminution du débit des rivières, les divers utilisateurs de la ressource en eau sont susceptibles de revendiquer un maintien, voire une augmentation de leurs prélèvements, alors que l'existence d'un débit réservé restera cruciale pour la biodiversité aquatique.

3. Prendre en compte l'ensemble des fonctions écologiques des espaces

Il est nécessaire d'avoir une vision systémique des enjeux afin de permettre la prise en compte de la biodiversité dans le cadre des programmes de lutte et d'adaptation au changement climatique. En effet, plusieurs travaux ont montré comment la biodiversité est au fil du temps de moins en moins prise en compte dans les mécanismes de financement de lutte contre la déforestation, au profit du stockage du carbone⁷. Ce scénario n'est pas souhaitable. En effet, le caractère prégnant des enjeux climatiques peut conduire à mobiliser la biodiversité dans cette seule optique, au détriment tant de cette biodiversité que des services écologiques qui lui sont liés. Ainsi, pour reprendre l'exemple de la fixation du carbone par les forêts, une telle fonction sera beaucoup plus liée à la biomasse végétale, c'est-à-dire à la quantité de matière vivante pouvant fixer ce gaz, qu'à la diversité biologique présente dans cette biomasse, ce qui peut conduire à réduire cette diversité pour ne conserver sur de larges étendues que les espèces végétales les plus performantes dans cette seule fonction, ce qui n'est évidemment pas souhaitable. Une question similaire se posera si l'on propose, en outre, de stimuler cette production végétale en lui apportant des engrais ou d'autres compléments. Certains proposent par exemple de réaliser des apports de fer dans les océans pour augmenter la production de phytoplancton⁸. Outre le fait que ces compléments peuvent être

⁷ C'est le cas par exemple des travaux de thèse de Karine Belna en 2015 sur la prise en compte de la biodiversité dans les programmes REDD+ élaborés en vue d'atténuer le changement climatique lié à la déforestation des forêts tropicales et financés par le Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier de la Banque Mondiale.

⁸ Un article de Grégoire Macqueron en 2010 dans Futura Science illustre bien ces risques (<http://www.futura-sciences.com/>).

eux-mêmes des sources de gaz à effet de serre (comme les engrais azotés), on sait qu'un tel enrichissement du milieu favorise souvent un petit nombre d'espèces adaptées à cet enrichissement. Il suffit pour s'en convaincre de comparer la flore des prairies alpines à distance et à proximité des lieux de parcage nocturne de bovins. Enfin, dans les pays tempérés, les résineux peuvent apparaître dans bien des cas comme étant des pompes à carbone plus efficaces que les feuillus mais, corrélativement, ils prélèveront davantage d'eau pour leur croissance et amoindriront le rôle de « château d'eau » des massifs forestiers.

Ainsi, il est important de prendre en compte l'ensemble des fonctions écologiques des espaces grâce à une vision intégrée de la gestion et non de raisonner « service par service » de façon cloisonnée. C'est bien dans cette optique que se construit la TVB qui contribuera à la réduction des impacts du changement climatique.

4. Favoriser l'adaptation des espèces plutôt que leur déplacement

Il est nécessaire de favoriser au maximum les capacités d'adaptation « sur place » de la biodiversité, plutôt que de miser sur, voire d'amplifier, sa migration vers le Nord. Même si ce constat semble évident à première vue, il est loin de faire l'unanimité d'où le besoin de rappeler les considérations sur lesquelles ce principe se fonde.

Il ne s'agit pas de vouloir maintenir « à tout prix » la biodiversité là où elle se trouve. Mais une certaine « assistance » à la biodiversité est non seulement possible en termes d'efficacité⁹, mais aussi nécessaire en termes éthiques.

Premièrement, réaliser des « délocalisations » d'espèces dans un écosystème jugé plus favorable est une solution qui, outre son coût, ne pourra concerner qu'un nombre limité d'espèces.

Deuxièmement, même si ces migrations s'opéraient, la question du devenir des espèces migrantes dans l'écosystème receveur est extrêmement difficile à prévoir. Elles se trouveront dans un nouveau contexte écologique qui permettra peut-être de les accueillir mais qui pourra également soit empêcher leur implantation, soit, à l'inverse, les favoriser à l'excès et conduire à des invasions incontrôlables. Cette gamme de scénarios est observée dans les introductions d'espèces et même, parfois, pour une même espèce selon les lieux d'introduction, et invite à considérer ces migrations assistées comme doublement risquées, pour l'espèce migrante et pour l'écosystème récepteur.

Enfin, toujours sur un plan éthique, le fait que certaines zones s'appauvrissent en biodiversité, avec toutes les conséquences pour les divers usages que les hommes en font localement, alors que d'autres régions verraient leur biodiversité s'enrichir ne peut être considéré comme un scénario équitable. Dans le cas probable d'un déplacement vers le Nord de nombreuses espèces, les régions « perdantes », risquent fort d'être, sur un plan démographique, économique et social, beaucoup plus dépendantes de la biodiversité, et donc soumises à des impacts négatifs très supérieurs aux gains éventuels des régions qui bénéficieront de ce flux d'espèces. Attention, il n'est pas question ici d'empêcher le déplacement naturel des espèces qui s'adapteraient aux conséquences du changement climatique mais bien de diriger les moyens financiers et humains vers l'adaptation (restauration des écosystèmes dégradés, maintien ou restauration des continuités écologiques permettant le déplacement des espèces...) et non vers la migration artificielle de ces dernières, dite « assistée ».

⁹ Des mesures relativement simples – comme les jachères apicoles, qui fournissent aux pollinisateurs des ressources alimentaires pendant l'été – peuvent parfois suffire à corriger un facteur limitant et à maintenir des populations à un niveau satisfaisant.

LEXIQUE :

Les définitions présentées ci-dessous sont issues de l'encyclopédie en ligne Wikipedia sauf mention contraire.

Albédo : fraction de l'énergie lumineuse incidente réfléchiée ou diffusée par un objet, par exemple une surface terrestre

Allèle : forme particulière que peut prendre un gène chez un individu, qui résulte d'une séquence d'ADN spécifique.

Amphihalin (poisson) : poisson migrateur dont le cycle de vie alterne entre le milieu marin et l'eau douce.

Aneuploïdie : fait pour un être vivant, à la suite d'une mutation, de ne pas posséder le nombre normal de chromosomes pour l'espèce à laquelle il appartient.

Anthropisé (milieu) : milieux transformés ou modifiés sous l'action de l'homme.

Arthropodes : embranchement d'animaux invertébrés dont le plan d'organisation est caractérisé par un corps segmenté formé de métamères hétéronomes munis chacun d'une paire d'appendices articulés et recouvert d'une cuticule ou d'une carapace rigide, qui constitue leur exosquelette, dans la plupart des cas constitué de chitine. Les crustacés, arachnides, insectes font notamment partie des arthropodes.

Assec : état d'une rivière, d'un étang, d'une mare... qui se trouve sans eau.

Benthique : adjectif dérivant de benthos, ensemble des organismes aquatiques (marins ou dulcicoles) vivant à proximité du fond des mers et océans, des lacs et cours d'eau.

Biocénose : ensemble des êtres vivants coexistant et interagissant dans un espace écologique donné.

Biotope : milieu défini par des caractéristiques physiques et chimiques déterminées et relativement uniformes, hébergeant un ensemble d'organismes vivants.

Chenalisation : Action qui consiste à modifier la morphologie d'un cours d'eau pour le rendre plus rectiligne et contraindre son écoulement par sa rectification, son recalibrage ou son curage (www.eaufrance.fr).

Chorologie : étude de la répartition géographique des espèces vivantes et de ses causes

Clé de voûte (espèce) : espèce qui a un effet disproportionné sur son environnement comparativement à ses effectifs ou à sa biomasse. Exemples : certains prédateurs, de nombreux insectes pollinisateurs.

Ecosystème : ensemble formé par une association ou communauté d'êtres vivants (ou biocénose) et son environnement biologique, géologique, édaphique, hydrologique, climatique, etc.

Espèce commensale : type d'interaction biologique entre deux êtres vivants, non parasitaire, dans laquelle l'hôte fournit une partie de sa propre nourriture au *commensal*

Epigénétique : étude des mécanismes moléculaires qui modulent l'expression du patrimoine génétique en fonction du contexte.

Eutrophisé (milieu) : processus par lequel s'accumulent des nutriments dans un milieu donné, qui donne lieu à une abondance anormale d'azote et de phosphore disponible pour les organismes vivants.

Génotype : ensemble ou une partie donnée de l'information génétique d'un individu.

Habitat : milieu de vie d'une espèce ou d'une communauté d'espèces.

Ichtyofaune : partie de la faune rassemblant les poissons.

Intérêt communautaire (espèces et habitats) : liste des espèces inscrites aux annexes des directives européennes dites Habitats-faune-flore et Oiseaux.

Macrophytes : terme générique désignant toutes les plantes aquatiques visibles à l'œil nu.

Marnage : différence de hauteur du niveau de l'eau de la mer, des cours d'eau, canaux, bassins et retenues et le dénivelé sur lequel se font ces fluctuations.

Phénologie : étude du déroulement d'évènements périodiques chez des organismes vivants (débourrement, floraison, reproduction, migration) importants dans le cycle de vie des espèces ; ajustements phénologiques : évolutions constatées des périodes de déroulement de ces étapes du cycle de vie des espèces. Un phénotype étant un caractère observable chez un individu, un génotype est la nature de l'information génétique (composition allélique) composant un gène pour un individu donné.

Phénotype : ensemble des caractères observables d'un individu ou nature d'un caractère donné.

Phytobenthos : flore aquatique, d'eau douce ou d'eau salée (<http://www.aquaportail.com>).

Plasticité phénotypique : Capacité d'un organisme à exprimer différents phénotypes à partir d'un génotype donné selon des conditions environnementales.

Pluies efficaces : les pluies (ou précipitations) efficaces sont égales à la différence entre les précipitations totales et l'évapotranspiration réelle. Les précipitations efficaces peuvent être calculées directement à partir des paramètres climatiques et de la réserve utile du sol (RU). L'eau des précipitations efficaces est répartie, au niveau du sol, en deux fractions : l'écoulement superficiel et l'infiltration (référence : INSEE).

Pollution génétique : phénomène d'introduction (volontaire ou accidentelle) de gènes modifiés ou étrangers à une espèce ou à une variété dans une autre variété ou dans une population sauvage

Polyploïdie : fait, chez un être vivant, de posséder un patrimoine chromosomique au moins égal au double de la normale (diploïdie).

Population : ensemble des individus d'une même espèce qui ont la possibilité d'interagir entre eux au moment de la reproduction.

Redondantes (espèces) : espèces qui assurent simultanément des fonctions similaires au sein d'un écosystème donné.

Relique (glaciaire) : espèce s'étant retirée sous l'effet du réchauffement climatique suite aux dernières glaciations vers de plus hautes latitudes et en altitude. Dans les massifs montagneux français, de nombreuses espèces végétales sont des reliques glaciaires, telles que *Betula nana* L. (bouleau nain), *Ligularia sibirica* L. (ligulaire de Sibérie), *Andromeda polyfolia* L. (andromède)...

Résilience (écosystème) : capacité de l'écosystème à s'adapter au changement, à se rétablir, et à se réorganiser après perturbation (Descamps, 2013)

Rudéralisé (milieu) : milieu modifié par les activités humaines et en particulier par des apports de déchets ou d'éléments laissés suite à ces activités (dépôts, ruines...).

Trait de côte : ligne représentant l'intersection de la terre et de la mer dans le cas d'une marée haute astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales. Par extension, le trait de côte représente la limite entre la terre et la mer.

Trait de vie (d'une espèce) : descripteurs biologiques et comportementaux quantitatifs (respiration, croissance, mode/rythme/stratégie de reproduction et alimentation) ou écologiques (*préférendum* de température, dureté, pH, etc.) étudiés aux échelles spatiales de l'habitat et du paysage.

Principales références bibliographiques

- Travaux relatifs au changement climatique :

Intergovernmental panel on climate change (IPCC / GIEC) :

https://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml

Climat en France :

<http://www.drias-climat.fr/>

<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/impacts-du-changement-climatique-sur-les-phenomenes-hydrometeorologiques>

Programme explore 2070 :

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Explore-2070-Eau-et-changement.html>

- Impacts du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes et capacités d'adaptation :

ANNEVILLE O., BENISTON M., GALLINA N., *et al.* (2013). L'empreinte du changement climatique sur le Léman [en ligne]. Arch. Sci., 66, 157-172. Disponible sur : http://jacquet.stephan.free.fr/Anneville_Arch-Sci_2013.pdf. Consulté le 29/10/2015.

ARIBERT D., SAUVAGE P., THOMPSON J., LANDRIEU G. (2014). Le dossier - changements climatiques : comprendre et anticiper. Espaces naturels n° 46 avril 2014, pages 20-33.

BADEAU V. (2006). Impacts des changements climatiques sur les aires de répartition des essences forestières [en ligne]. Futura-sciences. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dossiers/d/climatologie-impacts-changements-climatiques-aires-repartition-essences-forestieres-623/>. Consulté le 21/10/2015.

BEISEL J. N., LEVEQUE C. (2010). Introduction d'espèces dans les milieux aquatiques ; Faut-il avoir peur des invasions biologiques ? Versailles, Editions Quae.

BELNA K. (2015). La protection de la biodiversité, « co-bénéfice » évident ou point de tension central des programmes REDD+ élaborés en vue d'atténuer le changement climatique lié à la déforestation des forêts tropicales ? D'évaluations en négociations et de négociations en évaluations, une analyse de l'efficacité environnementale du Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF). Paris, AgroParisTech.

BERTRAND F., SIMONET G. (2011). Les trames vertes urbaines et l'adaptation au changement climatique : perspectives pour l'aménagement du territoire [en ligne]. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 11, numéro 2, septembre 2011. Disponible sur : <http://vertigo.revues.org/11869>. Consulté le 02/10/2015.

BERTRAND R. (2012). Réponse spatio-temporelle de la végétation forestière au réchauffement climatique. Évaluation du remaniement de la végétation et caractérisation de l'effet des facteurs écologiques et géographiques le modulant à l'échelle de l'espèce et des communautés. Thèse pour obtenir le grade de docteur. Nancy, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). 309 pages.

BILLÉ R., CURY P., LOREAU M., MARIS V., 2014. Biodiversité : vers une sixième extinction de masse. Collection 360. Editions La Ville brûle, 200 p.

BOET P. (2012). Vers une dépoldérisation de l'estuaire de la Gironde [en ligne]. Info Média N°100, Janvier 2012. Irstea Bordeaux. Disponible sur : <http://www.irstea.fr/nos-editions/info-media/vers-une-depolderisation-de-lestuaire-de-la-gironde>. Consulté le 02/10/2015.

CHARMANTIER A., McCLEERY R. H., COLE L. R., PERRINS C., LOESKE E., KRUK B., SHELDON B. C. (2008). Adaptive Phenotypic Plasticity in Response to Climate Change in a Wild Bird Population. *Science* vol. 320, pages 800 – 803.

BILLÉ R., CURY P., LOREAU M., MARIS V., 2014. Biodiversité : vers une sixième extinction de masse. Collection 360. Editions La Ville brûle, 200 p.

CHEVASSUS-AU-LOUIS B., TROUVILLIEZ J. (2009). Biodiversité et changements climatiques : un changement peut en cacher un autre. In *Humanité et Biodiversité, Manifeste pour une nouvelle alliance*. Ed. Ligue ROC-Descartes & Cie, Paris, pp. 135-152.

CHEVASSUS-AU-LOUIS B. (2014). Incertitudes et précaution : des opportunités pour la démocratie participative. H&B, la revue d'Humanité et Biodiversité. n°1, 102-110.

CHEVASSUS-AU-LOUIS B. (2015). Climat : ça chauffe pour la biodiversité. *Projet*, 346, 79-89.

CIESLA W. M. (1997). Le Changement Climatique, les Forêts et l'Aménagement Forestier : Aspects Généraux. Etude FAO Forêts – 126 pages.

CLUS-AUBY Christine, PASKOFF Roland, VERGER Fernand (2005). Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du littoral : Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100. Note technique n°2. Ministère de l'écologie et du développement durable – ONERC. 36 pages.

COLAS S. (2007). Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine. Les dossiers n°6, octobre 2007. Institut français de l'environnement.

CORNILLE A., GIRAUD, T. (2014). Pommier sauvage : impact du climat sur sa génétique [en ligne]. Dossier Le climat change, que faire au jardin ? - Jardins de France 632 - Novembre-décembre 2014. Disponible sur : <http://www.jardinsdefrance.org/wp-content/uploads/jdf-medias/files/SNHF-Jardins de France-632 7.pdf>.

GIBERT P. (2012). Plasticité phénotypique et réponses adaptatives aux changements environnementaux chez les insectes. Habilitation à diriger des recherches, Université Claude Bernard.

JULLIARD R., JIGUET F. (2011). La biodiversité face au changement climatique : Ce que nous indiquent les oiseaux. *Regards et débats sur la biodiversité*, SFE, Regard n°22, septembre 2011.

KÉFI S. (2012). Ecosystèmes et transitions catastrophiques, SFE, Regards n°37, octobre 2012.

LEFEVRE F., COLLIN E. *et al.* Dossier : La CRGF : regard sur 20 ans d'action et nouveaux enjeux. *Rendez-vous techniques* de l'Office national de forêts n°36-37, printemps-été 2012, pages 9 – 56.

MACQUERON G. (2010). Géoingénierie : fertiliser les océans en fer, une idée toxique ? [En ligne]. Futura-sciences, 19 mars 2010. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/oceanographie-geoingenierie-fertiliser-océans-fer-idee-toxique-23060/>. Consultée le 28 septembre 2015.

MALECOT V. (2014). Les végétaux sauvages reliques des grandes glaciations et leurs zones de refuges [en ligne]. Dossier Le climat change, que faire au jardin ? - Jardins de France 632 - Novembre-décembre 2014. Disponible sur : <http://www.jardinsdefrance.org/wp-content/uploads/jdf-medias/files/SNHF-Jardins de France-632 6.pdf>.

MADIGNIER M. L., BENOIT G. et ROY C. eds (2015). Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. CGAAER Rapport n°14056, 83 p.

MICHEL L., BERIOT N. eds (2015). L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change. Rapport au premier ministre et au parlement. Paris : La documentation française, 186 p.

OUZEAU *et al.* (2014). Le climat de la France au XXI^e Siècle - Volume 4 - Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

RONCE O., PELEGRIN F. *et al.* (2015). Prospective et recherche : réponses et adaptations aux changements globaux. Quels enjeux pour la recherche sur la biodiversité ? Fondation pour la recherche sur la biodiversité, 74 p.

SORDELLO R., HERARD K., COSTE S., CONRUYT-ROGEON G. & TOUROULT J. (2014). Le changement climatique et les réseaux écologiques. Point sur la connaissance et pistes de développement. Rapport MNHN-SPN. 178 pages.

SORDELLO R., VANPEENE S., AZAM C., KERBIRIOU C., LE VIOL I. & LE TALLEC T. (2014). Effet fragmentant de la lumière artificielle. Quels impacts sur la mobilité des espèces et comment peuvent-ils être pris en compte dans les réseaux écologiques ? Muséum national d'Histoire naturelle, Centre de ressources Trame verte et bleue. 31 pages.

SORDELLO R. (2015). Première capitalisation méthodologique sur les Schémas régionaux de cohérence écologique adoptés ou en projet. Changement climatique. Rapport MNHN-SPN. 36 pages.

SOUSSANA J.F. et al. Fourrages (2002). Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production 169, pages 3-24.

- Documents support de politiques publiques citées :

BAPTIST F., POULET N. & SÉON-MASSIN N. (coord.) (2014). Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique ». ONEMA. Collection comprendre pour agir, 128 p.

BELLE P., LEFEBVRE E. eds (2013). Plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau (Parce) - Diagnostic de mise en œuvre. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Conseil général de l'environnement et du développement durable, 86 p.

GEORGET M. (2011). Plan national d'actions en faveur de l'apron du Rhône 2012 – 2016. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, CREN Rhône-Alpes, 124 p.

Ouv. Col. (2010). Plan de gestion anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007. Volet national. ONEMA, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche.

Ouv. Col. (2010). Plan ville durable. Plan restaurer et valoriser la nature en ville. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 38 p.

Ouv. Col. (2011). Plan national d'adaptation au changement climatique 2011 - 2015. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 188 p.

Ouv. Col. (2014). 3^e plan national d'action en faveur des milieux humides (2014-2018). Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 30 p.

Ouv. Col. (2014). Stratégie nationale de gestion des risques d'inondation. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Commission mixte inondation, édition mai 2014, 24 pages.

Décret n° 2014-45 du 20 janvier 2014 portant adoption des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques. NOR: DEVL1135290D. Ressource en ligne : <http://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2014/1/20/DEVL1135290D/jo>

- Autres ressources en ligne utiles :

<http://www.trameverteetbleue.fr>

<http://www.conservation-nature.fr>

<http://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers-reglementation-controle-et-certification>

<http://www.fao.org/news/story/fr/item/38939/icode/>

<http://www.mnhn.fr/fr/explorez/dossiers/museum-climat/biodiversite-changement-climatique>

<http://www.uicn.fr/Seminaire-nature-et-climat.html>

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Effet-de-serre-et-changement-.html>

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Observatoire-National-sur-les-.html>

<http://www.onema.fr/POISSONS-MIGRATEURS-Gestion-locale>

<http://www.georisques.gouv.fr/>

<http://ile-de-france.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Changement-climatique/guide-lutte-effet-ilot-chaaleur-urbain.pdf>

<http://www.paris.fr/biodiversite>

<http://www.nature-en-ville.com>

<http://www.fcbn.fr/vegetal-local-vraies-messicoles>



**Ministère de l'Environnement,
de l'Énergie et de la Mer**

Secrétariat général
Tour Pascal A
92055 La Défense cedex
Tél. 01 40 81 21 22

