

*Direction Régionale de
l'Environnement Nord – Pas-de-Calais
Région Nord – Pas-de-Calais*

ANALYSE DES POTENTIALITES ÉCOLOGIQUES DU TERRITOIRE RÉGIONAL



Février 2008

Biotope-GREET Nord - Pas-de-Calais

Ingénierie-Conseil en Environnement
ZA de la MAIE – Avenue de l'Europe - 62720 RINXENT
Tél. : 03.21.10.51.52 / Fax : 03.21.10.51.85
E-mail : agencenordpasdecals@biotope.fr

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

Sommaire..... 2

Table des cartes 3

Table des figures 3

Liste des tableaux 3

Introduction..... 4

1. Fondements de l'étude et éléments méthodologiques..... 5

 1.1. Sources d'information utilisées.....5

 1.2. Critères écologiques pris en compte5

 1.3. Eléments méthodologiques6

2. Analyse de l'évolution de l'occupation du sol régionale de 1998 à 2005 7

 2.1. La forte progression des espaces urbanisés7

 2.2. La régression des milieux naturels ouverts.....8

 2.3. La progression significative des milieux boisés9

 2.4. La progression des milieux humides10

3. Etat des lieux et analyse de la fragmentation du territoire régional..... 13

 3.1. Le Nord – Pas-de-Calais, une région fortement fragmentée et artificialisée 13

 3.1.1. Mise en évidence des éléments anthropiques régionaux.....13

 3.1.2. Impact des éléments anthropiques du territoire sur les écosystèmes15

 3.1.2.1. Fragmentation des habitats et des populations.....15

 3.1.2.2. Déangement et pollutions18

 3.1.2.3. Mortalité directe de la faune engendrée par les éléments anthropiques19

 3.2. La pollution lumineuse, une autre source de fragmentation et de perturbation des écosystèmes.20

 3.2.1. Ampleur de la pollution lumineuse dans le Nord – Pas-de-Calais.....20

 3.2.2. Conséquence de la pollution lumineuse sur la faune, la flore et les écosystèmes23

 3.2.2.1. Effets de la pollution lumineuse sur la faune23

 3.2.2.2. Effets de la pollution lumineuse sur la flore25

 3.2.2.3. Effets de la pollution lumineuse sur les écosystèmes26

 3.3. Sélection et hiérarchisation des éléments fragmentants pris en compte dans l'analyse des potentialités écologiques régionales27

4. Analyse des potentialités écologiques régionales..... 30

 4.1. Analyse de la naturalité31

 4.1.1. Méthode de calcul de la naturalité31

 4.1.2. Représentation cartographique de la naturalité32

 4.1.3. Interprétation de la carte de naturalité.....32

 4.2. Analyse de la compacité et de la surface34

 4.2.1. Calcul de la compacité34

 4.2.2. Simplification de la couche d'occupation du sol de SIGALE.....36

 4.2.3. Calcul d'un indice combinant compacité et surface39

 4.2.4. Représentation cartographique de l'indice combinant compacité et surface39

 4.2.5. Interprétation des cartes combinant les paramètres de surface et de compacité40

4.3. Analyse de la connectivité43

 4.3.1. Méthode de calcul de la connectivité.....43

 4.3.2. Représentation cartographique de la connectivité45

 4.3.3. Interprétation des cartes de connectivité.....46

 4.3.3.1. Interprétation de la carte de connectivité des milieux boisés46

 4.3.3.2. Interprétation de la carte de connectivité des milieux naturels ouverts46

 4.3.3.3. Interprétation de la carte de connectivité des milieux humides46

 4.3.3.4. Interprétation de la carte de connectivité globale des milieux naturels47

4.4. Analyse de l'hétérogénéité des milieux52

 4.4.1. Méthode de calcul de l'hétérogénéité52

 4.4.2. Représentation cartographique de l'hétérogénéité53

 4.4.3. Interprétation de la carte d'hétérogénéité53

4.5. Analyse des potentialités écologiques globales des milieux55

 4.5.1. Méthode de calcul des potentialités écologiques globales des milieux.....55

 4.5.2. Représentation cartographique des potentialités écologiques globales des milieux55

 4.5.3. Interprétation de la carte des potentialités écologiques globales des milieux56

5. Implications opérationnelles de la carte des potentialités écologiques régionales..... 59

Conclusion..... 64

Bibliographie 65

Annexe – Modélisation de la pollution lumineuse..... 66



TABLE DES CARTES

Carte 1 : Localisation des espaces naturels disparus entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais..... 11

Carte 2 : Localisation des espaces naturels apparus entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais..... 12

Carte 3 : Mise en évidence des éléments anthropiques du Nord – Pas-de-Calais..... 14

Carte 4 : Perturbation des écosystèmes par les éléments anthropiques régionaux..... 17

Carte 5 : Simulation de la pollution lumineuse du Nord – Pas-de-Calais..... 22

Carte 6 : Cartes régionales des différents niveaux de fragmentation cumulés..... 28

Carte 7 : Naturalité des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais..... 33

Carte 8 : « Grands types de milieux » de la région Nord – Pas-de-Calais 38

Carte 9 : Représentation de l'indice combinant surface et compacité de chaque « grand type de milieu » du Nord – Pas-de-Calais 41

Carte 10 : Représentation globale de l'indice combinant surface et compacité des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais 42

Carte 11 : Connectivité des milieux naturels ouverts du Nord – Pas-de-Calais..... 48

Carte 12 : Connectivité des milieux forestiers du Nord – Pas-de-Calais 49

Carte 13 : Connectivité des milieux humides du Nord – Pas-de-Calais 50

Carte 14 : Connectivité globale des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais..... 51

Carte 15 : Hétérogénéité des milieux du Nord – Pas-de-Calais 54

Carte 16 : Analyse globale des potentialités écologiques des espaces naturels du Nord – Pas-de-Calais 57

Carte 17 : Analyse globale simplifiée des potentialités écologiques des espaces naturels du Nord – Pas-de-Calais 58

Carte 18 : Superposition des périmètres de protection et d'inventaire du Nord – Pas-de-Calais aux potentialités écologiques calculées..... 62

Carte 19 : Superposition des cœurs de nature et corridors écologiques du schéma d'orientation de la Trame Verte et Bleue du Nord – Pas-de-Calais aux potentialités écologiques calculées 63

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Nature des espaces détruits par l'urbanisation entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais..... 8

Figure 2 : Nature des espaces supplantant les milieux naturels ouverts entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais.. 9

Figure 3 : Nature des espaces perdus au profit du reboisement entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais 9

Figure 4 : Comparaison de l'occupation du sol Régionale par rapport à l'occupation du sol de France métropolitaine et d'Europe 13

Figure 5 : Relations entre le nombre d'espèces et la superficie des aires géographiques, entre le nombre d'espèces et le nombre d'habitats distincts et entre la richesse spécifique et les densités de population..... 15

Figure 6 : Variation des facteurs microclimatiques (luminosité, température et évaporation) aux abords d'une route en milieu forestier..... 15

Figure 7 : Disparition directe de l'habitat due aux emprise et zones de perturbation écologique des éléments anthropiques 16

Figure 8 : Etat de la pollution lumineuse à l'échelle mondiale (montage de photos satellitaires nocturnes de la Terre).... 20

Figure 9 : Carte nocturne de la France..... 20

Figure 10 : Halo lumineux au dessus d'une zone urbaine 20

Figure 11 : Migration et activité des insectes en fonction de l'intensité de la lumière 23

Figure 12 : Pétrel de Barrau, espèce d'oiseau menacée par la pollution lumineuse 24

Figure 13 : Evolution de l'alimentation du Lapin sur une période de 24 heures 25

Figure 14 : Schématisation de la notion de cœur d'habitat..... 34

Figure 15 : Evaluation de la compacité de milieux forestiers..... 35

Figure 16 : Proportion des différents niveaux de potentialité écologique au sein des périmètres de protection et d'inventaires du Nord – Pas-de-Calais 59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution de l'occupation du sol régionale de SIGALE® entre 1998 et 2005 7

Tableau 2 : Rayon des zones tampon de perturbation écologique associées aux éléments anthropiques régionaux 16

Tableau 3 : Description des quatre niveaux de fragmentation..... 27

Tableau 4 : Évaluation des indices de naturalité des milieux 31

Tableau 5 : Regroupements des milieux naturels par grands types 36

Tableau 6 : Espaces urbanisés ou industrialisés de la couche d'occupation du sol de SIGALE 37

Tableau 7 : Regroupement des postes d'occupation du sol de SIGALE® pour le calcul de l'indice d'hétérogénéité 52

Tableau 8 : Proportion des parcelles de potentialité écologique élevée exclues des périmètres de protection et d'inventaire du Nord – Pas-de-Calais 60



INTRODUCTION

La région Nord – Pas-de-Calais est l'une des régions de France où l'empreinte de l'homme est la plus marquée. La forte densité de population, l'important héritage industriel, les nombreuses infrastructures de communication et le fort développement de l'agriculture intensive constituent autant de facteurs qui concourent à l'artificialisation du territoire régional. Ainsi, l'espace laissé aux milieux naturels est très réduit. Les espaces naturels du Nord – Pas-de-Calais sont pour la plupart disparates et morcelés. Seuls quelques secteurs comme l'Avesnois, le Boulonnais ou encore la bande littorale abritent encore une part significative d'espaces naturels.

Face à la dégradation des espaces naturels, à l'artificialisation croissante du territoire régional et pour répondre aux besoins grandissants de la population d'espaces naturels de loisirs, les pouvoirs publics ont développé des politiques de conservation et de restauration de nombreux sites naturels. Toutefois, la mise en place de telles politiques nécessite une bonne connaissance des enjeux écologiques du territoire de façon à organiser, hiérarchiser et cibler les actions de préservation et de restauration des milieux naturels.

Bien que le Nord – Pas-de-Calais compte de nombreux naturalistes, la connaissance des espaces naturels régionaux, de leur faune et de leur flore est loin d'être exhaustive. Si beaucoup d'espaces naturels sont bien connus du fait de leur faune, leur flore ou éventuellement leurs habitats remarquables, d'autres sont encore méconnus. Ainsi, une stratégie performante de sélection des sites naturels à préserver en priorité ne saurait se contenter d'une simple sélection des sites connus pour leur richesse floristique ou faunistique autrement dit des sites dont l'intérêt est souvent déjà reconnu par un périmètre de protection ou d'inventaire de type réserve naturelle, APB, site Natura 2000, ZNIEFF...

En outre, la fonctionnalité écologique des différents espaces naturels est rarement évaluée ou prise en compte dans les politiques de préservation des espaces naturels. Pourtant ce paramètre est tout aussi important que la présence d'espèces ou d'habitats remarquables. En effet, la fonctionnalité écologique des milieux naturels traduit leur capacité à assurer le maintien des populations animales et végétales sur le long terme. Cette fonctionnalité découle de plusieurs facteurs dont : la superficie des espaces naturels, les potentialités d'échanges entre populations animales ou végétales d'espaces naturels voisins, la complémentarité d'espaces naturels proches et de natures diverses pour le cycle de développement d'espèces animales ou végétales...

Grâce à la mise en œuvre d'une technique d'analyse standardisée et systématique de la fragmentation et des potentialités écologiques du territoire régional, **le présent rapport fournit une approche inédite de la fonctionnalité écologique de l'ensemble des espaces naturels régionaux**. Les outils utilisés pour mener à bien cette étude reposent sur les concepts de l'écologie du paysage et s'appuient largement sur le recours aux systèmes d'informations géographiques (SIG).

Ainsi, **le principal enjeu de cette étude réside dans l'élaboration d'une carte des potentialités écologiques de la région Nord – Pas-de-Calais**. Cette carte sera fondée essentiellement sur l'analyse de l'occupation du sol régional à travers le filtre de l'écologie du paysage.

La création de **la carte des potentialités écologiques du Nord – Pas-de-Calais repose en grande partie sur l'analyse des barrières qui s'opposent aux déplacements de la faune et de la flore régionale**. Ces barrières, qualifiées d'éléments « fragmentants », peuvent être de différentes natures. Il peut s'agir de voies de communication, de zones urbanisées, ou industrialisées, de sites pollués ou encore par exemple d'espaces très fréquentés par l'homme. Une partie de cette étude sera donc consacrée à l'analyse et à la hiérarchisation de ces barrières écologiques.

Ainsi, après une présentation succincte des principes de l'étude des potentialités écologiques, le présent rapport proposera en premier lieu une analyse de l'occupation du sol et de la fragmentation du territoire régional. Cette analyse sera suivie d'une présentation détaillée de la méthode et des résultats de l'évaluation des potentialités écologiques régionales par SIG. Dans le but de faciliter l'exploitation de la carte de synthèse des potentialités écologiques, une analyse critique et une description des implications en terme opérationnel sera ensuite proposée.

1. FONDEMENTS DE L'ETUDE ET ELEMENTS METHODOLOGIQUES

1.1. SOURCES D'INFORMATION UTILISEES

La méthode choisie pour analyser systématiquement les potentialités écologiques de l'ensemble des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais s'affranchit totalement des données relatives aux espaces naturels déjà connus (présence d'espèces ou de milieux naturels remarquables,...). D'ailleurs, ces derniers espaces naturels sont souvent intégrés dans des périmètres de protection et/ou d'inventaire.

Cette méthode est fondée sur **un traitement statistique des données d'occupation du sol de l'aire d'étude à partir d'un Système d'Information Géographique (SIG)**. Plus précisément, c'est la couche d'occupation du sol de SIGALE® datant de 2005 couvrant l'ensemble de la Région Nord – Pas-de-Calais qui sert d'information de base à l'analyse. Du fait de sa précision, cette couche d'occupation du sol a été préférée à la couche Corine Land Cover de l'IFEN. Effectivement, la couche d'occupation du sol de SIGALE® est plus précise tant par la typologie utilisée que par l'échelle de représentation des différents milieux naturels.

Ainsi, **la couche de SIGALE® fait apparaître tous les milieux dont la superficie dépasse 0,5 hectare** alors que la couche Corine Land Cover représente les milieux dont la surface est supérieure au seuil de 25 hectares.

Une analyse fine de la couche d'occupation du sol brute de SIGALE® permet de constater que seules les plus larges voies de communication sont représentées. Toutefois, les quelques axes de communication figurant dans cette couche d'occupation du sol ne suffisent pas pour prendre en compte de façon satisfaisante le morcellement existant des milieux naturels de l'aire d'étude. Ainsi, **la couche d'occupation du sol de SIGALE® aussi appelée couche « milieux » a été découpée par des éléments fragmentants supplémentaires**, les routes, les voies ferrées et les canaux issus des bases de données Télé Atlas Multinet et BD carto de l'IGN.

Les différentes voies de communication sélectionnées et considérées comme fragmentantes ont été réparties en quatre classes selon l'importance ou autrement dit la perméabilité de la barrière qu'ils opposent en moyenne au déplacement des espèces animales et végétales.

La sélection et la hiérarchisation des voies de communication estimées comme fragmentantes vis-à-vis des milieux naturels ont été opérées de manière objective et standardisée. Ainsi, pour chacun des quatre niveaux de fragmentation, la sélection des voies de communication morcellantes de l'aire d'étude prend en compte divers critères tels que : la largeur des voies, l'intensité du trafic, l'existence potentielle de clôtures de part et d'autre des voies, la nature des berges des canaux...

Les espaces artificialisés ou urbanisés sont d'autres éléments éco-paysagers considérés comme fragmentants dans l'aire d'étude. Néanmoins, **ceux-ci sont représentés d'emblée dans la couche d'occupation du sol de SIGALE®**. Pour certaines étapes de l'évaluation des potentialités écologiques de l'aire d'étude, selon l'importance de la barrière qu'ils opposent au déplacement des espèces, les différents espaces urbanisés sont joints et répartis dans les quatre classes d'éléments fragmentants.

À l'inverse, **certains aménagements du territoire permettent de reconnecter les espaces naturels entre eux**. Il s'agit en particulier des ponts enjambant les voies d'eau ou les principaux ouvrages de rétablissement des connexions biologiques construits au niveau des autoroutes et des lignes ferroviaires à grande vitesse. Comme ces éléments ne figurent pas dans la couche d'occupation du sol de SIGALE®, nous les y avons également intégrés (voir le chapitre 3.3.)

Remarquons que grâce au découpage de la couche d'occupation du sol par les éléments fragmentants, la matrice paysagère, représentée par les zones de grandes cultures, est sectionnée en de nombreuses entités.

1.2. CRITERES ECOLOGIQUES PRIS EN COMPTE

L'analyse des potentialités écologiques réalisée ici est fondée sur plusieurs critères relevant de **l'écologie du paysage** (GODRON & FORMAN, 1986 ; FORMAN, 1995 ; BAUDRY & BUREL, 1999 ; etc.), à savoir :

- **la connectivité ;**
- **la naturalité ;**
- **la compacité ;**
- **la surface ;**
- **l'hétérogénéité.**

L'intégration de critères relevant d'autres thématiques est envisageable (géologie, hydrologie, hydrogéologie, hydraulique, ...). La seule contrainte est que ces informations doivent être homogènes sur l'ensemble du territoire régional.

Plus exactement, les critères retenus, pris individuellement ou combinés, permettent de cibler les potentialités biologiques et la fonctionnalité écologique de chaque polygone individualisé au sein de la couche « milieux ».

La **connectivité** correspond aux potentialités d'échanges entre les milieux. Une connectivité importante est garante d'un bon fonctionnement écologique et donc d'une biodiversité potentiellement plus forte. D'autre part, le brassage génétique et les échanges intra-populations, et, par conséquent, la santé et la survie des populations animales et végétales découlent en effet directement des potentialités d'échanges entre les milieux.

La **naturalité** d'un milieu, par définition son caractère « naturel », représente le niveau de pression exercée par l'Homme sur le milieu. Ainsi, généralement, moins ces pressions sont importantes, plus la naturalité d'un type d'habitat est forte et plus ses potentialités biologiques sont élevées, notamment vis-à-vis des espèces caractéristiques du milieu concerné.

Néanmoins, des pressions humaines modérées appliquées à certains milieux favorisent la biodiversité. C'est le cas notamment des milieux prairiaux dont le pâturage et/ou la fauche peuvent permettre un développement d'une flore diversifiée et, par conséquent, de la faune associée. La note de naturalité de certains milieux peut ainsi apparaître élevée malgré l'influence anthropique qu'ils subissent.

La **compacité** d'un habitat est liée à sa forme et influe sur la présence et l'importance d'un cœur d'habitat favorisant le bon fonctionnement écologique et donc la biodiversité (espèces caractéristiques du milieu correspondant). Plus la forme de l'habitat se rapproche du disque, plus la compacité sera forte et donc plus les potentialités biologiques seront fortes. Inversement, un habitat linéaire aura une faible compacité.

En ce qui concerne la **surface**, on considère que plus elle est grande, plus elle favorise les espèces typiques du milieu concerné et, donc, plus la richesse spécifique est élevée.

L'**hétérogénéité** des milieux est un critère permettant de mettre en valeur les zones d'écotone¹ et la mosaïque des milieux. Nous avons considéré que l'hétérogénéité d'un polygone correspondait au nombre de milieux différents avec lequel il était en contact direct. Il en résulte que, plus le nombre de milieux en contact est élevé, plus l'hétérogénéité est forte (et inversement).

Si les quatre premiers critères choisis décrivent les paramètres d'écologie du paysage intrinsèques aux polygones, le cinquième, en l'occurrence l'hétérogénéité, se caractérise à une échelle écopaysagère supérieure.

Les critères d'écologie du paysage choisis sont directement en relation avec l'analyse de la fragmentation. En effet, la fragmentation des espaces naturels par les éléments anthropiques conditionne la taille et la forme de ces espaces. Elle joue également sur leur continuité avec d'autres espaces naturels voisins.

Outre, les critères d'écologie du paysage prédéfinis, la présente étude fait appel de façon récurrente aux notions de potentialités écologiques et de fonctionnalité écologique. Il paraît donc également opportun de fournir une définition de ces termes.

Les **potentialités écologiques** d'un espace naturel traduisent l'importance que cet espace est susceptible d'avoir pour la préservation de la biodiversité à l'échelle du territoire considéré. Dans le cadre de la présente étude, l'étude de l'occupation du sol à travers plusieurs critères relevant de l'écologie du paysage permet d'estimer un intérêt écologique

¹ La zone d'écotone représente la limite et la transition entre deux écosystèmes dont il se différencie par ses propres caractéristiques écologiques. Il est caractérisé par une diversité et une richesse spécifique plus importante que celles de chacune des communautés qu'il sépare car on y rencontre des constituants des biocénoses situées de part et d'autre de ce dernier ainsi que des espèces qui lui sont strictement inféodées.

probable ou potentiel pour chaque parcelle. Toutefois, seule une étude fine de terrain permettrait d'évaluer la valeur écologique réelle de chaque parcelle d'espace naturel.

La **fonctionnalité écologique** d'un espace naturel traduit sa capacité à assurer une ou plusieurs fonctions concourant au maintien des équilibres écologiques à l'échelle du territoire considéré. Ces fonctions peuvent être de diverses natures, il peut s'agir par exemple de celle de milieu de vie ou de corridor écologique.

1.3. ELEMENTS METHODOLOGIQUES

D'un point de vue méthodologique, la valeur de chaque critère sera calculée pour chaque entité individualisée (polygone SIG) dans la couche « milieux » découpée par l'ensemble des éléments fragmentants et reconnectants sélectionnés (voies de communication et ouvrage de rétablissement des connexions biologiques). En fonction de celle-ci, des indices ont ensuite été attribués.

L'agrégation des différents indices calculés pour les différents critères décrits précédemment permet ensuite d'obtenir **un indice synthétique des potentialités écologiques des milieux** par entité individualisée au sein de la couche « milieux ».

Pour chaque critère évalué (hormis la naturalité), 5 ou 6 classes de valeurs ont été isolées grâce à la méthode des bornes naturelles, dite méthode des « seuils de Jenks ». Ainsi, les indices évalués correspondent aux niveaux des différentes classes de valeurs formées. Par conséquent, les indices de connectivité, de compacité et de surface sont des nombres entiers compris entre 1 et 6 selon l'intensité du paramètre.

Remarque : Définition du principe des « seuils de Jenks ».
Les classes sont fonction des regroupements naturels dans la distribution statistique des valeurs des données. Le logiciel SIG identifie des seuils en recherchant des groupes et des modèles inhérents aux données. Les entités sont réparties en classes dont les bornes sont définies aux endroits où se trouvent des hiatus dans les valeurs de données.

La méthode de calcul de chaque critère est présentée en préalable aux résultats cartographiques de chacun d'entre eux et à leur interprétation.

2. ANALYSE DE L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL REGIONALE DE 1998 A 2005

Cette partie fondée sur l'étude des couches d'occupation du sol de SIGALE de 1998 et 2005 met en évidence un certain nombre d'évolutions dans l'occupation du sol du Nord – Pas-de-Calais. L'objectif de cette partie est notamment de caractériser ces évolutions et plus particulièrement celle des espaces naturels régionaux.

Le Tableau 1, ci-contre détaille l'évolution de chaque poste d'occupation du sol à l'échelle régionale, en valeur absolue et en valeur relative (pourcentage).

Une première analyse du tableau permet de constater que les milieux naturels ouverts et les cultures intensives de la région régressent au profit des espaces urbanisés, des milieux boisés et secondairement des milieux humides. Afin de décrire et localiser plus précisément, ces progressions et régressions de l'occupation du sol, nous proposons d'analyser successivement chaque grand type d'occupation du sol. Précisons que deux cartes localisant les espaces naturels régionaux apparus et disparus entre 1998 et 2005 sont présentées à la fin de cette partie.

<i>Carte 1</i>	Localisation des espaces naturels disparus entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais
----------------	--

<i>Carte 2</i>	Localisation des espaces naturels apparus entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais
----------------	---

2.1. LA FORTE PROGRESSION DES ESPACES URBANISES

L'évolution la plus significative de l'occupation du sol régionale entre 1998 et 2005 concerne les espaces urbanisés. Au cours de cette période, ceux-ci ont connu une croissance globale d'environ 5,6 %. Ainsi, près de 10000 Ha du territoire régional ont été bâtis ou aménagés et viennent s'ajouter au très important réseau d'espaces anthropisés du Nord – Pas-de-Calais. Plus de la moitié de cette surface est consacrée à la construction de nouveaux lotissements. Une part significative de cette croissance est également imputable à la création de nouvelles zones industrielles / zones d'activités, de nouvelles routes, de logements individuels en milieu rural, de zones commerciales et d'équipements sportifs.

Cette forte croissance des espaces urbanisés est très préjudiciable pour le maintien de la biodiversité régionale car elle affaiblit encore un peu plus les connexions biologiques entre espaces naturels et vient renforcer l'emprise des éléments fragmentants dont les effets néfastes sur les écosystèmes sont détaillés dans le chapitre 3 du présent rapport.

Tableau 1 : Evolution de l'occupation du sol régionale de SIGALE® entre 1998 et 2005

Occupation du sol	Surface 1998 (Ha)	Surface 2005 (Ha)	Evolution de la surface (Ha)	Evolution de la surface (%)
FORETS DE FEUILLUS	79580	80364	784	1.0
FEUILLUS SUR DUNES	1710	1692	-18	-1.0
COUPES ANCIENNES	252	57	-195	-77.6
COUPES FORESTIERES RECENTES	3353	1964	-1389	-41.4
FORETS DE CONIFERES	3116	3853	738	23.7
CONIFERES SUR DUNES	1891	1882	-9	-0.5
PEUPLERAIES	8246	9590	1344	16.3
PEUPLERAIES RECENTES	3025	1799	-1226	-40.5
REBOISEMENTS RECENTS	7403	11166	3762	50.8
ESPACES VERTS URBAINS ET PERIURBAINS	2297	2988	692	30.1
MILIEUX BOISES	110873	115356	4483	+4.0%

PLANS D'EAU	5368	5655	287	5.3
COURS D'EAU ET VOIES D'EAU	3310	3319	9	0.3
ESTUAIRES	1421	1421	0	0.0
MARAI INTERIEURS	5484	5511	27	0.5
MARAI MARITIMES	332	332	0	0.0
MILIEUX HUMIDES	15916	16238	322	+2.0%

AFFLEUREMENTS ROCHEUX, FALAISES	102	102	0	0.0
DUNES BLANCHES	735	686	-49	-6.6
DUNES GRISES	1472	1467	-5	-0.4
BROUSSAILLES SUR DUNES	2794	2749	-45	-1.6
LANDES ARBUSTIVES	882	1016	134	15.2
PELOUSES	1173	1167	-6	-0.5
PRAIRIES : NATURELLES, PERMANENTES	210634	205852	-4782	-2.3
VERGERS ET PETITS FRUITS	1148	1481	333	29.0
CARRIERES	2226	2202	-25	-1.1
ESPACES EN FRICHE	10890	10884	-6	-0.1
TERRILS	1935	1852	-83	-4.3
FRICHES INDUSTRIELLES	4312	3777	-535	-12.4
GOLFS	907	944	37	4.1
MILIEUX NATURELS OUVERTS	239211	234180	-5032	-2.1%

SYSTEMES CULTURAUX ET PARCELLAIRES COMPLEXES	1258	1219	-39	-3.1
JARDINS OUVRIERS	791	746	-45	-5.7
MARAICHAGES, SERRES	4324	3869	-454	-10.5
CULTURES ANNUELLES	702388	694307	-8082	-1.2
MILIEUX CULTIVES	708762	700141	-8621	-1.2%

Occupation du sol	Surface 1998 (Ha)	Surface 2005 (Ha)	Evolution de la surface (Ha)	Evolution de la surface (%)
HABITAT RURAL	14226	14837	611	4.3
INFRASTRUCTURES PORTUAIRES	807	865	58	7.2
AEROPORTS, AERODROMES	1687	1707	21	1.2
CAMPINGS CARAVANINGS	1396	1456	60	4.3
CIMETIERES	1488	1508	20	1.3
STADES, EQUIPEMENTS SPORTIFS	4516	4926	410	9.1
DECHARGES	1017	1099	82	8.1
ZONES DE STOCKAGE	220	209	-11	-4.8
CHANTIERS	1441	1729	288	20.0
EMPRISES SCOLAIRES ET/OU UNIVERSITAIRES	2733	2766	33	1.2
EMPRISES COMMERCIALES	1406	1775	369	26.2
EMPRISES HOSPITALIERES	687	721	34	5.0
EMPRISES INDUSTRIELLES	19091	21271	2180	11.4
AUTRES EMPRISES PUBLIQUES	1790	1946	156	8.7
AXES FERROVIAIRES PRINCIPAUX ET ESPACES ASSOCIES	2819	2797	-22	-0.8
AXES ROUTIERS PRINCIPAUX ET ESPACES ASSOCIES	6223	6746	523	8.4
HABITAT MINIER	4320	4257	-63	-1.5
HABITAT RESIDENTIEL	104532	109704	5172	4.9
HABITAT COLLECTIF HAUT	2311	2333	22	1.0
URBAIN CONTINU DENSE	3388	3387	-2	0.0
MILIEUX URBANISES	176099	186038	9940	+5.6%

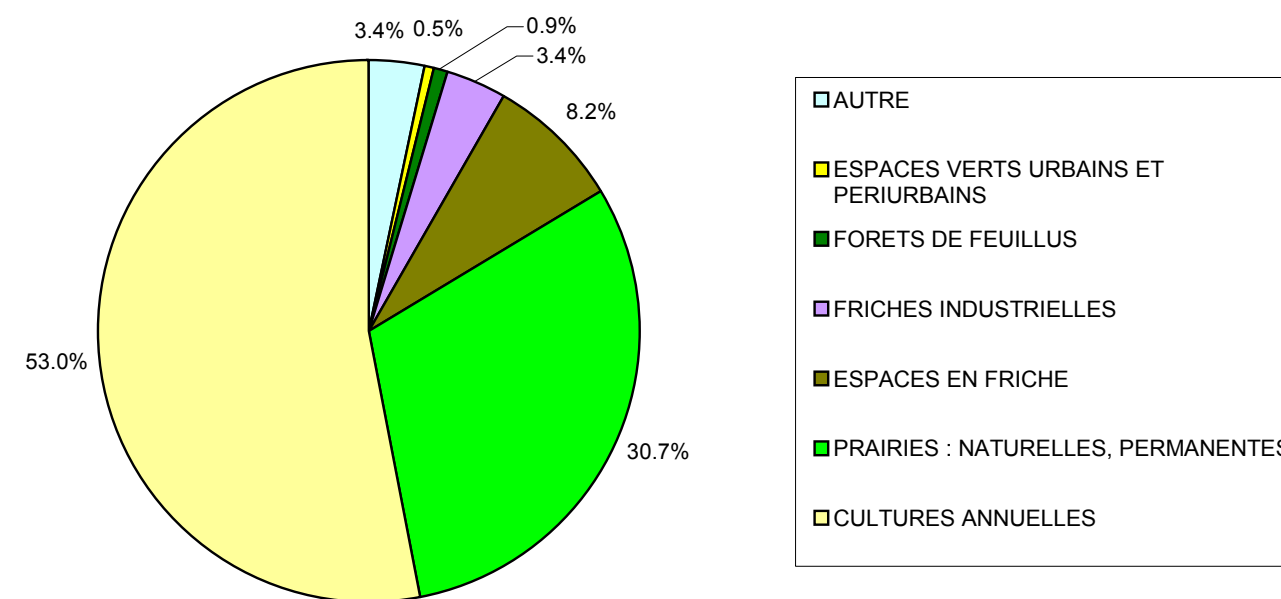


Figure 1 : Nature des espaces détruits par l'urbanisation entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais

Malgré tout, les effets de cette urbanisation sont quelques peu atténués dans le sens où la plupart des nouveaux espaces urbanisés sont contigus d'éléments anthropiques préexistants. Ils viennent alors accroître et densifier les villes et villages. Cette croissance de l'urbanisation concerne globalement l'ensemble du territoire régional. Elle semble toutefois plus marquée dans la région lilloise, dans le Bassin minier et dans son prolongement jusque dans le Calaisis. Le Boulonnais et le Nord de l'Avesnois paraissent également exposés à une forte croissance de l'urbanisation.

Bien que la croissance de l'habitat rural ne représente que 6 % des nouveaux espaces urbanisés, le développement de ce type d'habitat est plus inquiétant du point de vue de la conservation de la biodiversité régionale. Effectivement, ce type d'urbanisation contribue au mitage des espaces naturels et à un accroissement considérable de la fragmentation des habitats naturels. Cette aggravation de la fragmentation des habitats se manifeste notamment à travers le développement de l'urbanisation linéaire. Ainsi, dans de nombreux secteurs du Nord – Pas-de-Calais, l'habitat rural s'agglomère le long des routes existantes et forme peu à peu des barrières d'habitations souvent infranchissables pour la faune. Les secteurs du Nord – Pas-de-Calais qui semblent le plus affectés par ce type d'urbanisation entre 1998 et 2005 sont les vallées de l'Artois, la région audomaroise, le Valenciennais, l'Est du Cambrésis et le Nord de l'Avesnois.

La Figure 1, ci-après, décrit la nature des espaces détruits au profit de l'urbanisation. Celle-ci montre que les espaces détruits du fait de l'urbanisation étaient principalement occupés par des cultures intensives, des prairies ou des friches. Ainsi, les prairies sont fortement impactées par l'urbanisation. Cela s'explique par le fait que la plupart des prairies de la région s'organisent en ceintures bocagères autour des villages. Celles-ci sont donc fortement exposées à l'extension de ces villages.

2.2. LA REGRESSION DES MILIEUX NATURELS OUVERTS

La régression des milieux naturels ouverts du Nord – Pas-de-Calais est dominée par la disparition d'espaces de prairies. Ainsi, entre 1998 et 2005, plus de 2% des prairies régionales ont été détruites, ce qui représente 4782 Ha. Les espaces de friches industrielles ont également connu une forte régression (- 12%). Pendant ce temps, en dépit de la tendance générale à la baisse des milieux naturels ouverts, les vergers et landes arbustives de la région connaissent une progression respective de 29% et 15%.

La forte progression des vergers met en évidence le succès des politiques de revalorisation de ce type de milieu (opération plantons le décor du Conseil Régional, par exemple). Ainsi, dans de nombreux villages régionaux des prairies et cultures proches des centres urbains des villages sont converties en vergers. La progression des landes arbustives peut quant à elle être attribuée à l'abandon de prairies isolées et à la mise en jachère prolongée de parcelles de cultures.

Si l'on s'intéresse aux causes de régression des milieux naturels ouverts, la Figure 2 montre que la conversion des prairies en parcelles de cultures intensives, le reboisement et l'urbanisation constituent les trois principales causes de cette régression.

La destruction de prairies au profits d'espaces de cultures s'explique en partie par la rotation des espaces de jachère et la destruction régulière de prairies temporaires. Pour cette raison, parallèlement à leur destruction, de nombreux milieux naturels ouverts ont été créés dans le Nord – Pas-de-Calais entre 1998 et 2005 (voir la Carte 2). Malgré tout, le solde de création et destruction des milieux naturels ouverts de la région est négatif. Aussi, la disparition d'une part importante des prairies est également à mettre en relation avec le

moindre attrait des agriculteurs pour l'élevage. Ainsi, les régions bocagères, comme l'Avesnois et le Boulonnais subissent une érosion progressive de leurs espaces de prairie au profit de parcelles de cultures. De même, la plupart des ceintures bocagères des villages de l'Artois sont peu à peu grignotées par les cultures intensives (voir la Carte 1).

La plantation de boisements apparaît comme la seconde cause de régression des milieux naturels ouverts de la région. Cette part atteint 15% de la surface des milieux ouverts disparus lorsque l'on cumule les reboisements récents et les peupleraies récentes. Les modalités de ce changement d'occupation du sol seront traitées dans la partie suivante.

Enfin, les nouveaux espaces urbanisés prélèvent une part conséquente des milieux naturels ouverts de la région. Si l'on cumule les parts de l'habitat résidentiel, des emprises industrielles, des zones de chantier, de l'habitat rural et des équipements sportifs, la surface de milieux ouverts détruits en 1998 et 2005 suite à l'urbanisation atteint près de 25% et dépasse de loin la surface prélevée par le reboisement. Comme évoqué dans la première partie de ce chapitre, les milieux naturels ouverts et notamment les prairies sont disposées majoritairement en périphérie des espaces urbanisés. Ces milieux sont donc logiquement parmi ceux les plus affectés par l'extension urbaine.

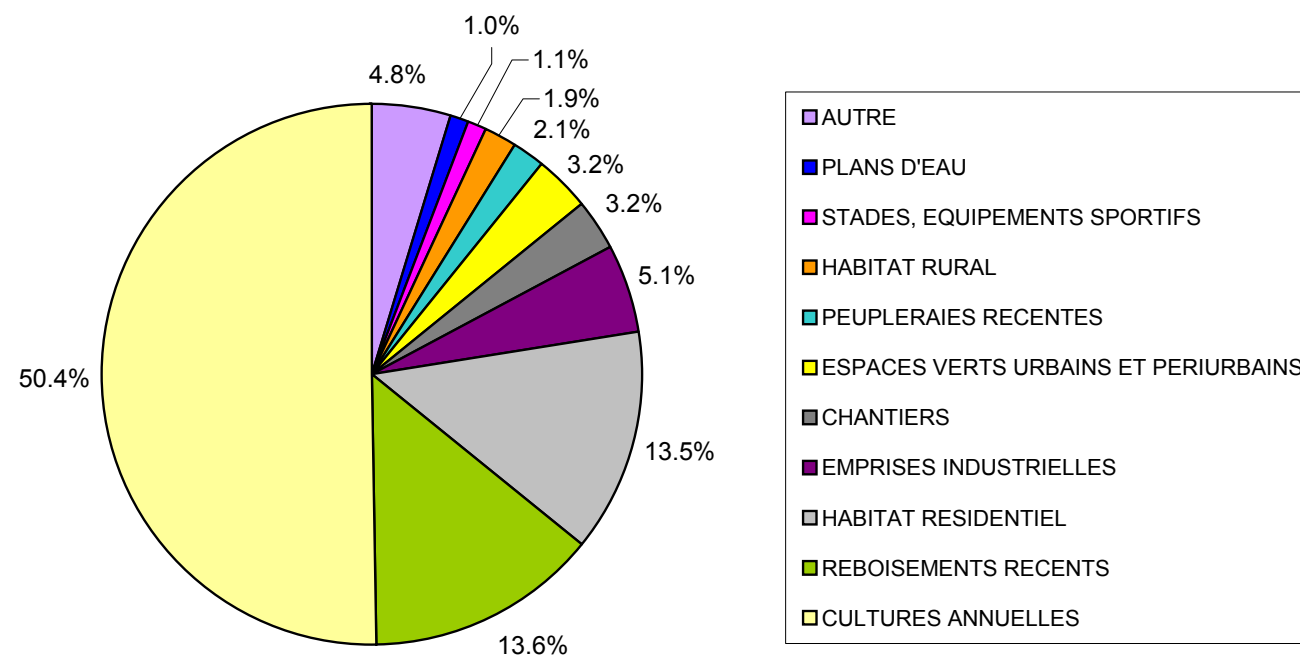


Figure 2 : Nature des espaces supplantant les milieux naturels ouverts entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais

2.3. LA PROGRESSION SIGNIFICATIVE DES MILIEUX BOISES

Alors que les milieux naturels ouverts et notamment les prairies du Nord – Pas-de-Calais ont tendance à s'amenuiser, la surface des espaces boisés marque une nette progression. Ainsi, entre 1998 et 2005 les surfaces boisées de la région ont progressé de près de 4500 Ha. Cette progression des espaces boisés est représentée majoritairement par des plantations d'essences caduques diversifiées. La surface des peupleraies ne s'accroît que

de 118 Ha et les boisements de conifères connaissent une progression plus significative d'environ 740 Ha (soit 15% des nouveaux espaces boisés).

La Carte 2 montre que les nouveaux espaces boisés se concentrent majoritairement dans les secteurs qui présentaient déjà un taux de boisement assez élevé ou du moins supérieur à la moyenne régionale. Ainsi, le Boulonnais, l'Artois, le territoire du PNR Scarpe Escaut constituent des territoires dont le reboisement semble plus important. Paradoxalement, l'Avesnois, secteur déjà très boisé, connaît une faible progression des boisements entre 1998 et 2005. Signalons également que la périphérie des grandes agglomérations telles que Lille, Dunkerque, Lens, Valenciennes abritent de nouvelles parcelles de boisements assez conséquentes. Nombre de ces nouveaux boisements sont créés à des fins paysagères et récréatives dans le cadre des politiques environnementales de ces agglomérations.

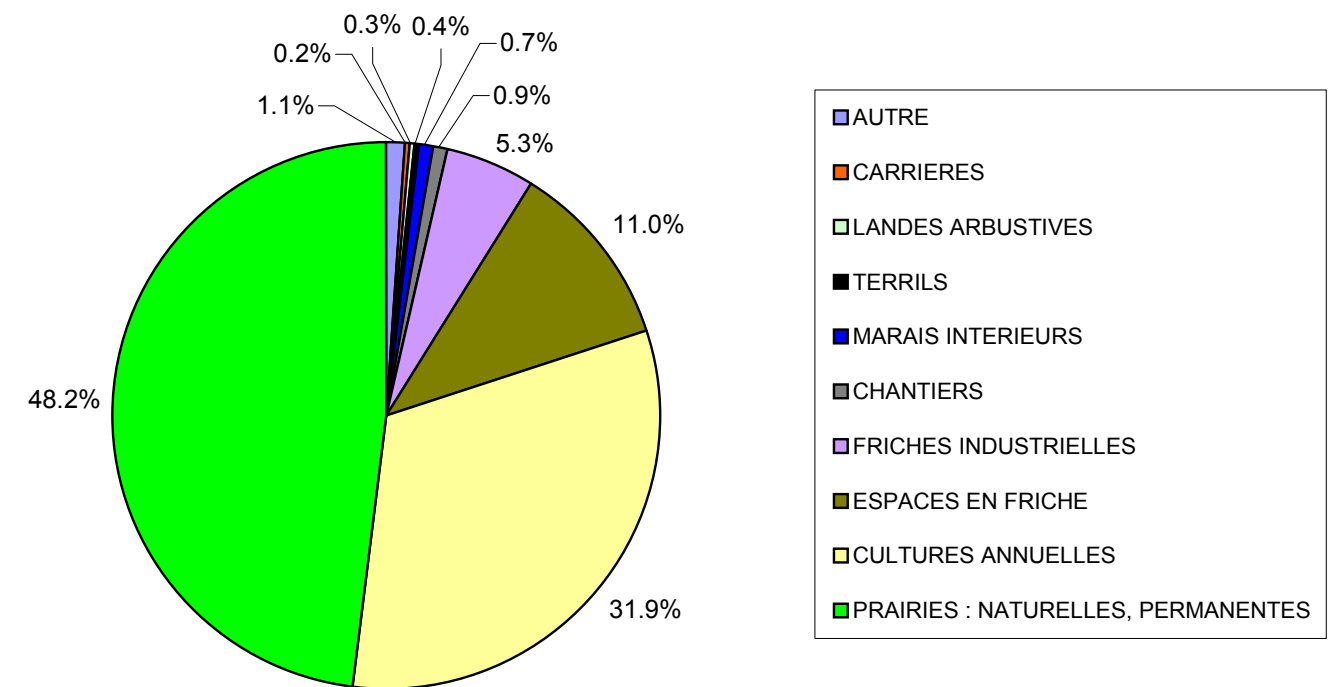


Figure 3 : Nature des espaces perdus au profit du reboisement entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais

La Figure 3 montre que l'essentiel des surfaces consacrées à la plantation de nouveaux boisements provient des prairies et des cultures intensives. Comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente, l'attrait décroissant des agriculteurs pour l'élevage engendre une perte d'intérêt des espaces prairiaux. Aussi, l'exploitation du bois, la pratique de la chasse et l'attrait du public pour les surfaces boisées, favorisent le reboisement et provoquent l'abandon des prairies et des terres cultivées les moins fertiles ou les plus inaccessibles. Le graphique de la Figure 3 révèle en outre qu'environ 16% des nouveaux espaces boisés de la Région proviennent de l'évolution spontanée d'espaces en friches et de friches industrielles. Précisons que les boisements issus de ces derniers espaces sont souvent proches des agglomérations et constituent une seconde cause du développement d'espaces boisés dans la périphérie des grandes agglomérations précitées.

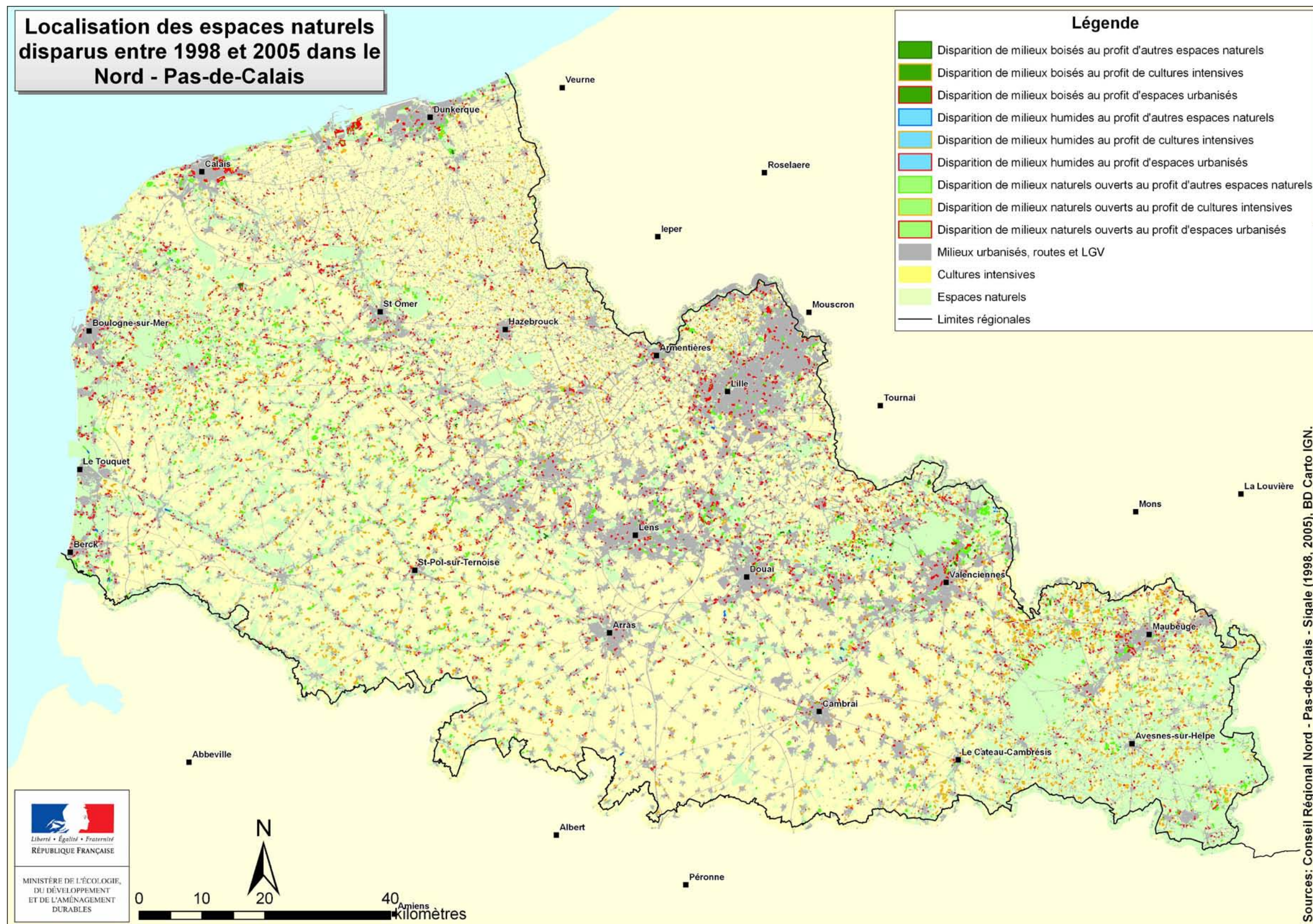
2.4. LA PROGRESSION DES MILIEUX HUMIDES

A l'encontre du discours récurrent sur la disparition et les menaces qui pèsent sur les zones humides, le Tableau 1 met en évidence une progression de 2% des zones humides régionales entre 1998 et 2005.

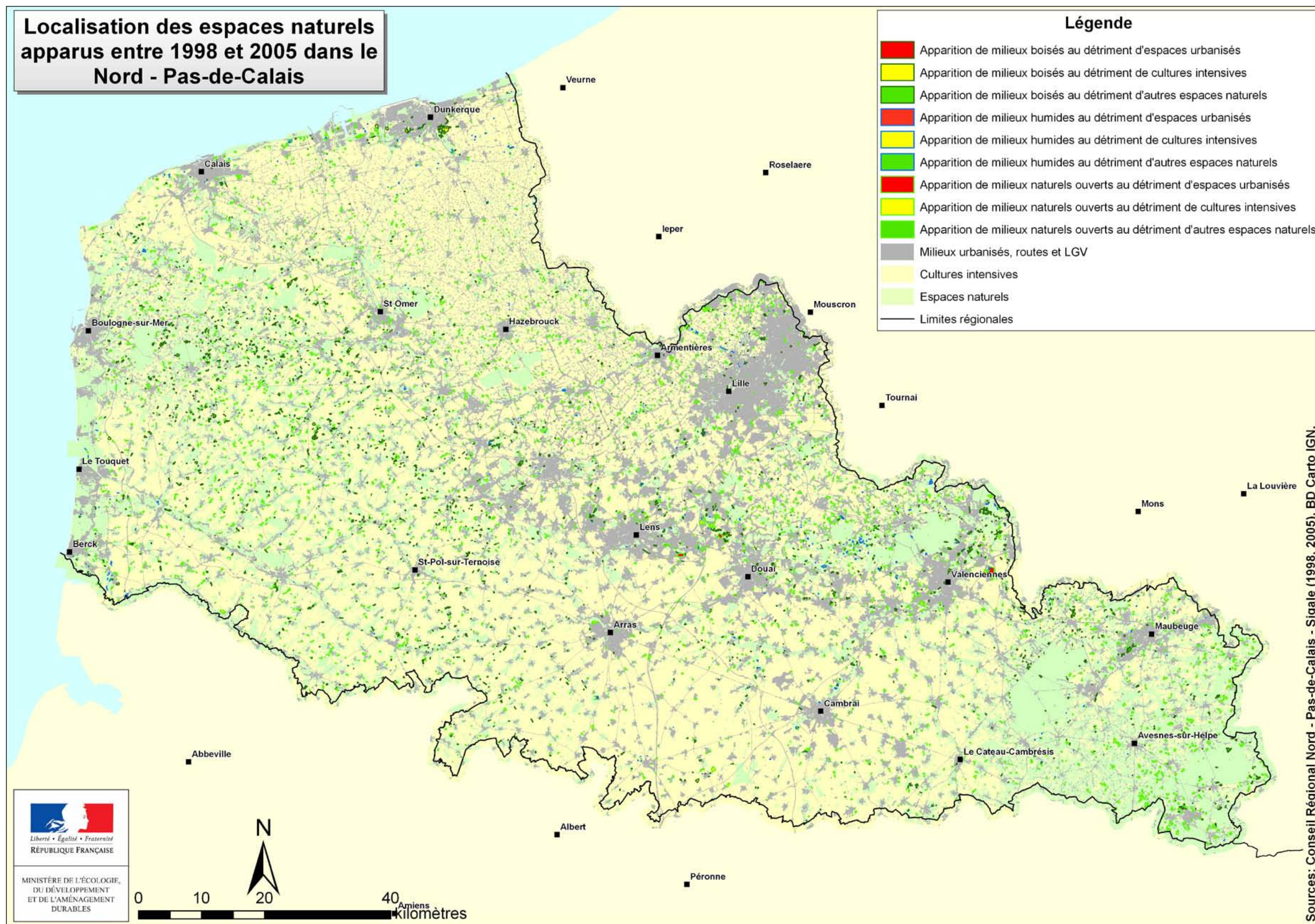
Ainsi, les 134 Ha de milieux humides détruits dans le Nord – Pas-de-Calais entre 1998 et 2005 restent bien inférieurs au 456 Ha de zones humides créées dans le même temps. Une très large part des milieux humides créés est représentée par des plans d'eau. Ceux-ci sont localisés principalement dans le territoire du PNR Scarpe – Escaut, en Flandre Maritime, à proximité de l'embouchure de l'Authie et dans la vallée de la Lys (voir la Carte 2). La plupart des ces plans d'eau sont créés à des fins cynégétiques et secondairement à des fins paysagères. Leurs potentialités écologiques sont donc souvent limitées.

En revanche, les origines des 27 Ha de marais intérieurs créés entre 1998 et 2005 sont moins facilement identifiables. Ceux-ci sont éparpillés sur le territoire régional. Une concentration plus importante de ces nouveaux espaces de marais est toutefois perceptible dans la vallée de la Scarpe. Les origines possibles pour ces nouveaux espaces de marais sont : l'abattage de peupleraies très humides, l'arrêt du drainage de parcelles de prairies et la création de nouvelles zones humides dans le cadre d'opération de génie écologique...

Si le bilan sur l'évolution des zones humides dans le Nord – Pas-de-Calais entre 1998 et 2005 paraît a priori positif, il ne faut pas oublier que de nombreuses zones humides ne sont pas prises en compte par la couche d'occupation du sol. Ainsi, la couche d'occupation du sol ne distingue pas les prairies humides. Par ailleurs, une grande partie des zones humides de la région ont une taille inférieure à 0,5 hectares ; ces zones humides ne sont donc pas représentées dans la couche d'occupation du sol de SIGALE. Ces limites montrent qu'il convient de rester très prudent sur l'analyse de l'évolution des zones humides régionales. Enfin, un développement quantitatif des zones humides n'implique pas une amélioration des qualités écologiques des zones humides.



Carte 1 : Localisation des espaces naturels disparus entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais



Carte 2 : Localisation des espaces naturels apparus entre 1998 et 2005 dans le Nord – Pas-de-Calais

3. ETAT DES LIEUX ET ANALYSE DE LA FRAGMENTATION DU TERRITOIRE REGIONAL

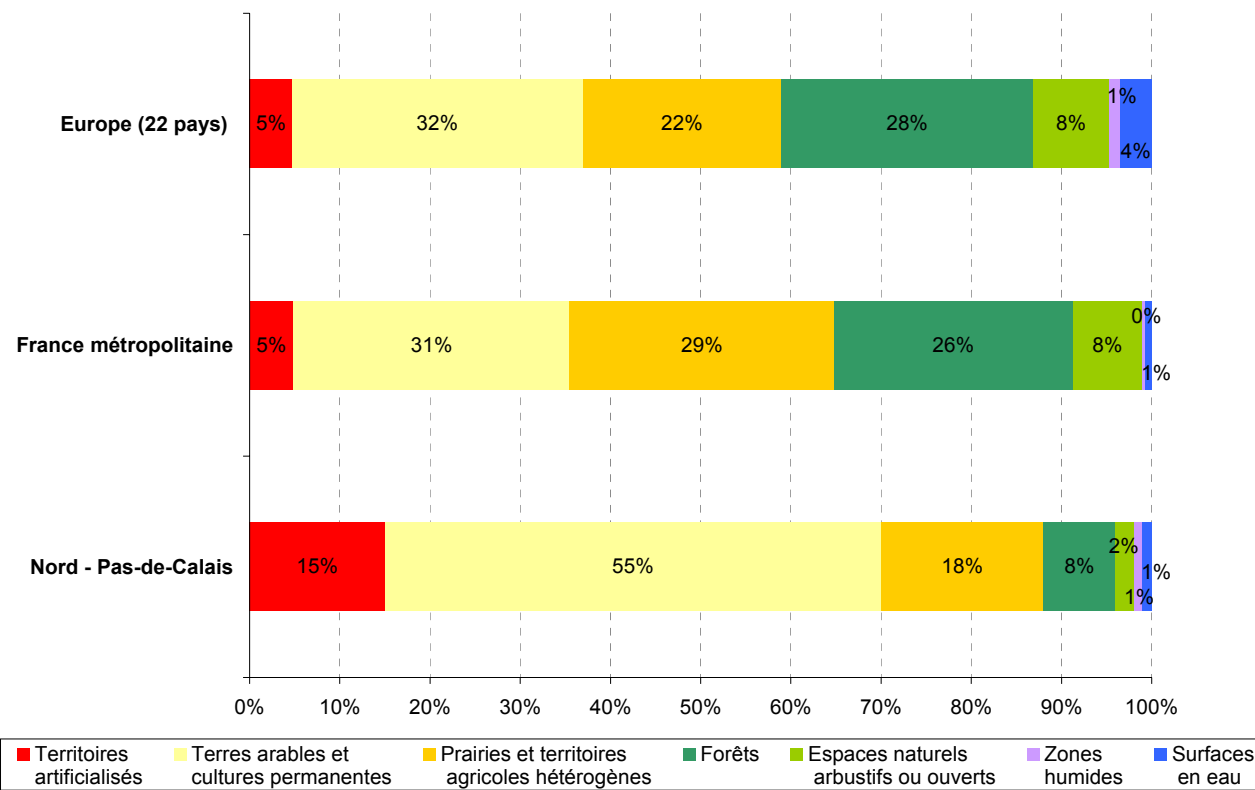
Après avoir évaluer l'occupation du sol régionale dans sa globalité, ce chapitre se focalise plus spécifiquement sur l'analyse des espaces anthropisés de la Région et leurs conséquences sur les écosystèmes.

3.1. LE NORD – PAS-DE-CALAIS, UNE REGION FORTEMENT FRAGMENTEE ET ARTIFICIALISEE

Ainsi, nous mettrons en lumière dans un premier temps à quel point le territoire du Nord – Pas-de-Calais est morcelé par les espaces artificialisés et anthropisés.

3.1.1. Mise en évidence des éléments anthropiques régionaux

Avec la région parisienne, le Nord – Pas-de-Calais constitue l'une des régions les plus artificialisées de France. Dès le XIX siècle, avec notamment l'essor de l'industrie textile et l'exploitation du charbon, la région connaît un fort développement industriel. Ce développement s'accompagne d'une extension des zones urbaines et de la construction de nombreuses infrastructures de transport.



Source : UE-Ifen, Corine land Cover 2000 pour l'Europe² et la France Métropolitaine, SIGALE 2005 pour le Nord - Pas-de-Calais

Figure 4 : Comparaison de l'occupation du sol Régionale par rapport à l'occupation du sol de France métropolitaine et d'Europe

² *Liste des 22 pays : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Estonie, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie.

La position de carrefour géographique européen du Nord – Pas-de-Calais y a favorisé la construction de grandes voies de communication telles que les autoroutes A1, A16 ou A26 ou les lignes TGV Paris – Londres – Bruxelles.

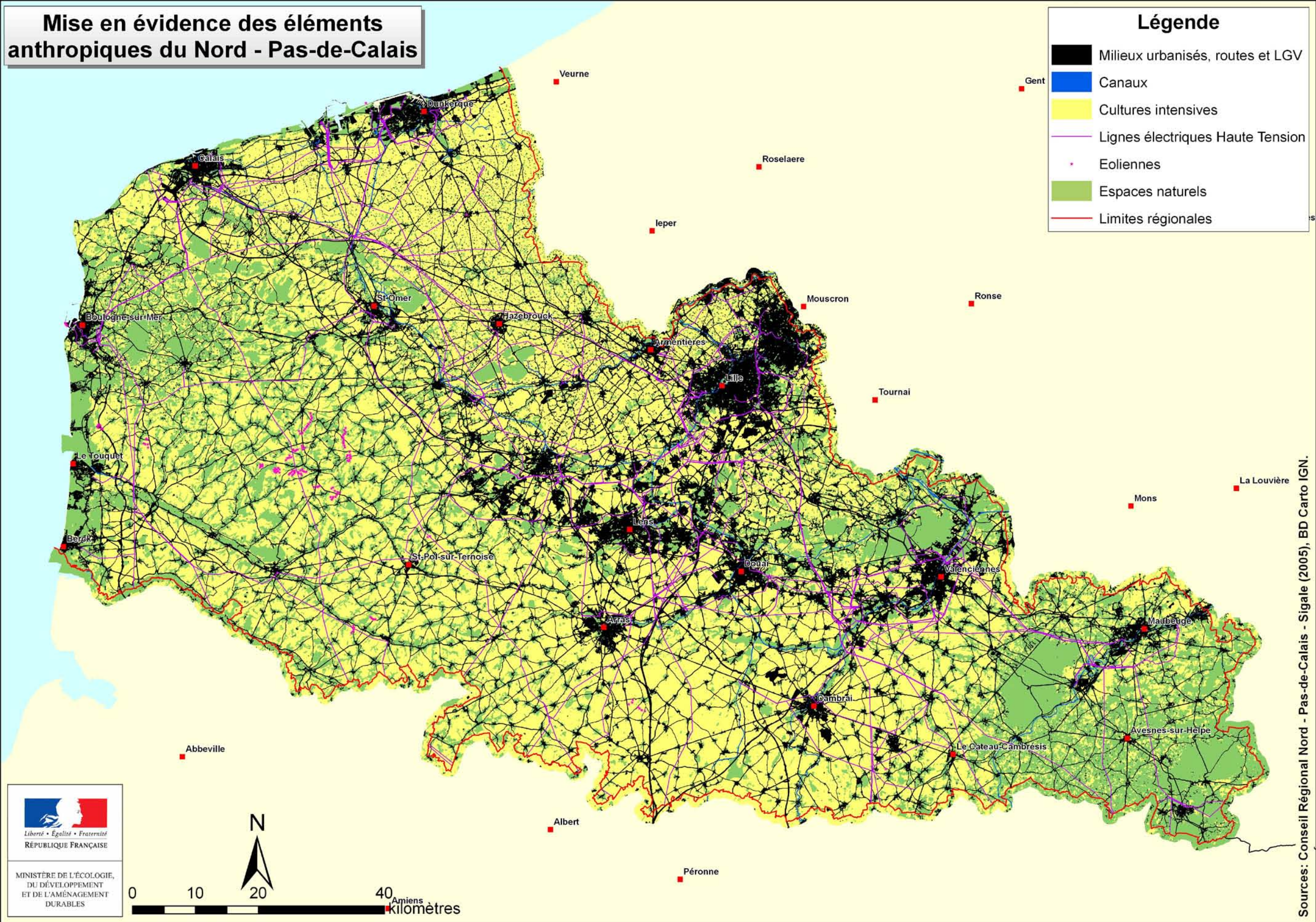
En outre, le faible relief et la fertilité des sols de la région y ont favorisé très tôt l'essor d'une agriculture intensive sur une large partie du territoire.

La Figure 4 met en évidence la forte proportion des territoires artificialisés et cultivés intensivement dans le Nord – Pas-de-Calais, au détriment des espaces naturels. Bien que le Nord – Pas-de-Calais possède un réseau de zones urbaines et de voies de communication globalement dense sur l'ensemble de son territoire, certains secteurs de la région sont plus artificialisés que d'autres. Ainsi, comme le met en évidence la carte ci-après, le Bassin Minier et la région lilloise abrite une densité de population supérieure et sont particulièrement artificialisés. A l'inverse, des secteurs comme le Boulonnais ou l'Avesnois subissent une pression moindre de l'urbanisation et de l'agriculture intensive. L'espace laissé aux milieux naturels y est par conséquent supérieur.

Outre les éléments anthropiques représentés sur la carte 1, d'autres infrastructures dont l'emprise spatiale est moindre renforcent encore la fragmentation du territoire. Il s'agit par exemple de l'ensemble des lignes électriques ou téléphoniques aériennes et plus particulièrement les lignes électriques à haute tension. Par ailleurs, bien que les nombreuses éoliennes installées récemment constituent des infrastructures très ponctuelles celles-ci participent également au morcellement du territoire.

Carte 3	Principaux éléments anthropiques de la région Nord – Pas-de-Calais
---------	--

Si cette artificialisation et fragmentation du territoire régional a des conséquences profondes et directement perceptibles sur le paysage, ces conséquences sont tout aussi importantes et néfastes sur les écosystèmes et le maintien de la biodiversité régionale.



Carte 3 : Mise en évidence des éléments anthropiques du Nord – Pas-de-Calais

3.1.2. Impact des éléments anthropiques du territoire sur les écosystèmes

3.1.2.1. Fragmentation des habitats et des populations

D'après la couche d'occupation du sol de SIGALE® datant de 2005, près de 2000 km² (15%) du territoire régional sont désormais occupés par des espaces artificialisés (zones urbanisées et industrialisées, voies de communication) et environ 7300 km² sont occupés par l'agriculture intensive. Ces surfaces colossales représentent quasiment autant d'espace grignoté aux habitats naturels, à la faune et la flore sauvage régionale.

Toutefois plus que la seule réduction des habitats, c'est surtout le morcellement des habitats naturels en une multitude de parcelles dispersées sur le territoire régional qui nuit gravement au bon fonctionnement des écosystèmes et à la survie des espèces animales et végétales. La fragmentation des habitats est d'ailleurs désignée comme la principale cause du déclin de la biodiversité à l'échelle mondiale (Sommet de la Terre, Rio 1992).

La Figure 5, ci-contre, met en évidence la forte corrélation entre la baisse du nombre d'espèces et la réduction de la taille ou de la diversité des habitats naturels. Le nombre d'individus d'une espèce est lui-même corrélé à la diversité des espèces fréquentant un espace naturel.

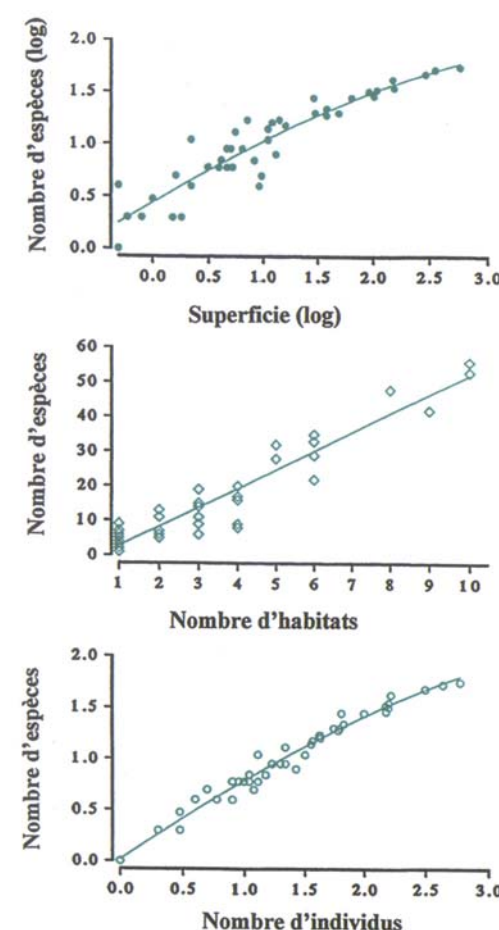


Figure 5 : Relations entre le nombre d'espèces et la superficie des aires géographiques, entre le nombre d'espèces et le nombre d'habitats distincts et entre la richesse spécifique et les densités de population

Source : Haila Y., 1983

Les conséquences de la fragmentation des habitats sont complexes et se traduisent par :

- la diminution ou la modification des habitats utilisables,
- le morcellement des habitats en mosaïque, l'allongement des lisières, l'augmentation des distances entre les habitats résiduels,

- une difficulté croissante des organismes à se disperser en raison de l'existence de barrières (effet de coupure) et de la disparition des éléments du paysage qui facilitent la dispersion (corridors écologiques).

Outre la perte directe d'habitat liée à l'emprise des espaces anthropisés une perte d'habitat supplémentaire peut être considérée du fait des perturbations induites par ces espaces sur les milieux voisins. Ainsi, en milieu forestier par exemple, la surface d'habitat modifiée par une route est beaucoup plus importante que la surface couverte par la route. Une bande de 100 à 200 mètres de large devient inhabitable pour les espèces forestières strictes. Dans ce cas de figure, la zone de perturbation engendrée par l'effet de tranchée atteint environ 10 fois la surface occupée par la voie (SETRA, 2005).

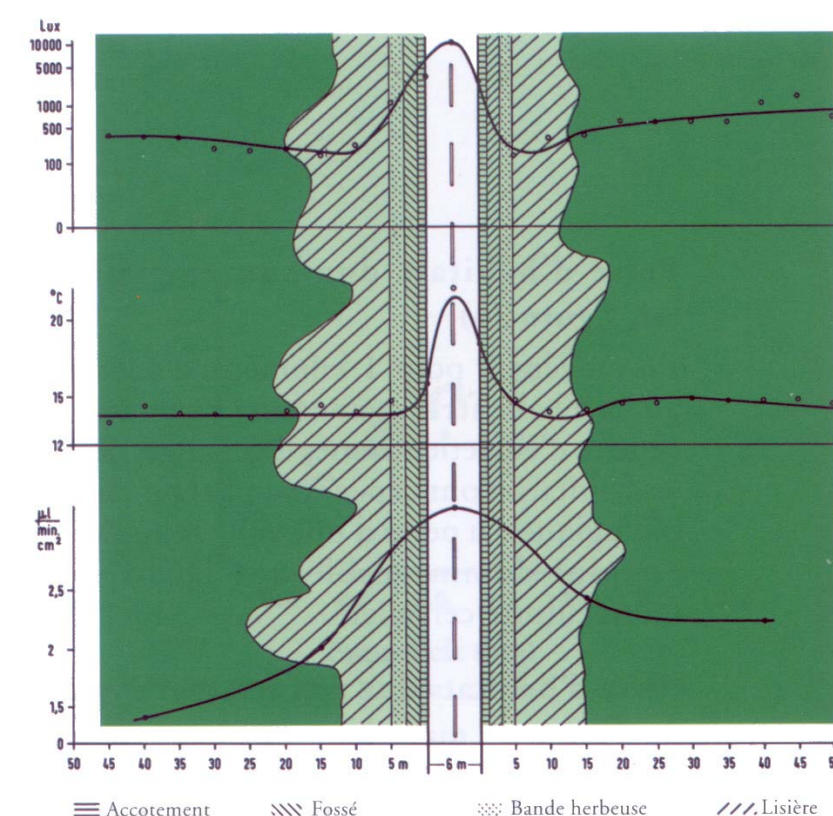


Figure 6 : Variation des facteurs microclimatiques (luminosité, température et évaporation) aux abords d'une route en milieu forestier

Source : H.J. Mader – MELATT et Ministère délégué chargé de l'environnement, Colloque « Routes et faune sauvage » in SETRA, 2005.

Selon la distance aux éléments anthropiques, un gradient de nuisances correspondant au degré de perturbation des écosystèmes peut être mis en évidence. Ces nuisances sont principalement le bruit, la fréquentation humaine, les polluants gazeux et particulaires, la pollution lumineuse (voir la partie 3.1.3.2.)

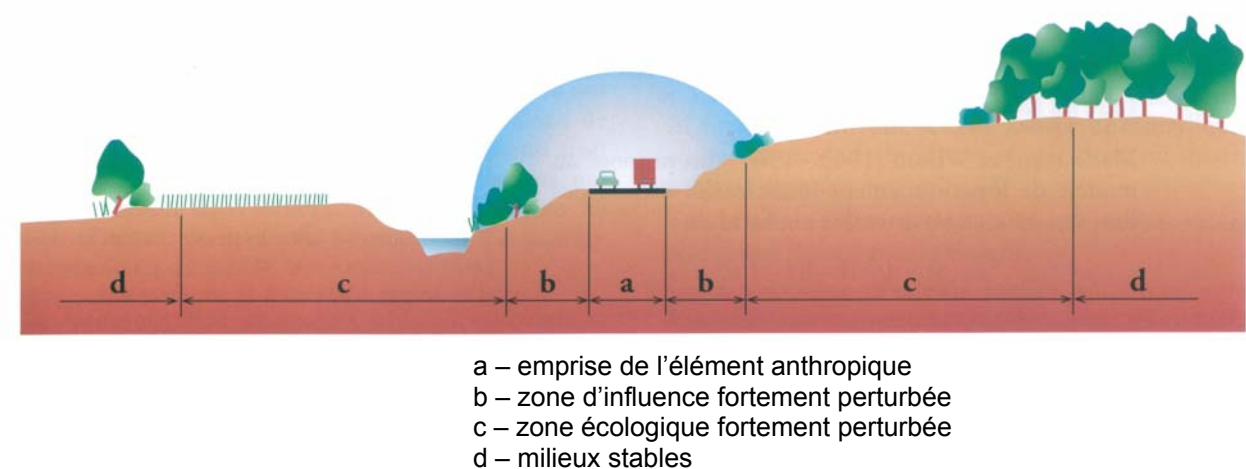


Figure 7 : Disparition directe de l'habitat due aux emprise et zones de perturbation écologique des éléments anthropiques

Source : Office Fédéral des Routes Suisse (2000)

Les nuisances générées par les zones urbaines ou industrielles et les voies de communication peuvent affecter les habitats sur de grandes distances. Toutefois cette distance est variable selon la nature des espaces naturels voisins des éléments anthropiques. En milieu naturel ouvert, les nuisances se propagent sur des distances beaucoup plus importantes qu'en milieu naturel fermé, de type forestier par exemple.

A partir de l'exploitation de la couche d'occupation du sol régionale de SIGALE® datant de 2005 et des voies de communication de la BD Carto (IGN), la carte présentée à la page suivante permet de visualiser une estimation de l'emprise des espaces régionaux perturbés par les éléments anthropiques.

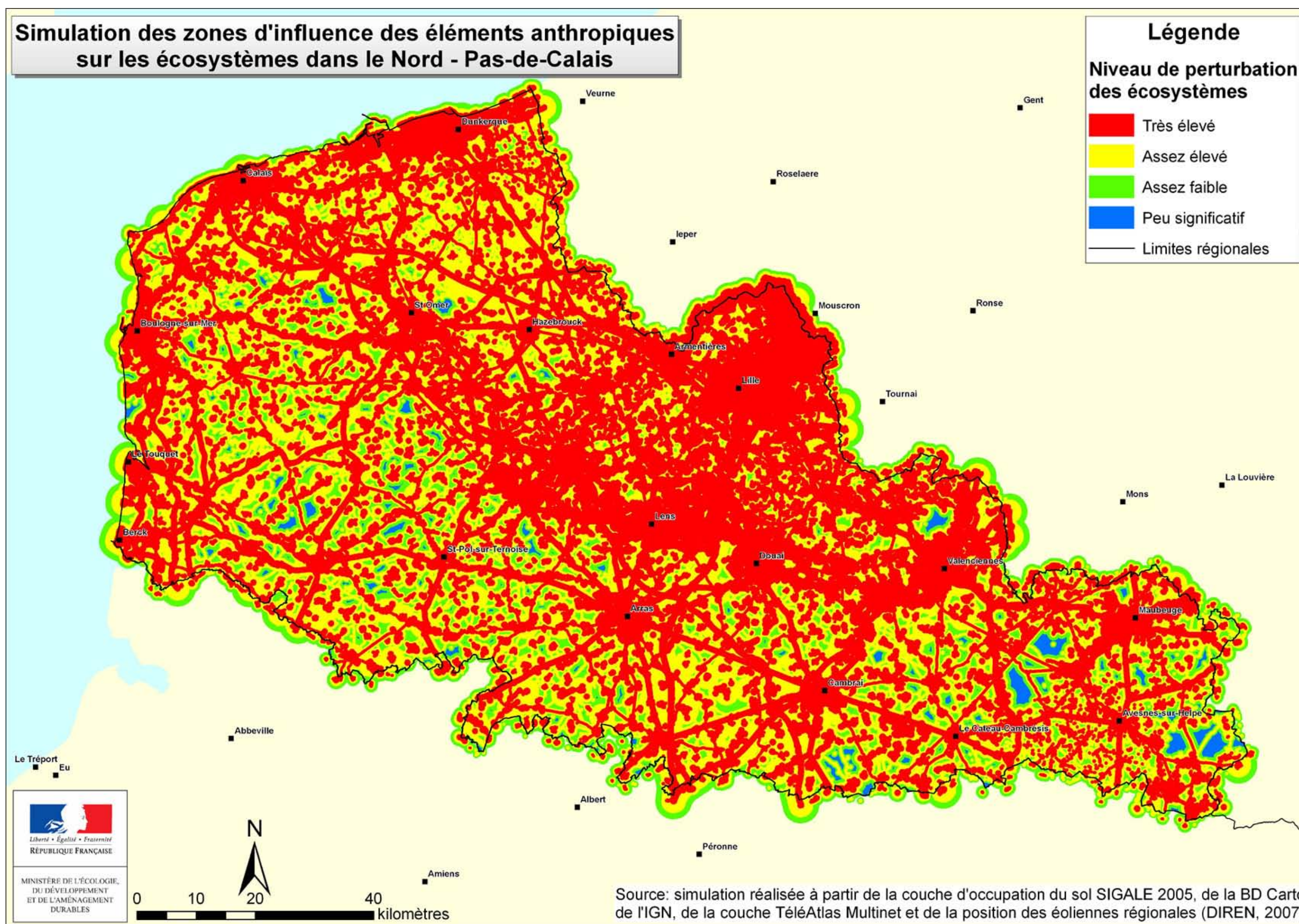
Pour l'élaboration de cette carte, il a été admis que les différents éléments anthropiques génèrent des nuisances impactant les habitats, la faune et la flore dans un rayon variable selon le niveau de perturbation engendré. Des zones tampon proportionnelles au niveau de perturbation écologique ont donc été tracées autour des différents éléments anthropiques régionaux. En outre, trois niveaux de perturbation des écosystèmes proches des éléments anthropiques ont été distingués. Les distances et niveaux de perturbation estimés sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Idéalement, il aurait été préférable de moduler les distances des niveaux de perturbations selon la nature des milieux adjacents aux éléments anthropiques. Effectivement, les perturbations se propagent bien plus loin dans les milieux ouverts (champs cultivés ou prairies par exemple) que dans des milieux fermés (tels que des boisements par exemple). Cette modulation n'a toutefois pas pu être intégrée à notre modélisation pour des raisons techniques.

Tableau 2 : Rayon des zones tampon de perturbation écologique associées aux éléments anthropiques régionaux

Eléments anthropiques considérés	Forte perturbation écologique	Perturbation écologique moyenne	Faible perturbation écologique
Autoroutes LGV Urbain continu dense	500 m	2 km	3 km
Autres routes à 2 x 2 voies Principales routes nationales et départementales Voies ferrées très passantes Emprises industrielles Emprises commerciales Emprises hospitalières Emprises scolaire et / ou universitaires Autres emprises publiques Habitat collectif haut Habitat minier Chantiers Zones de stockage Décharges	500 m	1 km	1,5 km
Routes départementales secondaires Voies ferrées moyennement passantes Habitat résidentiel Cimetières Infrastructures portuaires	250 m	500 m	1 km
Routes départementales tertiaires Voies ferrées peu passantes Habitat rural Camping, caravanning Aéroports, aérodromes Equipements sportifs et de loisirs Lignes électriques à Haute tension Eoliennes	-	250 m	500 m

Carte 4	Carte de perturbation des écosystèmes par les éléments anthropiques
---------	---



Carte 4 : Perturbation des écosystèmes par les éléments anthropiques régionaux

Le phénomène de fragmentation entraîne par ailleurs une séparation des habitats. Plus cette fragmentation est importante, plus le nombre de tâches d'habitats augmente et plus les populations animales et végétales sont subdivisées. En outre, les zones de lisière s'allongent alors que les zones centrales des habitats se réduisent. Ainsi, les espèces les plus sensibles aux perturbations (Stratégie K) évoquées précédemment et qui ont besoin de grandes aires vitales sont les premières victimes de la fragmentation des habitats naturels. A l'inverse, les espèces inféodées aux espaces de lisières sont favorisées. Il s'agit souvent d'espèces généralistes ou ubiquistes à forte capacité de reproduction (Stratégie r). Ces espèces entrent en compétition avec les espèces spécialisées et typiques de l'habitat morcelé. L'équilibre entre espèces pionnières et espèces spécialisées est perturbé au profit de quelques espèces très compétitrices qui deviennent hyper dominantes. Il en résulte une banalisation des cortèges faunistiques et floristiques.

Les populations locales isolées dans les différentes tâches d'habitats naturels diminuent à mesure que la fragmentation des tâches augmente. Les populations réduites risquent souvent l'extinction parce qu'elles sont très sensibles aux contraintes environnementales d'ordre climatique, à la compétition avec d'autres espèces, au parasitisme et aux événements démographiques aléatoires (baisse accidentelle de la fécondité, déséquilibre des sex ratios, fluctuation passagère d'effectifs...). Par ailleurs, si dans une tâche isolée une espèce disparaît, cela peut affecter tous les être vivants qui interagissent avec elle. Ainsi, par « effet dominos » tout un écosystème peut être déstabilisé par la modification d'une seule de ses composantes. Dans un écosystème, la disparition d'une espèce « clé de voûte » qui contrôle tout ou partie de la pyramide alimentaire peut affecter gravement la biodiversité d'une tâche d'habitat.

Malgré tout, des interconnexions peuvent subsister entre les différentes tâches d'habitat. Selon la nature ou le degré d'anthropisation et de perturbation du milieu séparant les tâches d'un même type d'habitat, les échanges et déplacements d'espèces entre tâches sont plus ou moins possibles. En général, plus les tâches sont petites plus les migrations et échanges d'espèces entre tâches sont nécessaires au maintien des populations. Si les tâches d'habitats sont trop éloignées et si aucune structure (corridor, espace naturel relais) ne permet d'échange entre les fragments d'habitats résiduels, la population est isolée et exposée pleinement au risque d'extinction précédemment cité. Précisons que la capacité d'échange entre des tâches voisines dépend non seulement de la nature du milieu séparant ces tâches, de la distance entre les tâches, mais aussi de la capacité de dispersion des espèces inféodées à ces tâches d'habitat.

Dans le Nord Pas-de-Calais, les champs cultivés intensivement représentent la matrice du paysage, c'est à dire le milieu dominant dans lequel s'étendent les tâches d'autres habitats naturels ou d'éléments anthropiques. A ce titre, les champs cultivés constituent une première barrière vis à vis des espèces des autres habitats naturels. Cette barrière impose une première limite aux échanges d'espèces entre tâches voisines. Les éléments anthropiques régionaux viennent alors souvent se surimposer comme une barrière supplémentaire aux échanges entre tâches d'habitats naturels. Ainsi, les nuisances générées par ces éléments anthropiques et leur faible perméabilité aggrave l'isolement des populations.

3.1.2.2. Dérangement et pollutions

Les éléments anthropiques, tels que les voies de communication, les zones urbaines ou industrielles constituent une source indirecte considérable de nuisance pour le bon fonctionnement des écosystèmes et le maintien des populations animales et végétales. Selon leur nature, ces nuisances peuvent être ressenties à plusieurs centaines de mètres voire à des kilomètres de leur source d'émission. La carte régionale des zones susceptibles d'être perturbées par les éléments anthropiques, présentée précédemment, témoigne de l'importance du territoire régional potentiellement impacté.

Les principales sources de dérangement de la faune et/ou de la flore associées aux éléments anthropiques sont : le bruit, la fréquentation humaine, les vibrations, la lumière artificielle, diverses pollutions gazeuses et particulaires.

Selon les espèces, les effets du dérangement sont plus moins dommageables. Ainsi certaines espèces peuvent s'accoutumer à un type de nuisance. Les mammifères sauvages sont généralement peu sensibles au bruit. A l'inverse, certaines nuisances sont très préjudiciables. Par exemple, les chauves-souris sont particulièrement sensibles aux vibrations et à la lumière.

L'introduction d'espèces exotiques envahissantes constitue une source de perturbation supplémentaire généralement associées aux voies de communication le long desquelles les activités humaines favorisent leur dissémination. Ces espèces prolifèrent et entrent en concurrence avec les espèces indigènes. Le cas de la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*) se développant de façon incontrôlée le long des canaux, routes et voies ferrées témoigne de l'ampleur du problème.

En outre, les polluants émis par les activités humaines (circulation automobile, industries...) contaminent les chaînes alimentaires dans les habitats voisins. Ainsi, le phénomène de bioaccumulation des métaux lourds empoisonne particulièrement les prédateurs situés en haut des chaînes alimentaires. La bioaccumulation de substances toxiques peut être à l'origine d'une surmortalité des populations animales.

Précisons qu'une analyse de la pollution lumineuse régionale et de ses effets sur les écosystèmes est proposée dans la partie 3.2.

3.1.2.3. Mortalité directe de la faune engendrée par les éléments anthropiques

Aux perturbations et surmortalités précitées s'ajoute une mortalité directe de la faune par collision sur les voies de communication. Ainsi, les voies routières sont particulièrement meurtrières pour les vertébrés. Différents types de mortalité peuvent y être distingués (SETRA, 2005) :

- une mortalité « interne », alimentée par les animaux se reproduisant dans l'emprise même de la route (micromammifères, reptiles, lapins...) ;
- une mortalité « induite » affectant diverses espèces insectivores, prédatrices ou nécrophages, attirées par l'existence de cadavre sur la chaussée ou bien la facilitée de capture des petits rongeurs ;
- une mortalité « externe » touchant les populations installées de part et d'autre de la route à des distances parfois importantes.

Notons que la mortalité « externe » de la faune peut intervenir dans trois cas de figure distincts. Dans le premier cas, la route franchit le domaine vital de l'animal. Celui-ci, généralement un adulte reproducteur se fait alors écraser lors de l'un de ses déplacements habituels. Dans le second cas de figure, la mortalité « externe » peut concerner les jeunes à l'essaimage, qui lors de leur dispersion se font écraser sur la chaussée. Dans le dernier cas, la voie de communication se trouve sur un axe migratoire, la faune se fait alors écraser au cours de sa migration (cas des batraciens, par exemple).

Toutefois les voies routières ou plus généralement les voies de communication, ne sont pas les seuls éléments anthropiques à l'origine d'une mortalité directe de la faune. Les lignes électriques à haute tension ainsi que les éoliennes génèrent également des risques importants de collision et de mortalité avec les oiseaux et chauves-souris. Ce risque est d'autant plus important en période de migration.

La mortalité directe de la faune, notamment du fait de la circulation automobile, constitue sans aucun doute l'effet le plus visible des infrastructures anthropiques sur la faune. Malgré tout elle représente une menace généralement moins importante que la fragmentation des habitats. Cependant, elle vient s'ajouter à d'autres types de mortalité et peut fragiliser davantage certaines populations insularisées.

3.2. LA POLLUTION LUMINEUSE, UNE AUTRE SOURCE DE FRAGMENTATION ET DE PERTURBATION DES ECOSYSTEMES

Les éclairages nocturnes associés aux espaces anthropiques génèrent un type de pollution encore méconnu du grand public. Toutefois, les nuisances et perturbations de ces éclairages sur la faune, la flore et les écosystèmes en général sont telles qu'il est tout à fait justifié de parler de pollution lumineuse. Si la lumière du jour procurée par le soleil est indispensable à la vie sur terre, **les sources de lumières artificielles nocturnes modifient profondément le comportement de certaines espèces et participent à la fragmentation des habitats naturels.**

Après avoir fait un rapide état des lieux de la pollution lumineuse régionale, nous présenterons les différents effets que peut avoir ce type de pollution sur la faune, la flore et les écosystèmes en général.

3.2.1. Ampleur de la pollution lumineuse dans le Nord – Pas-de-Calais

A l'échelle globale, la pollution lumineuse est la plus intense dans les régions les plus riches et les plus peuplées. Ainsi, en France ou plus précisément dans le Nord – Pas-de-Calais, compte tenu de la forte urbanisation et artificialisation du territoire, le phénomène de pollution lumineuse est particulièrement marqué.

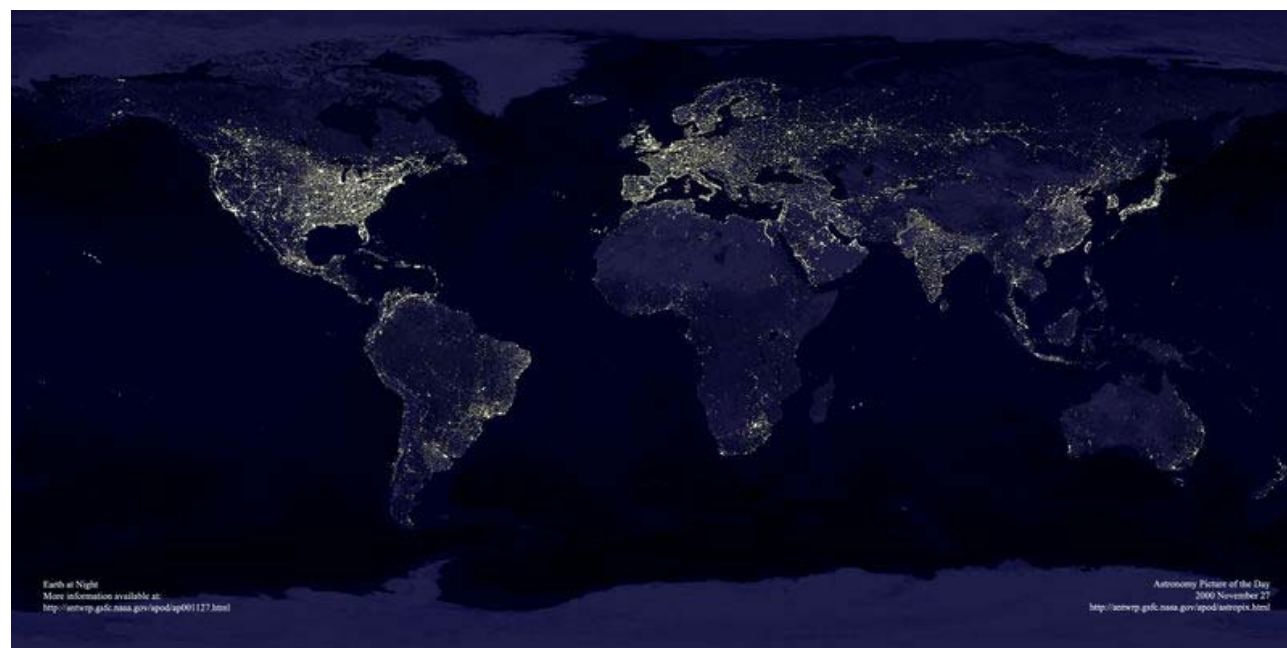


Figure 8 : Etat de la pollution lumineuse à l'échelle mondiale (montage de photos satellitaires nocturnes de la Terre)

Source : NASA, 2000



Figure 9 : Carte nocturne de la France

Dans la région, la pollution lumineuse provient essentiellement de la lumière perdue ou réfléchiée des nombreuses sources fixes et permanentes telles que les **luminaires des zones urbaines, des installations industrielles et commerciales, des principales infrastructures routières...** Toutefois d'autres sources lumineuses fixes ou mobiles participent également à cette pollution lumineuse. Il s'agit par exemple des phares des véhicules, des torchères des industries pétrochimiques...

Par extension, le terme de pollution lumineuse est utilisé pour désigner le halo lumineux produit dans le ciel au dessus des zones urbaines ou plus largement des espaces anthropisés faisant l'objet d'éclairage artificiel. Ce halo est issu des rayons lumineux réfléchis par les particules et certaines molécules gazeuses (nuages, polluants gazeux ou particuliers) en suspension dans l'atmosphère. Il peut être visible à plusieurs dizaines de kilomètres et accroît la luminance générale du ciel nocturne tout en masquant la vision de la voûte céleste.



Figure 10 : Halo lumineux au dessus d'une zone urbaine

Dans le cadre du projet Licoriness, le groupe d'étude dirigé par Michel Bonavitacola propose une modélisation des halos lumineux générés par les espaces urbanisés ainsi que des

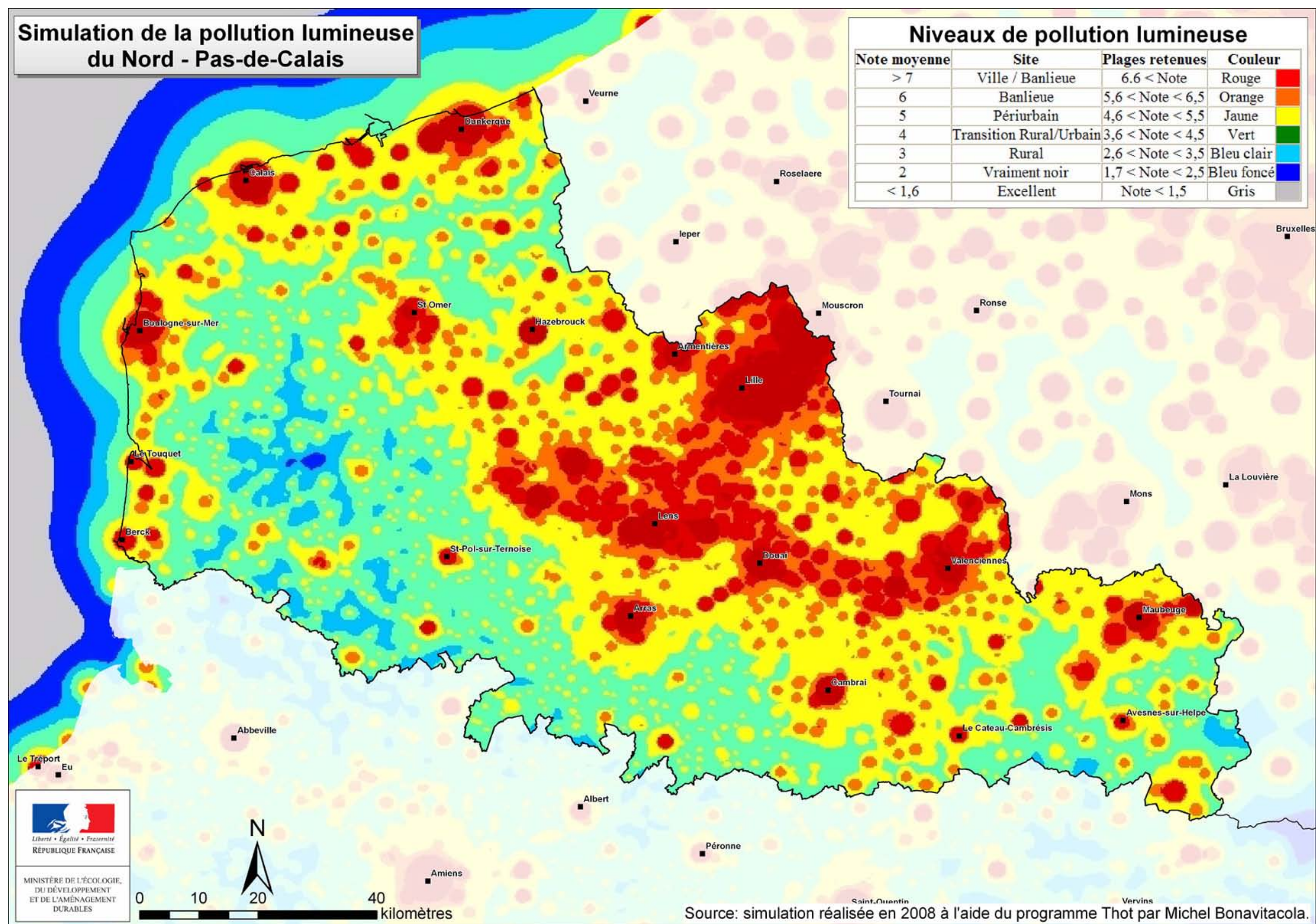
nuisances engendrées. Cette modélisation a permis de créer une carte d'indice de pollution lumineuse du Nord – Pas-de-Calais. Cette carte est présentée à la page suivante.

La méthodologie utilisée et développée pour obtenir ce type de carte est présentée en annexe du présent rapport. Précisons que la carte de pollution lumineuse présentée a été réalisée avec un pas de calcul de l'ordre de 150 mètres.

Carte 5	Carte de simulation de la pollution lumineuse régionale
---------	---

Cette carte met en évidence l'**importance du phénomène de pollution lumineuse à l'échelle régionale**. Aucun point de la région n'est totalement épargné par la pollution lumineuse. D'importantes parties du territoire régional sont atteintes par un niveau de pollution lumineuse élevé. Ainsi, un immense arc de pollution lumineuse intense et continue s'étend depuis l'Audomarois jusqu'au Nord de l'Avesnois et englobe le Bassin minier et la Métropole lilloise. Le littoral régional est également sérieusement touché par ce type de pollution.

En outre, **à l'échelle régionale, seuls quelques secteurs restreints sont faiblement impactés par ce type de pollution**. Les zones les mieux préservées sont cantonnées pour la plupart dans la partie centrale de l'Artois et à l'extrême sud-est de l'Avesnois.



Carte 5 : Simulation de la pollution lumineuse du Nord – Pas-de-Calais

3.2.2. Conséquence de la pollution lumineuse sur la faune, la flore et les écosystèmes

Qu'il soit question de sources lumineuses ponctuelles (lampadaires isolés, éclairage des véhicules, phares côtiers...), de sources lumineuses diffuses ou en tâches (zones urbaines ou industrielles...) ou de sources lumineuses linéaires (éclairage des routes...), la pollution lumineuse est néfaste pour la faune, la flore et les écosystèmes.

Les sources de lumière artificielles nocturnes modifient le comportement de nombreuses espèces animales et végétales, elles affectent les équilibres des écosystèmes et perturbent la chaîne alimentaire de nombreux insectes, oiseaux, mammifères, plantes...

3.2.2.1. Effets de la pollution lumineuse sur la faune

La pollution lumineuse agit à différents niveaux sur la faune :

- elle **perturbe les organismes** des animaux en agissant sur leurs processus neuro-endocriniens. Ce type de perturbation se manifeste à travers des troubles du rythme biologique (dérèglement des horloges internes et de certains mécanismes hormonaux). Ces troubles affectent les processus importants que sont l'alimentation, la croissance (notamment la mue des insectes), la reproduction et la migration. Ce type de dérèglement affecte également l'homme.
- elle **modifie le comportement** de nombreuses espèces animales. Elle est à l'origine de problème d'orientation spatiale et de distribution (spatiale et temporelle) d'activités, principalement dans le rythme nyctéméral (jour/nuit). La lumière « fascine » ou attire certaines espèces animales, transformant certaines sources lumineuses en véritables pièges. Ainsi, des espèces animales restent prisonnières du faisceau lumineux, meurent d'épuisement, se brûlent aux lampes et/ou constituent des proies faciles. Inversement, les lumières artificielles repoussent d'autres espèces, dites « lumifuges » qui fuient la lumière, de jour comme de nuit. Ces espèces sont mise en danger par la disparition progressive de leur habitat.
- elle **affecte les équilibres écologiques** en morcelant les habitats et en induisant des effets en cascade sur les chaînes alimentaires et les écosystèmes en général.

Toutefois, les effets de la pollution lumineuse sont très variables d'un groupe faunistique à l'autre, voire d'une espèce à l'autre.

❖ Effets de la pollution lumineuse sur les Insectes

Les insectes comptent vraisemblablement parmi les espèces les plus affectées par la pollution lumineuse. En effet, ce groupe faunistique semble particulièrement impacté par le développement de l'éclairage des villes et des campagnes. Les insectes constituent l'essentiel de la biomasse animale. Ils remplissent des fonctions irremplaçables dans les écosystèmes terrestres. Ils constituent notamment une ressource en protéines indispensable pour de nombreux vertébrés. En outre, comme le met en évidence la Figure 11 les insectes ont principalement une activité nocturne. On dénombre par exemple environ 4 500 espèces de papillons nocturnes contre 260 espèces diurnes.

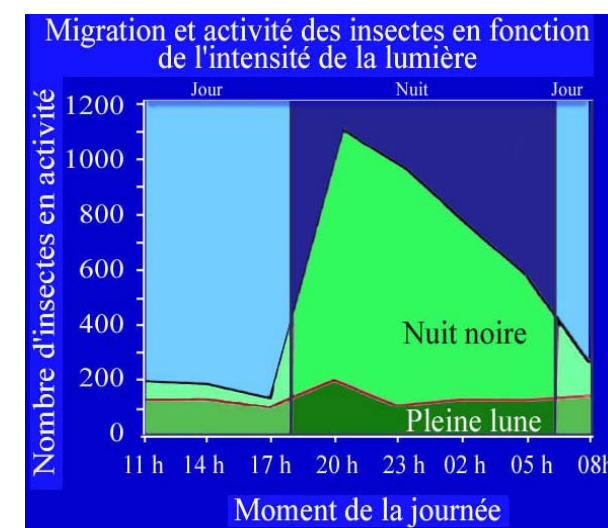


Figure 11 : Migration et activité des insectes en fonction de l'intensité de la lumière

Source : Norman Anderson, Entomology Department Oregon State University

D'une façon générale, les observations de terrain et en laboratoire montrent que :

- de nombreux insectes nocturnes ou diurnes sont attirés par la lumière artificielle. Les fortes concentrations d'insectes autour des lampadaires constituent alors des proies faciles pour divers prédateurs tels que les chauves-souris;
- Les insectes nocturnes réagissent différemment à une source lumineuse, et ce souvent au sein d'une même espèce. En effet, chez de nombreux papillons nocturnes, le mâle est attiré par la lumière alors que la femelle la fuit. Ceci a donc des conséquences sur leur reproduction ;
- La forme de la source lumineuse aura également une action différente : si la source est ponctuelle, les impacts locaux seront plus ou moins importants selon le lieu et la qualité de la source ; si elle est linéaire, il y a un effet barrière et/ou attractif morcelant le territoire et les habitats, voire la répartition de l'espèce. Par exemple, chez les papillons nocturnes, les mâles sont attirés sur plusieurs kilomètres par une odeur attractive émise par les femelles. Des routes très illuminées rencontrées sur leur chemin forment alors des barrières infranchissables entravant la reproduction.

- L'insecte peut réagir à un rayonnement imperceptible par l'œil humain (U.V. notamment). Il est unanimement admis que la forte quantité d'U.V. produite par les lampes à vapeur de mercure a contribué à réduire ou supprimer certains cortèges d'insectes.

❖ Effets de la pollution lumineuse sur les Reptiles et Amphibiens

La pollution lumineuse a également un impact sur les amphibiens et les reptiles. Les diverses études réalisées montrent que :

- Les amphibiens, pratiquement tous nocturnes, réagissent de manière très variée à la lumière artificielle. Certaines espèces comme le Crapaud sont attirées par les sources lumineuses. Ceci peut avoir des conséquences néfastes sur la survie des populations d'amphibiens.
- Une lumière temporaire artificielle peut éblouir ou aveugler un individu pendant une courte durée, l'empêchant de voir ses proies ou de fuir un prédateur. C'est le cas notamment des grenouilles.
- La présence d'une source lumineuse artificielle à proximité d'un étang éclairé entraîne un retard dans l'activation et le chant des grenouilles. Par exemple, la rainette cesse de chanter ou chante moins sous un éclairage artificiel. Ce phénomène pourrait avoir des conséquences sur l'ingestion de nourriture et le comportement des individus en période de reproduction ;
- Pour les reptiles, hormis les tortues marines, les effets néfastes de la lumière artificielle sont mal connus. La pollution lumineuse a un impact sur l'orientation des tortues.

❖ Effets de la pollution lumineuse sur les Oiseaux

Les oiseaux ne sont pas épargnés par les effets néfastes de la pollution lumineuse et tout particulièrement les oiseaux migrateurs se déplaçant principalement de nuit. En effet, les différentes observations de terrain et les études réalisées montrent que l'éclairage des villes et des campagnes a un impact sur l'avifaune :

- Les oiseaux subissent un dérèglement de leur horloge interne. La pollution lumineuse entraîne, chez certaines espèces d'oiseaux devenus urbains comme l'Étourneau, le Pigeon, le Rouge-queue noir..., un prolongement de l'activité de nourrissage et un allongement de la photopériode qui stimule l'activité des gonades et règle les rythmes biologiques. Par conséquence, on assiste à une augmentation du nombre des couvées annuelles. L'éclairage affecte les équilibres écologiques.
- La réaction des oiseaux face à une source lumineuse diffère d'une espèce à l'autre. Certaines espèces comme l'Oedicnème criard désertent les zones artificiellement éclairées la nuit. En revanche, l'Étourneau sansonnet

semble lui s'être facilement habitué à la présence de l'éclairage urbain. Il utilise même les lampadaires pour se réchauffer en hiver et de ce fait ne migre pas.

- Les sources lumineuses ponctuelles et les halos lumineux au-dessus des grandes villes génèrent chez les oiseaux une sorte d'attraction et/ou d'effet hypnotique (éblouissement). Les conséquences sont nombreuses : modification de la trajectoire lors de la migration des oiseaux (rallongement du voyage, perte des réserves énergétiques...), augmentation des risques de collision (immeubles illuminés, lampadaires, ponts éclairés...).
- La forme de la source lumineuse aura également une action différente : si la source est ponctuelle, les impacts locaux seront plus ou moins importants selon le lieu et la qualité de la source (phares de bord de mer ou en pleine mer) ; si elle est linéaire, il y a un effet barrière sur certaines espèces pourtant capables de se déplacer rapidement au sol ou dans les arbres, ou sachant parfaitement voler. On a donc une fragmentation de l'habitat.



Le Pétrel de Barrau niche sur le Piton des neiges (Réunion, 3061 m d'altitude).

Ses poussins meurent s'ils n'atteignent pas la mer.

Or les jeunes sont attirés par la lumière des villages puis du littoral où ils rentrent jusque dans les maisons.

Cette attraction lumineuse leur est généralement fatale (mort directe, prédation,...)

Figure 12 : Pétrel de Barrau, espèce d'oiseau menacée par la pollution lumineuse

❖ Effets de la pollution lumineuse sur les Mammifères

La grande majorité des Mammifères ont une activité nocturne. Certains sont nocturnes stricts et d'autres peuvent être actifs aussi bien le jour que la nuit (ongulés, grand carnivores...).

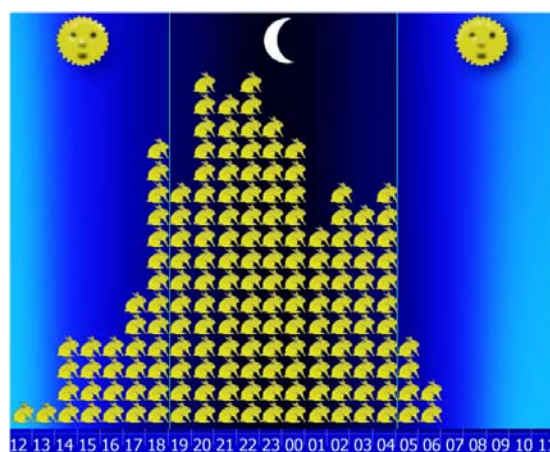


Figure 13 : Evolution de l'alimentation du Lapin sur une période de 24 heures

Actuellement, peu d'études portent sur l'influence de la pollution lumineuse sur les mammifères, hormis pour les chauves-souris. On note toutefois que les quelques études réalisées et les observations de terrain montrent que :

- Il semblerait que sous l'influence de l'éclairage artificiel, certains mammifères crépusculaires et nocturnes (Hérisson, Musaraignes, Lièvre) ont un taux d'activité plus bas et sont soumis à un risque de prédation plus important.
- Nombres de mammifères menant une activité nocturne choisissent toujours de circuler dans le noir ou dans les zones d'ombres. Les espaces éclairés restreignent le rayon d'action de certaines espèces, d'où une diminution des disponibilités de nourriture. Les routes éclairées peuvent aussi entraîner une fragmentation de leur habitat.
- La mélatonine, hormone produite par l'organisme de nombreux mammifères, est sécrétée uniquement dans l'obscurité et pendant le sommeil. Elle contrôle les rythmes circadiens et circannuels de très nombreuses espèces de mammifères. L'éclairage artificiel provoque une altération de la sécrétion de la mélatonine entraînant des perturbations sur des fonctions vitales comme l'alimentation, la reproduction, l'hibernation, la pousse du pelage, la mue,...
- Les mammifères nocturnes développent au niveau de la rétine des cellules spéciales leur permettant une meilleure vision nocturne. Ces cellules très sensibles à la lumière artificielle se saturent rapidement et l'animal est vite aveuglé. Un temps d'adaptation plus ou moins long lui est donc nécessaire. Ce temps d'adaptation augmente significativement le risque de collisions routières nocturnes. De plus, une route éclairée entraîne un éblouissement des mammifères qui le rend vulnérable à la circulation.

- Enfin, la lumière artificielle influe sur la répartition spatiale des chauves-souris. Par exemple, certaines espèces comme la Pipistrelle commune ou encore la Sérotine commune exploitent préférentiellement les abords des zones éclairées ; les insectes attirés par les réverbères sont en effet des proies faciles.

Notons que d'autres groupes faunistiques tels que les Mollusques et les Poissons sont également sensibles à la pollution lumineuse. Des phénomènes d'attraction ou de répulsion par des sources lumineuses artificielles perturbent le comportement de certaines espèces appartenant à ces groupes.

3.2.2.2. Effets de la pollution lumineuse sur la flore

L'impact de la pollution lumineuse sur la flore est encore peu connu car peu étudié. A priori, **l'impact direct de la pollution lumineuse paraît peu significatif** et ne semble se faire sentir qu'à proximité immédiate des sources d'éclairage artificiel.

Chez les végétaux, la lumière joue à la fois un rôle informatif (contrôle des rythmes biologiques, induction de phototropisme) et fonctionnel (photosynthèse). Une exposition très brève à la lumière peut perturber le rythme nyctéméral des plantes. La lumière artificielle a un effet sur le débourrage, la perte des feuilles ainsi que sur la floraison (dates, rythmes). Il est donc incontestable que l'éclairage artificiel induit des dérèglements biologiques chez les plantes.

En revanche, **en terme d'effet indirect, les conséquences de la pollution lumineuse sur les végétaux peuvent être considérables**. Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe précédent, la lumière artificielle peut être fatale à de nombreux animaux et en particulier les Insectes. Ainsi, la pollution lumineuse est susceptible de nuire considérablement aux populations d'insectes pollinisateurs. Or, la disparition d'un pollinisateur nocturne peut induire la disparition d'espèces végétales et entraîner une chaîne de conséquences sur l'ensemble de l'écosystème.

3.2.2.3. Effets de la pollution lumineuse sur les écosystèmes

Les paragraphes précédents ont montré que la pollution lumineuse peut affecter considérablement le comportement des espèces végétales et surtout animales. Ces modifications de comportement se traduisent principalement par un dérèglement des rythmes biologiques et un effet d'attraction ou de fuite par rapport à la lumière artificielle. Ces modifications de comportement peuvent être fatales à de nombreuses espèces car celles-ci deviennent plus vulnérables vis à vis des prédateurs, des aléas météorologiques, de l'action humaine (circulation automobile, pollution...)

Ainsi, la pollution lumineuse contribue à affaiblir voire à faire disparaître au sein d'écosystèmes certaines espèces animales ou végétales. Ces disparitions sont susceptibles de bouleverser l'ensemble de l'écosystème en y interrompant notamment les chaînes alimentaires et d'autres associations entre espèces animales et/ou végétales (symbiose, commensalisme, opportunisme, parasitisme...)

Par ailleurs, les sources de lumière artificielle ont un effet répulsif pour de nombreuses espèces animales. De ce fait, la pollution lumineuse contribue à la fragmentation des habitats et des populations animales (voire végétales) au même titre que les autres éléments anthropiques. Les conséquences de cette fragmentation sont les mêmes que celles évoquées dans la partie 3.1., à savoir, isolement génétique des populations, réduction des aires vitales,...

3.3. SELECTION ET HIERARCHISATION DES ELEMENTS
FRAGMENTANTS PRIS EN COMPTE DANS L'ANALYSE DES
POTENTIALITES ECOLOGIQUES REGIONALES

La sélection des voies de communication et autres éléments fragmentants de l'aire d'étude constitue **une étape cruciale dans la méthode utilisée d'évaluation des potentialités écologiques**. Effectivement, les éléments fragmentants constituent des paramètres déterminants lors du calcul de plusieurs des indices intermédiaires définis dans le cadre de l'analyse des potentialités écologiques régionales. Les indices de connectivité, de surface et compacité des milieux sont particulièrement tributaires de la fragmentation des milieux.

Afin d'évaluer finement les potentialités écologiques des milieux de l'aire d'étude, différents niveaux de fragmentation ont été distingués. Ainsi, selon l'importance de l'effet de barrière vis-à-vis du déplacement des espèces animales et végétales, nous avons considéré **quatre niveaux de fragmentation**.

La répartition des voies de communication entre les différents niveaux de fragmentation a été opérée en fonction de paramètres influençant leur perméabilité vis-à-vis de la traversée de la faune et de la flore.

Ainsi, selon les données disponibles, l'intensité du trafic, l'existence de grillages le long des voies, la largeur des voies, etc., ont été prises en considération. Compte tenu de l'échelle de précision de 0,5 Ha de la couche d'occupation du sol de SIGALE®, rappelons que celle-ci ne contient que les voies de communication fragmentantes les plus importantes (autoroutes, canaux...). Par conséquent, d'autres sources d'information ont été utilisées pour la représentation et l'exploitation des voies de communication fragmentantes dans le cadre de l'étude. Ces sources d'informations sont la BD Carto de l'IGN et la base de données cartographique vectorielle Télé Atlas Multinet.

Toutefois, au sein des espaces naturels, les voies de communication ne représentent pas les seules barrières au déplacement des organismes. **Les différents espaces urbanisés s'imposent bien souvent comme des barrières supplémentaires** au déplacement des espèces animales et végétales. Par conséquent, selon leur nature, les différents milieux urbains de la couche d'occupation du sol ont été associés aux différents niveaux de fragmentation.

Le Tableau 3 ci-après détaille les éléments fragmentants pris en compte pour chacun des quatre niveaux de fragmentation.

Tableau 3 : Description des quatre niveaux de fragmentation

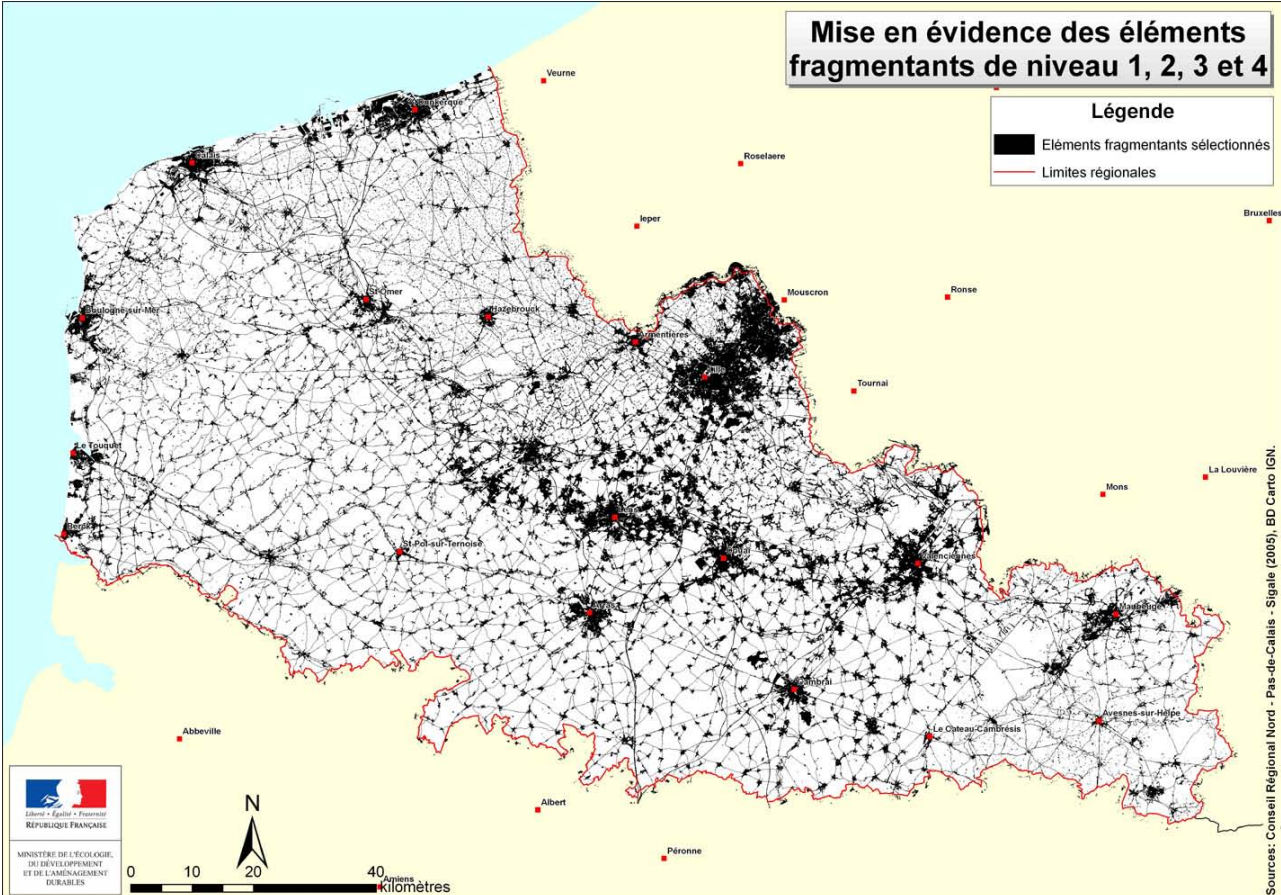
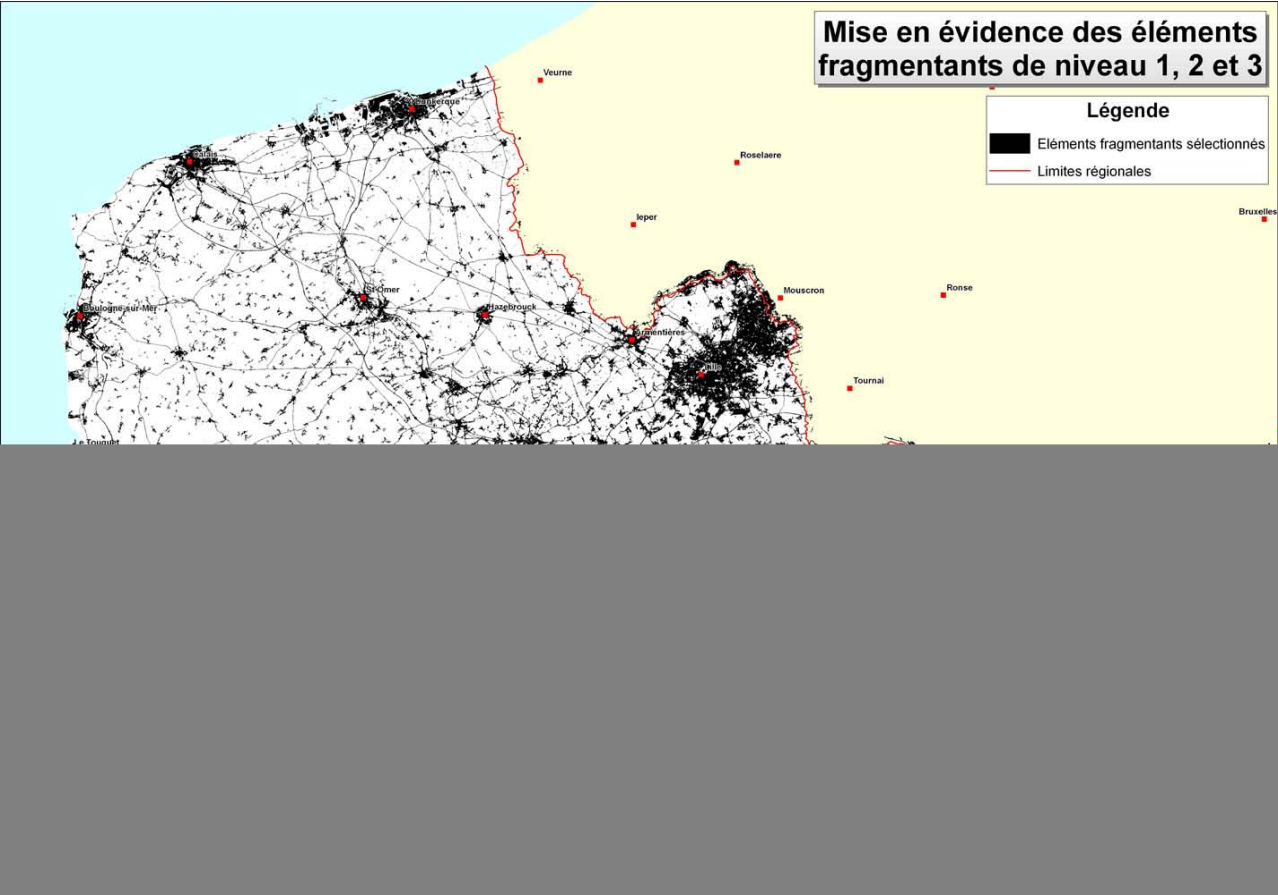
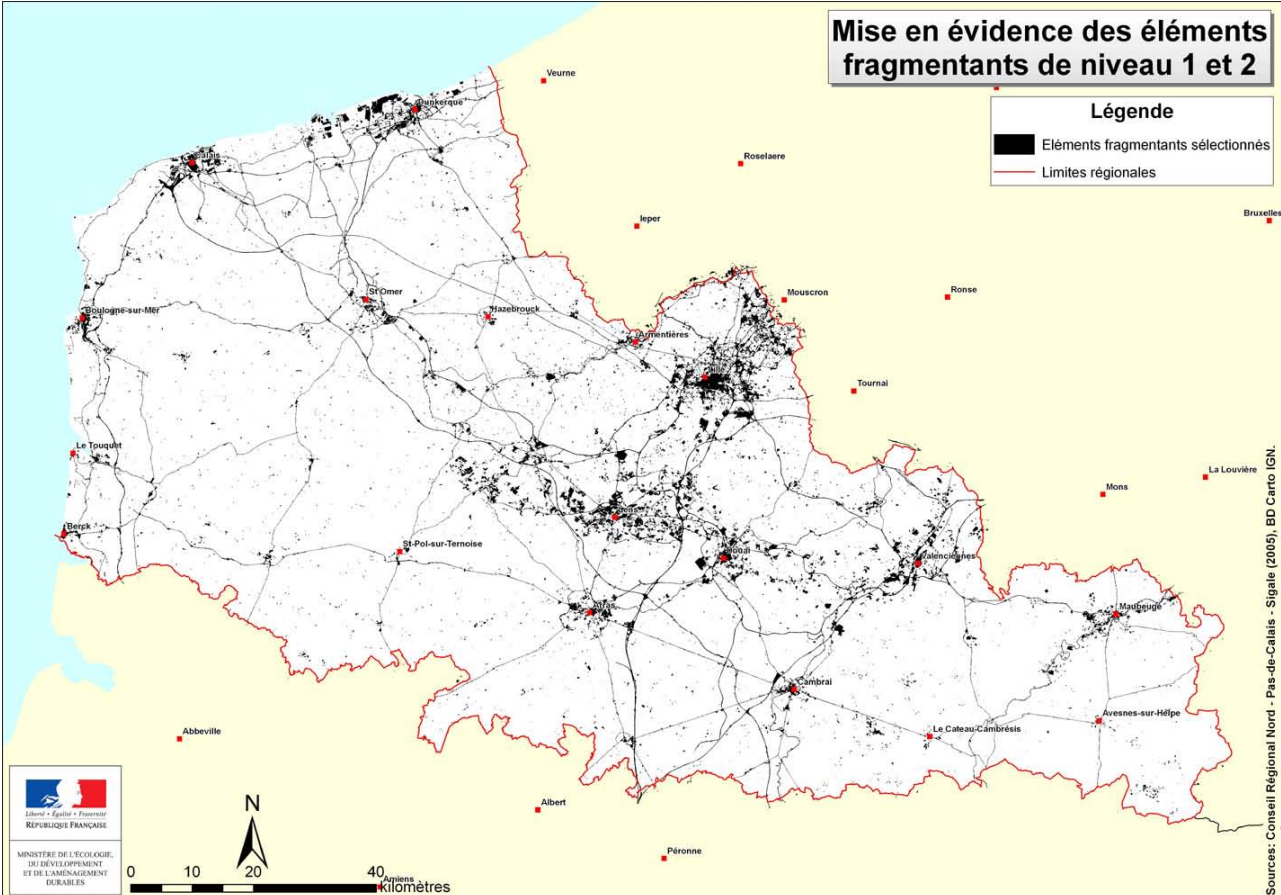
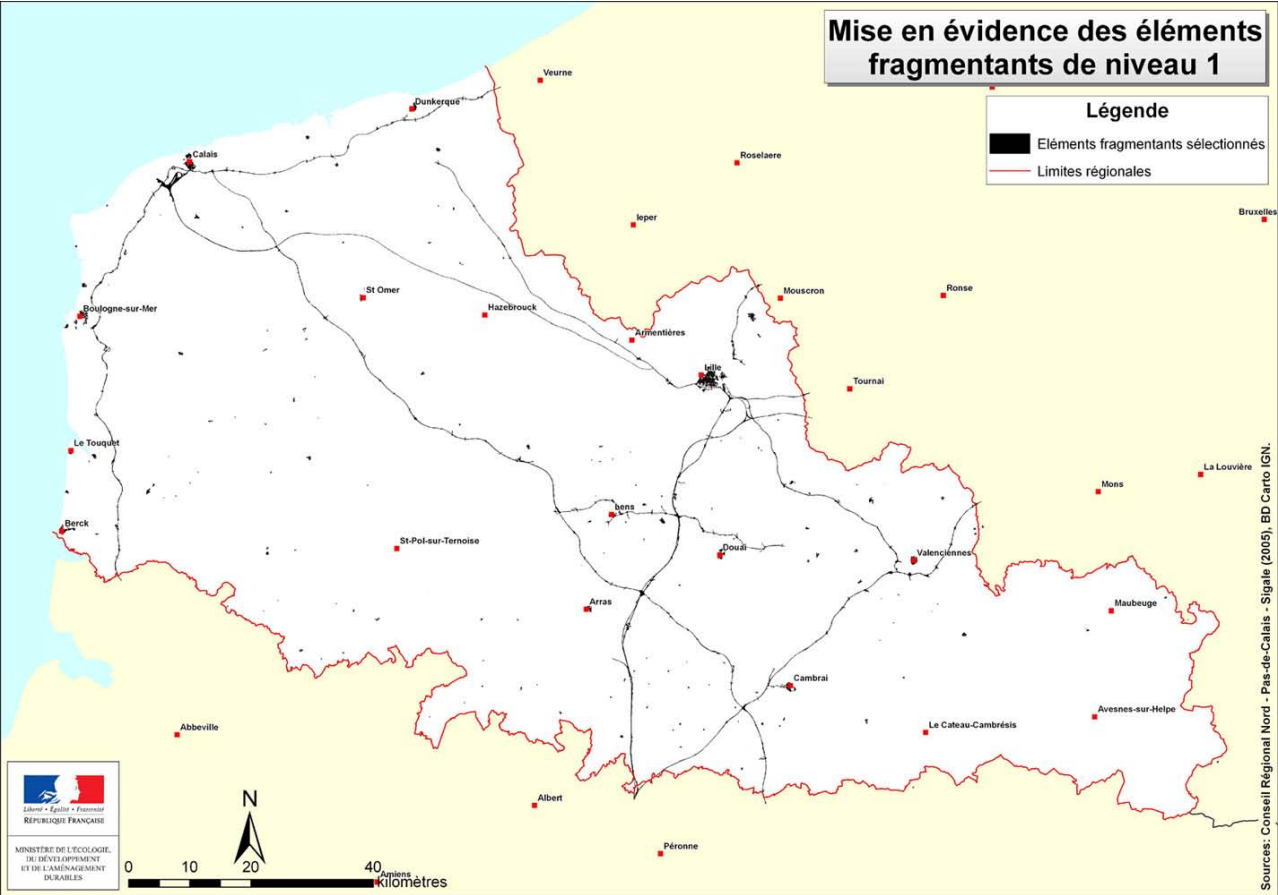
Niveau de fragmentation	Routes	Voies ferrées	Canaux et principaux cours d'eau	Occupations du sol de SIGALE®
I	Autoroutes Source : Occupation du sol SIGALE®	LGV Source : Occupation du sol SIGALE®	-	Urbain continu dense
II	Routes nationales 2 à 4 voies Routes départementales principales Sources : Occupation du sol SIGALE® Multinet niveau 1 et 2 (ZT*= 7m)	Voies ferrées (plus de 200 trains/jour) Sources : Occupation du sol SIGALE® Voies ferrées SNCF (ZT*= 5m)	Canaux Source : Occupation du sol SIGALE®	Emprises commerciales Emprises hospitalières Emprises industrielles Emprises scolaire et / ou universitaires Autres emprises publiques Habitat collectif haut Habitat minier Chantiers Zones de stockage Décharges Plage
III	Routes départementales secondaires Source : Multinet niveau 3 (ZT*= 5m))	Voies ferrées (100 à 200 trains/jour) Source : Voies ferrées SNCF (ZT*= 5m)	Aval des principales rivières naturelles (Authie, Canche...) Source : Occupation du sol SIGALE®	Habitat résidentiel Cimetières Infrastructures portuaires
IV	Routes départementales tertiaires Source : Multinet niveau 3 (ZT*= 3m))	Voies ferrées (moins de 100 trains/jour) Source : Voies ferrées SNCF (ZT*= 5m)	Tronçons de Cours d'eau naturels d'au moins 15 mètres de large non représentés dans la couche SIGALE® Source : BD Carto IGN (ZT*= 7m)	Habitat rural Camping, caravaning Aéroports, aérodromes Equipements sportifs et de loisirs

(*ZT : largeur de la zone tampon tracée par rapport à l'axe de la voie de communication ou du cours d'eau, dans le cas où la source des données est un vecteur linéaire)

D'un point de vue technique, de façon à matérialiser les voies de communication non représentées dans la couche d'occupation du sol de SIGALE®, des zones tampon ont été tracées autour des axes des voies de communication extraites de la BD Carto et de la couche Multinet. Ces zones tampon ont été intégrées dans la couche générale d'occupation du sol de l'aire d'étude.

Les cartes ci-après présentent les différents niveaux de fragmentation cumulées à l'échelle de la région Nord – Pas-de-Calais.

Carte 6	Niveaux de fragmentation cumulés de la région Nord – Pas-de-Calais
---------	--



Carte 6 : Cartes régionales des différents niveaux de fragmentation cumulés

Remarquons que **localement, au niveau des plus grands viaducs ou des plus vastes ouvrages de rétablissement des connexions biologiques régionaux, les éléments fragmentants présentent une discontinuité favorable au passage de la faune et de la flore.** Pour les plus vastes ouvrages, cette discontinuité a été reprise dans notre modèle. Ainsi, par exemple, la tranchée couverte d'Hardelot et le Viaduc d'Echingen sur l'autoroute A16 ont été pris en compte. Toutefois, faute d'informations exhaustives sur ce type de passage à l'échelle régionale, tous les ouvrages de rétablissement des connexions biologiques n'ont pu être pris en considération.

En revanche, **tous les ponts enjambant les canaux et cours d'eau représentés dans la couche d'occupation du sol ont systématiquement été considérés comme perméables** aux espèces inféodées préférentiellement aux milieux humides. Ainsi, **les canaux et cours d'eau principaux de l'aire d'étude ne sont fragmentés qu'au niveau des sites éclusiers.**

4. ANALYSE DES POTENTIALITES ECOLOGIQUES REGIONALES

La méthode générale retenue pour l'analyse des potentialités écologiques régionales a été présentée au chapitre 1. Rappelons qu'elle est fondée sur des critères d'écologie du paysage, en l'occurrence :

- la naturalité ;
- la compacité ;
- la surface ;
- la connectivité ;
- l'hétérogénéité.

Les différents calculs permettant d'aboutir à la carte des potentialités écologiques sont tirés d'une méthode statistique réalisée à partir d'un Système d'Information Géographique (SIG).

Rappelons par ailleurs que les couches servant de base à l'analyse, et aux calculs qu'elle nécessite, sont une couche d'occupation du sol et une couche regroupant les éléments fragmentants de l'aire d'étude.

De façon à mettre en évidence la continuité des potentialités écologiques dans les régions limitrophes du Nord – Pas-de-Calais, une carte simplifiée des potentialités écologiques a été réalisée dans un rayon de 20 kilomètres au delà du territoire régional. Cette carte des potentialités écologiques simplifiée s'appuie sur la couche d'occupation du sol Corine Land Cover découpée par un unique niveau de fragmentation intégrant les voies de communication principales de la zone traitée. Elle repose en outre sur les mêmes méthodes de calcul et a été établie pour chaque indice intermédiaire.

4.1. ANALYSE DE LA NATURALITE

Rappelons que la naturalité d'un milieu, par définition son caractère « naturel », représente le niveau de pression exercé par l'Homme sur celui-ci. Par ailleurs, on considère que plus la naturalité d'un type de milieu est forte, plus ses potentialités biologiques sont importantes, notamment vis-à-vis des espèces caractéristiques du milieu concerné et, qu'à l'opposé, il sera sensible aux aménagements et difficile à recréer.

4.1.1. Méthode de calcul de la naturalité

Un indice de naturalité - variant de 0 à 5 (quasiment nulle à très forte) - a été donné pour chaque occupation du sol de la couche de SIGALE®.

Les indices de chacun d'entre eux sont ensuite attribués respectivement à l'ensemble des polygones d'occupation du sol du même type. Par exemple, toutes les prairies permanentes de la zone d'étude auront la même note, bien qu'elles puissent présenter un intérêt patrimonial différent sur le terrain.

Les indices estimés de chaque type d'occupation du sol sont le fruit d'un échange au sein de BIOTOPE. Ces indices sont présentés, dans l'ordre décroissant, dans le Tableau 4 ci-après :

Tableau 4 : Évaluation des indices de naturalité des milieux

Milieux de la couche de SIGALE®	Indice de naturalité
Naturalité très forte	
Estuaires	5
Cours d'eau et voies d'eau	5
Marais maritimes	5
Marais intérieurs	5
Plans d'eau	5
Sable / Plages	5
Dunes blanches	5
Dunes grises	5
Broussailles sur dunes	5
Feuillus sur dunes	5
Forêts de feuillus	5
Coupes forestières récentes	5
Coupes anciennes	5
Affleurements rocheux, falaises	5

Milieux de la couche de SIGALE®	Indice de naturalité
Naturalité forte	
Landes arbustives	4
Pelouses	4
Prairies naturelles, permanentes	4
Vergers et petits fruits	4
Naturalité moyenne	
Carrières	3
Terrils	3
Espaces en friche	3
Peupleraies	3
Peupleraies récentes	3
Forêts de conifères	3
Conifères sur dunes	3
Reboisements récents	3
Naturalité faible	
Espaces verts urbains	2
Systèmes cultureux et parcellaires complexes	2
Friches industrielles	2
Golfs	2
Naturalité très faible	
Stades, équipements sportifs	1
Habitat rural	1
Cimetières	1
Campings, caravanings	1
Cultures annuelles	1
Maraîchage, serres	1
Jardins ouvriers	1
Aéroports, aérodromes	1
Infrastructures portuaires	1
Naturalité nulle	
Urbain dense continu	0
Habitat collectif haut	0
Habitat résidentiel	0
Habitat minier	0
Emprises commerciales	0
Emprises hospitalières	0
Emprises industrielles	0
Emprises scolaires et/ou universitaires	0
Autres entreprises publiques	0
Décharges	0
Chantiers	0
Zones de stockage	0



Milieux de la couche de SIGALE®	Indice de naturalité
Axes ferroviaires principaux et espaces associés	0
Axes routiers principaux et espaces associés	0

4.1.2. Représentation cartographique de la naturalité

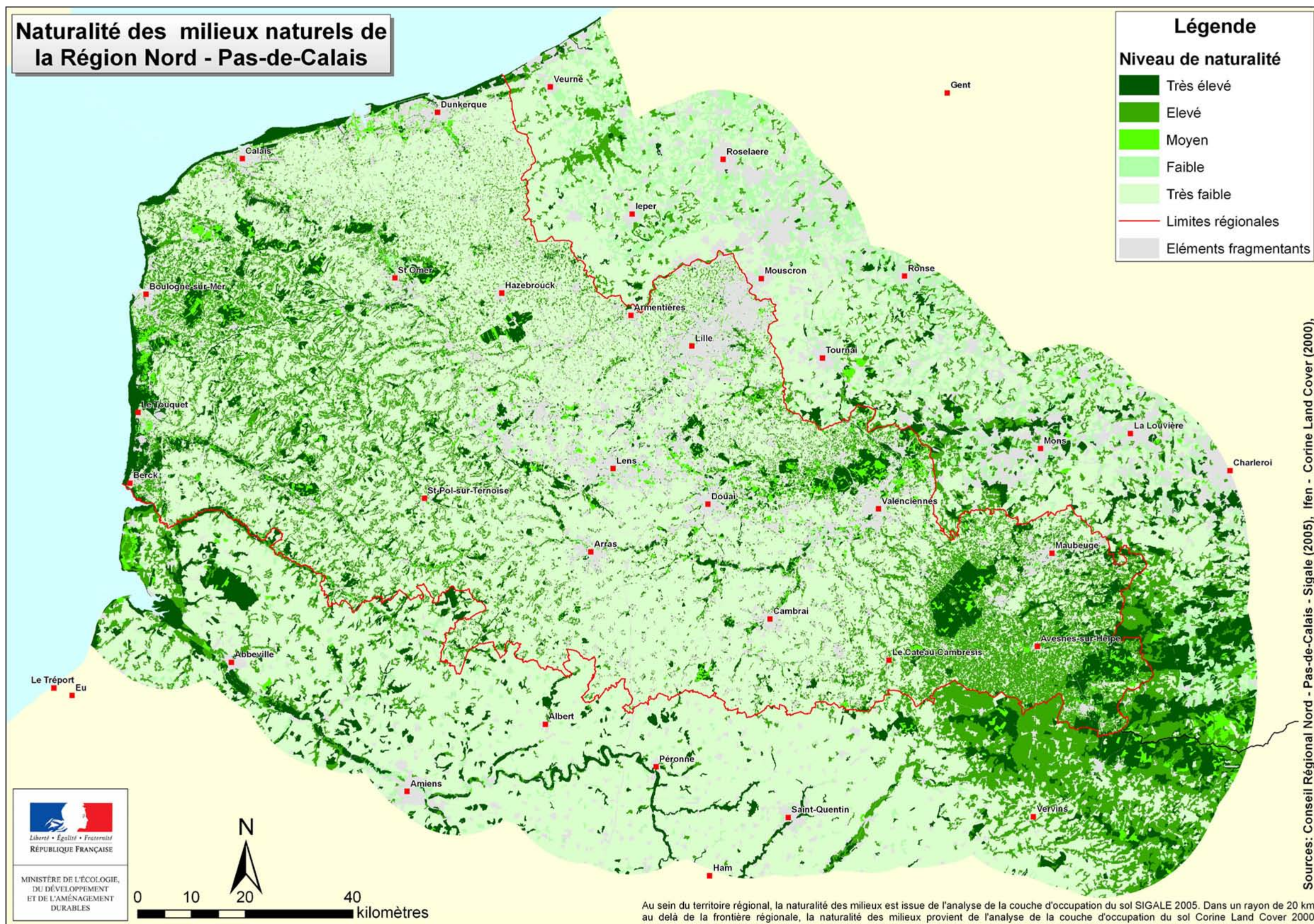
Les notes de naturalité définies ont été attribuées à chaque type d’occupation du sol identifié au sein de la couche de SIGALE®. Il en résulte une cartographie de ce critère à l’échelle de l’aire d’étude.

Carte 7	Naturalité des milieux du Nord – Pas-de-Calais
---------	--

4.1.3. Interprétation de la carte de naturalité

Très logiquement, la carte de naturalité du Nord – Pas-de-Calais découle directement de la distribution des espaces naturels régionaux. Elle met ceux-ci en évidence indépendamment de leur taille, de leur forme et de leur position. Compte tenu de la très forte naturalité des milieux forestiers, des zones humides (marais, plans d’eau) et des milieux littoraux (espaces dunaires, estran), ceux-ci sont nettement mis en relief. Les espaces prairiaux et autres milieux naturels ouverts de la région sont également bien mis en évidence du fait de leur naturalité élevée.

Ainsi, à l’échelle régionale, compte tenu de leurs proportions importantes de boisements et de prairies, les territoires de l’Avesnois, du Boulonnais, de la plaine de la Scarpe et des vallées de la Canche et de l’Authie se distinguent du fait de leur niveau de naturalité globalement élevé. De façon plus localisée, la carte de naturalité met également en évidence les vallées de la Scarpe et de la Sensée, la Forêt de Nieppe, la Forêt d’Eperlecques, les Marais de Guînes et Ardres, les boisements au sud-ouest du Bassin Minier.



Carte 7 : Naturalité des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais

4.2. ANALYSE DE LA COMPACITE ET DE LA SURFACE

4.2.1. Calcul de la compacité

Rappelons que **la compacité d'un habitat est liée à sa forme et influe sur la présence et l'importance d'un cœur d'habitat favorisant le bon fonctionnement écologique et donc la biodiversité**. Celui-ci apparaît nécessaire à la présence et à la survie des espèces caractéristiques du milieu correspondant, en général les espèces les plus spécialisées donc d'intérêt patrimonial.

La présence d'un cœur d'habitat fonctionnel dépend par conséquent de sa surface mais également de sa forme et de l'épaisseur de la lisière (voir Figure 14 ci-dessous). En effet, les lisières jouent le rôle de tampon mais ne sont pas caractéristiques du milieu sur le plan biologique.

Par conséquent, plus la forme d'un habitat se rapproche du cercle, plus son cœur d'habitat sera développé et fonctionnel et plus la compacité et donc les potentialités biologiques seront fortes. Inversement, un habitat linéaire aura une compacité très faible, voire nulle.

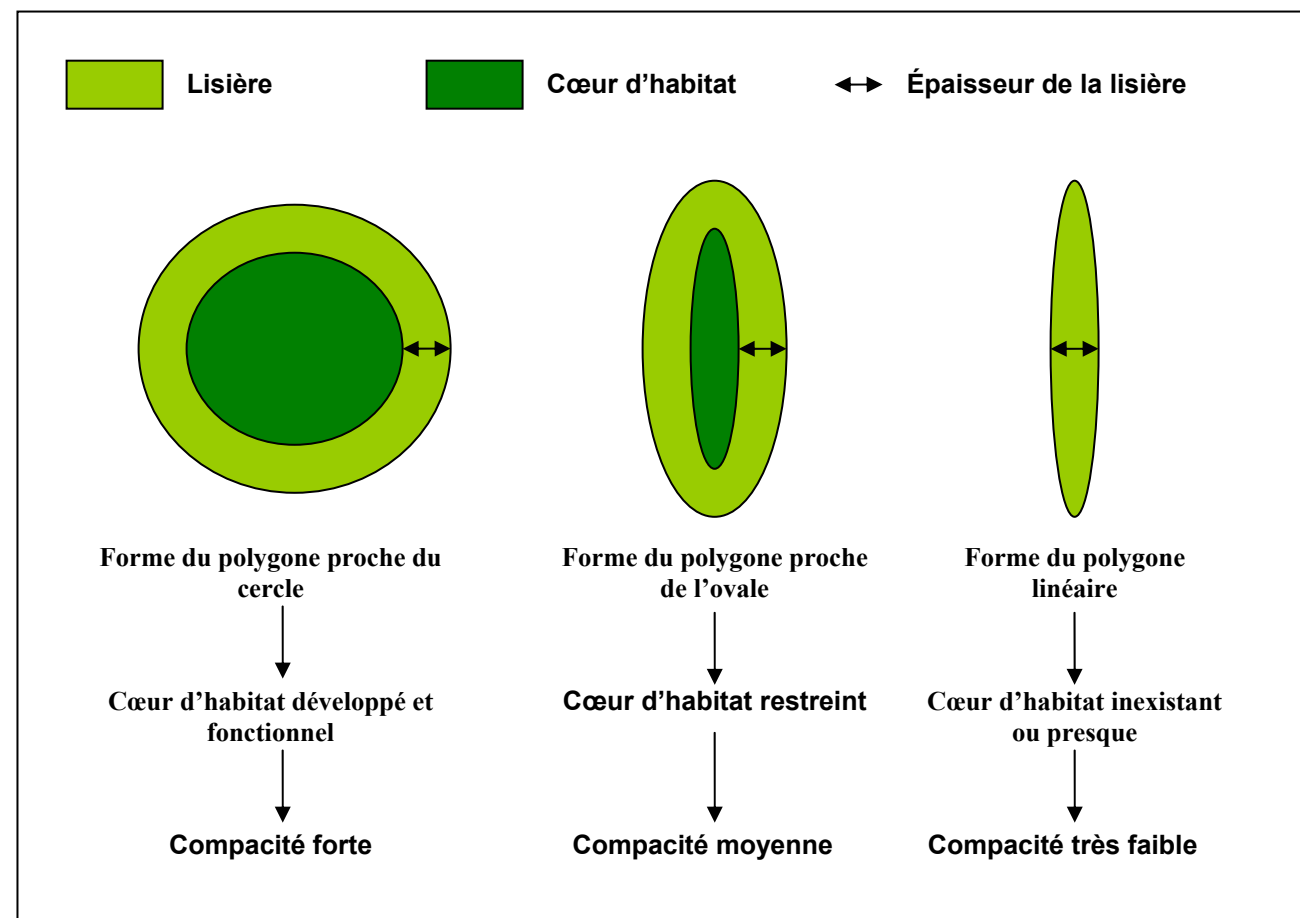


Figure 14 : Schématisation de la notion de cœur d'habitat

En milieu forestier, on peut considérer que l'effet de lisière s'étend sur environ 100 m de large alors qu'en milieu ouvert, il est beaucoup plus important (il peut être estimé à 1 km). Ceci s'explique par le tamponnement plus important de la lisière forestière comparativement à celle des milieux ouverts.

Le calcul de la compacité d'un polygone est un rapport entre sa surface et son périmètre. La formule ci-dessous attribue une valeur de compacité variant de 0 (très faible compacité) à 1 (compacité maximale = cercle).

$$\text{Compacité} = \frac{4 \times \pi \times \text{Surface}}{(\text{Périmètre})^2}$$

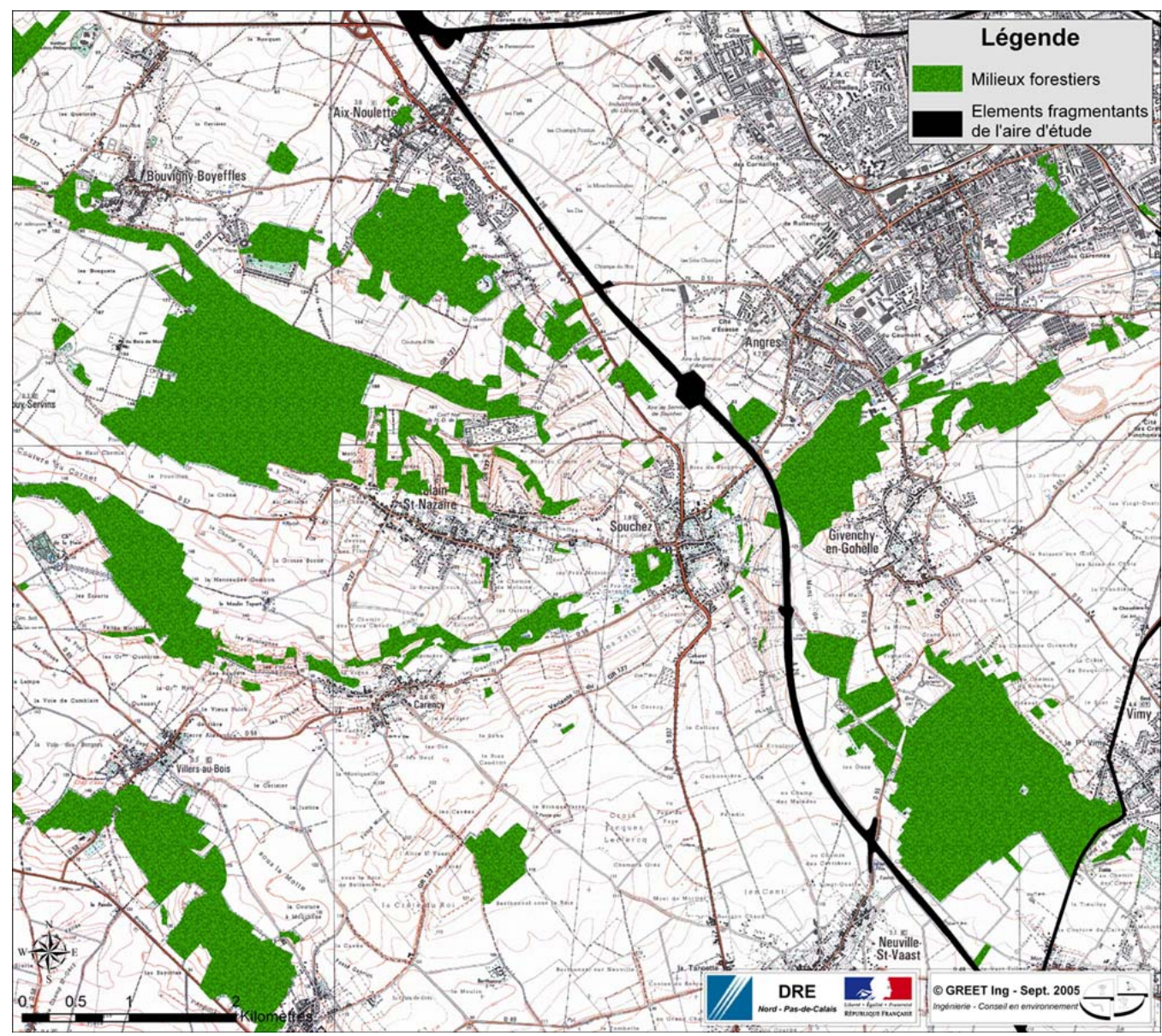
Toutefois, la compacité seule ne permet pas d'évaluer correctement les potentialités biologiques d'un milieu naturel du point de vue de son cœur d'habitat ou de l'aire vitale d'une espèce animale ou végétale. Ce paramètre doit être nécessairement associé à la superficie du milieu en question.

On considère que **plus la surface d'un habitat est grande, plus la diversité spécifique est élevée et plus elle favorise les espèces typiques du milieu concerné** (FORMAN, 1995 ; BAUDRY & BUREL, 1999).

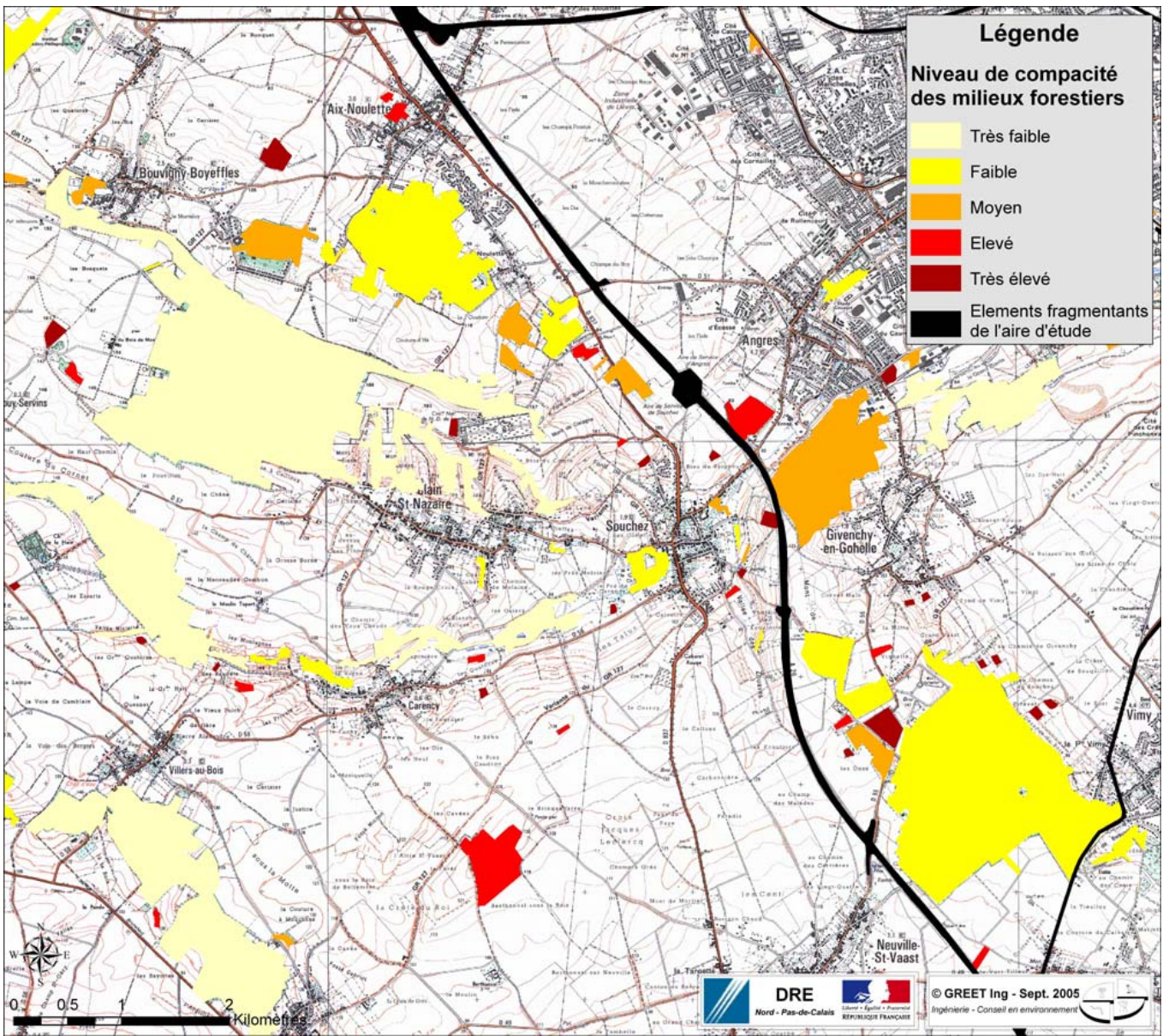
Comme la pérennité et la vigueur des populations d'espèces caractéristiques d'un milieu dépendent en grande partie de l'étendue du cœur d'habitat contenu par ce milieu, il nous a semblé **judicieux d'associer les critères de surface et de compacité**. Effectivement, ces deux facteurs conditionnent simultanément l'importance des cœurs d'habitats au sein des milieux naturels.

Nous avons donc estimé que **les critères de compacité et de surface étaient complémentaires et qu'ils devaient être combinés pour être représentatifs**.

Si l'on analyse ces deux facteurs indépendamment, ils ne reflètent pas nécessairement la qualité et les potentialités des cœurs d'habitats. Par exemple, des milieux très compacts mais de petite taille n'ont que peu ou pas du tout de cœur d'habitat. À l'inverse, des milieux très étendus dont les limites sont très sinueuses peuvent receler un cœur d'habitat conséquent. **La Figure 15 met évidence l'insuffisance de la simple évaluation de la compacité.**



Mosaïque de milieux forestiers



Évaluation de la compacité de ces milieux forestiers

Les entités linéaires ont une faible compacité, alors que celles se rapprochant du cercle ont un indice plus élevé.

Figure 15 : Evaluation de la compacité de milieux forestiers

4.2.2. Simplification de la couche d’occupation du sol de SIGALE

De façon à prendre en compte la surface et la compacité globales des espaces naturels susceptibles d’abriter un faune et une flore relativement proche, les postes d’occupations du sol ont été regroupés en cinq « grands types de milieux ».

Ainsi, ont été distingués :

- les milieux forestiers ;
- les milieux ouverts ;
- les milieux humides ;
- les milieux cultivés
- les milieux urbanisés et industrialisés

Le Tableau 5 et le Tableau 6 détaillent les modalités de ces regroupements.

Précisons que la surface et la compacité des milieux urbanisés et industrialisés n’ont été ni prises en compte, ni évaluées car ces dernières ne constituent pas des milieux naturels proprement dits.

Tableau 5 : Regroupements des milieux naturels par grands types

« Grands types de milieux »	Milieux de la couche de SIGALE®
Milieux cultivés	Cultures annuelles
	Maraîchage, serres
	Jardins ouvriers
	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
Milieux ouverts (hors cultures intensives)	Friches industrielles
	Golfs
	Carrières
	Terrils
	Espaces en friche
	Vergers et petits fruits
	Prairies: naturelles, permanentes
	Pelouses
	Landes arbustives
	Affleurements rocheux, falaises
	Broussailles sur dunes
	Dunes grises
	Dunes blanches
Milieux forestiers	Espaces verts urbains et périurbains
	Peupleraies
	Peupleraies récentes
	Coupes forestières récentes
	Forêts de conifères
	Conifères sur dunes
	Reboisements récents
	Coupes anciennes
	Forêts de feuillus
	Feuillus sur dunes
Milieux humides	Cours d'eau et voies d'eau
	Estuaires
	Marais intérieurs
	Marais maritimes
	Plans d'eau

Précisons qu’en raison de leur spécificité, les postes d’occupation du sol « Sable / Plage » ainsi que « Mer et Océan » ont été exclus des regroupements en compartiments écologiques.

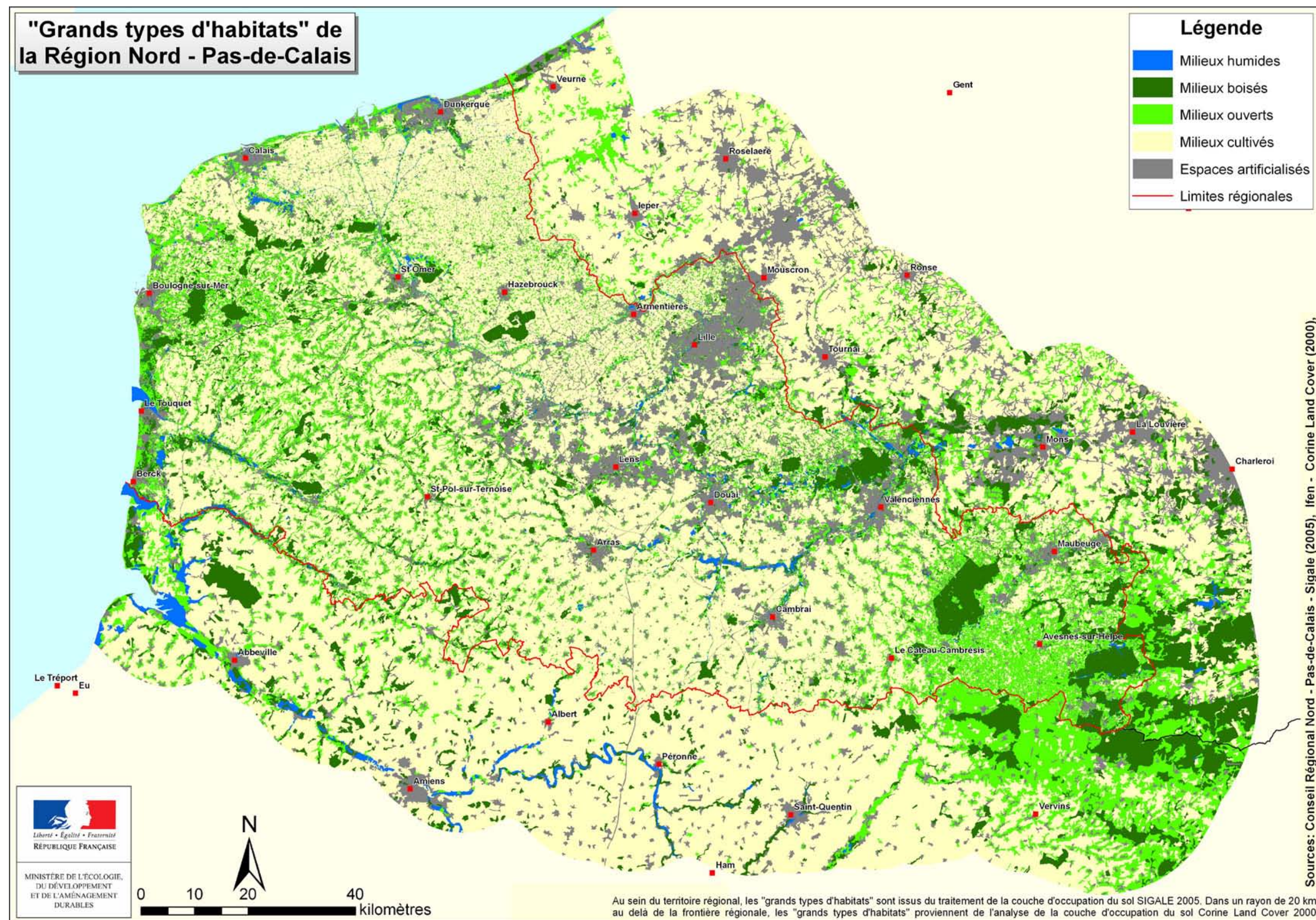
Tableau 6 : Espaces urbanisés ou industrialisés de la couche d'occupation du sol de SIGALE

« Grands types de milieux »	Milieux de la couche de SIGALE®
Milieux urbanisés ou industrialisés	Urbain continu dense
	Habitat collectif haut
	Habitat résidentiel
	Habitat minier
	Emprises commerciales
	Emprises hospitalières
	Emprises industrielles
	Emprises scolaires et/ou universitaires
	Autres entreprises publiques
	Décharges
	Chantiers
	Zones de stockage
	Aéroports, aérodromes
	Infrastructures portuaires
	Axes ferroviaires principaux et espaces associés
	Axes routiers principaux et espaces associés
	Stades, équipements sportifs
	Habitat rural
	Cimetières
	Campings, caravanings

Compte tenu de ce regroupement, nous avons fusionné les polygones adjacents appartenant aux mêmes « grands types de milieux ». Dès lors, nous avons travaillé sur une couche simplifiée des milieux de l’aire d’étude.

La carte régionale des « grands types de milieux » de la région est présentée à la page suivante.

Carte 8	Grands types de milieux de la région Nord – Pas-de-Calais
---------	---



Carte 8 : « Grands types de milieux » de la région Nord – Pas-de-Calais

4.2.3. Calcul d'un indice combinant compacité et surface

L'indice de surface-compacité a été évalué indépendamment pour chaque « grand type de milieux » de l'aire d'étude. Ainsi, ont été distingués :

- les milieux forestiers ;
- les milieux ouverts ;
- les milieux humides ;
- les milieux cultivés.

En outre, afin de prendre en considération le caractère fragmentant des voies de communication, **la couche simplifiée des milieux de l'aire d'étude a été découpée successivement par les différents niveaux de voies de communication fragmentantes** (voir le tableau n°3 au chapitre 3.3.). Ainsi, pour chaque compartiment écologique, **quatre sous indices de surface – compacité** ont été calculés selon le niveau de fragmentation considéré. Comme pour le calcul des indices de connectivité, ce découpage successif permet de relativiser l'impact des voies de communication sur la surface et la compacité des milieux naturels en fonction de leur importance.

Par conséquent, le calcul de chacun des sous-indices de surface – compacité correspond au calcul d'une valeur intégrant la surface et la compacité de chaque polygone issu d'un « grand type de milieu » et d'un niveau de découpage par les voies de communication fragmentantes.

Concrètement, **nous avons multiplié, pour chaque niveau de fragmentation, la valeur brute de la surface de chaque polygone des grands types de milieux par la valeur de sa compacité.** Compte tenu de la plage de variation de ces deux facteurs (0 à 1 pour la compacité et 0 à parfois plusieurs millions de mètres carrés pour la surface), la compacité est bien prise en compte mais **la valeur de la surface reste prépondérante dans le résultat du produit.** Ce dernier élément est important car **d'un point de vue biologique un espace naturel vaste et découpé vaut mieux qu'un espace naturel minuscule mais très compact.**

Ainsi, la formule des sous-indice bruts combinant la surface et la compacité des milieux naturels de l'aire d'étude s'écrit simplement de la manière suivant :

$$I_{\text{compacité/surface}} = VR_{\text{compacité}} \times VR_{\text{surface}}$$

(VR = valeur réelle)

Selon les valeurs du produit, des sous-indices synthétiques de surface/compacité prenant une valeur entière comprise entre 1 et 5 (très faible à très forte), ont été attribués à chaque polygone des « grands types de milieux » (méthode des seuils de Jenks sur 5 classes).

Les niveaux de surface – compacité obtenus pour chaque polygone représentant un « grand type de milieu » sont ensuite réaffectés aux polygones sous-jacents de la couche de SIGALE® découpée par l'ensemble des voies de communications.

Pour chaque « grand type de milieu », **les quatre sous-indices de surface – compacité sont ensuite additionnés de manière à obtenir un indice brut de surface – compacité global.**

Une nouvelle répartition des valeurs de cet indice brut en cinq classes, grâce aux seuils de Jenks, permet d'obtenir, indépendamment pour chaque compartiment écologique, un indice final de surface-compacité compris entre 1 et 5.

Il est important de noter que **les classes de surface-compacité ont été déterminées individuellement pour chaque grand type de milieux : cultivés, ouverts, forestiers et humides.**

Sans cette manipulation, les grandes parcelles de cultures possèderaient un indice de surface très fort alors que le reste des polygones auraient un indice faible (bien que leurs superficies soient variables). Par ailleurs, les enjeux écologiques sont variables entre ces différents regroupements et nous avons considéré que leurs indices de surface devaient être appréhendés séparément.

Précisons par ailleurs **qu'un indice de surface – compacité nul est attribué aux polygones de milieux urbanisés dont la naturalité est nulle et une note de surface compacité de 1 est attribuée aux autres espaces urbanisés.**

Compte tenu de la forte artificialisation de ces espaces leur compacité et leur taille n'ont guère d'importance d'un point de vue biologique.

Précisons enfin que l'indice surface – compacité permet de mettre en valeur les cœurs d'habitat et de ce fait d'estimer la potentialité de présence des espèces caractéristiques du milieu concerné. En revanche, les potentialités biologiques des zones de contact entre milieux différents (écotones), ne sont pas mises en évidence par le calcul de cet indice. Or ces zones de transition représentent également des milieux de prédilection pour de nombreuses espèces animales et végétales. L'indice d'hétérogénéité (voir le chapitre 4.4.) intervient alors comme un indice complémentaire permettant de combler ce manque identifié (voir ci-après).

4.2.4. Représentation cartographique de l'indice combinant compacité et surface

Dans un premier temps, la combinaison des indices de compacité et de surface est présentée indépendamment pour chaque « grand type de milieu ».

Carte 10	Indice combinant surface et compacité
----------	---------------------------------------



Une carte de synthèse des cartes précédentes fournit ensuite une vision globale de l'ensemble des indices combinant surface et compacité des quatre « grands types de milieux » distingués.

Carte 11	Indice combinant surface et compacité
----------	---------------------------------------

4.2.5. Interprétation des cartes combinant les paramètres de surface et de compacité

Pour chaque « grand type de milieu », la carte de surface et compacité met en relief les espaces naturels dont le cœur d'habitat est potentiellement le plus important à l'échelle régionale. En d'autres termes, cette carte localise pour chaque type de milieu les espaces naturels susceptibles d'être les moins affectés par les éléments anthropiques.

Comme le territoire du Nord – Pas-de-Calais est dominé par les milieux cultivés. Les valeurs de l'indice de surface - compacité de ces milieux sont fortement mis en valeur sur la carte. Ainsi, il apparaît nettement que les espaces cultivés les plus vastes et les plus compacts de la région se concentrent dans le Cambrésis et la partie Est de l'Artois.

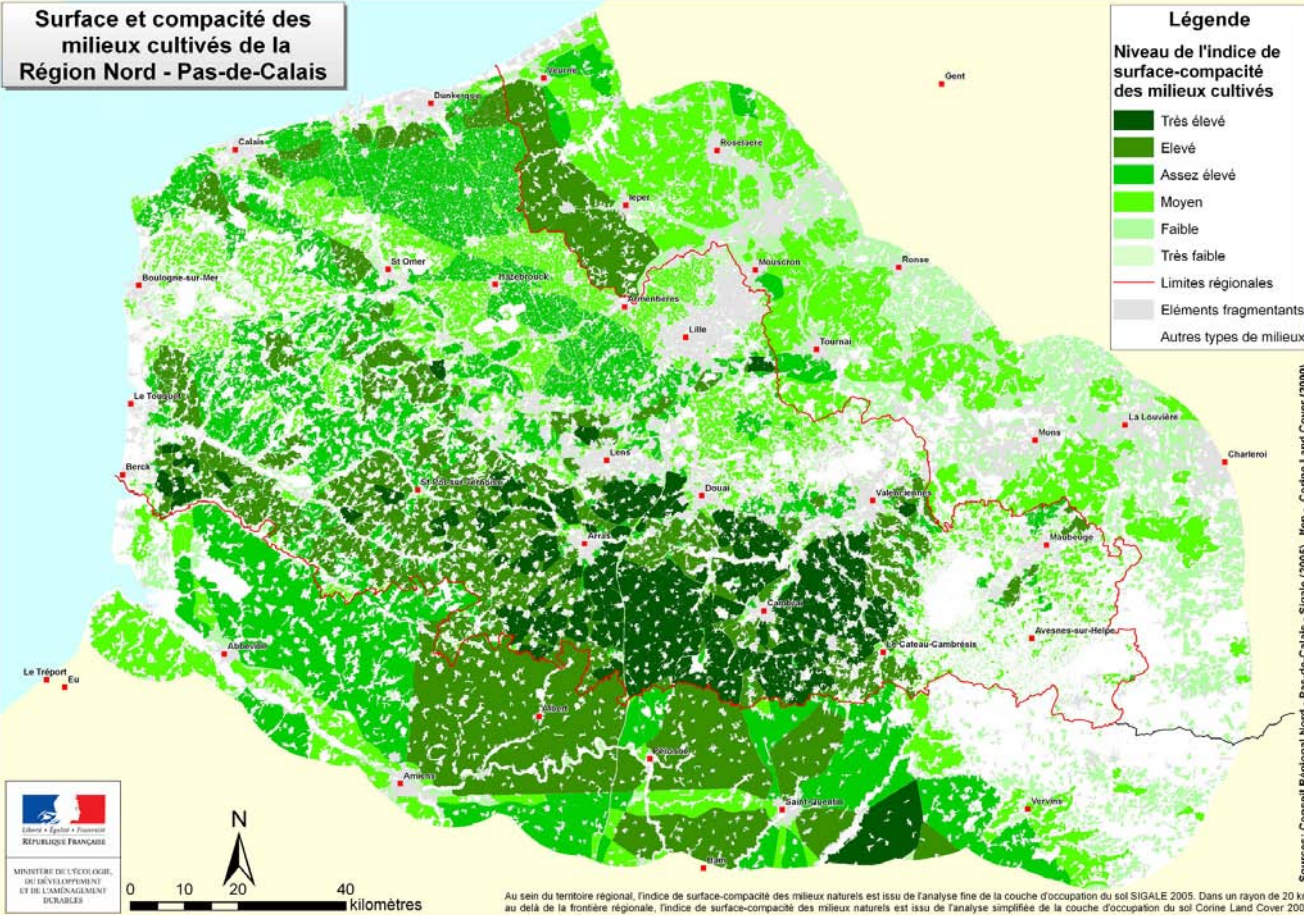
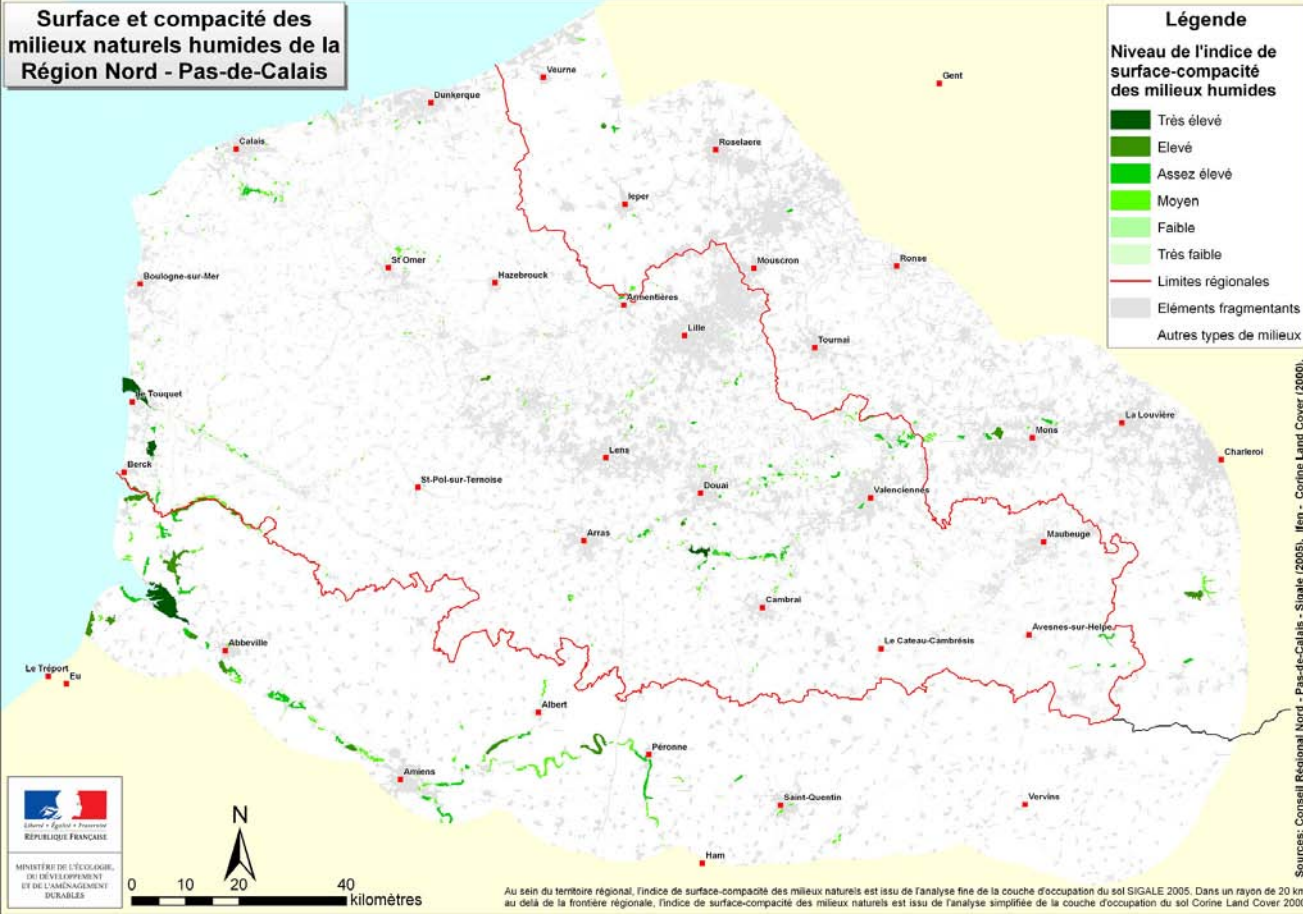
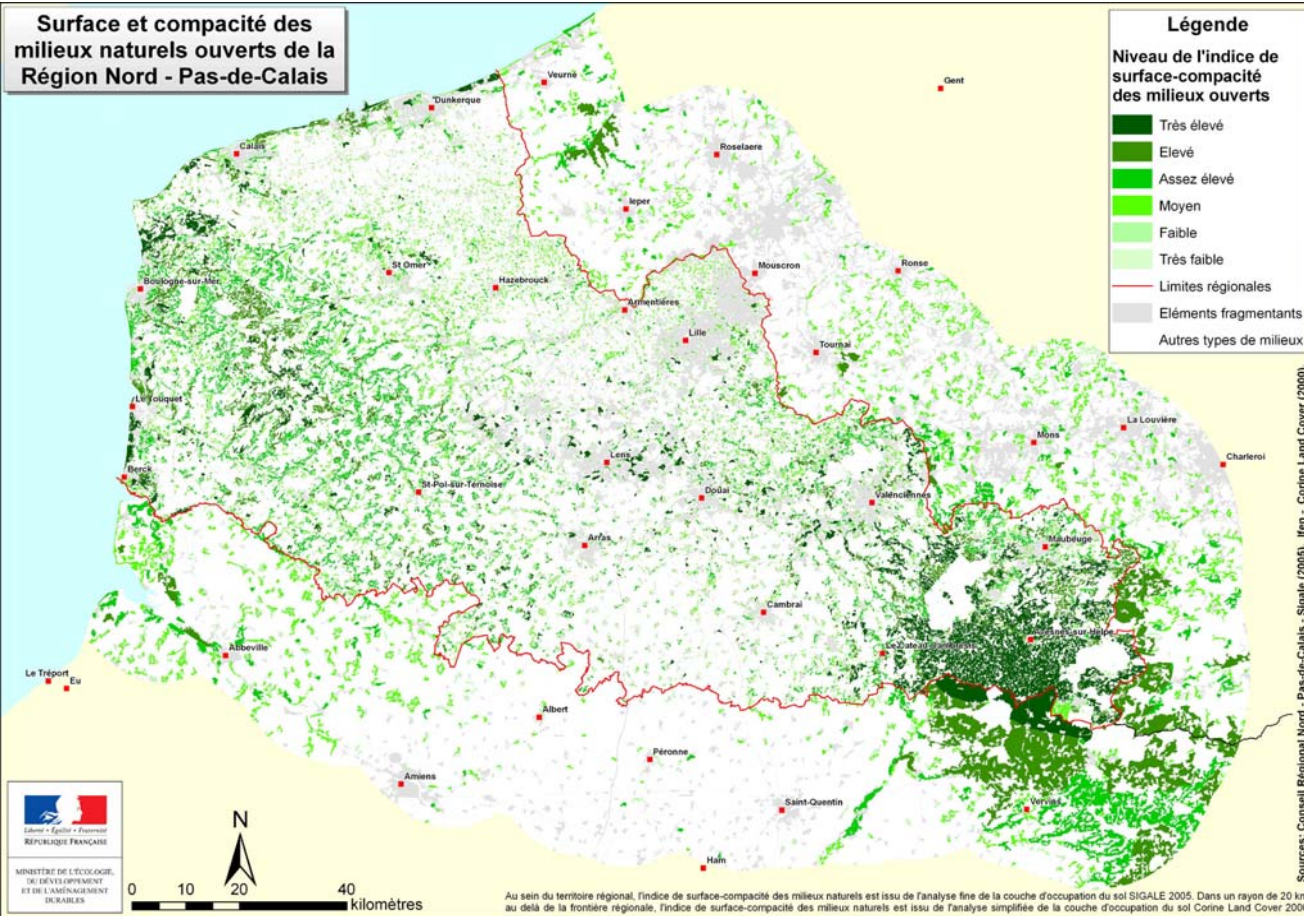
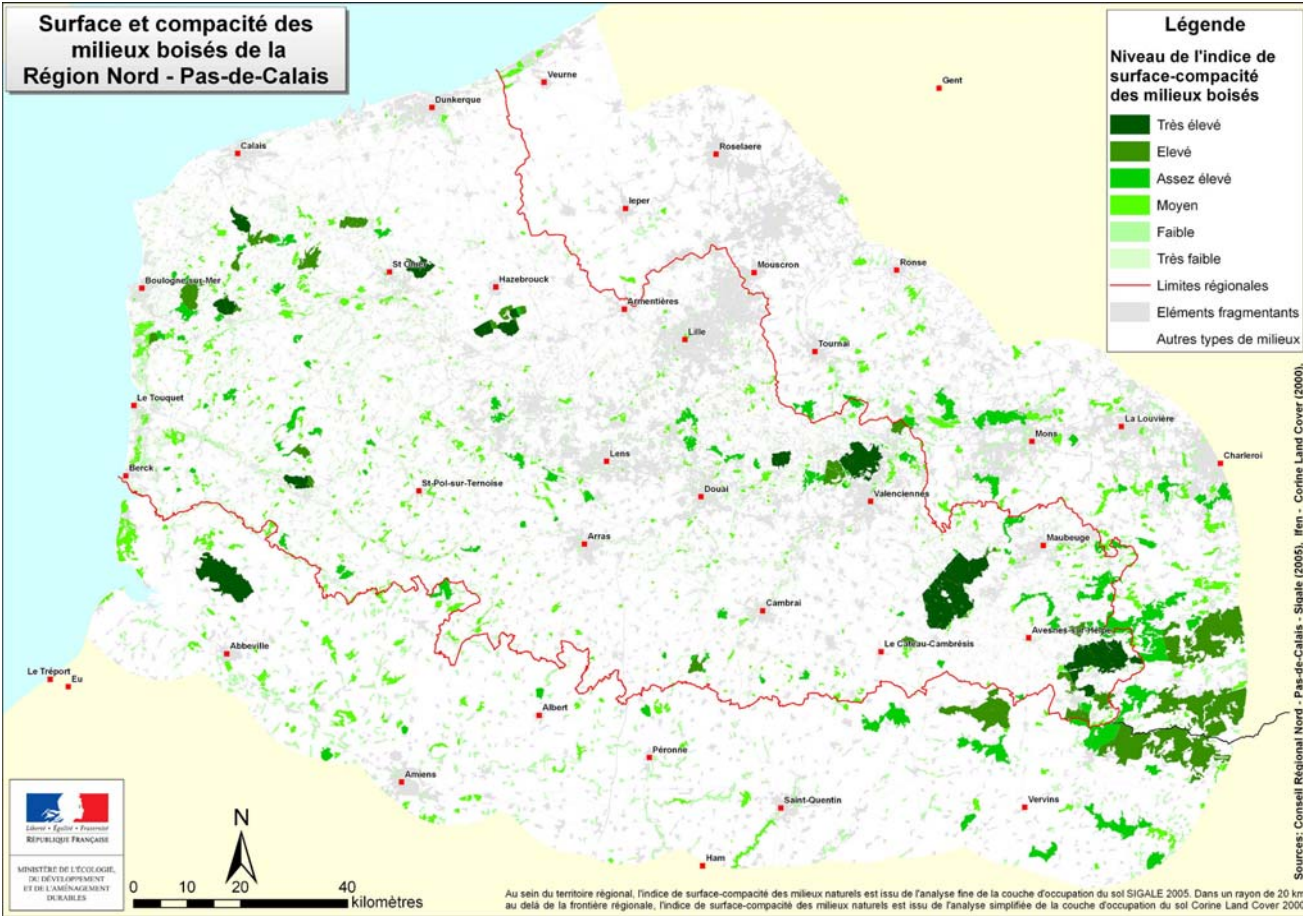
La répartition des milieux naturels ouverts de surface et de compacité supérieure est en revanche beaucoup moins tranchée. Evidemment, les vastes espaces bocagers de l'Avesnois obtiennent un indice de surface-compacité très élevé. Toutefois d'autres milieux naturels ouverts répartis de façon plus disparate sur le territoire régional présentent une surface et une compacité relative très importante. Il s'agit notamment des milieux dunaires

littoraux, des terrils et friches du Bassin Minier, des carrières du Boulonnais et des prairies les plus vastes au cœur des plateaux de l'Artois.

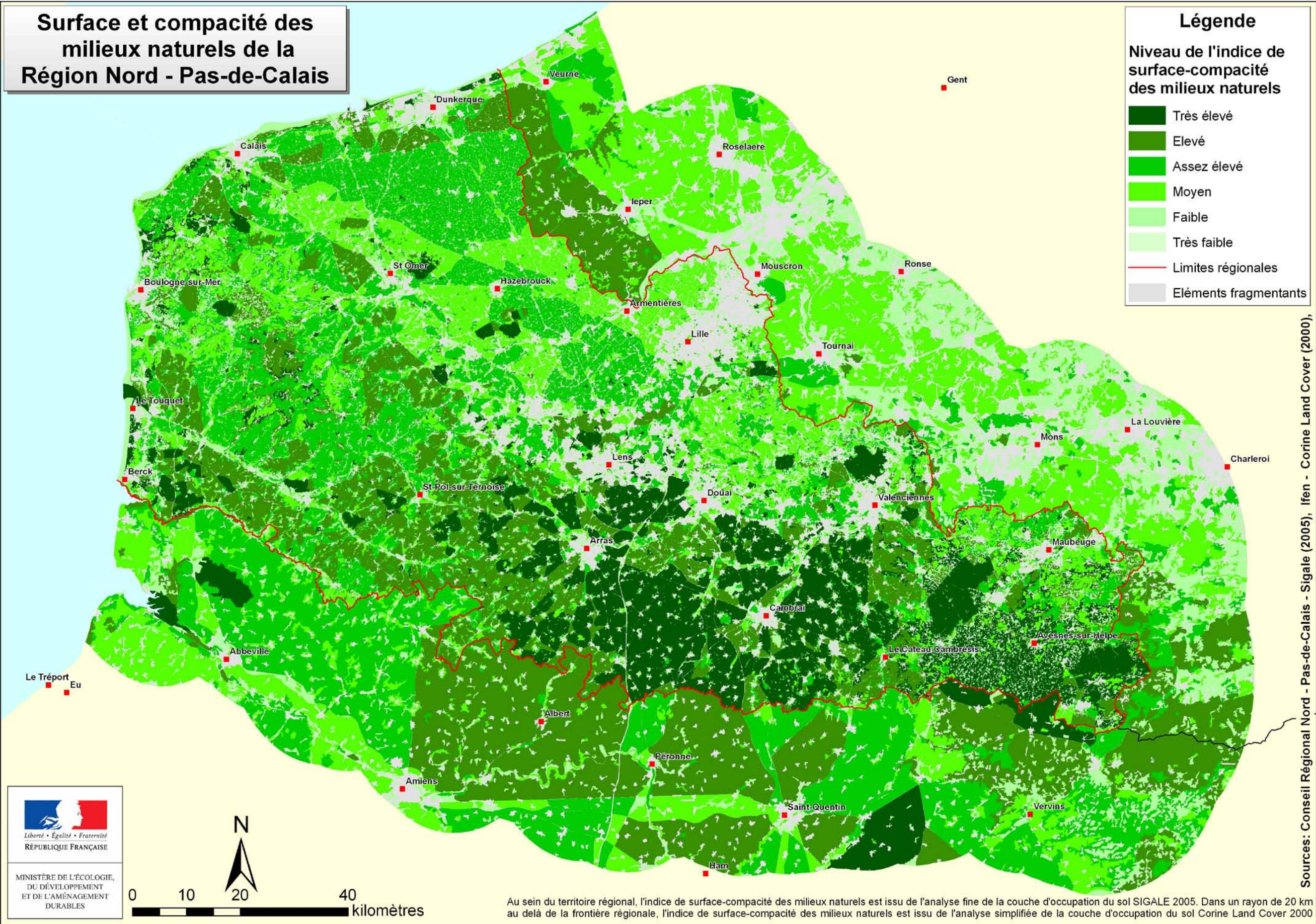
Malgré leurs surfaces cumulées importantes les nombreuses prairies du Boulonnais et de l'Artois n'ont qu'un niveau de surface-compacité moyen à assez élevé. Ce constat s'explique par l'extrême morcellement de ces prairies par les milieux cultivés et les éléments anthropiques. Le morcellement de ces prairies par les éléments anthropiques est d'autant plus important que les prairies de ce secteur sont généralement organisées en couronnes bocagères autour des villages.

En ce qui concerne les espaces forestiers, ce sont les bois ou forêts de Mormal, Trélon, Raismes-Saint-Amand, Marchiennes, Nieppe, Clairmarais, Eperlecques, Guines, Desvres, Boulogne, Tournehem, Hesdin et Havrincourt qui présentent les niveaux de surface et compacité maximaux. Certaines parties de ces espaces forestiers recèlent toutefois un niveau de surface-compacité moindre du fait des voies de communication qui les traversent. Par exemple, les surfaces des parcelles boisées des forêts de Saint Amand et de Boulogne sont amoindries par les voies de communication importantes qui les traversent.

Compte tenu des faibles surfaces occupées par les milieux naturels humides et aussi de leur fractionnement en de petites parcelles, les valeurs de leur indice de surface-compacité sont assez peu visibles sur la carte. A l'échelle régionale, trois zones humides se démarquent du fait de leur surface et de leur compacité relativement très élevées. Il s'agit de l'estuaire de la Canche, du marais de Balançon et d'un ensemble de marais et plans d'eau de la vallée de la Sensée entre les villages de Lécluse et Palluel. Outre ces zones humides principales, les concentrations de zones humides de taille et de compacité moyenne à élevée se localisent dans la vallée de la Sensée, dans la Plaine de la Scarpe, dans les basses vallées de la Canche et de l'Authie et dans le Marais de Guînes.



Carte 9 : Représentation de l'indice combinant surface et compacité de chaque « grand type de milieu » du Nord – Pas-de-Calais



Carte 10 : Représentation globale de l'indice combinant surface et compacité des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais

4.3. ANALYSE DE LA CONNECTIVITE

4.3.1. Méthode de calcul de la connectivité

Rappelons tout d'abord que la connectivité correspond aux potentialités d'échanges entre les milieux. Une connectivité importante est garante d'un bon fonctionnement écologique et donc d'une biodiversité potentiellement plus importante.

De manière analogue au calcul de l'indice de surface-compacité, c'est une couche simplifiée des milieux de l'aire d'étude qui a servi de base à l'évaluation de l'indice de connectivité. Ainsi, il a été considéré que l'ensemble des milieux voisins appartenant au même compartiment écologique forme un milieu naturel relativement homogène.

Avant d'établir une carte de connectivité globale des différents milieux de la zone d'étude, la connectivité de chaque « grand type de milieu » a été déterminée individuellement. Ainsi, ont été distingués :

- les milieux forestiers ;
- les milieux ouverts ;
- les milieux humides ;

Le tableau n°5 du chapitre 4.2.2. détaille les différentes occupations du sol de la couche de SIGALE® regroupés dans chaque « grand type de milieu ».

Remarquons que la connectivité des milieux cultivés n'a pas été prise en compte dans cette phase de l'étude. Les milieux cultivés constituent la matrice du paysage régional. De ce fait, en dépit des éléments fragmentants, les espaces cultivés de la région apparaissent comme très bien connectés par rapport aux autres milieux.

Précisons par ailleurs, que la connectivité des milieux urbanisés et industrialisés n'a ni été prise en compte ni évaluée car nous avons estimé que leurs potentialités biologiques sont très restreintes à l'échelle de travail. De plus, la connectivité permettant de mettre en évidence les liaisons biologiques existantes, il ne semblait pas judicieux de la calculer pour un milieu représentant majoritairement une barrière vis-à-vis de ces connexions dans les conditions actuelles d'urbanisation.

Afin de prendre en compte l'effet de barrière important des principaux axes de communication et des espaces urbanisés de l'aire d'étude sur le déplacement des espèces, nous avons ensuite découpé successivement les « grands types de milieux » obtenus par les quatre couches d'éléments fragmentants.

Le découpage successif de la couche des milieux simplifiés par les quatre niveaux d'éléments fragmentants distingués permet de déterminer par la suite quatre sous-indices de connectivité pour chacun des grands types de milieux étudiés.

Considérant que les potentialités d'échanges entre deux milieux de même nature augmentent avec la taille et la proximité des milieux en question, nous avons tracé, pour les polygones de chaque « grand type de milieu » plus ou moins fragmentés, une zone tampon directement proportionnelle à la surface de ceux-ci. Plus précisément, le rayon de la zone tampon correspond, pour chaque polygone, au rayon d'un cercle de même surface.

$$\text{Rayon}_{ZT \text{ entité } i} = \sqrt{\frac{\text{Surface}_{\text{entité } i}}{\pi}}$$

Les zones tampons des polygones proches appartenant à un même « grand type de milieu » se fusionnent. On considère alors que, plus la surface des zones tampons fusionnées est grande, plus la connectivité des milieux est importante.

De façon à renforcer l'effet de barrière important des principaux axes de communication et des espaces urbanisés de l'aire d'étude sur le déplacement des espèces, nous procédons ensuite à un nouveau découpage successif des zones tampons obtenues par les éléments fragmentants pris en compte pour le calcul du sous-indice considéré.

Le découpage successif des zones tampons fusionnées par les quatre niveaux d'éléments fragmentants distingués permet de déterminer quatre sous-indices de connectivité pour chacun des grands types de milieux étudiés. **Les quatre sous-indices traduisent alors une connectivité fonction d'une fragmentation croissante des milieux naturels.**

Ainsi, par exemple, après avoir découpé les milieux simplifiés par les éléments fragmentants de niveau 1, tracé des zones tampon proportionnelles aux fragments d'espaces naturels puis procédé à un second découpage des zones tampon par les éléments fragmentants de niveau 1, la méthode de détermination du sous-indice de connectivité de niveau 1 permet de prendre en compte l'effet de barrière très important des axes majeurs de communication et des espaces densément urbanisés ou très fréquentés par l'homme.

Le découpage opéré engendre une réduction de la surface des zones tampons parcourues par des voies de communication importantes et des espaces densément urbanisés. **Considérant que le niveau de connectivité est directement proportionnel à la surface des zones tampon, le découpage réduit d'autant la connectivité des milieux sous-jacents.**

Un premier sous-indice de connectivité est ensuite attribué à chaque polygone obtenu³, en fonction de sa surface (méthode des seuils de Jenks sur 5 classes de valeurs). Cet indice varie de 1 à 5, selon la classe de surface à laquelle appartient l'entité. L'indice le plus faible correspond aux entités de moindre connectivité et réciproquement. Les seuils étant fixés par l'intermédiaire de la méthode des seuils de Jenks, soit par une méthode statistique de calcul, ils ne peuvent bien entendu pas être considérés comme fonctionnels. Les classes de valeur des indices permettent toutefois d'estimer la plus ou moins forte connectivité des milieux entre eux. Ces seuils sont par conséquent définis et applicables à l'échelle de l'aire d'étude.

Selon la même technique trois autres sous-indices de connectivité sont ensuite attribués aux milieux simplifiés et aux zones tampons découpées par les éléments fragmentants de niveau 1 et 2, puis de niveau 1, 2 et 3 et enfin de niveau 1, 2, 3 et 4.

L'étape suivante consiste à réaffecter les valeurs des quatre sous-indices de connectivité déterminés aux polygones de milieux sous-jacents de la couche de SIGALE® découpée par l'ensemble des voies de communication fragmentantes (niveaux 1, 2, 3 et 4). Ainsi, nous avons considéré que chaque parcelle de la couche d'occupation du sol découpée, dont plus de la moitié de la surface était incluse au sein d'une zone tampon fusionnée, a le même sous-indice de connectivité que celle-ci. Les parcelles de la couche d'occupation du sol qui ne sont pas ou insuffisamment recouvertes par une zone tampon ont alors leur sous-indice de connectivité nul par rapport au « grand type de milieu » considéré.

Afin d'obtenir un indice brut de connectivité pour chaque grand type de milieu, nous avons ensuite sommé la valeur des quatre sous-indices correspondant. La méthode des seuils de Jenks permet de redistribuer les valeurs de chaque indice brut de connectivité en cinq classes de manière à obtenir pour chaque compartiment écologique un indice synthétique de connectivité compris entre 1 et 5. Les milieux non connectés constituent une sixième classe de valeur nulle.

Remarquons que **le découpage successif de la couche des milieux simplifiés puis de leurs zones tampon par les différents niveaux d'éléments fragmentants permet de relativiser l'effet de barrière des voies de communication et des espaces urbanisés vis-à-vis du déplacement des espèces.** En outre, l'effet de barrière des éléments fragmentants de niveau inférieur est pris en compte tout en étant atténué.

Jusqu'ici, la méthode de connectivité décrite correspond à la démarche de base opérée pour calculer la connectivité de chaque « grand type de milieu ». Afin d'accroître la pertinence de notre modèle, **quelques variantes ont été ajoutées lors du calcul de la connectivité des milieux humides et des milieux forestiers.**

Nous avons estimé que **les milieux naturels ouverts sont perméables aux déplacements des espèces inféodées aux milieux boisés ou humides.** Effectivement, par exemple, les grands mammifères des zones boisées ou les Amphibiens des milieux humides n'ont guère de difficultés à traverser des espaces de prairie, des vergers ou des espaces en friche. De ce fait, lors du calcul de l'indice de connectivité des milieux forestiers et des milieux humides, les polygones de milieux naturels ouverts⁴ en contact direct avec ces grands types de milieux ont été ajoutés à leurs zones tampon respectives (avant leur découpage par les éléments fragmentants). En accroissant la surface des zones tampon dans les secteurs où les espaces naturels ouverts sont denses, cette variante renforce ainsi, très logiquement, la connectivité des milieux boisés ou humides.

Enfin, **pour l'évaluation de la connectivité des milieux humides, aucune zone tampon n'a été tracée autour des polygones représentant les canaux** principaux de l'aire d'étude (contrairement aux autres entités de milieux humides fusionnées pour former le grand type de milieu « Milieux humides »). Les berges très souvent bétonnées et abruptes de ces milieux humides limitent fortement les échanges d'espèces avec les milieux environnants, leur connectivité avec les milieux périphériques est donc réduite. Précisons néanmoins que la connexion des canaux a été rétablie au niveau des différents ponts routiers ou ferroviaires représentés dans la couche d'occupation du sol de SIGALE®. Les écluses ont en revanche été considérées comme des éléments fragmentants de niveau 1.

Si les canaux possèdent généralement des berges abruptes et artificialisées, cela est rarement le cas pour les cours d'eau naturels. Ainsi, avec leurs berges diversifiées et souvent en pentes douce, les cours d'eaux naturels sont facilement franchissables par la faune et la flore inféodées préférentiellement aux zones humides. En outre, les crues plus ou moins régulières auxquelles sont soumis les cours d'eau ont pour effet de connecter davantage les espaces naturels du lit majeur. Pour ces raisons, plutôt que de générer une zone tampon fixe autour des cours d'eau naturels, **il a été jugé plus pertinent de prendre en compte les zones inondables attenantes aux cours d'eau.** Dans ce cadre, les zones inondables de la région Nord – Pas-de-Calais (Source DIREN Nord – Pas-de-Calais) ont été adjointes aux zones tampon des zones humides.

Pour résumer, **la valeur des sous-indices de connectivité des milieux humides a été estimée à partir des surfaces cumulées des zones humides, de leurs zones tampon (hors cours d'eau), des zones inondables et des milieux naturels ouverts attenants aux milieux humides.** Selon le niveau de l'indice, ces surfaces cumulées ont été découpées par un ou plusieurs niveaux d'éléments fragmentants.

³ Les polygones obtenus sont les zones tampons découpées par les principales voies de communication.

⁴ Les polygones de milieux naturels ouverts correspondent précisément aux habitats du « grand type » Milieux ouverts dans le Tableau 5.

À l'issue de la phase de calcul des indices de connectivité par « grands types de milieux », un **indice global de connectivité** est donné à chaque polygone d'occupation du sol de la couche de SIGALE® découpée par les voies de communication fragmentantes.

L'indice de connectivité global s'appuie donc sur la somme des indices synthétiques de connectivité des milieux ouverts, forestiers et humides. Cet indice global prend une valeur entière comprise entre 1 et 5 selon la classe de valeur à laquelle appartient la somme des indices de connectivité partielle (méthode des seuils de Jenks sur 5 classes de valeurs, avec exclusion des valeurs nulles). Les milieux connectés à aucun des trois « grands types de milieux » retenus forment une sixième classe de valeur nulle.

$$I_{\text{connectivité globale}} = I_{\text{connectivité MO}} + I_{\text{connectivité MF}} + I_{\text{connectivité MH}}$$

MO = milieux ouverts - MF = milieux forestiers - MH = Milieux humides

Compte tenu des très faibles potentialités biologiques d'échange des milieux urbanisés les plus artificialisés, une valeur nulle a été automatiquement attribuée à l'indice de connectivité globale de tous les milieux dont la naturalité⁵ a été estimée comme nulle.

4.3.2. Représentation cartographique de la connectivité

La cartographie de la connectivité des milieux naturels de l'aire d'étude a pris place en deux phases :

- une représentation des indices intermédiaires de connectivité des milieux ouverts, forestiers et humides;
- une représentation de l'indice global de connectivité, issu de la synthèse de ces trois indices.

Rappelons que la connectivité des milieux cultivés n'a pas été prise en compte dans le calcul de l'indice synthétique car ces milieux forment la matrice paysagère régionale et par conséquent la quasi-totalité des polygones de cultures apparaissent interconnectés par la méthode employée. Il ne nous a donc pas semblé judicieux de l'intégrer dans la définition de la note de connectivité globale.

Carte 11	Connectivité des milieux ouverts
Carte 12	Connectivité des milieux forestiers
Carte 13	Connectivité des milieux humides
Carte 14	Connectivité globale des milieux

⁵ Le chapitre 4.1. détaille l'évaluation de la naturalité des différents postes d'occupation du sol de la nomenclature SIGALE®.



4.3.3. Interprétation des cartes de connectivité

4.3.3.1. Interprétation de la carte de connectivité des milieux boisés

Compte tenu du morcellement du territoire régional et de sa faible proportion de boisements, la connectivité des différents espaces boisés est globalement assez faible. Ainsi, la région compte plusieurs pôles boisés relativement isolés les uns des autres. Toutefois, ces pôles forestiers regroupent généralement en leur sein plusieurs massifs boisés assez bien connectés entre eux.

Le plus important d'entre eux est représenté par l'Avesnois qui abrite des massifs boisés majeurs à l'échelle régionale (forêts de Mormal et de Trélon) mais aussi de nombreux autres boisements. La connectivité des boisements dans ce secteur est particulièrement renforcée par le maillage bocager étendu et continu. Si le pôle boisé de l'Avesnois n'est pas réellement connecté aux autres espaces forestiers du Nord – Pas-de-Calais, il est en revanche bien connecté aux vastes espaces boisés des Ardennes voisines.

Les boisements du Boulonnais, de l'ouest de l'Artois, des vallées de la Canche et de l'Authie et de la bande littorale forment un second pôle régional d'espaces boisés dont les niveaux de connectivité apparaissent tout aussi importants que ceux de l'Avesnois. Même si les boisements n'y sont pas aussi continus, ceux-ci sont relativement bien interconnectés du fait des nombreux milieux naturels ouverts dans ce secteur. Malgré cela, à une échelle supra régionale, ce pôle boisé est beaucoup plus isolé que celui de l'Avesnois et les possibilités d'échanges biologiques avec d'autres pôles forestiers sont plus limitées.

Le troisième pôle forestier majeur de la région est représenté par les boisements de la plaine de la Scarpe, dont la forêt de Raismes – Saint-Amand constitue le cœur. Ce pôle, parcouru par des voies de communication importantes et ceinturé par de nombreux éléments anthropiques est toutefois d'importance moindre que les deux précédents.

Les autres massifs boisés du Nord – Pas-de-Calais forment des pôles forestiers de plus petite taille et ont des niveaux de connectivité moins importants du fait de leur isolement.

4.3.3.2. Interprétation de la carte de connectivité des milieux naturels ouverts

D'après la carte, le Nord – Pas-de-Calais recèle deux ensembles majeurs de milieux naturels ouverts interconnectés. Le premier d'entre eux occupe principalement le tiers Ouest de la région et sa partie centrale est représentée par les plateaux de l'Artois. Le second occupe plutôt le tiers Est de la région et déborde largement sur les régions limitrophes en France et en Belgique. Ces deux ensembles sont disjointes par un vaste territoire dont la connectivité des milieux naturels ouverts est faible. Ce territoire, où les

quelques milieux ouverts sont trop isolés pour être connectés, forme une large bande orientée selon un axe Nord/Sud entre Armentières et Péronne.

L'ensemble de milieux naturels ouverts du tiers Est de la région met en évidence une excellente connectivité au niveau de l'Avesnois. Dans ce secteur très bocager, seuls les grands massifs forestiers amoindrissent très localement la connectivité des milieux ouverts. En outre, grâce au réseau relativement dense de prairies au niveau de la frontière belge, à l'Est de Valenciennes, les milieux ouverts de l'Avesnois semblent assez bien connectés avec ceux de la Plaine de la Scarpe. Ainsi, un diverticule de milieux naturels ouverts relativement interconnectés paraît s'étendre depuis l'Avesnois jusqu'au Mélantois.

L'ensemble des milieux naturels ouverts du tiers Est de la région est quant à lui formé d'une vaste zone centrale très bien connectée. Cette zone centrale couvre l'ensemble du Boulonnais et une grande moitié Ouest de l'Artois. Même si les milieux naturels ouverts n'y forment pas des surfaces continues, celles-ci sont suffisamment proches, nombreuses et étendues pour que la connectivité relative des milieux ouverts y soit maximale à l'échelle régionale. Par ailleurs, ce vaste secteur est plus ou moins bien connecté à d'autres ensembles de milieux naturels ouverts proches. Il est notamment très bien connecté aux milieux dunaires et autres milieux naturels ouverts de la bande littorale. D'autres connexions beaucoup plus fragiles avec l'Audomarois, le Marais de Guînes, voire la Haute Vallée de l'Yser et le secteur des Monts des Flandres sont en outre mises en évidence.

4.3.3.3. Interprétation de la carte de connectivité des milieux humides

Au sein du territoire régional, la connectivité des milieux humides est globalement très faible. Cela est notamment dû aux faibles surfaces occupées par ces milieux.

Logiquement, les espaces naturels en bordure des cours d'eau apparaissent parmi les mieux connectés aux zones humides. Toutefois, compte tenu de la canalisation des cours d'eau d'un grand tiers Nord-Est de la région, leurs berges artificielles et leurs écluses limitent cette connectivité.

Néanmoins, les plus vastes espaces interconnectés se retrouvent à nouveau dans l'Avesnois. Cela pourrait paraître aberrant compte tenu des faibles surfaces occupées par les zones humides dans cette partie de la région. Toutefois, dans ce secteur la matrice bocagère permet une très bonne interconnexion des mares et des cours d'eau naturels qui s'y écoulent.

Les autres espaces de la région recelant une bonne connectivité des milieux humides sont ceux qui abritent de nombreuses zones humides assez proches les unes des autres. Ces espaces sont représentés principalement par :

- les vallées de la Canche et de l'Authie interconnectées par le marais de Balançon et les autres zones humides littorales ;

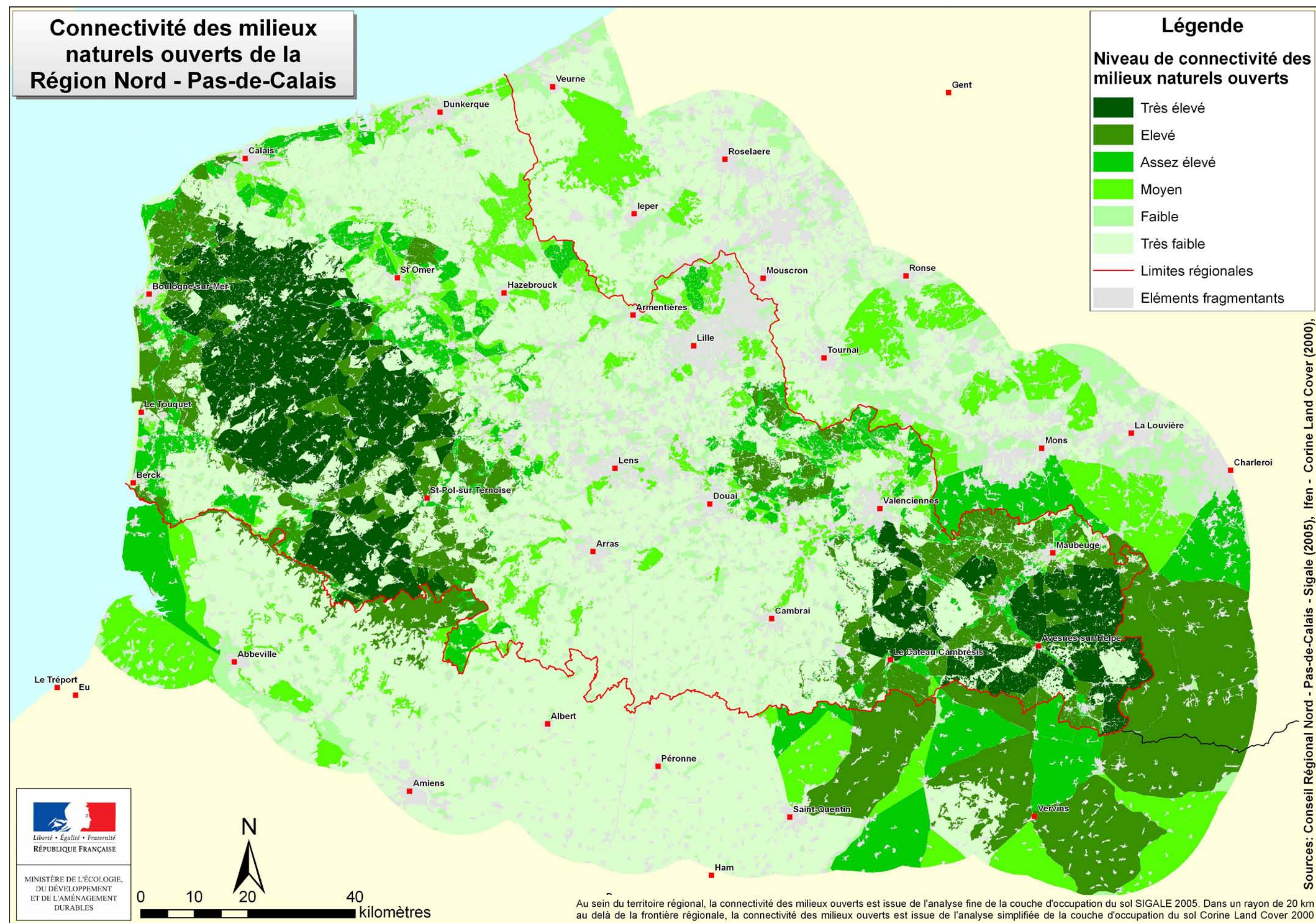
- la basse vallée de la Scarpe interconnectée avec la vallée de l'Escaut à l'aval de Valenciennes ;
- la vallée de la Sensée ;
- les marais de Saint Omer et de Guînes.

4.3.3.4. Interprétation de la carte de connectivité globale des milieux naturels

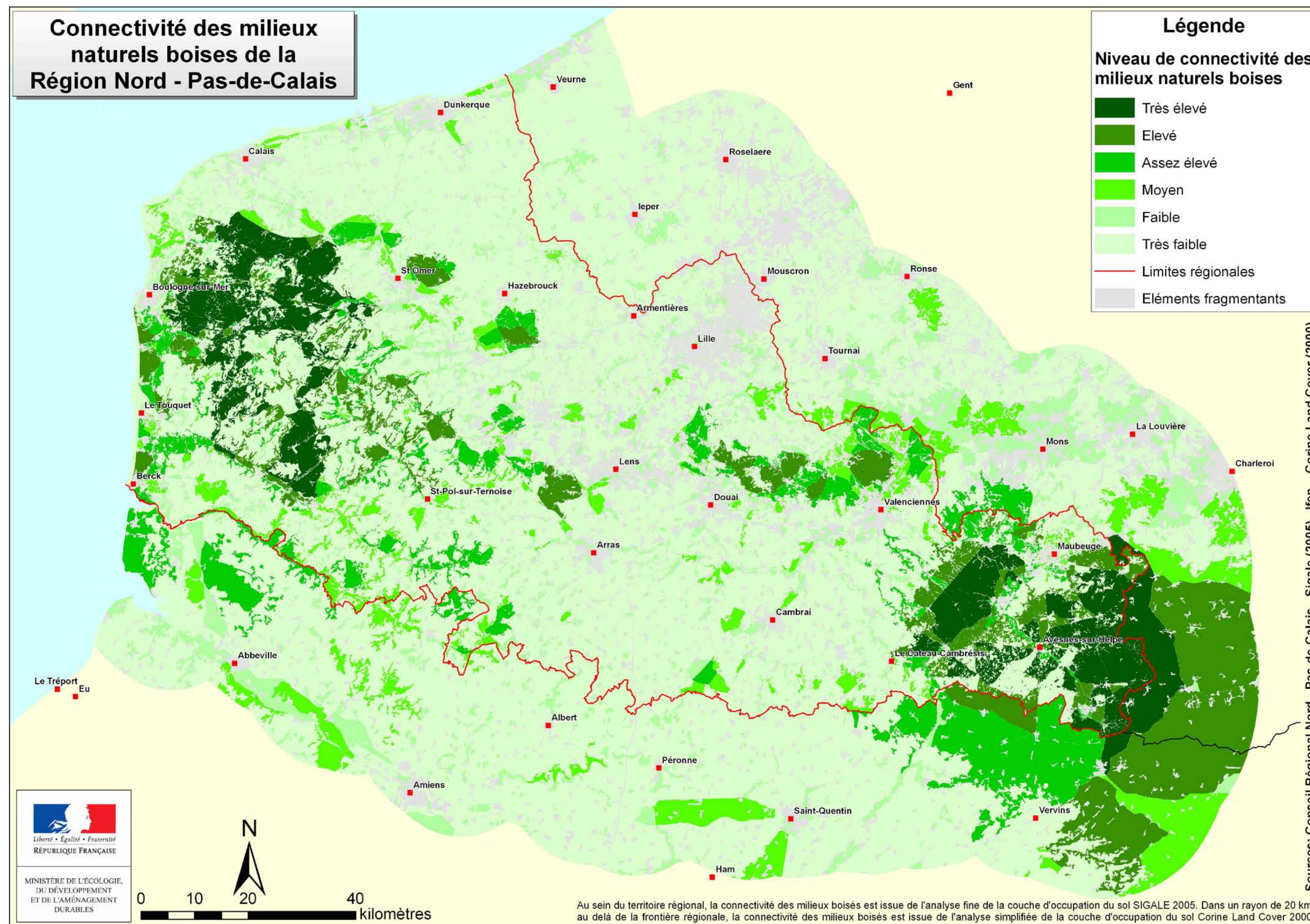
La carte de connectivité globale du Nord – Pas-de-Calais intègre à la fois les cartes de connectivité des milieux naturels boisés, ouverts et humides. L'interprétation qui en découle recoupe donc les explications formulées pour chacun des types de connectivité considérés indépendamment. Ainsi, les secteurs les mieux connectés sont les mêmes que ceux mis en évidence sur les cartes précédentes. Toutefois, selon la superposition ou non de niveaux de connectivité élevés pour les différents types de milieux naturels, des nuances peuvent être observées.

Ainsi, les espaces naturels de connectivité globale très élevée sont plus restreints car cela suppose qu'ils soient très bien connectés simultanément au trois grands types de milieux. Précisons que ces conditions sont principalement réunies dans le secteur de l'Avesnois, dans les vallées de la Canche et de l'Authie, le marais audomarois et au niveau de quelques parcelles de prairie du Boulonnais.

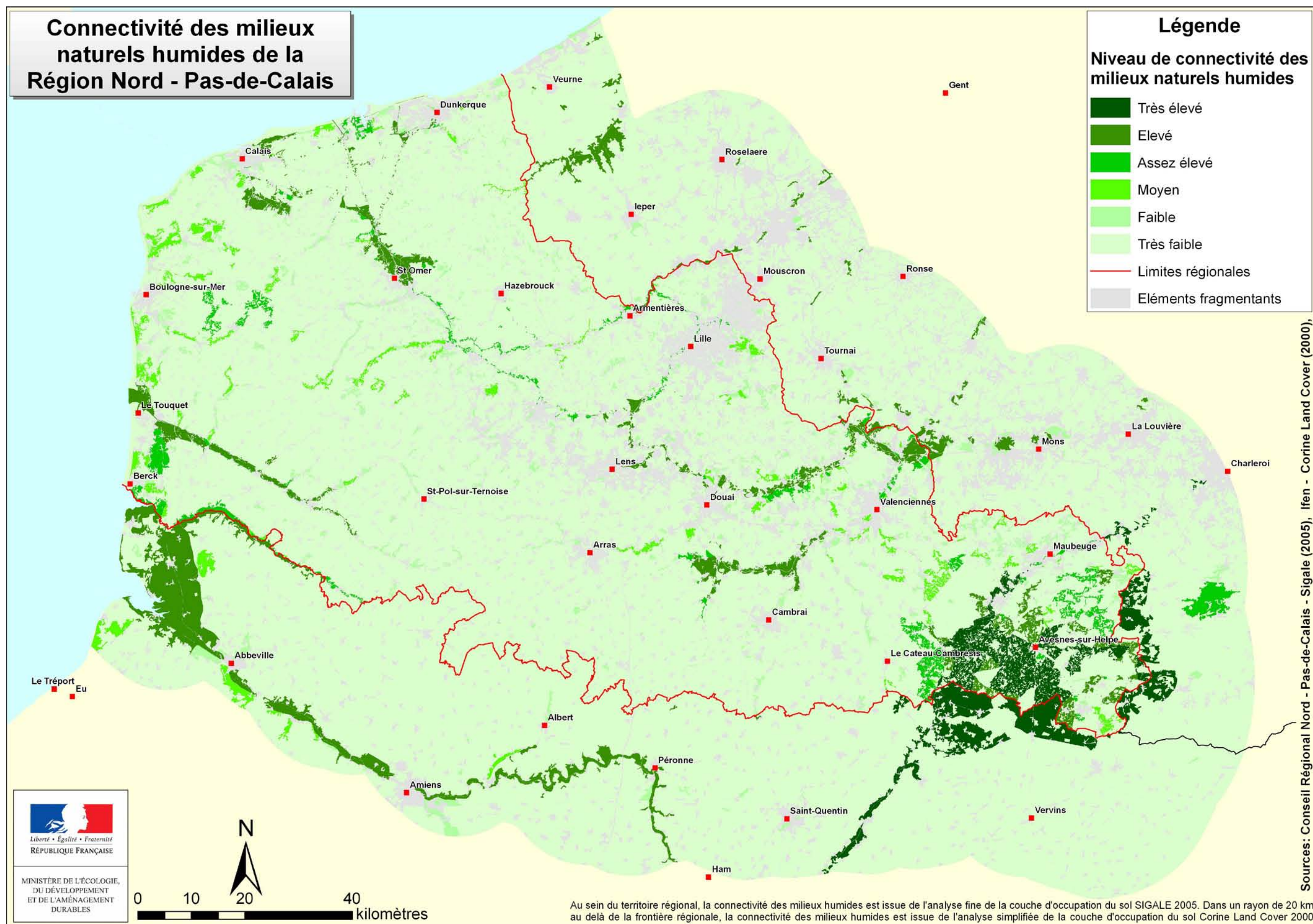
Compte tenu de leur niveau de connectivité globale très élevée, les vallées de la Canche et de l'Authie forment les corridors biologiques multifonctionnels les plus fonctionnels de la région.



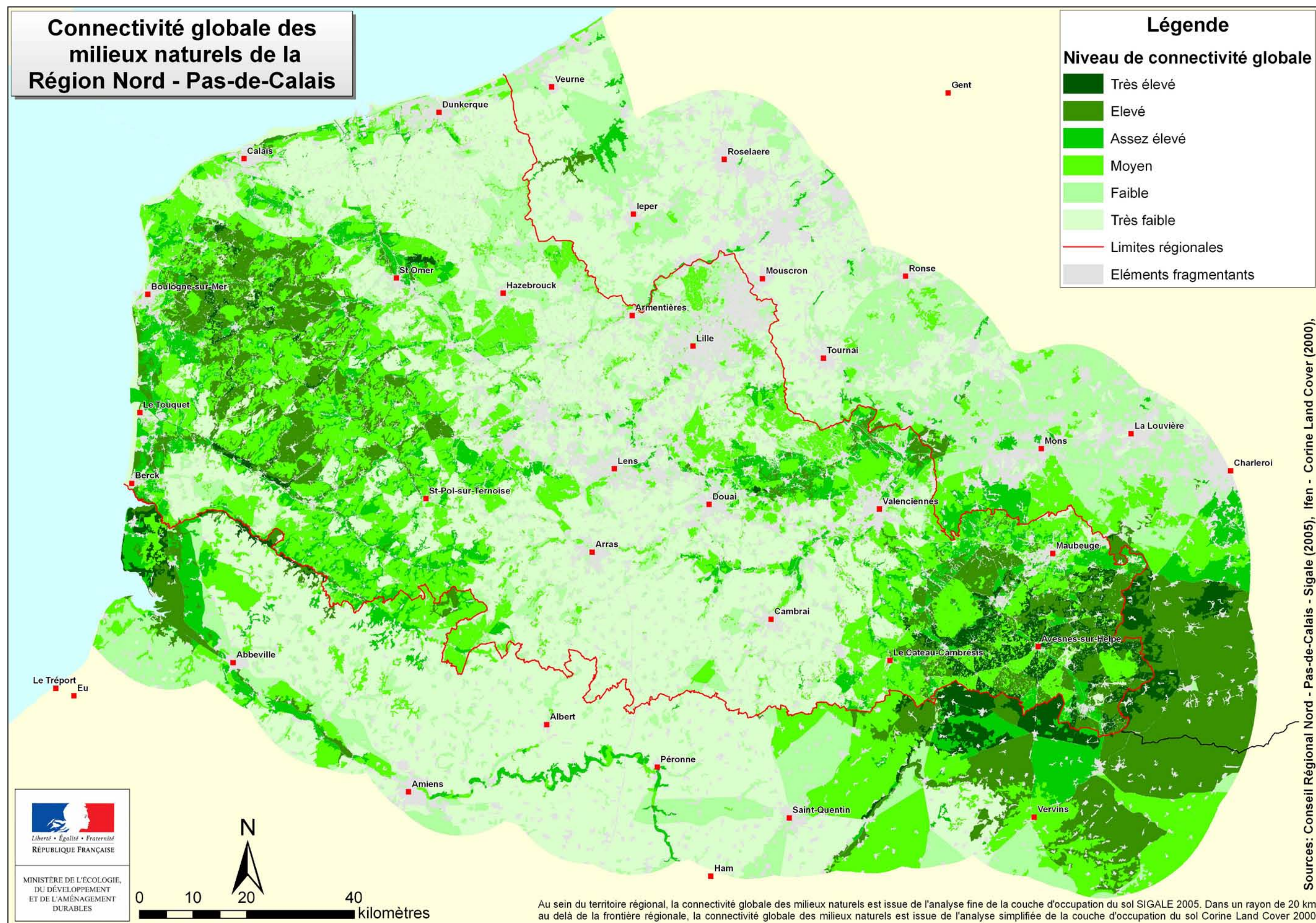
Carte 11 : Connectivité des milieux naturels ouverts du Nord – Pas-de-Calais



Carte 12 : Connectivité des milieux forestiers du Nord – Pas-de-Calais



Carte 13 : Connectivité des milieux humides du Nord – Pas-de-Calais



Carte 14 : Connectivité globale des milieux naturels du Nord – Pas-de-Calais

4.4. ANALYSE DE L'HETEROGENEITE DES MILIEUX

4.4.1. Méthode de calcul de l'hétérogénéité

Rappelons que l'hétérogénéité des milieux est un critère permettant de **mettre en valeur les zones d'écotone et la mosaïque des milieux**, et, par conséquent, la biodiversité locale des paysages et des écosystèmes. L'évaluation de ce critère est notamment nécessaire pour **prendre en compte les espèces typiques des zones de contact (écotones) entre deux milieux différents**. Il a ainsi été montré que ces milieux de transition permettaient le développement d'une flore et d'une faune typiques. Il s'agit notamment des espèces situées entre un milieu ouvert et un milieu forestier (espèces des lisières forestières) ou des espèces dont les phases du cycle vital se déroulent dans des habitats complémentaires (Amphibiens qui hibernent en milieu forestier, se reproduisent dans les zones humides et estivent en milieu prairial).

Aucun autre indice ne permettait réellement d'évaluer les potentialités biologiques liées à la structuration du paysage (mosaïque).

D'autre part, du point de vue de l'écologie du paysage, l'hétérogénéité des milieux fournit une indication sur le fonctionnement écosystémique des paysages. Ainsi, la diversité des milieux en contact au sein d'un territoire rythme le paysage et lui confère un fonctionnement écologique particulier.

L'hétérogénéité peut être considérée à deux échelles :

- l'échelle intra-parcellaire définit l'hétérogénéité des milieux au sein d'un polygone. Compte tenu des informations disponibles pour cette étude, il n'était pas possible de distinguer la mosaïque interne aux polygones définis dans le cadre de la nomenclature de SIGALE®,
- l'échelle inter-parcellaire prend en compte l'hétérogénéité des milieux entre les différents polygones à l'échelle du paysage. C'est donc celle-ci que nous avons retenue pour notre analyse.

D'un point de vue technique, **nous avons considéré que l'hétérogénéité d'un polygone correspondait au nombre de milieux différents avec lequel il était en contact direct**. Il en résulte que, plus le nombre de milieux en contact est élevé, plus l'hétérogénéité est forte et plus la biodiversité locale est potentiellement importante (et inversement). Dans cette optique **un nouveau regroupement des types d'occupation du sol de la nomenclature de SIGALE® a été opéré** (voir le Tableau 7, ci-après). Ce nouveau regroupement, moins réducteur que ceux effectués dans le cadre de l'évaluation des indices de connectivité et de surface – compacité, permet de regrouper les espaces susceptibles d'accueillir une faune et flore très proches. Ici, le regroupement permet d'obtenir 35 types d'occupation du sol distincts.

Par la suite, nous nommerons « couche regroupée » la couche d'occupation du sol issue des regroupements de postes d'occupation du sol consignés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Regroupement des postes d'occupation du sol de SIGALE® pour le calcul de l'indice d'hétérogénéité

Regroupement	Occupation du sol de SIGALE®
Affleurements rocheux, falaises	AFFLEUREMENTS ROCHEUX, FALAISES
Broussailles sur dunes	BROUSSAILLES SUR DUNES
Campings, Cimetières, Equipements sportifs	CAMPINGS, CARAVANINGS CIMETIERES EQUIPEMENTS SPORTIFS ET DE LOISIRS
Carrières	CARRIERES
Conifères sur dunes	CONIFERES SUR DUNES
Coupes forestières anciennes	COUPES ANCIENNES
Coupes forestières récentes	COUPES FORESTIERES RECENTES
Cours d'eau et voies d'eau	COURS D'EAU ET VOIES D'EAU
Cultures annuelles	CULTURES ANNUELLES
Dunes blanches	DUNES BLANCHES
Dunes grises	DUNES GRISES
Espaces verts urbains	ESPACES VERTS URBAINS ET PERIURBAINS
Estuaires	ESTUAIRES
Feuillus sur dunes	FEUILLUS SUR DUNES
Forêts de conifères	FORETS DE CONIFERES
Forêts de feuillus	FORETS DE FEUILLUS
Friches industrielles, espaces en friche	FRICHES INDUSTRIELLES ESPACES EN FRICHE
Golfs, Aéroports	AEROPORTS, AERODROMES GOLFS
Grands équipements urbains	AUTRES EMPRISES PUBLIQUES AXES FERROVIAIRES PRINCIPAUX ET ESPACES ASSOCIES AXES ROUTIERS PRINCIPAUX ET ESPACES ASSOCIES CHANTIERS DECHARGES EMPRISES COMMERCIALES EMPRISES HOSPITALIERES EMPRISES INDUSTRIELLES EMPRISES SCOLAIRES ET/OU UNIVERSITAIRES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES ZONES DE STOCKAGE
Habitat résidentiel	HABITAT MINIER HABITAT RESIDENTIEL
Habitat rural	HABITAT RURAL
Landes arbustives	LANDES ARBUSTIVES
Maraîchage, jardins ouvriers	JARDINS OUVRIERS MARAICHAGES, SERRES
Marais intérieurs ou maritimes	MARAI INTERIEURS MARAI MARITIMES
Mer et océan	MER ET OCEAN
Pelouses	PELOUSES
Peupleraies	PEUPLERAIES PEUPLERAIES RECENTES
Plans d'eau	PLANS D'EAU
Prairies naturelles permanentes	PRAIRIES: NATURELLES, PERMANENTES
Reboisements récents	REBOISEMENTS RECENTS
Sable, Plages	SABLE/PLAGES

Regroupement	Occupation du sol de SIGALE®
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	SYSTEMES CULTURAUX ET PARCELLAIRES COMPLEXES
Terrils	TERRILS
Urbain dense	HABITAT COLLECTIF HAUT
	URBAIN CONTINU DENSE
Vergers et petits fruits	VERGERS ET PETITS FRUITS

Comme pour le calcul de la connectivité ou de la surface - compacité, **quatre sous-indices successifs d'hétérogénéité ont été évalués selon le niveau de découpage par les voies de communication fragmentantes.**

Dans un premier temps la couche d'occupation du sol regroupée est découpée uniquement par les voies de communication de niveau 1 (voir le Tableau 3). Pour chaque polygone de cette couche, nous avons ensuite déterminé le nombre de types de regroupements de milieux adjacents différents. Ainsi, selon le nombre de regroupements de milieux adjacents différents chaque polygone prend une valeur théorique comprise entre 0 et 25. Précisons **qu'à partir du moment où deux groupes de milieux sont séparés ou découpés par une voie de communication fragmentante, ceux-ci ne sont plus considérés comme adjacents.**

Une répartition de ces valeurs en cinq classes, grâce aux seuils de Jenks, permet ensuite d'obtenir pour chaque regroupement un sous-indice d'hétérogénéité de niveau 1, compris entre 1 et 5. Le groupe « Cultures annuelles » est d'emblée exclu de la répartition de l'indice en cinq classes de valeur.

Compte tenu de la très grande taille des polygones de cultures annuelles, ceux-ci possèdent quasiment toujours un indice d'hétérogénéité maximal. Du point de vue de l'écologie du paysage, **les cultures annuelles constituent ici la matrice de l'aire d'étude.** Afin de ne pas biaiser la perception des variations de l'hétérogénéité réelle des milieux de l'aire d'étude nous avons donc **choisi de ne pas tenir compte de ces milieux pour l'évaluation de l'hétérogénéité.**

Après découpage successif de la couche d'occupation du sol regroupée par les voies de communication fragmentantes de niveaux 2, 3 et 4, une démarche analogue permet d'évaluer les sous-indices d'hétérogénéité de niveaux 2, 3 et 4.

Les différents niveaux d'hétérogénéité obtenus pour chaque polygone représentant un regroupement d'habitats ont ensuite été réattribués aux polygones sous-jacents de la couche d'occupation du sol de SIGALE® découpée par l'ensemble des voies de communications fragmentantes.

Les quatre sous-indices d'hétérogénéité sont finalement additionnés de manière à obtenir un indice brut d'hétérogénéité globale. Après avoir exclu les notes d'hétérogénéité des cultures annuelles et des occupations du sol de SIGALE® dont la

naturalité est considérée comme nulle (voir le Tableau 4), la répartition des valeurs de l'indice brut en 5 classes grâce aux seuils de Jenks permet d'obtenir un indice synthétique d'hétérogénéité globale compris entre 1 et 5. Une valeur nulle est alors attribuée aux polygones de milieux urbanisés dont la naturalité est nulle et une valeur de 1 est affectée aux polygones de cultures annuelles.

4.4.2. Représentation cartographique de l'hétérogénéité

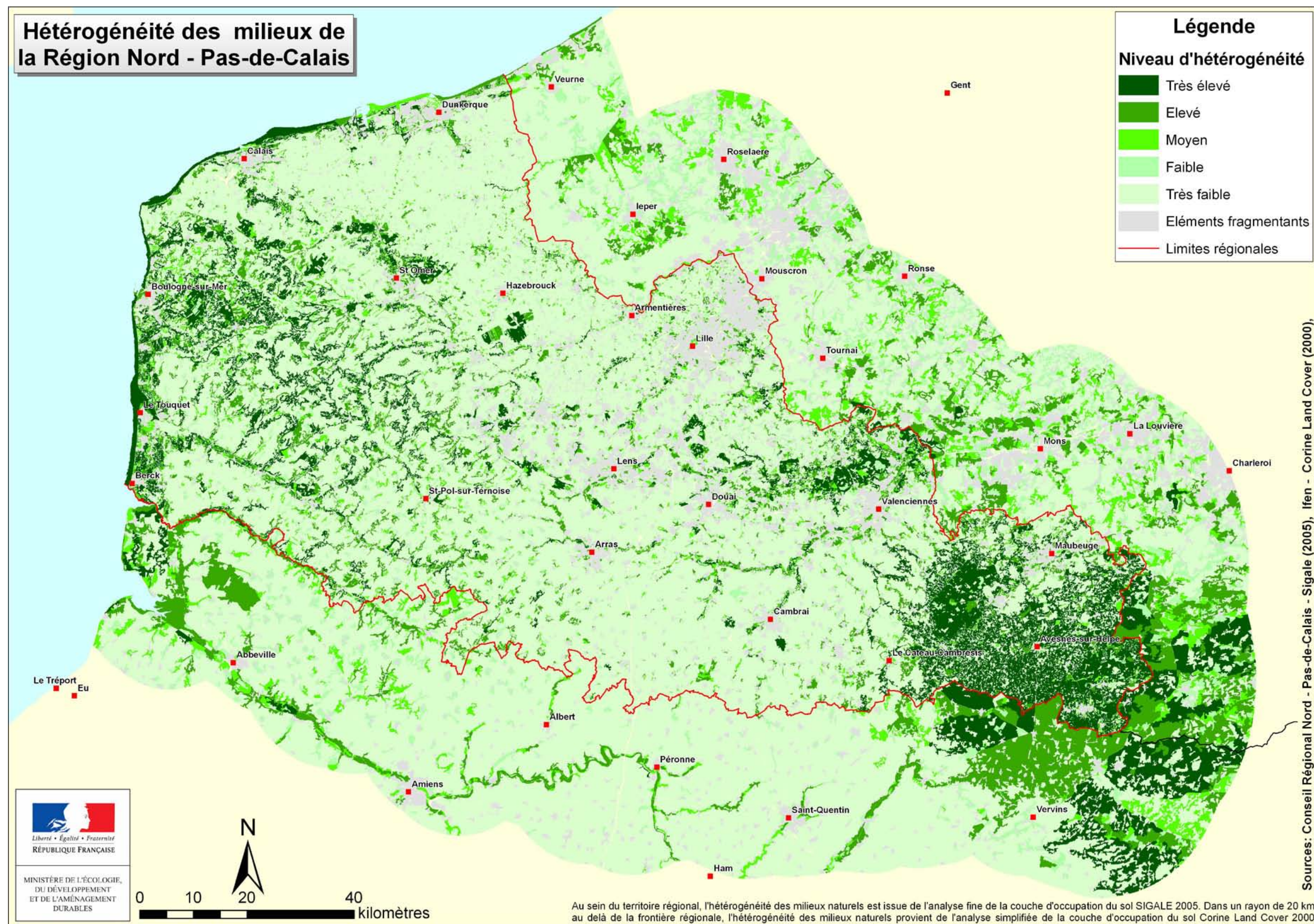
L'analyse de l'hétérogénéité des milieux de la zone d'étude a fait l'objet d'une cartographie.

Carte 15	Hétérogénéité des milieux du Nord – Pas-de-Calais
----------	---

4.4.3. Interprétation de la carte d'hétérogénéité

L'indice d'hétérogénéité met en évidence les territoires sur lesquels se concentrent de nombreux types d'occupations du sol et notamment des espaces naturels variés intégrant à la fois des milieux ouverts, des milieux boisés et des zones humides. Ces territoires sont favorables aux espèces ayant besoin d'espaces naturels différents pour accomplir leur cycle de développement (Par exemple, les Amphibiens) ou alors des espèces fréquentant préférentiellement les lisières (par exemple, certains Chiroptères).

Trois secteurs principaux du Nord – Pas-de-Calais se démarquent par leur hétérogénéité moyenne élevée à très élevée. Il s'agit de l'Avesnois, de la Plaine de la Scarpe et d'une vaste zone intégrant le Boulonnais, la façade littorale ouest, l'ouest de l'Artois et les vallées de la Canche et de l'Authie. Notons que l'hétérogénéité de cette dernière zone est plus diffuse du fait du mitage des espaces naturels par de nombreuses parcelles de cultures intensives relativement étendues. Outre ces trois grands secteurs la carte d'hétérogénéité met également en évidence les espaces naturels de l'Audomarois, des marais de Guînes et Ardres, du littoral de la Mer du Nord, de la vallée de la Sensée, de la forêt de Nieppe et du Mélantois.



Carte 15 : Hétérogénéité des milieux du Nord – Pas-de-Calais

4.5. ANALYSE DES POTENTIALITES ECOLOGIQUES GLOBALES DES MILIEUX

4.5.1. Méthode de calcul des potentialités écologiques globales des milieux

L'analyse des potentialités écologiques des milieux a été établie à partir de la **synthèse des quatre indices (soit cinq critères) calculés précédemment** :

- indice de connectivité ;
- indice de naturalité estimée ;
- indice combinant la compacité et la surface ;
- indice d'hétérogénéité.

Afin d'avoir une représentativité équilibrée de ces quatre indices dans la note finale de chaque polygone de la couche « milieux », la multiplication de ceux-ci a été retenue pour évaluer les potentialités écologiques globales des milieux naturels.

Dans le but de ne pas annuler totalement l'indice des potentialités écologiques des espaces naturels dont la connectivité globale est nulle, l'indice de connectivité a été augmenté d'un point. Effectivement, dans le cas contraire, les espaces naturels isolés non connectés à des milieux naturels boisés, ouverts ou humides auraient un indice de potentialité écologique global nul au même titre que les espaces urbanisés les plus artificialisés.

En outre, l'augmentation d'un point de l'indice de connectivité permet d'augmenter légèrement le poids de cet indice fondamental dans l'évaluation des potentialités écologiques des milieux. Rappelons par ailleurs que la connectivité globale des milieux est le seul paramètre issu de l'agrégation de trois indices et douze sous-indices.

En résumé :

$I_{\text{Potentialité écologique}} = (I_{\text{Connectivité}} + 1) \times I_{\text{Naturalité}} \times I_{\text{Compacité-Surface}} \times I_{\text{Hétérogénéité}}$

Cette méthode permet d'obtenir une large palette de niveaux de potentialités écologiques globales des milieux puisque les notes obtenues varient théoriquement de 0 (note minimale) à 750 (note maximale).

Afin de faciliter la lecture de la carte des potentialités écologiques globales des milieux, les valeurs obtenues par cette multiplication des indices ont été ensuite classées en six niveaux⁶, par la méthode des seuils de Jenks :

- potentialités écologiques des milieux très faibles (niveau 1) ;
- potentialités écologiques des milieux faibles (niveau 2) ;
- potentialités écologiques des milieux moyennes (niveau 3) ;
- potentialités écologiques des milieux assez élevées (niveau 4) ;
- potentialités écologiques des milieux élevées (niveau 5) ;
- potentialités écologiques des milieux très élevées (niveau 6).

En outre, les milieux très artificialisés dont l'indice de naturalité a été estimé comme nul ont *de facto* un indice de potentialité écologique global nul. Ces milieux dont les potentialités écologiques sont considérées comme quasiment nulles (niveau 0) forment une classe à part représentée en blanc sur la carte des potentialités écologiques globales des milieux.

Il est important de rappeler que l'estimation des potentialités écologiques des milieux et notamment les six classes créées ici ne sont **applicables qu'à l'aire d'étude définie**. Il s'agit bien ici de comparer les potentialités écologiques des différents milieux identifiés au sein de cette zone d'étude. Tout changement d'échelle, tant à la hausse qu'à la baisse, rendrait caducs tous les indices et les calculs inhérents.

4.5.2. Représentation cartographique des potentialités écologiques globales des milieux

L'indice synthétique des potentialités écologiques globales des milieux a fait l'objet de deux cartographies distinctes. La première présente les potentialités écologiques régionales détaillées en six niveaux de valeurs. La seconde fournit une analyse simplifiée des potentialités écologiques globales en trois classes de valeurs uniquement.

Carte 16	Analyse globale des potentialités écologiques des milieux naturels
Carte 17	Analyse globale simplifiée des potentialités écologiques des milieux naturels

⁶ Les espaces dont l'indice des potentialités écologiques est nul ont été exclus de cette classification. Ils font l'objet d'une classe particulière détaillée plus loin.

4.5.3. Interprétation de la carte des potentialités écologiques globales des milieux

Sans surprise, la carte des potentialités écologiques globales du Nord – Pas-de-Calais met en relief les différents espaces naturels régionaux. Toutefois, l'intérêt de cette carte réside essentiellement dans la mise en évidence des niveaux de potentialités écologiques relatifs de ces espaces et des nombreuses parcelles qui les composent.

Ainsi, dans la continuité des Ardennes, le bocage et les forêts de l'Avesnois apparaissent nettement comme les espaces naturels régionaux les plus fonctionnels. De vastes espaces continus y sont couverts par le niveau de potentialité écologique le plus élevé. Dans ce secteur la matrice paysagère est représentée par des espaces prairiaux. Par conséquent, les éléments anthropiques guère développés et les quelques cultures intensives isolées affectent peu la fonctionnalité écologique des espaces naturels. Seul le secteur de la basse vallée de la Sambre, héritant d'une urbanisation et industrialisation ancienne, recèle des potentialités écologiques moins importantes.

Les autres espaces naturels régionaux dont les potentialités écologiques apparaissent comme maximales ont une taille moindre et sont plus isolés au sein du territoire régional. Ceux-ci sont représentés principalement par les plus vastes parcelles forestières. Ainsi, certaines portions des forêts de Saint-Amand, de Marchiennes, de Boulogne, de Desvres, de Nieppe et de Clairmarais comptent parmi les milieux naturels dont les potentialités écologiques sont les plus élevées.

Avec ses différents massifs forestiers et les espaces bocagers qui les entourent, le territoire du Boulonnais se démarque du fait de ses potentialités écologiques globalement élevées. Toutefois, le mitage des espaces naturels par les cultures intensives et secondairement les éléments anthropiques y est bien supérieur à l'Avesnois. Malgré cela la fonctionnalité écologique de ce territoire semble encore assez bien préservée. Par ailleurs, en dépit de l'autoroute A16, la continuité des espaces naturels du Boulonnais avec ceux de la bande littorale paraît toujours assurée.

Bien qu'assez fortement impactés par les éléments anthropiques, les forêts, prairies et zones humides de la plaine de la Scarpe et de l'Escaut, depuis le Douaisis jusqu'à la frontière belge, forment également un ensemble assez continu d'espaces naturels dont les potentialités écologiques sont élevées.

La mosaïque de milieux dunaires, estuariens, forestiers et humides de la bordure littorale constitue l'un des pôles d'espaces naturels les plus fonctionnels de la région. Ces espaces naturels forment une bande plus ou moins continue de potentialité écologique moyenne à très élevée depuis la frontière belge jusqu'à la baie d'Authie. Cette bande est toutefois interrompue au niveau des principales villes côtières telles que Dunkerque, Calais et Boulogne. Au niveau de la façade littorale Ouest, la bande d'espaces naturels littoraux est plus large. Par conséquent, les connexions biologiques avec les espaces naturels à l'intérieur des terres permettent d'assurer la continuité et la fonctionnalité écologiques des milieux naturels en arrière des villes de Boulogne, Hardelot, Le Touquet ou Berck.

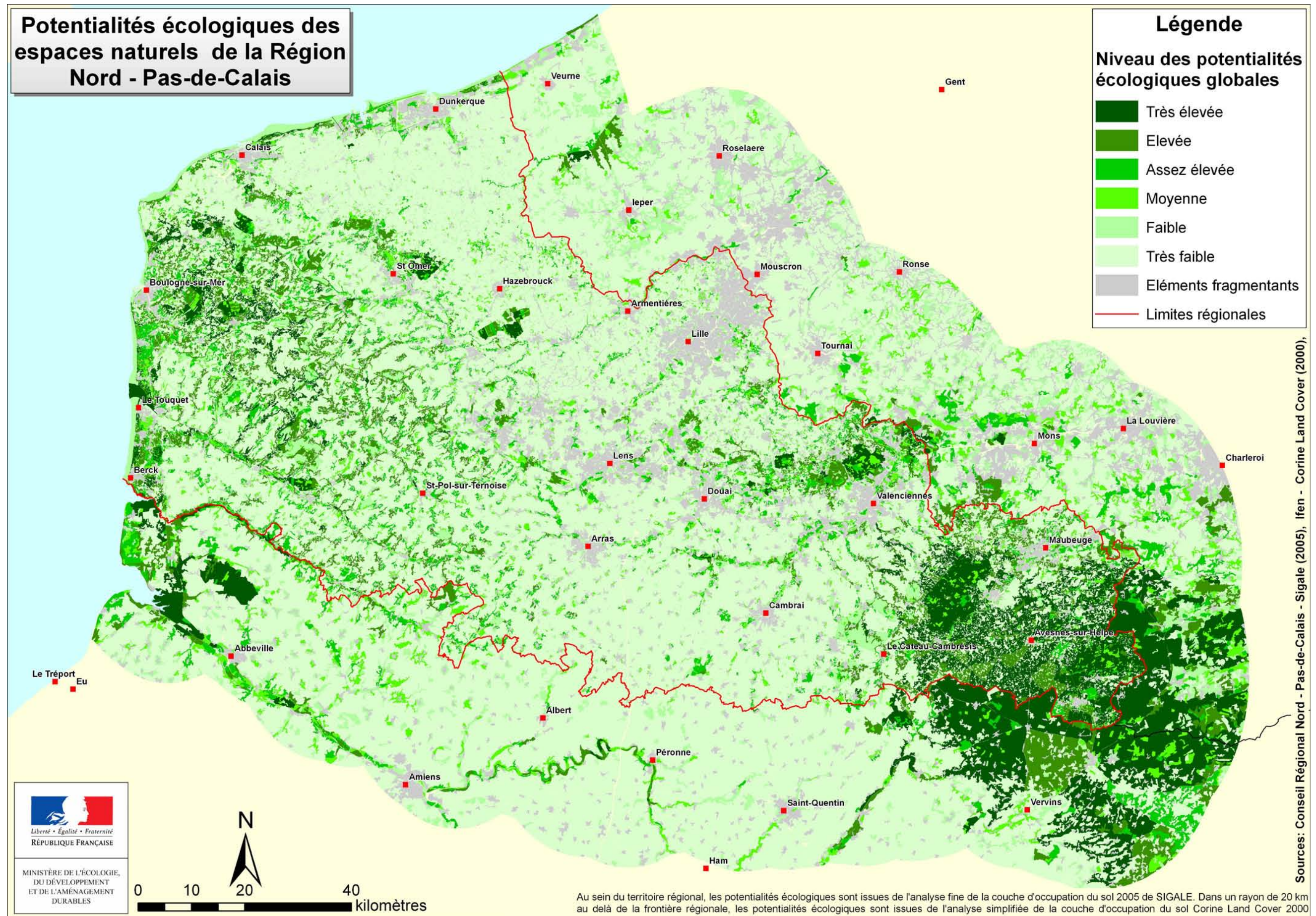
A l'arrière de la façade littorale Ouest, les plateaux de l'Artois abritent un réseau d'espaces naturels encore très fonctionnel. En dépit du mitage important de ces espaces par les cultures intensives, les boisements et prairies des fonds de vallées et des ceintures bocagères occupent des surfaces conséquentes et sont relativement bien connectés entre eux. Ainsi, bien que diffus les espaces naturels de l'Artois recèlent des potentialités écologiques globalement élevées. En outre, grâce au dense réseau de milieux naturels ouverts, de zones humides et de boisements de la région boulonnaise et des vallées de la Canche et de l'Authie, ces espaces naturels sont bien connectés à ceux de la bande littorale. Ainsi, la carte des potentialités écologiques du Nord – Pas-de-Calais fait apparaître les vallées de la Canche et de l'Authie comme des corridors écologiques majeurs à l'échelle régionale.

Outre les différents ensembles naturels précités quatre autres secteurs plus restreints de la région sont mis en évidence du fait de leurs potentialités écologiques importantes. Il s'agit :

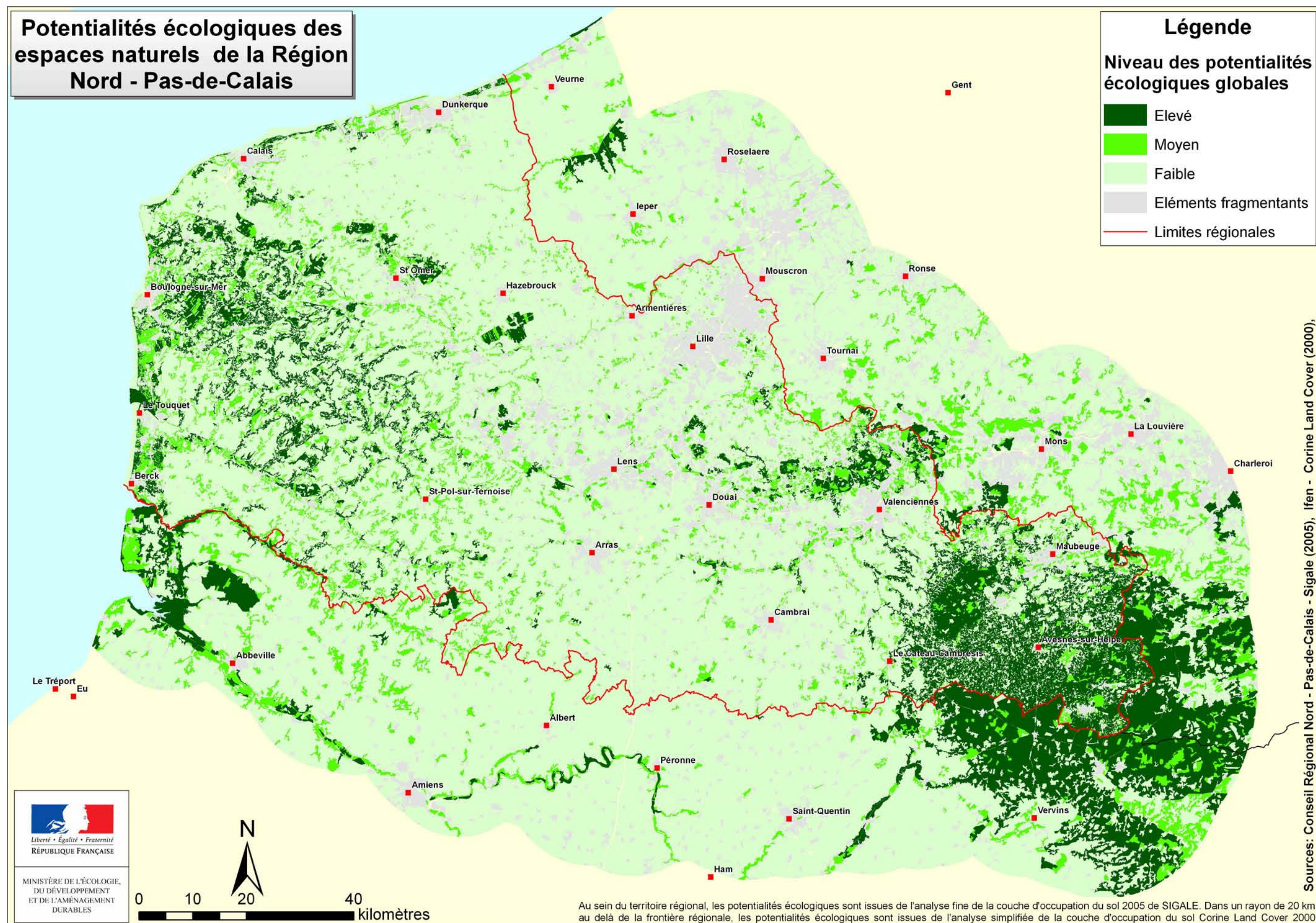
- du marais Audomarois et des massifs boisés attenants (Forêt de Clairmarais, Forêt d'Eperlecques et Bois de Watten),
- de la Forêt de Nieppe,
- des vallées de l'Escaut et de ses affluents (dont la Sensée, la Rhonelle, l'Ecaillon, la Selle...)
- des marais d'Ardres et de Guînes

Hormis les ensembles d'espaces naturels déjà décrits, peu d'autres espaces naturels régionaux se démarquent du fait de leurs potentialités écologiques élevées. Effectivement, ceux-ci sont généralement trop petits et isolés. Ils sont donc beaucoup moins fonctionnels d'un point de vue écologique. Ainsi, le Nord – Pas-de-Calais est coupé en deux par une large bande fortement anthropisée, dominée par les cultures intensives et pauvre en espaces naturels de forte potentialité écologique. Cette bande qui s'étend depuis Dunkerque jusqu'à Péronne en Picardie, en passant par la Flandre intérieure, la Plaine de la Lys, le Bassin Minier et l'Arrageois, limite fortement la connexion biologique entre les espaces naturels de la partie Ouest du Nord – Pas-de-Calais et ceux de sa partie Est.

Dans le but d'améliorer le fonctionnement écologique régional et de préserver la biodiversité sur le long terme, il apparaît donc indispensable de renforcer cette connexion. Par conséquent, les quelques espaces naturels de potentialité écologique moyenne à assez élevée qui s'étendent au sein de la bande précitée devraient faire l'objet de mesures urgentes de protection et de renforcement au risque de s'effriter un peu plus du fait de l'urbanisation. Ainsi dans le cadre, de la politique régionale de trame verte et bleue, la Vallée de la Sensée, la Vallée de la Scarpe et les espaces naturels du Bassin Minier apparaissent notamment comme des voies privilégiées et prioritaires de restauration de la connexion biologique régionale Est-Ouest.



Carte 16 : Analyse globale des potentialités écologiques des espaces naturels du Nord – Pas-de-Calais



Carte 17 : Analyse globale simplifiée des potentialités écologiques des espaces naturels du Nord – Pas-de-Calais

5. IMPLICATIONS OPERATIONNELLES DE LA CARTE DES POTENTIALITES ECOLOGIQUES REGIONALES

Outre la simple mise en évidence des potentialités écologiques relatives des espaces naturels, la carte des potentialités écologiques du Nord – Pas-de-Calais et plus généralement l'ensemble de la réflexion développée dans ce rapport doivent permettre **d'orienter la politique régionale de préservation de l'environnement**.

En se fondant sur une analyse systématique fine, scientifique et standardisée des espaces naturels et des éléments anthropiques, la présente étude permet une nouvelle appréhension des enjeux écologiques régionaux.

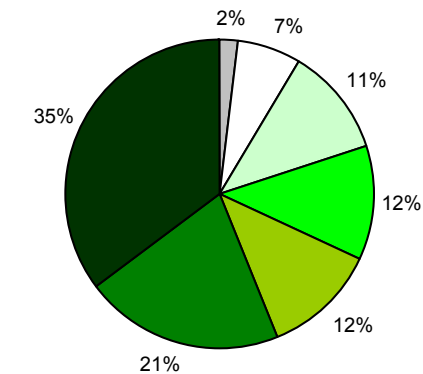
Cette étude vient donc compléter les outils existants pour la préservation du patrimoine naturel régional. Jusqu'à présent les outils utilisés à cette fin étaient fondés essentiellement sur la présence d'habitats et d'espèces végétales et animales remarquables. Ils ne prenaient donc pas réellement en compte la fonctionnalité écologique des espaces naturels. Or, comme nous l'avons évoqué dans le deuxième chapitre du présent rapport, le critère de fonctionnalité écologique est indispensable à la pérennité de ces mêmes habitats naturels, espèces floristiques et faunistiques. Rappelons que **la fragmentation des habitats et des populations peut être considérée comme la principale cause d'érosion de la biodiversité à l'échelle mondiale** (Sommet de la Terre, Rio, 1992). Compte tenu de la très forte artificialisation du territoire, cela paraît donc d'autant plus vrai dans le Nord – Pas-de-Calais.

En proposant une stratégie régionale de restauration d'un réseau de cœurs de nature et de corridors écologiques, le schéma de Trame verte et bleue du Nord – Pas-de-Calais fournit une première réponse au problème d'érosion de la biodiversité du fait de la fragmentation et de l'isolement des habitats naturels. Toutefois, la méthode d'élaboration du réseau d'espaces naturels mis en exergue dans **la Trame Verte et Bleue régionale, repose pour beaucoup sur les périmètres de protection et d'inventaire existants** ainsi que sur une vision naturaliste intuitive du fonctionnement écologique régional.

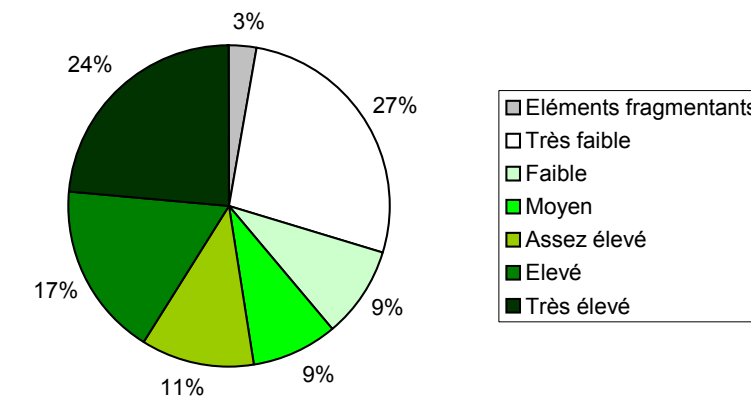
Ainsi, la vocation de cette étude des potentialités écologiques est bien **d'apporter une approche nouvelle des enjeux écologiques régionaux**. Cette approche doit être considérée comme **complémentaire aux outils existants** : périmètres de protection et d'inventaire, schéma de trame verte et bleu régional...

Toutefois, si la présente étude des potentialités écologiques régionales et les périmètres de protection et d'inventaire constituent des outils complémentaires, ceux-ci sont bien souvent fortement liés. Il est donc intéressant de constater qu'**une grande partie des périmètres de protection et d'inventaire de la région recouvrent les espaces naturels dont les potentialités écologiques calculées sont les plus élevées** (voir la Carte 18). Réciproquement, les périmètres de protection et d'inventaire sont dominés par des espaces dont les potentialités écologiques calculées sont élevées (voir la Figure 16, ci-contre). Ainsi, à travers cette comparaison, il apparaît que de nombreux espaces dont les potentialités écologiques calculées sont élevées recèlent un réel intérêt écologique.

Périmètres de protection



ZNIEFF de type I



Périmètres d'inventaire

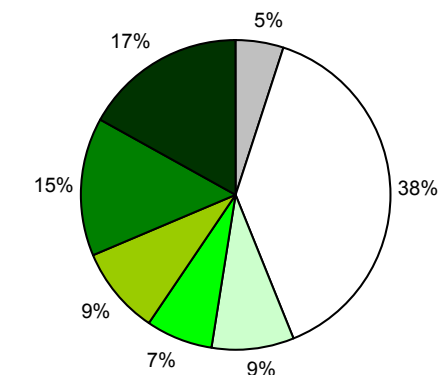


Figure 16 : Proportion des différents niveaux de potentialité écologique au sein des périmètres de protection et d'inventaires du Nord – Pas-de-Calais

Par conséquent, cette comparaison permet de mettre en évidence la pertinence de la modélisation développée. Une gradation est néanmoins perceptible selon qu'il s'agisse uniquement des périmètres de protection, des ZNIEFF de type 1 ou de l'ensemble des périmètres d'inventaire. Ainsi, les zones de protection sont plus strictes et se limitent de façon très précise aux espaces naturels remarquables du fait de leurs habitats, de leur flore et/ou de leur faune. A l'opposé, les zones d'inventaires, non contraignantes, englobent de plus larges territoires. Elles intègrent une plus grande proportion d'espaces artificialisés (éléments fragmentants) et d'espaces naturels de moindres potentialités écologiques positionnés en lisière d'espaces naturels centraux de grande qualité.

Carte 18	Analyse croisée des potentialités écologiques calculées et des périmètres de protection et d'inventaire du Nord – Pas-de-Calais
----------	---

La convergence des périmètres de protections et d'inventaires avec une grande partie des espaces naturels dont les potentialités écologiques calculées sont élevées s'explique aisément. De nombreuses espèces animales et végétales rares ou menacées trouvent les conditions de vie ou de survie uniquement dans des espaces naturels encore relativement fonctionnels et dont les potentialités écologiques sont encore élevées. En d'autres termes, les espèces les plus remarquables du Nord – Pas-de-Calais se maintiennent préférentiellement dans les plus vastes ensembles d'espaces naturels, moins impactés par les éléments anthropiques. Il s'agit généralement de grands espaces naturels et/ou d'espaces naturels adjacents complémentaires et diversifiés, à forte naturalité et bien connectés entre eux.

Néanmoins, comme le révèle le Tableau 8, **de nombreuses parcelles d'espaces naturels dont les potentialités écologiques sont élevées ne sont prises en compte par aucun périmètre de protection ou d'inventaire**. Ainsi, près de 15% des espaces naturels de potentialité écologique très élevée et plus de 30% des espaces naturels de potentialité écologique élevée ne sont pris en compte par aucun périmètre de protection ou d'inventaire.

Tableau 8 : Proportion des parcelles de potentialité écologique élevée exclues des périmètres de protection et d'inventaire du Nord – Pas-de-Calais

Niveau de potentialité écologique calculé	Proportion des parcelles exclues des périmètres de protection	Proportion des parcelles exclues des ZNIEFF 1	Proportion des parcelles exclues des périmètres d'inventaire	Proportion des parcelles exclues de l'ensemble des périmètres de protection et d'inventaire
Très élevé	83,4 %	43,1 %	14,1 %	13,6 %
Elevé	90,9 %	61,4 %	31,8 %	31,4 %

Si l'on étudie brièvement ces espaces naturels potentiellement intéressants d'un point de vue écologique mais non pris en compte par les différents périmètres de protection et d'inventaire régionaux, on peut distinguer deux cas de figures. **Dans le premier cas de figure, il s'agit d'espaces naturels dont les potentialités écologiques sont réellement intéressantes** du fait de leur forte naturalité, de leur bonne connectivité avec d'autres milieux naturels adjacents, de leur taille conséquente et/ou de la présence de divers autres espaces naturels complémentaires dans le voisinage. Malgré ces qualités écologiques, ces espaces naturels encore relativement fonctionnels abritent peu d'habitats ou d'espèces remarquables et ils ne sont concernés par aucun périmètre de protection et d'inventaire. Ou alors, il s'agit d'espaces naturels peu prospectés par les naturalistes et dont les richesses biologiques sont encore méconnues. Enfin, il peut s'agir d'espaces naturels dont les richesses biologiques sont connues par les naturalistes mais dont l'intégration au réseau régional des périmètres de protection et d'inventaire n'a pas été réalisée à ce jour pour diverses raisons.

Parmi les espaces naturels régionaux dont les potentialités écologiques sont a priori importantes mais qui ne sont répertoriés par aucun périmètre de protection ou d'inventaire, nous pouvons citer, par exemple :

- le réseau de prairies et boisement de la vallée du Bras de Bronne, affluent de la Canche au Nord-Est de Marles sur Canche ;
- les ceintures bocagères des villages de Bourthes, Bécourt, Senlecques, Campagne-les-Boulonnais, Zoteux et de leurs hameaux, sur les plateaux d'Artois en bordure sud-est du Boulonnais ;
- le réseau de prairies et boisement de la vallée de la Rhonelle et de ses affluents dans le Valenciennois ;
- le maillage bocager, le Bois Robert et les zones humides associées dans les environs d'Avesnes-sur-Helpe ;
- le maillage bocager, les bois et zones humides entre Ferrière-la-Petite et Cousolre dans l'Avesnois.

Dans le second cas de figure, l'exclusion des périmètres de protection et d'inventaire d'espaces naturels dont les potentialités écologiques calculées sont élevées peut être **ponctuellement liée à des biais de la méthode développée**. Dans ce cas, les potentialités écologiques calculées pour certains espaces naturels sont susceptibles d'être surévaluées. Les biais de la méthode peuvent être constatés à diverses étapes de l'évaluation des potentialités écologiques, ils sont principalement :

- une erreur ponctuelle d'appréciation de la naturalité de l'espace naturel du fait des limites de précision de la nature de l'occupation du sol de la couche de SIGALE® ;
- une surévaluation de la connectivité des espaces naturels liée à la sous-estimation des barrières biologiques environnantes ;
- une surévaluation de l'hétérogénéité de l'espace naturel du fait de sa taille importante.

Ainsi, deux espaces naturels régionaux dont les potentialités écologiques calculées paraissent a priori surévaluées peuvent être cités à titre d'exemple et témoigner de biais ponctuels de la méthode développée.

Le premier est représenté par le site des Carrières du Boulonnais et des Carrières de la Vallée Heureuse à proximité de Marquise. Leurs niveaux de potentialité écologique calculés sont très élevés alors qu'il s'agit de carrières encore en exploitation et donc avec des perturbations anthropiques non négligeables sur une grande partie de leur surface. Ici, la surévaluation des potentialités écologiques provient du fait que le poste « carrières » dans la couche d'occupation du sol de SIGALE® regroupe indistinctement les carrières en activité et les carrières dont l'exploitation a cessé. Comme les carrières dont l'exploitation a cessé représente généralement des espaces naturels de grand intérêt biologique, il a été choisi d'inclure les carrières de l'occupation du sol de SIGALE® dans les milieux naturels ouverts et de leur affecter un coefficient de naturalité élevé. Il n'en reste pas moins que les carrières proches de Marquise sont bien connectées à divers autres espaces naturels et présentent donc des indices de connectivité et d'hétérogénéité élevés. Ainsi, à l'issue de leur phase d'exploitation, ces vastes carrières sont susceptibles de devenir des sites naturels d'intérêt écologique majeur à l'échelle régionale.

Le second site exemplaire, dont les potentialités écologiques paraissent surévaluées concerne des pistes d'aéromodélisme situées sur la commune de Saint-Georges-sur-l'Aa (59), sur la rive droite de l'Aa, au Nord de l'autoroute A16. La couche d'occupation du sol de SIGALE® y désigne des « prairies naturelles, permanentes ». Par conséquent, la naturalité et donc les potentialités écologiques globales de cet espace apparaissent surévaluées. Toutefois, la taille importante de la parcelle, sa forte compacité, sa connexion avec l'Aa et divers espaces naturels proches confèrent à ce site des potentialités écologiques malgré tout non négligeables.

Ces exemples mettent bien en évidence les possibilités de biais que peut entraîner la méthode d'évaluation des potentialités écologiques développée. Il apparaît toutefois que ces biais se limitent généralement à un seul des sous-indices calculés. Les incidences de ces biais sur l'indice globale des potentialités écologiques sont donc généralement limitées et sont susceptibles de ne faire varier cet indice que d'un niveau ou tout au plus de deux niveaux de potentialité écologique.

Bien que les erreurs d'appréciation des potentialités écologiques relatives des espaces naturels régionaux semblent marginales et limitées, les exemples de biais de la méthode démontrent qu'il convient de rester vigilant sur l'interprétation des potentialités écologiques de chaque parcelle. Ainsi, un diagnostic écologique approfondi sur le terrain est systématiquement nécessaire pour évaluer précisément l'intérêt écologique d'un site et vérifier ses potentialités en terme de fonctionnalité écologique.

Par ailleurs, **une autre analyse des potentialités écologiques régionales peut être réalisée à travers la superposition des principaux éléments du schéma d'orientation de la trame verte et bleue régionale**, à savoir les cœurs de nature et les corridors écologiques (voir la Carte 19). Cette analyse met en évidence des conclusions similaires à celle des périmètres de protection et d'inventaire. Elle met en évidence **la superposition de la plupart des cœurs de nature et corridors écologiques avec les espaces naturels dont les potentialités écologiques calculées sont élevées**. Toutefois, localement elle révèle que certains espaces naturels de forte potentialité écologique

ne sont pris en compte dans aucun cœur de nature ni corridor. A l'opposé, certains corridors écologiques franchissent de vastes espaces dont les potentialités écologiques sont très faibles.

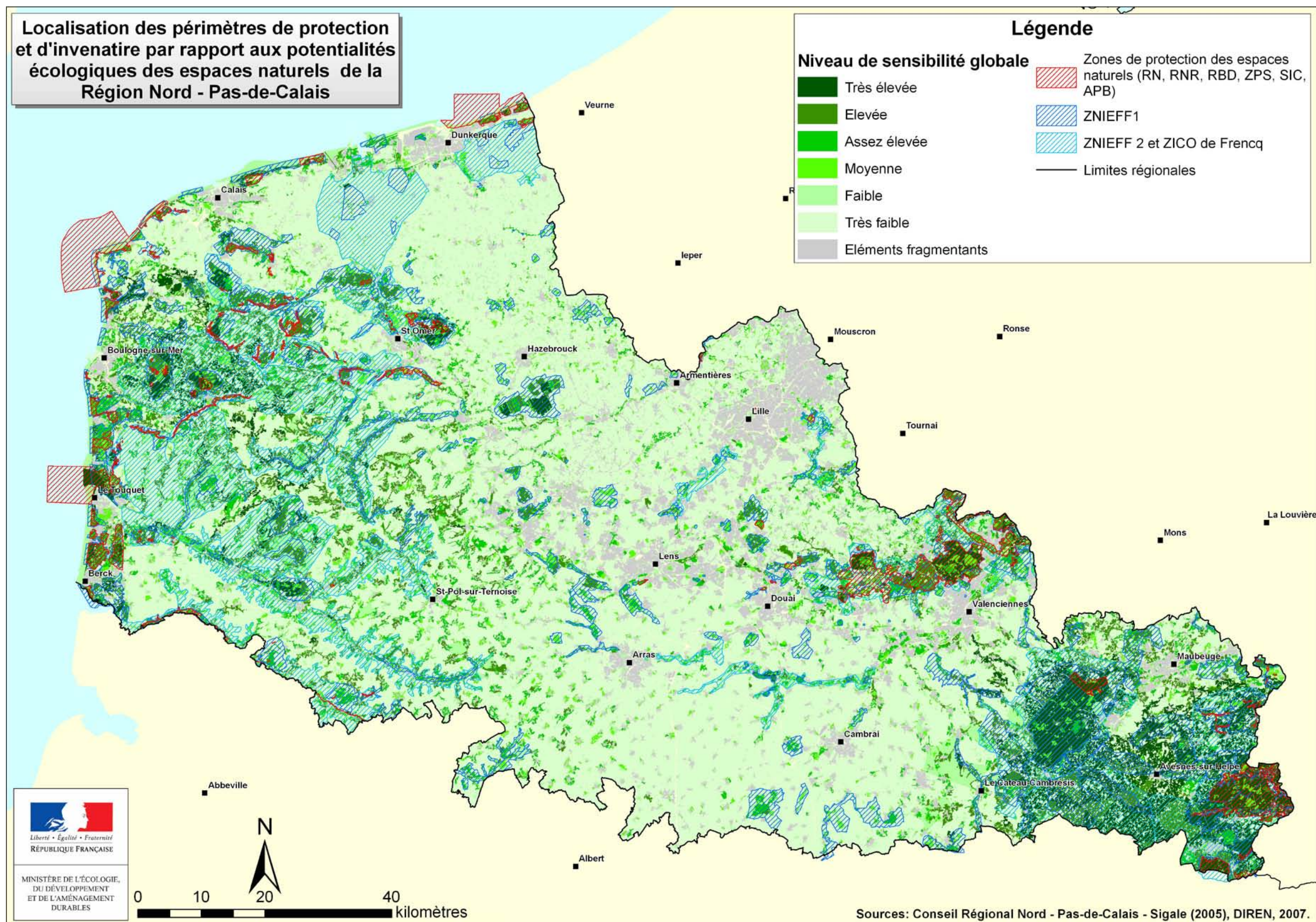
Carte 19	Analyse croisée des potentialités écologiques calculées et des cœurs de nature et corridors écologiques de la Trame Verte et Bleue du Nord – Pas-de-Calais
----------	--

La présente étude et notamment les cartes de synthèse qu'elle propose doivent donc être perçues comme un outil, non infaillible, de reconnaissance et de délimitation des espaces naturels régionaux remarquables du fait de leur potentialités écologiques élevées. Ainsi, dans une optique de conservation de la biodiversité régionale, les espaces naturels qui satisfont l'un des critères mentionnés ci-après doivent faire l'objet d'une attention particulière.

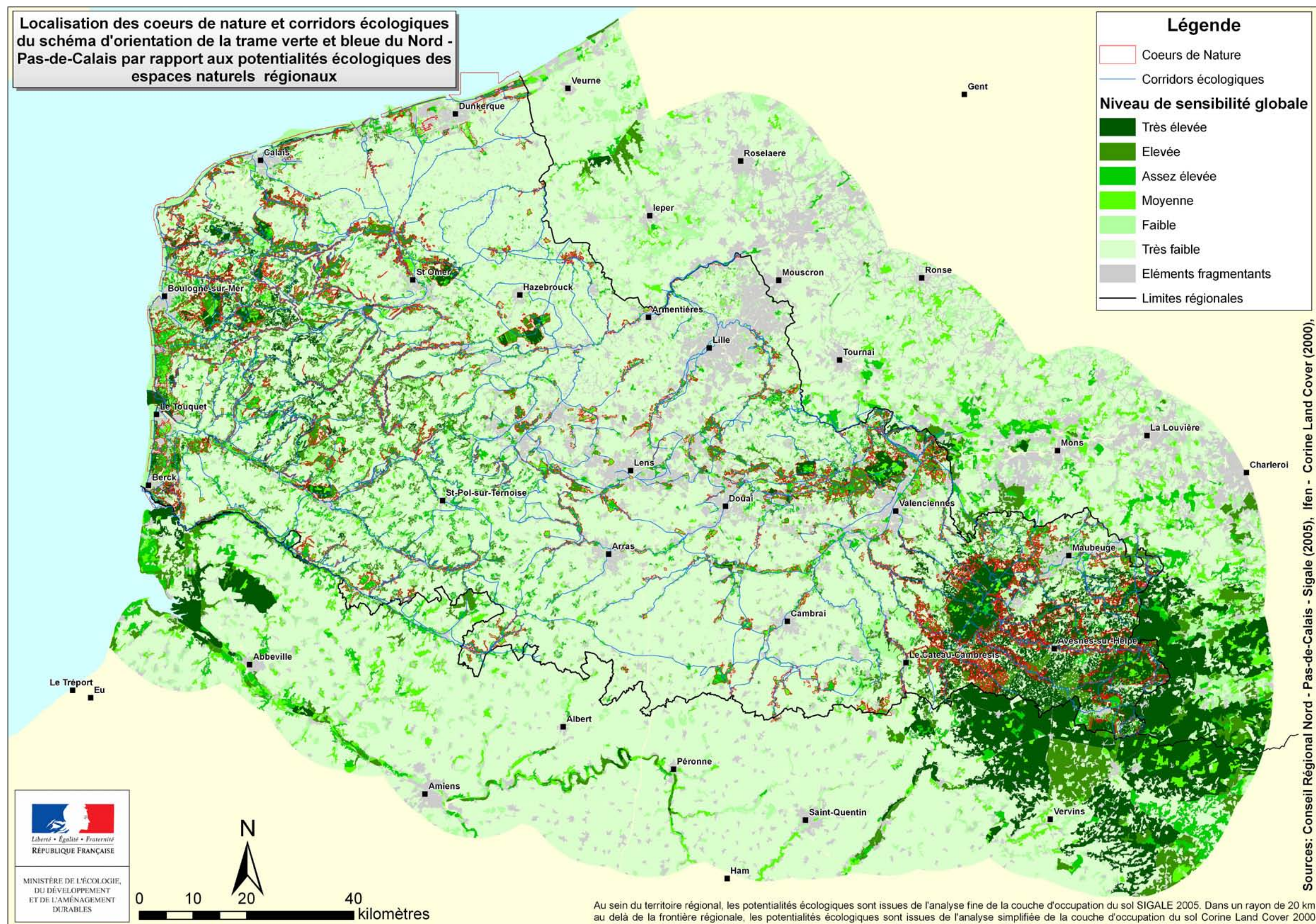
- 1. Espaces naturels dont les potentialités écologiques sont identifiées comme élevées à très élevées sur la Carte 16 de synthèse des potentialités écologiques du Nord – Pas-de-Calais.**
- 2. Espaces naturels faiblement exposés aux perturbations générées par les éléments anthropiques régionaux figurant en vert et en bleu sur la Carte 4 de synthèse des zones d'influence des éléments anthropiques sur les écosystèmes dans le Nord – Pas-de-Calais.**
- 3. Espaces naturels faiblement exposés à la pollution lumineuse figurant en bleu (voire en vert) sur la Carte 5 de simulation de la pollution lumineuse régionale.**

De façon à simplifier la tâche des services de l'Etat en limitant le nombre de documents de référence pour la préservation des espaces naturels et de la biodiversité régionale (zones de protection et d'inventaire, trame verte et bleue, présente étude des potentialités écologiques...), **il pourrait être judicieux d'envisager l'intégration des résultats de la présente étude dans le réseau régional des ZNIEFF** (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique). Cela aurait le double avantage de mieux prendre en considération le paramètre « valeur écologique » des ZNIEFF et de classer de nouveaux espaces naturels en ZNIEFF du fait de leurs potentialités écologiques élevées et/ou de leur faible exposition aux perturbations générées par les éléments anthropiques et la pollution lumineuse.

Enfin, il convient de **garder à l'esprit que les potentialités écologiques d'un espace naturel ne découlent pas uniquement de ses qualités intrinsèques** (naturalité, surface, compacité). Celles-ci dépendent également des mosaïques de milieux naturels alentours (connectivité et hétérogénéité). Ainsi l'altération d'un espace naturel voisin peut réduire les potentialités écologiques de l'espace naturel considéré.



Carte 18 : Superposition des périmètres de protection et d'inventaire du Nord – Pas-de-Calais aux potentialités écologiques calculées



Carte 19 : Superposition des coeurs de nature et corridors écologiques du schéma d'orientation de la Trame Verte et Bleue du Nord – Pas-de-Calais aux potentialités écologiques calculées

CONCLUSION

Grâce à des méthodes originales et le recours aux fonctions des SIG, **la présente étude a permis de dresser un état des lieux détaillé de la fragmentation et des potentialités écologiques du Nord – Pas-de-Calais.**

L'analyse des espaces anthropisés et de leurs impacts sur les habitats naturels, la faune, la flore et les écosystèmes en général témoigne de la grande précarité de la biodiversité régionale. Les nombreuses voies de communication et la forte densité des espaces urbanisés fragmentent fortement les espaces naturels régionaux et limitent les connexions biologiques sur l'ensemble du territoire. A ces barrières physiques, s'ajoutent d'autres perturbations d'origine anthropique. Parmi elles, la pollution lumineuse représente un danger réel pour l'équilibre des écosystèmes. La quasi totalité du Nord – Pas-de-Calais est affecté à un degré plus ou moins important par ce type de pollution. Or cette pollution, trop souvent ignorée, provoque des perturbations en cascade sur les écosystèmes notamment en modifiant le comportement de la faune et en opposant des barrières supplémentaires au déplacement des espèces animales et végétales.

Pourtant, **les déplacements de la faune et de la flore entre des espaces naturels régionaux** devenus trop exigus pour garantir à eux seuls la survie des populations animales et végétales **sont devenus indispensables au maintien des équilibres biologiques du Nord – Pas-de-Calais.**

Grâce aux concepts de l'écologie du paysage, **cette étude met en évidence les espaces naturels régionaux dont les potentialités écologiques sont a priori les plus élevées.** Ces espaces correspondent aux milieux naturels les plus fonctionnels d'un point de vue écologique, c'est à dire les espaces naturels les moins impactés par les éléments anthropiques et les plus à même de garantir la pérennité de leurs populations animales et végétales sur le long terme.

Les techniques développées pour atteindre cet objectif s'appuient sur une analyse croisée de la couche d'occupation du sol 2005 de SIGALE® (Conseil Régional) et des voies de communication de la BD Carto de l'IGN. Le calcul systématique et standardisé d'indices de connectivité, de naturalité, de surface, de compacité et d'hétérogénéité pour chaque parcelle de l'aire d'étude permet d'aboutir à la **constitution d'un indice synthétique des potentialités écologiques relatives du Nord – Pas-de-Calais.**

Etant donné la précision des données exploitées dans le cadre de cette étude, **les cartes établies et notamment la carte finale des potentialités écologique du Nord – Pas-de-Calais peuvent être exploitées et interprétées à une échelle quasi-parcellaire.** Cette finesse de l'analyse confère **un caractère opérationnel aux résultats de l'étude.**

La superposition des périmètres de protection et d'inventaires à la carte finale des potentialités écologiques régionales permet de constater qu'une large part des espaces à fortes potentialités écologiques sont d'ores et déjà couverts par des périmètres de protection et d'inventaire. Toutefois, une fraction non négligeable d'entre eux n'est couverte

par aucun de ces périmètres. Ces lacunes mettent en évidence les **insuffisances de ces périmètres pour éveiller la vigilance des services de l'Etat en charge de la protection de l'environnement dans le Nord – Pas-de-Calais.**

Par ailleurs, la superposition des cœurs de natures et corridors écologiques du schéma d'orientation de la **Trame Verte et Bleue régionale** à la carte finale des potentialités écologiques permet d'aboutir à des conclusions similaires. Ainsi, cette superposition met en évidence une convergence globale des deux cartes. Toutefois localement, **des espaces naturels de forte potentialité écologique ne sont repris dans aucun cœur de nature ou corridor écologique. A l'inverse, certains corridors écologiques paraissent très peu fonctionnels car implantés dans des zones de très faible potentialité écologique.**

Par conséquent, la présente étude pourrait être envisagée comme un **outil complémentaire de diagnostic des espaces naturels régionaux.** Elle permettrait, en outre, de **favoriser la préservation des ensembles d'espaces naturels les plus fonctionnels d'un point écologique et aussi les moins exposés aux éléments anthropiques et aux perturbations qu'ils engendrent.** De façon à limiter les sources d'information sur les enjeux écologiques régionaux, il pourrait être judicieux d'intégrer au réseau régional de ZNIEFF les parcelles qui ont révélé de fortes potentialités écologiques dans le cadre de la présente étude. Cette intégration dans le réseau de ZNIEFF permettrait par ailleurs de mieux prendre en compte l'intérêt écologique des ZNIEFF, autrement dit, le « E » de ZNIEFF.

Par ailleurs, **une nouvelle étude scientifique** intégrant les techniques et fondements écologiques de la présente étude des potentialités écologiques **régionales permettrait d'affiner le schéma de trame verte et bleue régional.** Cette étude permettrait notamment d'évaluer la fonctionnalité écologique des différents cœurs de nature et corridors écologiques de la Trame Verte et Bleue Régionale. **La hiérarchisation des actions à réaliser dans le cadre de la restauration des connexions biologiques régionales serait alors grandement facilitée.**

Enfin, cette étude s'achève par une analyse succincte de l'évolution de l'occupation du sol régionale à partir des couches d'occupation du sol de SIGALE® datant de 1998 et 2005. En mettant en lumière une forte croissance de l'urbanisation, cette analyse met en évidence l'aggravation du phénomène de fragmentation des habitats naturels et des populations animales et végétales de la région. Malgré tout, les milieux naturels boisés et secondairement les milieux humides gagnent un peu de terrain. Ainsi, du fait de leur attrait décroissant, la surface des milieux naturels ouverts et en particulier celle des espaces prairiaux s'amenuise peu à peu au profit des milieux précités.

BIBLIOGRAPHIE

Atelier Katia Emerand / Agence Sintive / Études et cartographies / GREET Ing, 2003 (Document de travail). - Atlas des Paysages de la région Nord - Pas-de-Calais. DIREN Nord - Pas-de-Calais. CAUE. 110 pp.

BUREL, F. & J. BAUDRY, 1999. – Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Éditions Tec & Doc, Paris : 359 pp.

Conseil Général Département du Nord, Trame Verte Politique du Paysage, Un outil de gestion intégrée du paysage, Octobre 1993.

DIREN Nord - Pas-de-Calais / Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, 1999. Schéma de Services Collectifs des Espaces Naturels et Ruraux - Contribution de la région Nord - Pas-de-Calais. Lille : 152 pp.

DIREN Nord - Pas-de-Calais, 2000. - Profil environnemental de la région Nord - Pas-de-Calais. ADAGE Environnement. Lille : 109 pp.

FORMAN, R. T. T., 1995. – Land Mosaics : The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. New York, 632 pp.

GODRON, M. & FORMAN, R. T. T., 1986. – Landscape Ecology. John Wiley & Sons. New York, 620 pp.

HAILA Y., 1983. Land birds on northern islands : a sampling metaphor for insular colonization – Oikos vol. 41, p. 334-351.

Mednick A. C., 2004. New Jersey Green Infrastructure Assessment. 67pp.

MacArthur, R. H., Wilson E. O., 1967. The theory of Island Biogeography. Princeton University Press. Princeton, NJ. in Mednick A. C. 2004.

Région Nord – Pas de Calais, La trame verte et bleue en Nord – Pas de Calais, Atlas Cartographique et Guide de Préconisations.

SETRA, 2005. Guide technique – Aménagements et mesures pour la petite faune. 264 pp.

ANNEXE – MODELISATION DE LA POLLUTION LUMINEUSE
