



Agence de l'Eau Seine-Normandie - AESN

Cartographie des zones à dominante humide du bassin Seine - Normandie



Rapport final

Avril 2006

Groupement : Gallia Sana / I-Mage Consult / CERE



<http://www.galliasana.com>



<http://www.i-mage.be>



<http://www.le-cere.fr>

Liste des abréviations et/ou des acronymes

BD CARTHAGE® : Réalisée à partir de la couche d'hydrographie de la BD CARTO®, enrichie par le MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable) et les agences de l'Eau avec le découpage du territoire en zones hydrographiques d'une part et la codification de ces zones et du réseau hydrographique d'autre part, la BD CARTHAGE® constitue un référentiel hydrographique (hydrographie linéaire, hydrographie surfacique, hydrographie de texture et zonage hydrographique), couvrant l'ensemble du territoire métropolitain

BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière – www.brgm.fr

CORINE biotope : outil de description des sites d'importance communautaire pour la conservation de la nature en Europe créé dans les années 1990 (<http://natura2000.environnement.gouv.fr/habitats>)

CORINE Land Cover (CLC) : il s'agit d'un inventaire biophysique de l'occupation des terres au 1 :10.000 qui fournit une information géographique de référence pour 29 Etats européens et pour les bandes côtières du Maroc et de la Tunisie. La base de données CORINE Land Cover, dite CLC 2000, a été réalisée à partir d'images satellitales de l'année 2000. Une première version de la base, dite CLC 1990, a été réalisée à partir d'images satellitales acquises entre 1987 et 1994

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DTR : Loi relative au Développement des Territoires Ruraux (Loi n°2005-157 du 23/02/05)

EUNIS : European Nature Information System – base de données sur les espèces, habitats et sites compilés dans le cadre de Natura 2000 (<http://eunis.eea.eu.int/introduction.jsp>)

IFEN : Institut Français de l'Environnement (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable) – www.ifen.fr

IFN : Inventaire Forestier National (France)

IGN : Institut Géographique National - France

INSEE : Institut National de Statistique et des Etudes Economiques

MNT : Modèle Numérique de Terrain

Natura 2000 : c'est un ensemble de sites naturels, à travers toute l'Europe, identifiés pour la rareté ou la fragilité des espèces sauvages, animales ou végétales et de leurs habitats. Le réseau Natura 2000 est composé de sites désignés par chacun des Etats membres en application des directives européennes « Oiseaux » de 1979 et « Habitats » de 1992

PIAO : Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur

PRA : Petites Régions Agricoles (découpage INSEE) – ce sont des zones agricoles homogènes tant par la nature des sols que pour les conditions climatiques et la vocation dominante des exploitations agricoles

PRF : Petites Régions Forestières - base élémentaire du recensement forestier de l'IFN. Il s'agit d'une unité naturelle qui présente, pour la végétation forestière, des caractères de sols et de climat suffisamment homogènes pour aboutir à des types de forêt comparables. Ainsi ont été délimitées 309 « petites régions forestières » indépendantes des limites administratives des régions, départements, cantons et même des communes. Une PRF est en générale constituée par le regroupement d'un ensemble de PRA adjacentes

PSIC : Proposition de site d'intérêt communautaire (futurs zones spéciales de conservation)

RAMSAR : Convention sur les Zones Humides, signée à Ramsar, en Iran, en 1971. C'est un traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources

SCAN 25® : produit raster (image) issu du scannage des cartes IGN à l'échelle du 1 :25 000

SCAN 50 GEOL : produit raster (image) issu du scannage des cartes géologiques du BRGM à l'échelle du 1 :50.000

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (loi sur l'eau de janvier 1992)

THR : Très Haute Résolution (en rapport avec la résolution spatiale (pixel de moins de 10m) des images satellitales ou des photographies aériennes)

ZICO : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux

ZDH : Zone à Dominante Humide

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

Table des matières

PREFACE	5
RESUME DU PROJET	6
1 INTRODUCTION.....	7
1.1 Contexte et objectifs de l'étude.....	7
1.2 Zone d'étude.....	9
1.3 Les Zones Humides du bassin	10
2 METHODOLOGIE	11
2.1 Introduction.....	11
2.2 Approche méthodologique générale	12
2.3 Typologie des zones à dominante humide	13
2.3.1 Description détaillée de la typologie	15
2.4 Description détaillée de la méthodologie et des traitements	23
2.4.1 Pré-traitement : Masquage.....	23
2.4.2 Traitements.....	31
2.4.3 Remarques méthodologiques.....	34
2.4.4 Méthodologie de validation.....	36
3 RESULTATS	38
3.1 Produit final	38
3.2 Analyse statistique de la couche des zones à dominante humide	39
3.3 Validation des résultats.....	43
3.3.1 Répartition spatiale	43
3.3.2 Matrice de confusion.....	43
3.4 Produits dérivés (de présentation)	44
3.4.1 Produits cartographiques papiers	44
3.4.2 Atlas numérique	45
4 CONCLUSIONS.....	46

Préface

Ce rapport a pour objectif de fournir à l'utilisateur tous les éléments nécessaires à la lecture des résultats de l'étude et à leur utilisation optimale. Il accompagne les couvertures géographiques produites, un outil de visualisation flash pour les utilisateurs n'ayant pas accès à un logiciel SIG et une série de sept cartes en format A0 (une carte du bassin et 6 cartes correspondant aux secteurs des Commissions Géographiques du bassin).

Il s'articule autour de deux chapitres, le premier développant la méthodologie adoptée et le deuxième les résultats obtenus.

Le lecteur plus pressé pourra prendre connaissance des éléments-clés permettant la compréhension du produit final dans le Résumé du projet.

Résumé du projet

La présente étude de Cartographie des Zones à Dominante Humide du Bassin Seine Normandie est basée sur la photo-interprétation d'orthophotoplans à 5 m de résolution (BD ORTHO® – IGN), associée à l'utilisation d'images satellitales et d'autres données ancillaires. C'est une cartographie exploitable à une échelle du 1:50.000^{ème}.

Cette étude réalisée avec une méthode homogène, et avec la plus grande exhaustivité et précision possible tend à dépeindre, sur l'ensemble du vaste bassin Seine – Normandie (94.65 km²), une situation générale de référence quant aux zones à dominante humide existantes. Cette cartographie sera un appui à des travaux de terrain plus détaillées, et servira de « situation zéro » pour des études ultérieures sur l'évolution des zones humides du bassin.

L'approche générale consiste à créer dans un premier temps, à l'aide de diverses couches géographiques disponibles, un masque binaire permettant de discriminer, à l'échelle du bassin, des « zones présumées humides » et des « zones présumées non humides ». Ensuite à l'intérieur des zones présumées humides, on interprète, visuellement sur écran, des Orthophotoplans (images aériennes orthorectifiées) couleur à très haute résolution (taille du pixel : 5m) en association avec des relevés de terrain et d'autres sources d'informations brutes ou traitées, disponibles sur l'ensemble du bassin : compositions colorées et classifications d'images satellitales de type Landsat ETM+, fond topographique au 1:25.000 (SCAN 25® de l'IGN), cartes géologiques au 1:50.000 (SCAN – Geol 50 - BRGM), etc.

Il s'agit donc d'une méthode hybride alliant : traitements analogiques (PIAO), traitements numériques (Image Satellite, données altimétriques (MNT), données thématiques,...), et relevés de terrain (clé d'interprétation et validation).

Suite à une phase pilote portant sur 10 sites test, une typologie à 2 niveaux (8 types et 16 sous-types), compatible avec les classifications CORINE Biotope et EUNIS, a été établie et utilisée.

Au total, 36.491 polygones renfermant des Zones à Dominante Humide (ZDH) ont été délimités, pour un total de 5.592,02 km². Les travaux de validation de terrain ont pu mettre en évidence une fiabilité de 95% pour la typologie des ZDH, et de 86% pour le caractère humide.

Cette étude au caractère novateur a permis de mettre en place une méthode permettant une cartographie homogène et fiable des zones à dominante humide à l'échelle d'un très grand bassin versant, et ce pour un coût raisonnable (2,24€/m²). En contrepartie, cette étude présente des limites en termes de qualité descriptive (essentiellement, le type d'occupation du sol). Nombre d'informations descriptives utiles pour des biotopes humides peuvent être souhaitées n'ont pas fait l'objet de cette étude. Son échelle du 1:50.000 en fait un précieux outil de repérage, mais reste insuffisante pour une localisation précise de limites à l'échelle parcellaire.

1 Introduction

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

La loi sur l'Eau du 3 janvier 1992 a reconnu le rôle essentiel des zones humides dans la gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau. Le SDAGE du bassin Seine-Normandie, adopté en 1996, a défini la restauration des zones humides comme une priorité. Le VIII^{ème} programme (2003-2006) en cours, s'inscrit quant à lui totalement dans l'esprit de la Directive Cadre sur l'eau (DCE), en développant la politique de l'Agence vis à vis de la valorisation et restauration des zones humides, pour la reconquête du bon état des eaux superficielles et souterraines, d'ici à 2015.

Par ailleurs, l'état des lieux du bassin de la Seine et des fleuves côtiers réalisé en 2004 dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE, identifie la préservation des zones humides comme un des enjeux de la politique de l'eau sur le bassin, notamment car leurs fonctionnalités contribuent à l'atteinte des objectifs de bon état des masses d'eau superficielles et souterraines.

Or, malgré la présence des zones humides dans les textes de loi, documents de programmation et de planification, il n'existe pas de cartographie, ni de bases de données géoréférencées et homogènes de l'ensemble des zones humides du bassin Seine-Normandie, permettant d'avoir un état zéro (localisation, surface, typologie...) et un suivi dans le temps de ces espaces.

Si la plupart des écologues s'accordent à dire que le « grignotage diffus » des zones humides continue, les protecteurs de ces espaces manquent toujours cruellement de chiffres pour renforcer leur argumentaire. La plupart des grands sites « patrimoniaux » en zones humides, sur lesquels se superposent différents zonages (sites Natura 2000, znieff, sites Ramsar...) sont bien connus et délimités. Mais qu'en est-il des zones humides dites « ordinaires », ces zones humides relictuelles qui, de par leur maillage diffus et leur état souvent dégradé, restent orphelines, à l'écart des mesures de protection et de gestion ?

Cette absence d'état « zéro » et de connaissance du patrimoine « zone humide » dans son ensemble a été mise en exergue par le rapport du préfet Bernard en 1994, qui a conclu à la disparition de la moitié des zones humides à l'échelle nationale entre 1940 et 1990, mais sur la base d'une analyse de 76 sites seulement.

Mais comment, et avec quel coût, réaliser une cartographie fiable et homogène des zones humides, milieux complexes et polymorphes, sur un territoire aussi vaste que le bassin Seine-Normandie ? Un bassin qui comprend le bassin hydrographique de la Seine et des cours d'eau de Haute et Basse Normandie, de la Bresle (incluse) au Couesnon (exclu), et s'étend sur environ 96.000 km², soit 1/5^{ème} du territoire national, tout ou partie de 8 régions et de 25 départements.

Pour répondre à cette question, l'AESN a confié au bureau Ecosphère une « étude de faisabilité relative à la délimitation des zones humides du bassin Seine-Normandie » (rapport final – sept 2001). Il s'agissait de présenter un bilan des travaux de délimitation, une méthodologie et des scénarios chiffrés à différentes échelles cartographiques. Une des conclusions de cette étude est qu'il est très difficile de réaliser une cartographie homogène à partir de la compilation de documents existants et des inventaires officiels. Ecosphère propose **l'utilisation d'images satellites et aéroportées** combinée à celle d'outils cartographiques existants, pour réaliser une base de données des zones humides du bassin.

D'où l'achat en 2005 par l'Agence de la Bd Ortho de l'IGN à 5m (la Bd ortho 50 cm étant beaucoup trop onéreuse) et le lancement de la présente étude de cartographie des zones à dominantes humides du bassin Seine-Normandie.

La présente étude est basée sur la photo-interprétation d'orthophotoplans à 5 m de résolution, associée à l'utilisation d'images satellitales et d'autres données ancillaires. C'est une cartographie exploitable à une échelle du 1:50.000^{ème}.

Cette étude réalisée avec une **méthode homogène**, et avec **la plus grande exhaustivité et précision possible**, a plusieurs finalités :

- Constitution d'un premier bilan, une sorte d'état de référence des zones humides du bassin, ce qui permettra de suivre l'évolution quantitative de ces espaces ;
- Support de planification et d'évaluation pour l'Agence et ses partenaires, notamment dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE (programmes de mesures), de la révision du SDAGE et des programmes d'intervention de l'Agence ;
- Support pour l'instruction des demandes d'aides en charge des Directions de Secteur, et pour la mise en œuvre de leurs Plans Territoriaux d'Actions Prioritaires (PTAP) ;
- Support et base de travail pour les services de l'Etat qui auront à mettre en œuvre sur initiative des préfets les différentes délimitations de zones humides prévues par la loi de Développement des Territoires Ruraux ;
- Un outil de communication interne et externe, en terme d'information et de sensibilisation ;
- Un outil d'aide à la décision pour les collectivités territoriales.

Cette cartographie des zones humides du bassin Seine-Normandie est donc une première étape qui pourra être complétée ultérieurement par :

- des cartographies plus fines et/ou par des inventaires (basés sur le « tronc commun national ») par l'Agence dans des secteurs à enjeux ;
- des projets de cartographie et d'inventaires financés à des taux très incitatifs (en cours de définition dans le cadre de la préparation du 9^{ème} programme) pour des maîtres d'ouvrage à différentes échelles (département, région, PNR), avec une compilation des données par l'Agence.

Cette étude présente également un aspect expérimental car elle est à notre connaissance la première tentative de cartographie de zones humides, réalisée à cette échelle (1.50000) sur une telle surface. Il a donc été mis en place un comité de pilotage intégrant des experts de l'utilisation d'images satellites et aéroportées et des experts de l'écologie. La liste des membres de ce comité de pilotage est reprise en annexe 1.

La réalisation de l'étude a été confiée à un consortium franco-belge :

- I-MAGE Consult : bureau d'étude belge spécialisé dans la cartographie d'occupation des sols à partir de données satellitales et aéroportées - chargé de l'ensemble des travaux de photo-interprétation et de la production cartographique (www.i-mage.be) ;
- Le CERE : bureau d'étude français spécialisé en aménagement et en gestion des milieux naturels – participation à l'élaboration de la clé d'interprétation, à la formation des photo-interprètes et à la validation des travaux sur le terrain (www.le-cere.fr) ;
- Gallia Sana : bureau d'étude français spécialisé dans la géotechnique et la gestion de projets d'assainissement et possédant une bonne connaissance de terrain du bassin Seine Normandie – coordination du projet et participation à la validation des travaux (www.galliasana.com).

1.2 Zone d'étude

La zone étudiée couvre l'ensemble du bassin hydrographique Seine-Normandie (voir carte en [annexe 2](#)), soit une surface totale de 94.865 km², ce qui représente 17,25% du territoire national français. La logique hydrographique a été préférée à la logique administrative qui aurait induit des découpages de bassin versant. Le territoire du bassin Seine et cours d'eau côtiers normands s'étend sur 27 départements et 9 régions.

Ce bassin correspond concrètement au bassin de la Seine et de tous ses affluents, mais également à tous les bassins des fleuves côtiers normands (de la Bresle en Seine Maritime, jusqu'à la Sélune dans la Manche).

Le bassin est divisé en 6 zones d'intervention de l'Agence, appelées Directions de Secteur (on parlera ici de Commissions Géographiques) : Bocages Normands, Vallée de la Marne, Vallée de l'Oise, Rivières Ile-de-France, Seine Aval et Seine Amont (voir carte en [annexe 3](#))

Le bassin Seine-Normandie est constitué à plus de 75% d'une vaste cuvette sédimentaire à auréoles (voir carte géologique simplifiée en [annexe 4a](#)). Les terrains y sont perméables (craie et calcaires) et les coefficients d'infiltration sont élevés. Le reste du bassin (Basse-Normandie et Morvan) est composé de zones de socles (formations métamorphiques et volcaniques). Dans ces deux régions le chevelu hydrographique est beaucoup plus dense que dans le reste du bassin.

Les reliefs sont peu accentués avec une altitude moyenne de 160 m. Moins de 1% du territoire a une altitude supérieure à 500 m et le point culminant à 902 m est situé aux sources de l'Yonne. (voir carte du relief en [annexe 4b](#)).

Les paysages sont à dominante rurale vers l'amont et l'ouest du bassin lorsqu'on s'éloigne de l'Ile-de-France et des grandes vallées. Ils tendent à s'uniformiser (grandes cultures, urbanisation) lorsqu'on se rapproche du centre du bassin tandis que les contraintes et les usages augmentent.

Le réseau hydrographique du bassin est composé de 55 000 km de cours d'eau. La majeure partie de ce réseau converge vers la Seine (rivière de plaine, de régime pluvial océanique) qui draine un bassin versant de 78 000 km² à travers un parcours de 780 km entre sa source sur le plateau de Langres et son estuaire.

Le littoral du bassin s'étend sur 640 km. La façade maritime normande abrite une trentaine d'exutoires principaux correspondant au petit chevelu hydrographique qui constitue le reste du réseau hydrographique.

1.3 Les Zones Humides du bassin

Le terme « Zone Humide » recouvre une grande variété de situations et de caractéristiques. La loi sur l'eau de 1992 précise que « ce sont des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre, de façon permanente ou temporaire ; la végétation quand elle existe, y est dominée par des végétaux hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

La convention de RAMSAR a adopté une optique plus large pour déterminer quelles zones humides peuvent être placées sous son égide. Les zones humides sont « des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ».

Les zones humides du bassin Seine-Normandie sont de types et de tailles diverses, allant de vastes systèmes (réservoirs et étangs de champagne humide, lits majeurs de grands cours d'eau (Bassée, Marne amont, Aire et Aisne...), baie des Veys, marais du Cotentin et du Bessin, estuaire de Seine et Marais Vernier, Marais de Saint Gond, Marais du Laonnois...) à des espaces beaucoup plus restreints (mares, mouillères...) ou morcelés (prairies humides, ripisylve,...).

Les connaissances actuelles se limitent à des inventaires partiels, réalisés à différentes dates, avec des méthodes hétérogènes et à des échelles variables. Les données produites ne sont pas toujours géoréférencées et disponibles sous forme numérique.

Seules les cartographies des sites Natura 2000 et des znieff donnent des informations homogènes, mais ces sites comprennent différents types de milieux, humides et non-humides

2 Méthodologie

2.1 Introduction

L'objectif est de produire une cartographie :

- homogène sur tout le bassin ;
- la plus précise et la plus exhaustive possible ;
- à des coûts acceptables (budget compris entre 20 et 250 K€ pour l'ensemble du bassin) ;
- dans des délais permettant l'exploitation des données pour le pré-projet de SDAGE soumis à consultation dès 2007.

La définition des zones humides qui a été prise comme référence dans le cadre de cette étude est la définition de la loi sur l'eau dont on peut tirer trois critères cumulatifs :

- inondation ;
- ou sols gorgés d'eau ;
- et, si présence, végétation hygrophile.

Il est évident que dans le cadre de cette étude le caractère de fréquence d'inondation, n'a pas pu être pris en compte faute de données. Les principaux critères (hors vasières littorales) sont donc :

- présence de sols hydromorphes et/ou gorgés d'eau ;
- **et** végétation hygrophile.

Ne pouvant certifier par photo-interprétation (sans travaux terrain systématiques avec relevé pédologique à la tarière systématique et relevé floristique) que les zones cartographiées sont à 100 % des zones humides au sens de la loi sur l'eau, il a été préféré le terme de zones à dominante humide (ZDH). Ainsi cette cartographie n'est ni une délimitation au sens de la loi DTR, ni un inventaire tel qu'il est défini par le tronc commun national.

Les limites de coût (en grande partie liées au nombre de jours de photo-interprétation) et la surface de travail sont des contraintes fortes qui ont conduit à faire des choix méthodologiques et des choix d'acquisition de données (bd ortho 5 m et non bd ortho 50 cm).

L'échelle du 1/50000^{ème} a donc été choisie car la BD Ortho 5 m ne permet pas d'avoir une précision plus fine.

Le choix d'échelle de lisibilité induit donc une limite technique en terme de taille minimale du polygone à cartographier : ce dernier ne doit pas être inférieur à 2mm² soit une surface de 1 ha, et son coté le plus court ne peut être inférieur à 50 m, ce qui exclut donc automatiquement la majorité des ripisylves¹ et des petites mares. Cette limite technique correspond également à celle d'identification visuelle correcte sur les orthophotoplans à 5m de résolution.

¹ Ripisylve (étymologiquement la « forêt de la rive ») est l'ensemble des formations boisées (naturelles ou artificielles) présentes sur les rives d'un cours d'eau. On entend ici les rives comme l'étendue du lit majeur du cours d'eau non submergée à l'étiage.

Cette méthodologie a été spécifiquement développée dans le cadre de cette étude, qui s'est déroulée en deux phases :

- une première phase de test et de validation de la méthodologie, portant sur 10 sites ciblés choisis pour leur représentativité de l'ensemble des situations-clé du bassin ;
- une seconde phase, dite de production.

Les résultats-clés de la phase test sont présentés à l'annexe 5 ainsi qu'une carte de situation des sites.

2.2 Approche méthodologique générale

L'approche générale consiste à créer dans un premier temps, à l'aide de diverses couches géographiques disponibles, un **masque binaire** permettant de discriminer, à l'échelle du bassin, des « zones présumées humides » et des « zones présumées non humides ».

Ensuite à l'intérieur des zones présumées humides, on **interprète, visuellement** sur écran, des Orthophotoplans² (images aériennes orthorectifiées) couleur à très haute résolution (taille du pixel³ : 5m) en association avec des relevés de terrain et d'autres sources d'informations brutes ou traitées, disponibles sur l'ensemble du bassin : compositions colorées et classifications d'images satellitaires de type Landsat ETM+, fond topographique au 1 :25.000 (scan 25® de l'IGN), cartes géologiques au 1 :50.000 (Bd Scan – Geol 50 - BRGM), etc.

Une figure schématique illustrant cette méthodologie est reprise en annexe 6.

Le critère de disponibilité des données sur l'ensemble du bassin exclu pour raison méthodologique (homogénéité de la méthode) certaines données très pertinentes comme la pédologie, dont la cartographie est encore très fragmentaire à l'échelle du territoire national.

Il s'agit donc d'une méthode hybride alliant :

- Traitements analogiques (PIAO⁴) ;
- Traitements numériques (Image Satellite, données altimétriques (MNT), données thématiques,...) ;
- Relevés de terrain (clé d'interprétation et validation).

² L'Orthophotoplan résulte de l'assemblage d'images avec traitement radiométrique et correction géométrique des déformations dues notamment au relief. Chaque pixel est géoréférencé (définition en X, Y et Z).

³ Pixel : le pixel ou point est l'unité de base d'une image numérique - son nom provient de l'expression anglaise picture element, c'est-à-dire « élément d'image » - c'est la dimension du pixel qui définit la résolution de l'image

⁴ PIAO : Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur

2.3 Typologie des zones à dominante humide

La typologie précise des zones à dominante humide retenue a été modifiée et adaptée à plusieurs reprises durant l'exécution de la phase de test, en concertation avec le Comité de Pilotage et l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage.

Cette typologie comprend 8 grands types (niveau 1) et 16 sous-types (niveau 2). Elle est synthétisée dans le Tableau 1 à la page suivante.

Une correspondance entre cette typologie et des typologies standards comme EUNIS et CORINE Biotope est présentée à [l'annexe 7](#).

L'interprétation au niveau 1 a été retenue comme obligatoire, le niveau 2 étant quant à lui facultatif.

Cette typologie, qui correspond le plus possible à la réalité terrain, tend vers un optimum entre :

- les possibilités offertes par la nature de l'information utilisée (orthophotoplans à 5m) ;
- les délais de réalisation de l'ensemble des travaux de photo-interprétation (12 mois de travail pour 2 photo-interprètes, 1 expert SIG et un chef de projet) ;
- le type de cartographie (global et homogène sur l'ensemble bassin) ;
- et les besoins exprimés par l'Agence en terme d'utilisation ultérieure des produits par un grand nombre d'acteurs.

On comprendra, au regard de la méthodologie générale adoptée et de la typologie retenue, que les zones à dominante humide doivent être vues comme des surfaces présentant un caractère de « zone humide » (loi sur l'eau) fortement probable et dominant compte tenu de l'ensemble des données dont dispose le photo-interprète.

Il est à noter que :

- le sous-type 1.1 : eaux courantes n'est pas une zone humide a proprement parler, mais correspond à des cours d'eau d'une largeur supérieur à 50 m ;
- les types 6 « terres arables » et 7 « zones urbaines et autres territoires artificialisés » sont plutôt des zones humides dites « cachées » par un mode d'occupation du sol particulier.

1. Eaux de surface (stagnantes et courantes)

- 1.1 Eaux courantes
- 1.2 Annexes hydrauliques
 - Bras-morts, noues
- 1.3 Plans d'eau
 - Gravières, étangs naturels et artificiels, bassins

2. Formations forestières humides et/ou marécageuses - (taux de couverture > à 50%)

- 2.1 Boisements à forte naturalité
- 2.2 Boisements artificiels - plantations (peupliers, résineux, autres)

3. Prairies humides (pâturée ou fauchée)

4. Tourbières, landes, roselières et mégaphorbiaies

- 4.1 Tourbières et bas-marais
- 4.2 Landes humides
- 4.3 Roselières
- 4.4 Mégaphorbiaies (zones à hautes herbes hygrophiles)
- 4.5 Sous-type non cartographiable

5. Zones humides littorales

- 5.1 Pannes dunaires
- 5.2 Slikke, vasières
- 5.3 Schorre, prés salés
- 5.4 Sous-type non cartographiable

6. Terres arables

7. Zones urbaines et autres territoires artificialisés

- 7.1 Zones bâties
- 7.2 Autres : zones artificialisées non connectées à 7.1
(ex : déchetterie, zone de stockage de gravières, parking, etc.)

8. Mosaïques d'entités humides de moins de 1 ha

Tableau 1. Description synthétique de la typologie retenue (description détaillée à la page suivante)

2.3.1 Description détaillée de la typologie

A l'annexe 8, une série de photographies prises sur le terrain illustrent les différents types et sous-types de zones à dominante humide retenus dans la typologie (illustrations non exhaustives de l'ensemble des situations – illustrations données à titre indicatif).

La description écologique des types et des sous-types est donnée à titre indicatif et ne signifie pas que toutes ces différences sont discernables et reconnues par les photo-interprètes.

Type 1 : Eaux de surface (stagnantes et courantes)

Ce type (niveau 1) comprend l'ensemble des eaux de surface courantes et stagnantes (ou calmes) hors hydrographie linéaire de la Bd CARTHAGE.

On y distingue 3 sous-types (niveau 2) :

1.1 Eaux courantes : cours d'eau permanents ou temporaires, d'eau douce ou saline (fleuves, rivières, ruisseaux ainsi que les canaux et les fossés d'origine anthropique). Ces milieux sont parfois colonisés par une végétation spécifique, telles les espèces de l'alliance du *Ranunculo fluitantis* : Renoncule flottante (*Ranunculus fluitans*), Potamots (*Potamogeton spp.*) ou encore Callitriches (*Callitriche spp.*)

1.2 Annexes hydrauliques (fluviales) : ce terme englobe les principaux milieux aquatiques et semi-aquatiques liés au cours d'eau : bras secondaires, bras morts. Les anciens bras possèdent un grand nombre d'appellation locales : boires, mortes, noues, etc.

Les milieux artificiels tels que les gravières en eau, fonctionnant parfois comme des annexes fluviales, ne sont pas repris dans ce sous-type.

1.3 Plans d'eau : pièces d'eau d'origine naturelle ou anthropique (lacs, étangs, mares, gravières, etc.). La végétation colonisant ces milieux est très variable selon le type de plan d'eau.

Remarque :

Les limites de ces différents sous-types d'eaux de surface sont issues des éléments surfaciques la BD CARTHAGE. Ces limites ont généralement été validées et complétées sur base des orthophotoplans lors des travaux de photo-interprétation.

Type 2 : Formations forestières humides et/ou marécageuses (taux de couverture > à 50%)

Ce type regroupe les formations forestières (végétation arborescente et arbustive) hygrophiles (lit majeur des cours d'eau, plateaux, *etc.*) ou marécageuses, semi-naturelles (ou faiblement artificialisées) et artificielles dont le taux de couverture est supérieur à 50%.

Tous ces peuplements forestiers sont établis sur des sols constamment inondés (présence d'un gley à faible profondeur) ou régulièrement engorgés (présence d'un pseudo-gley à moins de 50 cm).

Cette définition est évidemment théorique, il n'a pas été possible de vérifier pour tous les polygones, le caractère inondés ou engorgés des sols.

On distingue deux sous-types :

2.1 Boisements à forte naturalité

Ce sous-type correspond aux boisements à dominante humide ne présentant **pas** sur les Orthophotosplans à 5 mètres de résolution de trame régulière et/ou sur les images satellites les caractéristiques spectrales des résineux. L'absence de trame régulière visible à cette résolution ne peut cependant pas permettre d'exclure totalement les plantations forestières du type 2.2. Ainsi, une plantation de peupliers dans laquelle se développe une végétation naturelle en sous-étage aura de fortes chances d'être classée en « 2.1 », bien que son origine soit fortement anthropique.

Typiquement, on retrouvera dans le sous-type « 2.1 » les formations forestières suivantes (liste non exhaustive et donnée à titre indicatif) :

- Forêts riveraines de Saules : formations arbustives ou arborescentes à *Salix spp.*⁵, le long des cours d'eau et soumises à des inondations périodiques (ripisylves : les boisements bordant les petits et moyens cours d'eau) ;
- Forêts alluviales à Aulne et Frêne (*Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior*) : en bordure de rivières et de ruisseaux, là où le sol est inondé périodiquement, s'installent des forêts alluviales. Elles colonisent le lit majeur des cours d'eau et sont dominées par des arbres qui supportent des sols très humides comme le Frêne et l'Aulne. Pendant l'engorgement temporaire du sol, les organes souterrains des plantes souffrent d'un manque d'oxygène, ce qui constitue une contrainte majeure pour de nombreux autres arbres. Le substrat est régulièrement fertilisé par les débris organiques déposés lors des crues et assure une bonne alimentation en éléments nutritifs des plantes. Le sous-bois est ainsi souvent très riche et caractérisé par des plantes des lisières humides comme l'Angélique des bois (*Angelica sylvestris*), l'Epilobe hirsute (*Epilobium hirsutum*) et l'Eupatoire chanvrine (*Eupatorium cannabinum*) ;
- Forêts mélangées à Chêne pédonculé (*Quercus robur*), Ormes (*Ulmus spp.*) et Frêne des grandes rivières et des fleuves : forêts d'essences à bois dur du lit majeur des cours d'eau, inondables lors des crues régulières ou, des zones basses subissant des inondations par remontée de la nappe phréatique. Ces forêts sont installées sur des alluvions récentes et le sol peut être bien drainé en dehors des crues ou rester engorgé. En fonction du régime hydrique, les espèces ligneuses dominantes sont le frêne, l'orme et le chêne ;

⁵ spp. : Abréviation de *species pluribus*, ce qui indique que l'on parle de plusieurs espèces du genre évoqué

- Forêts feuillues marécageuses sur substrat méso à eutrophe⁶ : forêts des sols marécageux ou sourceux en permanence, à humus méso- à eutrophe, présentant des caractéristiques propres à un engorgement prolongé en eau, dans lesquelles les espèces des groupes marécageux sont généralement bien représentés, en nombre d'espèces ou en recouvrement.
- Forêts feuillues marécageuses sur tourbe acide : aulnaies et boulaies des sols marécageux ou sourceux en permanence dans des conditions oligotrophes⁷, assez souvent sur un substrat contenant de la tourbe.

2.2 Plantations ou boisements artificiels

Ce sous-type correspond aux boisements à dominante humide présentant clairement sur les Orthophotosplans à 5 mètres de résolution, une trame régulière caractéristique des plantations forestières équiennes (même âge). Il s'agira, typiquement de peupleraies bien entretenues, et de plantations de résineux.

⁶ eutrophe : qualifie un milieu riche en éléments nutritifs plus ou moins acides, permettant une forte activité biologique

⁷ oligotrophe : caractérise un milieu naturel pauvre en éléments nutritifs en opposition aux milieux eutrophes

Type 3 : Prairies humides

Les prairies humides sont des formations herbacées installées sur des sols hydromorphes et constituées d'une végétation formant des peuplements hauts et denses, au moins durant une partie de l'année, continus (fermés) dans tous les cas. Les prairies dites naturelles ou permanentes sont en fait, dans la région étudiée, des groupements végétaux étroitement dépendants de l'homme et des troupeaux. Les actions anthropiques directes (fauchage) et/ou indirectes (pâturage) sont indispensables à leur maintien et à la conservation de leur équilibre dynamique. En leur absence, les prairies abandonnées sont plus ou moins rapidement envahies par des broussailles et des arbustes, peuplements transitoires précédant la reconquête de la forêt.

Dans le cas de milieux humides maintenus par divers facteurs à l'état de végétation herbacée, deux scénarii sont possibles :

- i) Soit la prairie se trouve en situation oligotrophe (sols tourbeux ou organiques) : se développent alors typiquement des molinaies ; ce sont prairies à engorgement fréquent (nappe battante), résultant souvent de transformation de landes ou de tourbières. Ces prairies ne sont pas situées en contexte alluvial, d'où leur faible niveau trophique. Leur végétation est souvent hétérogène du fait de la forte humidité du terrain et des difficultés d'effectuer une fauche régulière. Ces prairies ont typiquement un aspect «en mosaïque», avec des zones à joncs, des zones $\pm$ humides, des zones marginales à hautes herbes hygrophiles ;
- ii) Soit la prairie se trouve en situation méso à eutrophe : ce sont des prairies développées sur des sols modérément riches à très riches en nutriments, alluviaux ou fertilisés, mouilleux ou humides, souvent inondés au moins en hiver. On y trouvera des formations herbacées présentant la plupart du temps un aspect en mosaïque (couleurs, densités, structure spatiale) sur des sols frais à humides. Ceci résulte des conditions hydrologiques mais aussi de la faible intensité des pratiques agricoles. Elles se situent dans les lits majeurs des cours d'eau, les vallées à large fond alluvial.

Type 4 : Tourbières, landes, roselières et mégaphorbiaies

Sont classés dans ce type tous les groupements héliophiles⁸ herbacés denses (buissons bas et arbres absents ou très dispersés) à végétation non prairiale sur sols hydromorphes.

Cet ensemble comprend les différents sous-types suivants :

4.1 Tourbières et bas-marais

Les tourbières sont des habitats humides caractérisés par l'accumulation d'une couche de matière organique, la tourbe. La tourbe se forme sous des conditions écologiques particulières : la saturation en eau du substrat cause un manque d'oxygène défavorable à l'activité des bactéries et des champignons qui décomposent habituellement la matière organique produite par les plantes. Si la végétation produit plus de matière organique que les bactéries et les champignons ne peuvent en décomposer, on assiste à la formation d'un sol organique, la tourbe.

Tourbière haute : selon le type d'alimentation en eau, on distingue les tourbières minérotrophes, alimentées par des écoulements latéraux ou par la nappe, des tourbières ombrotrophes, alimentées uniquement par les précipitations (pluies et brouillard). Il existe de nombreux stades intermédiaires entre les différents types de tourbière. Un grand nombre de tourbières ont une alimentation en eau "mixte". Les tourbières hautes, passent généralement par des stades de bas-marais.

Les bas-marais, parfois aussi appelés "tourbières basses" sont liés à la présence d'une nappe affleurante. L'inondation n'y est généralement pas permanente et les couches superficielles du sol s'assèchent en période estivale, permettant ainsi la minéralisation d'une partie de la matière organique. La végétation des bas-marais est dominée par les joncs (*Juncus spp.*) et les laïches (*Carex spp.*) mais varie fortement en fonction de la richesse en éléments nutritifs du substrat et de l'eau qui les alimente.

4.2 Landes humides

Ce sont des formations dominées par les ligneux bas, sempervirents, de type éricoïde, en particulier la Callune (*Calluna vulgaris*) et/ou la Bruyère à quatre angles (*Erica tetralix*), développées sur sols humides à paratourbeux, acides, souvent podzolisés ainsi que les faciès de dégradation de ces habitats dominés par une graminée, la Molinie (*Molinia caerulea*).

Les landes humides s'installent dans des dépressions de la lande mésophile, en bas des versants ou au contact des tourbières. Le substrat pauvre en éléments nutritifs est humide pendant la plus grande partie de l'année, un assèchement superficiel estival peut néanmoins être observé. Comme la majorité des landes, les landes humides sont le plus souvent issues de la déforestation de terrains fangeux, impropres à l'agriculture. Si leur entretien par fauche ou pâturage n'est plus assuré, on observe l'installation le plus souvent de bouleaux et de saules qui supplantent les landes.

⁸ héliophile : se dit généralement d'une plante qui ne peut se développer complètement qu'en pleine lumière.

4.3 Roselières

Végétation dense de grands hélophytes sur alluvions récentes. Végétation de plantes herbacées de type graminéoïde vivaces et enracinées, aérienne mais se développant dans des eaux peu profondes, aimant la lumière, formant souvent des sortes d'ourlets flottants mais se développant parfois en nappe, en particulier dans les petites rivières peu profondes et les fossés à faible courant d'eau de l'étage planitiaire. Les végétaux les plus fréquents sont le Phragmite (*Phragmites australis*), la Baldingère (*Phalaris arundinacea*), les Massettes (*Typha spp.*), le Scirpe lacustre (*Schoenoplectus lacustris*) ou encore la Grande Glycérie (*Glyceria maxima*).

4.4 Mégaphorbiaies

Formations végétales de hautes herbes se développant sur des sols humides et riches. Communautés nitrophiles à hautes herbes (jusqu'à 2 m et plus) des sols frais notamment caractérisées par la Reine des prés (*Filipendula ulmaria*). Ces communautés ne sont pas (ou très irrégulièrement) soumises aux inondations. La minéralisation de la matière organique est rapide, d'où l'absence de l'accumulation de tourbe. En absence d'interventions comme la fauche ou le pâturage, nos cours d'eau sont bordés de prairies élevées, dites "mégaphorbiaies". Elles occupent les parties supérieures des berges, soumises seulement aux crues temporaires et échappant ainsi à l'influence des courants. On les rencontre également dans les ouvertures ou clairières des forêts riveraines. Les mégaphorbiaies constituent des stades transitoires⁹ dans la dynamique des espaces riverains. Naturellement, elles évoluent vers des fourrés et forêts humides.

⁹ L'effet litière et l'importance de la biomasse ancienne limite l'invasibilité par les espèces ligneuses, si bien que certaines mégaphorbiaies s'avèrent très stables.

Type 5 : Zones humides littorales

Ce type regroupe toutes les formations végétales (excepté la slikke qui est un sol nu) hygrophiles du littoral marin en liaison directe ou indirecte avec la mer. Elles forment une interface entre les milieux marins et continentaux.

On distingue trois sous-types :

5.1 Pannes dunaires

Les paysages dunaires sont marqués par des séries de buttes et de vallons. Les pannes dunaires sont les dépressions humides des systèmes dunaires, parfois avec présence d'eau libre mais le plus souvent périodiquement inondées par de l'eau douce. Cette eau est souvent alcaline (si il s'agit de sables coquilliers).

5.2 Slikke (du néerlandais « **slijk** » = boue)

C'est la partie la plus basse de la vasière, inondée à chaque marée haute. Le sédiment fin limono-argileux est mou en surface du fait de son humidité quasi permanente et dépourvu de végétaux supérieurs sauf épars¹⁰. Seules les diatomées (algues microscopiques) s'y développent en lui donnant une teinte bleuâtre ou verdâtre.

5.3 Schorre (du néerlandais « **schor** » = pré salé)

Cet habitat succède à la slikke par élévation topographique suite aux dépôts successifs. Le schorre représente de vastes végétations halophiles recouvertes lors des fortes marées : gazons à Salicornes (*Salicornia spp.*), prairies à Spartines (*Spartina spp.*) ou encore prés à Puccinellie maritime (*Puccinellia maritima*).

¹⁰ Localement, les Spartines forment des plaques plus ou moins étendues au niveau de la haute Slikke, alors que les Zostères peuvent çà et là constituer des herbiers au niveau de la basse Slikke.

Type 6 : Terres arables

Par définition, une terre arable est une terre qui peut être labourée, c'est-à-dire dont la vocation est la culture. Ce type comprend les grandes cultures, les cultures maraîchères et généralement les prairies artificielles¹¹ et les terrains en jachère.

- Grandes cultures : champs de céréales, betteraves, tournesols, légumineuses fourragères, pommes de terre et autres plantes récoltées annuellement.
- Cultures maraîchères : cultures intensives de légumes, de fleurs, petits fruits, habituellement en polycultures avec bandes où alternent différentes récoltes.

Type 7 : Zones urbaines et autres territoires artificialisés

Zones urbaines et autres territoires artificialisés situés en zone à caractère humide.

Ces zones sont classées en deux sous-types :

7.1 Zones bâties

Aires utilisées pour l'occupation humaine et les activités industrielles.

7.2 Autres

Zones artificialisées non connectées à une zone urbanisée (exemples : déchetteries, stations d'épuration, zones de stockages de minéraux, parking, *etc.*).

Type 8 : Mosaïques d'entités de moins de 1 ha

Association spatiale d'éléments non individualisables à l'échelle de cartographie (1 :50.000) et appartenant à deux ou plusieurs types.

¹¹ Dans cette étude, les prairies artificielles sont reprises dans le type 3

2.4 Description détaillée de la méthodologie et des traitements

Le Logigramme présenté à l'annexe 6 schématise la démarche générale qui a permis de réaliser cette étude.

2.4.1 Pré-traitement : Masquage

L'emploi d'un masque se base sur le constat suivant : les Zones à Dominante Humide représentent une faible proportion de l'ensemble de la zone d'étude. **Leur place dans le paysage n'est pas aléatoire, mais conditionnée par des facteurs connus** (facteurs topographiques, édaphiques, climatiques, hydrologique, *etc.*). Photo-interpréter de façon systématique l'ensemble du territoire est impossible pour des raisons de coût, mais surtout ce n'est pas techniquement réaliste ; il était donc judicieux, afin d'optimiser l'emploi des ressources du projet, de se concentrer sur les zones recelant à priori les zones humides, en se basant sur l'exploitation de données géoréférencées et présentes sur tout le bassin, sur les variables ou facteurs cités ci-dessus.

Les données pédologiques ou les atlas existants des zones inondables ont été écartés faute d'exhaustivité sur l'ensemble du bassin.

Il a donc été décidé d'optimiser les travaux en concentrant les efforts de PIAO là où la probabilité de trouver des zones à dominante humide sont les plus fortes, écartant *a priori* le reste de la zone d'étude, sur la base de critères rigoureux. Un masque binaire permettant de discriminer à l'échelle du bassin les « Zones Potentiellement Humides » (ZPH) des « Zones Présumées Non Humides » (ZPNH) est réalisé à partir de la combinaison (système additif) des données suivantes :

- *buffers* (zones tampon) autour des éléments de la BD CARTHAGE ;
- ZNIEFF, pSIC et classes de CLC : jugées majoritairement humides (MNHN / IFEN) ;
- Indice topographique révélant des zones où il y a la fois un « creux » et une grande aire contributive (en terme d'écoulement potentiel) à ce creux.

BD CARTHAGE (V3)

La Base de Données « CARTHAGE » contient, sous forme d'objets vectoriels regroupés en couches d'Information Géographique, les informations liées au thème « eau » des cartes 1 : 25 000 de l'IGN. Ces informations sont en outre enrichies (au point de vue informations attributaires et exhaustivité) par les responsables institutionnels proches de cette thématique (parmi lesquels les Agences de l'Eau).

L'utilisation de la BD CARTHAGE dans la mise en évidence de ZPH est guidée par la logique, car de la source à l'estuaire, la majorité des zones humides du bassin ont une connexion hydraulique avec les réseaux hydrographiques. Elle permet de mettre en évidence les zones à dominante humide liées au réseau hydrographique ou aux plans d'eau libre (même de petite taille) avec un assez bon niveau d'exhaustivité.

- **Hydrographie linéaire**

Le réseau hydrographique représenté dans la BD CARTHAGE sur la zone d'étude comprend 63505 tronçons élémentaires constituant 8082 fleuves, rivières, ruisseaux, rus, canaux, *etc.*

Des « zones tampon » (*buffers* en langage technique) ont été tracées autour de ces éléments afin de délimiter des ZPH liées à l'hydrographie linéaire. Afin d'optimiser la pertinence du masque (maximiser son exhaustivité, tout en minimisant la surface non humide mais reprise en ZPH), la taille du *buffer* a été raisonnée selon les caractéristiques de chaque tronçon hydrographique.

Le tableau suivant reprend les valeurs du *buffer* attribuées aux différents types de tronçons hydrographiques.

Largeur du cours d'eau (au niveau du tronçon)	Largeur du <i>buffer</i> (de chaque côté du tronçon)
Plus de 50 mètres	150 mètres
Entre 15 et 50 mètres	70 mètres
De 0 à 15 mètres, cours d'eau permanents	25 mètres
De 0 à 15 mètres, cours d'eau intermittents	12,5 mètres
Attribut en attente de mise à jour	70 mètres

Tableau 2 : Valeurs du buffer en fonction de la largeur du cours d'eau

N.B. 1: Comme on le verra, les larges vallées alluviales sont également bien identifiées grâce aux Indices Topographiques, ce qui permet de garantir une bonne exhaustivité pour les zones à dominantes humides associées à ces vallées, sans devoir élargir inconsidérément le *buffer* systématique sur le réseau linéaire.

N.B. 2 : Le consultant a également étudié la possibilité de différencier la valeur du *buffer* selon la nature du cours d'eau (naturel ; canal ; aqueduc ; *etc.*), et sa position (au sol ; surélevé ; souterrain). Toutefois, vu le faible nombre de cas de cours d'eau « non naturels » et surtout « non au sol », il a été choisi de ne pas s'attarder sur ces cas particuliers et d'assumer une très légère surestimation des ZPH au niveau des canaux et aqueducs.

- **Hydrographie surfacique**

La BD CARTHAGE comprend deux couches liées à l'hydrographie surfacique : l'Hydrographie de surface (eau libre) et l'hydrographie de texture.

- **Les surfaces en eau**

Un total de 8795 surfaces en eau de plus de 1 ha sont reprises dans la BD CARTHAGE sur la zone d'étude (comme on le verra, les plans d'eau de moins d'1 ha sont repris sous forme de points). Il s'agit, non seulement de plans d'eau (lacs, étangs, bassins, réservoirs, *etc.*), mais aussi de tronçons de cours d'eau d'une largeur supérieure à 50m, de zones temporairement couvertes d'eau, de zones de sables ou de graviers dans le lit de cours d'eau.

Un *buffer* de 150 mètres a été appliqué indistinctement sur ces surfaces. On notera que parmi ces 8795 surfaces, 6319 sont des plans d'eau et 675 ont un type « inconnu » ou « en attente de mise à jour ».

- **L'hydrographie de texture**

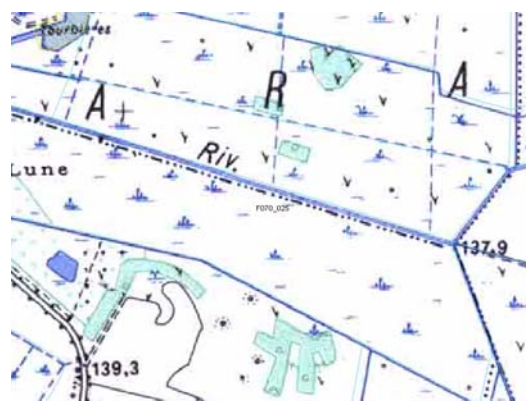
Selon la définition reprise dans les métadonnées¹² de la BD CARTHAGE, cette couche contient des « Zones plates, au drainage complexe, dans lesquelles circule un ensemble de portions de cours d'eau formant un entrelacs de bras d'égale importance ».

Cette couche comprend seulement 94 polygones sur la zone d'étude. Parmi ceux-ci, 16 ont un toponyme commençant par « marais », 1 par « tourbières » et le reste n'a pas de toponyme.

Il ne s'agit donc en rien d'un inventaire exhaustif de certains types de tourbières ou de marais sur le bassin, ni même des « zones au drainage complexe » (comme on pourrait le croire si l'on s'arrêtait à la première partie de la définition).

Plus particulièrement, il faut souligner que ces polygones ne correspondent en rien aux zones tramées de pictogrammes représentant une végétation hygrophile en bleu (voir illustration ci-contre) des cartes IGN (SCAN 25®).

Ces dernières, reprises sous forme vectorielle dans les couches « occupation du sol » de la base de données vectorielle de l'IGN n'a pas pu être obtenue dans le cadre de cette étude. Leur contribution au masque aurait été fort pertinente. Toutefois l'utilisation des Indices Topographiques, qui semblent présenter une bonne capacité à faire ressortir ce type de zones pourra palier à ce manque, ainsi que l'affichage du SCAN 25® par les photo-interprètes dans les phases ultérieures de PIAO. Un *buffer* de 150 mètres a été appliqué indistinctement sur les surfaces d'hydrographie de texture.



- **Hydrographie ponctuelle**

La couche d'hydrographie ponctuelle de la BD CARTHAGE comprend des types fort différents d'objets représentés sous forme de points : châteaux d'eau, stations de traitement des eaux, stations de pompage, réservoirs, plans d'eau d'une superficie inférieure à 1 ha. Les deux derniers types ont été utilisés pour le masquage, chaque point de ces types s'est vu entouré d'un *buffer* de 100m. Au final les différents buffers créés à partir de la bd CARTHAGE® ont été fusionnés (cf figure ci-dessous).



Figure 1 : fusion des différents buffers liés à l'hydrographie créés à partir de la BD CARTHAGE

¹² une métadonnée est une donnée servant à définir ou décrire une autre donnée quel que soit son support (papier ou électronique)

Les Couches « Milieux à Composante Humide »

Réalisées dans le cadre d'une étude du Muséum National d'Histoire Naturelle et de l'IFEN en février 2002, la série de couches d'informations géographiques « Milieux à composante humides » a été exploitée pour le masquage.

Ces couches correspondent à une sélection de ZNIEFF, pSIC et polygones Corine Land Cover (94), sélectionnés à partir d'une méthodologie bien précise.

En intégrant ces couches à son masque, le consultant entend, tout en connaissant les limites de ces couches (induites par le mode de collecte ou par leur nature même), apporter de l'information empirique à sa délimitation de ZPH.

- **pSIC humides**

Cette couche est issue de la couche d'information représentant les sites proposés comme Sites d'Intérêts Communautaire (pSIC), correspondant à la version de 2000. Ces sites sont composés d'habitats repris dans la Directive Habitats (Union Européenne).

Parmi ces habitats, certains peuvent se voir attribuer la caractéristique « humide » (ex : bas-marais dunaires ; tourbières hautes actives, *etc.*). Le MNHM et l'IFEN ont donc fait une sélection de pSIC « humides » en se basant sur les proportions d'habitats « humides » qu'ils contiennent.

L'entièreté de ces pSIC humides a été intégrée dans le masque comme ZPH.

- **Classes humides de CORINE Land Cover (Version 1,1996, images de 87 à 94)**

La couche d'information CORINE Land Cover, produite à partir d'images satellitales, contient des classes d'occupation du sol pouvant être qualifiées d'humides (ex : marais intérieurs, plans d'eau, *etc.*). Ces classes ont donc été extraites pour constituer une couche de Milieux Humides selon CORINE Land Cover (les données de CLC 2000 n'ont pas été disponibles suffisamment tôt pour être pris en compte dans notre étude).

La principale limite de ces données réside dans son échelle : les zones de moins de 25 ha, ou de moins de 100 mètres de large ne sont pas identifiées. Malgré cette limite, le consultant trouve pertinent de les ajouter dans son masque additif.

L'entièreté des classes CLC humides a été intégrée dans le masque comme ZPH.

- **ZNIEFF I et II humides (de première génération)**

Les ZNIEFF sont des milieux reconnus comme remarquables au point de vue écologique, floristique ou faunistique.

Il est important de distinguer d'emblée les deux types de ZNIEFF :

- les ZNIEFF I désignent des sites à superficie en général limitée, et à forte valeur patrimoniale ;
- les ZNIEFF II désignent des ensembles plus étendus (vallées, *etc.*).

Une sélection a été opérée par l'IFEN et le MNHN pour retenir les ZNIEFF spécifiquement humides. Pour ce faire, un score a été attribué à chaque ZNIEFF en se basant sur la proportion d'habitats qualifiés d'humides qu'elle renferme. La sélection s'est également basée sur le nom attribué à la ZNIEFF (« Marais de ... » ; « ... tourbeux » ; *etc.*).

L'entièreté des ZNIEFF I humides a été intégrée dans le masque comme ZPH.

Pour éviter d'intégrer des surfaces peu pertinentes, les pixels dont la pente est supérieure à 5% (2,86°) a été retranchée des ZNIEFF II. En effet, il n'a pas été jugé nécessaire d'inclure la totalité d'une vallée humide, par exemple, alors qu'il est évident que les coteaux escarpés ne présentent pas le même intérêt pour cette étude que les bas-fonds. Une exception a cependant été faite pour le Sud-Est de la zone (le Morvan, mais aussi le Plateau de Bourgogne, l'Autunois-Auxois, le Plateau Langrois, *etc.*) qui constitue une région au relief accentué, où des tourbières dites « de pentes » peuvent se trouver dans des pentes bien supérieures à 5%.

Les couches d'Arrêtés préfectoraux de protection de biotope du MNHN

Ont été ajoutés au masque les sites en arrêtés préfectoraux de protection de biotope dont le nom évoque clairement la présence de zones humides.

Exploitation des Indices Topographiques

- **Définitions**

Il existe de nombreuses variantes d'indices topographiques (Beven-Kirkby, Indice Topo pente aval, Indice topo-climatique, Indice topo-sol, *etc.*). Il a été choisi ici de travailler avec l'Indice Topographique de base, car des travaux de scientifiques à l'université de Jussieu (Florence Curie / Hocine Bendjoudi) ont montré que les données climatiques n'apportaient pas dans notre région beaucoup de valeur ajoutée pour délimiter les zones humides potentielles. Ce indice – appelons-le CTI pour « *Compound Topological Index* » - se calcule pour chaque pixel constituant l'aire étudiée comme suit :

$$CTI = \ln (a/TAN\beta)$$

Où **a** est l'« aire contributive » (nombre de pixels) c'est à dire la surface sur laquelle chaque goutte d'eau qui tombe ruissellera jusqu'au pixel en question ;

β est la pente moyenne du pixel en question (exprimée en degré)

- **MNT utilisé**

Dans un premier temps, le Modèle Numérique d'Élévation réalisé sur base de données satellitales radar (réalisé en 2004 par Geosys pour l'AESN) a été employé. Sa précision en X-Y est de 25 mètres et en Z de 8,16 mètres. Les résultats ont cependant présenté un biais important, biais dû à la nature même des données. En effet, la particularité des MNE radar est qu'il ne représente pas l'élévation du sol, mais bien l'élévation de la surface renvoyant le signal radar. Ainsi, l'« altitude » d'une zone forestière sera celle de sa canopée et l'altitude d'un champ labouré correspondra à celle du sol. Si sur des versants entièrement boisés, les indices topographiques – basés sur la pente et sur les relations entre pixels – calculés sur base du MNE sont utilisables, les résultats en zone agricoles agrémentées de bosquets sont à relativiser fortement. Il s'est même avéré que

toute lisière ou toute clairière représentait, sur base de ces résultats, des Zones Humides Potentielles ! Les CTI sur base du MNE a donc dû être écarté car son utilisation systématique dans le cadre du masque s'est révélée inopportune. Les résultats ont été conservés pour d'éventuelles applications locales.

C'est donc le MNT « Mona Pro » (IGN) au pas de 100m sur 100m qui a été utilisé pour le calcul des CTI. Moins précis que le MNE Radar, son échelle reste adaptée au présent travail puisque son pixel d'1ha correspond à l'ordre de grandeur de la plus petite zone humide à cartographier (de 1 à 5ha selon les types).

- **Traitements**

Suite à de très nombreuses vérifications et confrontations avec les cartes IGN au 1 :25000 et les Orthophotoplans de la BD ortho à 5m de l'IGN, il s'est avéré utile de nuancer les valeurs de CTI obtenus selon la zone du bassin où l'on se trouve.

En effet, de par le mode même de calcul, les valeurs de CTI dans les zones planes sont en moyenne plus élevées que dans les zones au relief accidenté. Dans une zone plane, où peu d'obstacles se présentent la valeur de la l'aire contributive sera plus élevée qu'en région montagneuse, et un terme élevé **a** dans la formule : $CTI = \ln (a/TAN\beta)$, donnera forcément un CTI plus élevé.

Certains outils de calcul de CTI proposent d'ailleurs un « lissage » des valeurs obtenues plus ou moins élevé selon que le relief de la zone d'étude est plus ou moins accentué.

Ce phénomène n'est pas gênant dans une région homogène au point de vue du relief puisque le CTI a une valeur relative. Il l'est sur notre zone d'étude, où l'on retrouve des régions accidentées (Morvan, Autunois-Auxois, etc.), des plaines côtières (Bessin, Cotentin), des plateaux (de Bourgogne, d'Evreux Saint-André, etc.).

L'exemple suivant illustre concrètement ces principes :

Une région réputée très sèche comme la Beauce (relief très plat mais aussi sol très infiltrant) a un CTI moyen beaucoup plus élevé que le Morvan. Dans cette dernière région, les zones humides indiquées sur l'IGN ressortent très fort au niveau du CTI : une dépression "humide" a un CTI bien supérieur à celui des pixels voisins ... mais inférieur à la majorité de ceux de la Beauce ! Donc, si on applique un seuil homogène, on aura comme zone non masquée plus de 50% de la Beauce (où les zones humides sont très rares et peu liées à la topographie), par contre on "ignorera" les 3/4 des zones humides de dépression du Morvan.

Les « Petites Régions Agricoles » (voir carte en [annexe 9](#)) délimitées par l'INSEE ont été utilisées pour ajuster la valeur du CTI de manière à le rendre comparable en tout point de la zone d'étude. Bien que délimitées sur la base de limites communales (pour des raisons de facilité d'agrégation de valeurs statistiques sans doute), les PRA n'en présentent pas moins une subdivision de la zone d'étude en adéquation avec les objectifs d'ajustement du CTI et ce pour plusieurs raisons.

Premièrement, il n'existe pas dans la réalité de limite arbitraire entre deux régions naturelles, il s'agit souvent d'un continuum entre deux régions contrastées ; suivre les limites communales (dont la taille moyenne est très réduite par rapport à celle de la zone d'étude) peut donc être vu comme une « moins mauvaise » solution puisqu'il faut bien tracer une ligne.

Deuxièmement, une région agricole présente des caractéristiques relativement homogènes de sol, de relief, de géologie et de pluviométrie. La concordance entre limites de régions agricoles et cartes géologiques, par exemple, illustre bien cette affirmation.

On peut donc, dans le cas qui nous préoccupe, tabler sur le postulat qu'une région agricole est bien une entité territoriale pertinente quant à la nature du relief.

Pour toutes ces raisons, il a été décidé d'ajuster le CTI de manière à le rendre comparable en tout point de la zone d'étude suivant la formule suivante :

$$\text{CTI}_{\text{ajusté}} = \alpha_{\text{PRA}} * \text{CTI}$$

Où α_{PRA} est un facteur proportionnel à la pente moyenne de la Petite Région Agricole où se trouve le pixel.

On comprendra que plus une PRA aura un relief accidenté, plus sa pente moyenne sera élevée. Le facteur α_{PRA} prend la valeur 0,875 (– 12,5 % par rapport à la valeur médiane de 1) pour la PRA la plus plane (la Brie Boisée) et la valeur 1,125 (+12,5%) pour la PRA la plus accidentée (Cote Viticole et Arrière Côte de Bourgogne).

• Résultats

Des travaux de validation systématiques sur un échantillon aléatoire de cartes IGN réparties sur l'ensemble du bassin ont permis de constater que cet ajustement permettait de gagner en pertinence, tout en utilisant une valeur-seuil unique du CTI ajusté sur l'ensemble de la zone d'étude pour le classement en ZPH et ZNPH : cette valeur seuil a été fixée à 16).

Le CTI ajusté et seuillé donne environ 15% de la surface du bassin en « zone potentiellement humide » (voir carte en [annexe 10](#)). Visuellement, les thalwegs des cours d'eau (y compris de très petits ruisseaux intermittents) ressortent fortement, mais également les anciens thalwegs, les petits valons secs car pas assez encaissés pour drainer la nappe. Les larges vallées alluviales (boucles de la Seine, Bassée) sont également très bien mises en évidence, de même que de grands systèmes de marais ou d'eau libre.

Ses principales limites se situent dans la taille de son pixel (qui ne permet pas, pas exemple de rendre fidèlement le linéaire d'une vallée très sinueuse et encaissée, ou conduit à ignorer des micro-dépressions) et son aspect un peu « bruité » lorsqu'on travaille à des échelles inférieures au 1 :100.000 (des pixels isolés apparaissent en ZPH au milieu de grandes étendues logiquement classées non humides, tandis qu'une large ZPH est entachée çà et là de pixels ZNPH disgracieux). Ce dernier défaut est essentiellement dû à la nécessité de respecter une valeur seuil « abrupte ».

Inventaires existants

Toutes les sources de données géoréférencées disponibles sont mises à profit pour augmenter l'exhaustivité du masque final. Ainsi, les inventaires existants permettent d'ajouter encore aux connaissances empiriques intégrées au masque.

Etant donné le caractère additif de chaque ajout de données au masque, il n'est pas nécessaire qu'un inventaire couvre la totalité de la zone d'étude pour pouvoir être intégré.

- **Inventaire des Forêts Alluviales (Ecosphère 2000 – 1/500000)**

Cet inventaire prend la forme de tronçons de cours d'eau issus de la BD CARTHAGE, pour lequel on a ajouté des attributs décrivant les éventuelles forêts alluviales présentes le long du cours d'eau. Etant donné que la totalité des cours d'eau présents dans la BD CARTHAGE a été prise en compte, il n'est pas nécessaire de réintroduire spécifiquement ces données dans le masque.

Elles ont par contre été utilisées dans le jeu de données ancillaires durant la phase de PIAO.

- **Zones Humides du Littoral Normand (Ecosphère 2001 : 61 zones humides de plus de 100 ha)**

Les données d'inventaires des Zones Humides du Littoral Normand, fournies sous format papier, on été numérisées et intégrées dans le masque. De manière générale, on constate que la partie CTI du masque avait déjà permis leur intégration comme ZPH.

- **Base de données pour la caractérisation des Corridors Fluviaux**

Il a été constaté que ni la BD CARTHAGE, ni le CTI ne permettaient de mettre en évidence certaines très petites annexes fluviales (de l'ordre de 100m de long), pourtant visibles sur les cartes IGN au 1 :25000. Ces annexes sont reprises au format vectoriel parmi les résultats d'une étude réalisée pour le compte de l'AESN sur la caractérisation des Corridors Fluviaux. Ces données ont été disponibles qu'au cours de la phase de PIAO et ont été utilisées durant cette phase.

Résultats du masquage

Au total, plus de 20% de la zone d'étude a été retenue comme Potentiellement Humide. Des validations de laboratoire (comparaison du masque avec le fond topographique et la carte géologique) et de terrain (validation du masque au cours de la validation des travaux de photo-interprétation) ont permis de confirmer la fiabilité du masque. Remarquons cependant que cette validation du masque n'a pas fait l'objet d'un contrôle spécifique basé sur une analyse statistique.

Ne sont pas reprises dans le masque, les zones humides « méconnues » (absentes des inventaires) et déconnectées du chevelu hydrographique, et celles situées dans des micro-dépressions ou des zones de résurgences de pentes.

Le masque a été utilisé comme point de départ aux travaux de photo-interprétation. Durant cette seconde phase, la limite entre ZPH et ZPNH a été affinée manuellement par les photo-interprètes.

La figure 2 présente quelques extraits du masque « final » utilisé par les photo-interprètes pour délimiter l'enveloppe humide.

Figure 2 : Extraits du masque final (en blanc : ZPH et en beige : ZPNH)



2.4.2 Traitements

Introduction

Cette seconde partie de la méthodologie, axée principalement sur des travaux de photo-interprétation principalement, fait donc suite aux travaux de masquage décrits ci-dessus.

Elle consiste à vérifier et à ajuster ce premier travail de masquage en zones potentiellement humides et potentiellement non humides et ensuite, à l'intérieur de la zone à dominante humide, photo-interpréter les différents types d'occupation des sols selon la typologie définie préalablement. (cfr. point 2.2).

Afin de mettre à profit toutes les sources d'information et de procéder méthodiquement, l'interprétation se déroule en trois étapes emboîtées:

- ETAPE 1 : à l'échelle d'une entité territoriale (Petite Région Forestière) on réalise une analyse critique des informations existantes et des données de terrains pour faciliter et guider les travaux dans les étapes suivantes ;
- ETAPE 2 : à l'échelle d'une zone hydrographique¹³ (unité élémentaire de la BD CARTHAGE – c'est l'élément le plus fin de la partition du territoire en bassins versants hydrographiques - le bassin de l'AESN est découpé en 980 zones hydrographiques – ces zones représentent des bassins versants de tronçons de rivières ou de très petits cours d'eau) de l'entité territoriale choisie, on délimite l'enveloppe à dominante humide;
- ETAPE 3 : à l'échelle de l'enveloppe à dominante humide, on photo-interprète les différents types de zones humides (selon la typologie retenue) avec attribution des types, sous-types et degré de confiance.

¹³ Ce choix est motivé par plusieurs raisons :

- le besoin de s'appuyer sur de petites unités territoriales afin d'organiser le travail des photo-interprètes et d'être totalement exhaustif sur l'ensemble du bassin ;
- le souci de cohérence avec la BD CARTHAGE ;
- la pertinence du découpage hydrographique pour l'étude (le photo-interprète se retrouve face à une unité territoriale structurée selon la thématique « eau », aucun drain n'est coupé par la limite de zone, sauf un seul, son exutoire) ;
- la possibilité de désagréger ou d'agréger facilement les données suivant des unités cohérentes avec la thématique

Les étapes 2 et 3 s'appuient sur des clés d'interprétation établies suite à des travaux de terrain et de cartographie sur les sites tests. Elles sont détaillées dans chacune des étapes ci-après.

ETAPE 1 : Analyse préliminaire – définition et hiérarchisation des critères déterminant la présence ou l'absence de zones humides – clé d'interprétation

Cette analyse préliminaire est réalisée avant le début des travaux de cartographie proprement dits à l'échelle d'une « Petite Région Forestière » (voir carte en [annexe 11](#)).

En effet, les « Petites Régions Forestières » de l'IFN sont retenues comme sous-unité territoriale. Qualifiées de forestières car définies pour les besoins d'inventaire en la matière, cette segmentation traduit un ensemble de facteurs pédologiques, géologiques, climatiques, topographiques et même anthropiques qui font de ces Régions des entités écologiques homogènes et caractéristiques. Concrètement, le photo-interprète traite toutes les zones hydrographiques d'une Région Forestière avant de passer à la suivante.

Ce choix est motivé par plusieurs raisons :

- le besoin de s'appuyer sur de petites unités territoriales afin d'organiser le travail des photo-interprètes et d'être totalement exhaustif sur l'ensemble du bassin ;
- le souci de cohérence avec la BD CARTHAGE ;
- la pertinence du découpage hydrographique pour l'étude (le photo-interprète se retrouve face à une unité territoriale structurée selon la thématique « eau », aucun drain n'est coupé par la limite de zone, sauf à l'amont et à l'exutoire) ;
- la possibilité de désagréger ou de ré-agréger facilement les données suivant des unités cohérentes avec la thématique

Vu qu'une « Petite Région Forestière » regroupe plus ou moins finement plusieurs PRA, nous avons privilégié ce niveau de découpage dans cette phase d'analyse.

L'objectif de cette phase est de confronter toutes les données disponibles (la morpho-géopédologie : cartes topographiques et géologiques ; l'occupation et l'utilisation des sols : les orthophotoplans et les images satellitales ; les données bibliographiques : recherche bibliographique sur internet et les reconnaissances de terrain et de les hiérarchiser selon leur efficacité à discriminer les zones humides des zones non humides.

En effet, l'interprétation des résultats du masque ne peut être uniforme sur l'ensemble du bassin qui présente de très grandes diversités tant sur le plan climatique, édaphique (sol ; sous-sol) que de l'occupation du sol.

Cette étape préliminaire à la cartographie proprement dite d'une Région Forestière permet donc l'adaptation de la clé d'interprétation générale (voir point suivant) en fonction des particularités de cette région.

ETAPE 2 : Délimitation de l'enveloppe à dominante humide

Cette étape consiste en l'interprétation et la modification des limites du masque sur base de la clé d'interprétation définie au cours de la phase test (voir clé [annexe 12](#)). Comme mentionné

précédemment, cette méthodologie d'interprétation ne peut être tout à fait uniforme sur l'ensemble du bassin. Cependant une tendance générale se dessine et une hiérarchisation des données a pu être établie (voir clé en [annexe 12](#)). Mais parfois, suivant la région cartographiée, cette hiérarchisation générale pourra être adaptée.

Il est à noter que selon les dates d'acquisition (en [annexe 13](#)) et la qualité des produits (notion de contraste), les orthophotoplans peuvent ou non prédominer sur le critère géologique.

Pratiquement, l'unité de travail de cette seconde étape est la zone hydrographique et l'échelle de travail, le 1:15.000^{ème}. Le produit de cette deuxième étape est un fichier vectoriel de type "ligne" représentant les limites de l'enveloppe des zones à dominante humide d'une zone hydrographique donnée (voir exemple sur l'Esque en [annexe 14](#)).

ETAPE 3 : Photo-interprétation de l'enveloppe (PIAO)

- Cartographie des limites des types et sous-types de zones à dominante humide

Après incorporation automatique des éléments surfaciques de la BD CARTHAGE à la couche "ligne" obtenue lors de l'étape 2, les limites des différentes unités typologiques présentes à l'intérieur des enveloppes humides sont numérisées. Le raisonnement (choix décisionnel) utilisé par le photo-interprète pour identifier les différents types et sous-types de zones à dominante humide est présenté à l'[annexe 15](#). C'est un arbre de décision (clé dichotomique) qui se base sur des critères géographiques (proximité ou non de la côte) et des critères de photo-interprétation (voir tableau en [annexe 16](#)). Cet arbre de décision et la clé d'interprétation des orthophotoplans ont été élaborés et validés au cours de la phase test sur les 11 sites pilotes.

Les principaux critères de photo-interprétation utilisés sont les suivants :

- **Teinte (couleur)** : la teinte d'un objet est fonction de plusieurs critères se rapportant soit à la réflectivité de l'objet ou à son environnement.
- **Texture** : la texture se définit comme la présence des changements de tons à l'intérieur de l'image produits par l'agrégation d'un ensemble d'objets trop petits pour être individuellement discernables à l'œil nu.
- **Ombre** : l'ombre donne de la profondeur à la photo sans faire appel au stéréoscope en projetant au sol la silhouette des objets.
- **Pattern** : c'est la disposition d'ensemble que présente l'organisation anthropique ou naturelle des phénomènes photographiés. C'est encore la répétition d'une forme ou de plusieurs formes régulières.

Cette clé d'interprétation est également hiérarchisée (voir figure en [annexe 17](#)), certains critères étant plus importants ou discriminants que d'autres.

Des illustrations décrivant les différents types de zones à dominante humide sont présentées à l'[annexe 18](#).

Certaines données disponibles dans la littérature ou provenant de visites de terrain viennent s'ajouter à ce tableau pour un meilleur produit final.

Le photo-interprète interprète toute la surface de l'enveloppe même s'il existe des zones probablement moins humides ou non humides au sein de cette enveloppe. Ce choix a été retenu dans un souci de continuité. En effet, mis à part des cas particuliers comme les lacs artificiels et autres, une zone humide forme généralement un ensemble continu et qu'il faut analyser dans sa globalité (notion d'espace) pour tout aménagement.

- Attribution du code typologie

Après création des polygones à partir du fichier de lignes (enveloppe découpée en types), le photo-interprète attribue chaque polygone : encodage du type (code compris entre 1 et 8) et sous-type si c'est pertinent et que l'interprétation le permet. D'éventuelles observations sont également consignées.

- Attribution du degré de confiance

Lors de la phase d'attribution, en plus de sa typologie (type et sous-type), chaque polygone créé se voit attribuer un « Degré de Confiance ». ***Celui-ci porte sur le degré de certitude (faible, moyen, fort) du caractère humide d'une zone cartographiée.*** Il s'est en effet avéré que malgré la quantité d'informations de natures diverses disponibles (topographie, images satellitales et aériennes, géologie, hydrographies, etc.), le caractère humide ou non ne peut être tranché avec certitude sans faire des vérifications terrains systématiques. Même sur le terrain, la transition entre zones humides ou zones non humides n'est pas toujours marquée de manière abrupte, mais souvent par un continuum. Cela est d'autant plus marqué dans des régions au relief peu accidenté, où des facteurs de micro-relief et/ou liés à des variations pédologiques locales jouent un rôle prépondérant. Le degré de confiance est laissé à l'appréciation du photo-interprète qui se base sur son expérience (critère subjectif) et sur les validations de terrain.

Le degré de confiance tel qu'il est défini apparaît comme pertinent dans une perspective d'utilisation des résultats de la présente étude dans le cadre d'inventaires de terrain.

2.4.3 Remarques méthodologiques

1. Ressources humaines

Les travaux ont été réalisés par une équipe composée d'un chef de projet, de deux photo-interprètes, d'un spécialiste SIG et d'un expert en écologie. Les travaux de photo-interprétation proprement dits (phase de test et phase de production) ont duré un peu plus de 10 mois. Le chef de projet était chargé d'encadrer les photo-interprètes et de valider leurs travaux. L'expert SIG était en charge des traitements SIG de la première phase (réalisation du masque) et du contrôle qualité du produit numérique.

Les deux photo-interprètes ont travaillé en parallèle sur des zones hydrographiques adjacentes en commençant par le secteur des Bocages Normands et en terminant par le secteur du Bassin Amont de la Seine. Ce choix méthodologique a été privilégié pour les raisons suivantes:

- Assurer un travail homogène sur l'ensemble du bassin ;
- Faciliter et optimiser le travail des photo-interprètes (résolution commune de problèmes d'interprétation, etc.) ;
- Faciliter les travaux de validation.

Au démarrage des travaux et dans le cadre de la phase de test, les deux photo-interprètes ont parcouru le terrain pour bien se familiariser avec les spécificités des régions à cartographier et les types de zones à dominante humide.

2. Données utilisées

Cartes géologiques (Scan 50 Geol) : mis à part quelques discontinuités lithologiques entre certaines planches, les cartes géologiques ont été d'une grande utilité dans la délimitation de l'enveloppe humide. Certaines unités cartographiées comme Fz (alluvions récentes) et Fz/Fy se sont révélées indicatrices de milieux à dominante humide. C'est le cas notamment pour les Bocages Normands et la région du Morvan où on retrouve sur ces unités les prairies les plus humides.

Images satellites : les images satellitales de type Landsat ETM+ (voir tableau en [annexe 19](#)) ont permis aux photo-interprètes de lever des problèmes d'interprétation et de délimitation sur les orthophotoplans. On notera par exemple, la distinction entre cultures (terre arable) et prairies ou encore la distinction entre les types de peuplement arborés (résineux et feuillus). Les images satellitales ont permis à de nombreuses reprises d'affiner le masque et donc la délimitation de l'enveloppe humide. Par contre, les images satellitales n'ont pas permis par traitement semi-automatique (classification et calcul d'indice – analyse diachronique (deux dates d'acquisition par image)) de cartographier les zones à dominante humide. La technique plus classique de photo-interprétation a donc été privilégiée.

Orthophotoplans : c'est l'information de base utilisée pour les travaux de photo-interprétation. Mis à part des contrastes parfois très différents d'une zone à l'autre, les orthophotoplans sont d'assez bonne qualité et la résolution spectrale de 5m est suffisante pour une cartographie au 1 :50.000.

Pour pouvoir traiter cette masse d'information de manière souple et rapide et, pour optimiser les travaux de PIAO, une série d'outils ont été développés au sein même du logiciel SIG utilisé (voir détails en [annexe 23](#)).

3. Difficultés rencontrées lors des travaux de PIAO

Type 1 - Eaux de surfaces : les photo-interprètes n'ont pas rencontré de problèmes particulier pour cartographier cette unité.

Type 2 - Formations forestières humide et/ou marécageuses : comme déjà signalé la distinction entre les deux sous-types n'est pas toujours évidente à faire sur les orthophotoplans et c'est généralement l'image satellitale qui permet de lever ces problèmes. Un autre problème rencontré concerne les formations forestières situées sur des plateaux (cas des forêts situées au sud-est de Paris) à faible déclivité en dehors des zones alluviales. Les informations disponibles (masque, cartes topographiques, cartes géologiques, etc.) ne permettent de préciser à l'intérieur de ces massifs les contours des zones à dominantes humides. Pour ces massifs, les photo-interprètes ont soit utilisé des données bibliographiques pertinentes pour délimiter les ZDH ou bien on englobé la totalité du massif en ZDH. Seul un inventaire détaillé de terrain permettrait de délimiter avec précision pour ce type de formation les zones à dominantes humides. Ce problème explique la sur-estimation des zones à dominantes humides dans certains massifs cartographiés.

Type 3 - Prairies humides : la cartographie des prairies humides ne pose pas de problème particulier. Des confusions sont parfois possibles avec le type 4 (Tourbières, landes, roselières et

mégaphorbiaies) et plus spécifiquement avec le sous-type « mégaphorbiaie ». A l'intérieur de ce type, on rencontre une très grande diversité de prairies humides : de la prairie très humide avec un gley et une nappe d'eau à faible profondeur (< 40 cm) à la prairie moins humide avec un pseudo-gley à 50 cm de profondeur. La méthodologie ne permet pas de faire la distinction entre toutes ces variantes, ce qui peut expliquer une légère sur-estimation de ce type.

Type 4 – Tourbières, landes, roselières et mégaphorbiaies : la distinction entre ces différents sous-type est très difficile à faire sur les orthophotoplans à 5m de résolution. Les tourbières sous forêt sont par exemple impossibles à identifier sans informations complémentaires. Ces tourbières sont donc incluses dans le type 2. Les roselières sont quant à elles plus faciles à cartographier surtout si elles occupent des surfaces importantes d'un seul tenant. Les roselières en lisière des étangs sont à l'échelle de cette cartographie (1 :50 000) incluses dans le type 1. Les mégaphorbiaies peuvent être confondues avec certaines prairies naturelles peu entretenues.

Type 5 – Zones humides littorales : la cartographie des schorre et des slikke ne pose pas de problèmes particuliers. La délimitation des pannes dunaires est plus difficile (entités plus petites et moins contrastées, etc.).

Type 6 – Terres arables : toutes les terres arables (grandes cultures) comprises dans l'enveloppe ont été cartographiées comme Zones à Dominante Humide. Il est clair que certaines de ces terres sont probablement drainées et donc ne présentent pas de caractère humide (absence de gley ou de pseudo-gley, absence de végétation hygrophile), mais sont potentiellement humides.

Types 7 et 8 : les photo-interprètes n'ont pas rencontré de problèmes particuliers pour cartographier cette unité.

2.4.4 Méthodologie de validation

- Introduction

Le résultat des travaux de photo-interprétation est contrôlé sur le terrain. La validation porte sur la typologie (typologie de niveau 1) et sur le caractère humide de l'unité ou du polygone contrôlé.

- Echantillonnage

Les unités à contrôler (polygone ou une unité surfacique créée par photo-interprétation) sur le terrain ne sont pas choisies de manière aléatoire. Ceci est motivé par un souci de qualité du produit obtenu mais également par la prise en compte des contraintes temps et de déplacement. Une série de zones hydrologiques sont donc sélectionnées à l'intérieur desquelles certaines unités font l'objet d'une validation.

Le choix des zones hydrologiques se fait en tenant compte des facteurs suivants :

- Une sélection de zones hydrologiques présentant certaines difficultés d'interprétation ;
- Une bonne représentativité des différents types de zones humides ;
- Une bonne représentativité spatiale.

Parallèlement à la validation interne, il y a eu trois jours de validation de terrain avec le Comité de Pilotage et, l'Agence a parallèlement réalisé 8 jours de validation, parfois accompagnée de l'assistance à maîtrise d'ouvrage.

Des relevés de terrain sont également faits à l'extérieur de l'enveloppe humide pour mesurer la fiabilité de la cartographie quant à la cartographie des enveloppes. (cf chapitre 3: matrice de confusion)

- Nature du contrôle et moyens utilisés

L'objet du contrôle de terrain consiste à valider la typologie et le caractère humide ou non de l'unité relevée (polygone interprété). Tout d'abord un diagnostic visuel des groupements végétaux, est réalisé. Sont recherchées les espèces hygrophiles et les espèces tolérantes à des sols plus ou moins hydromorphes. En l'absence d'une végétation caractéristique d'un milieu humide, un sondage pédologique à la tarière est effectué pour contrôler le caractère humide de l'unité.

Le sondage à la tarière permet de déterminer objectivement si on est en présence d'une zone à dominante humide ou non. L'observation porte sur la présence ou l'absence d'un pseudo-gley (nappe semi-permanente) ou d'un gley (nappe permanente) et sur la profondeur d'apparition des phénomènes d'oxydo-réduction. L'apparition du gley ou du pseudo-gley à moins de 50 cm est estimée comme pertinent pour valider le caractère humide de la station (voir illustrations en [annexe 21](#)).

Une fiche de relevé a été spécialement conçue pour l'encodage des informations (exemple de fiche en [annexe 22](#)). Pour les déplacements et le positionnement des relevés, un encodeur de terrain équipé d'un GPS et d'un Système d'Information Géographique portable (ArcPad) a été utilisé. Cet équipement permet de positionner le relevé par rapport aux travaux de photo-interprétation (unités cartographiées et typologie, limite de l'enveloppe).

Le contrôle de terrain a été réalisé à la fois par les experts d'I-Mage et par les experts du bureau Le CERE.

3 Résultats

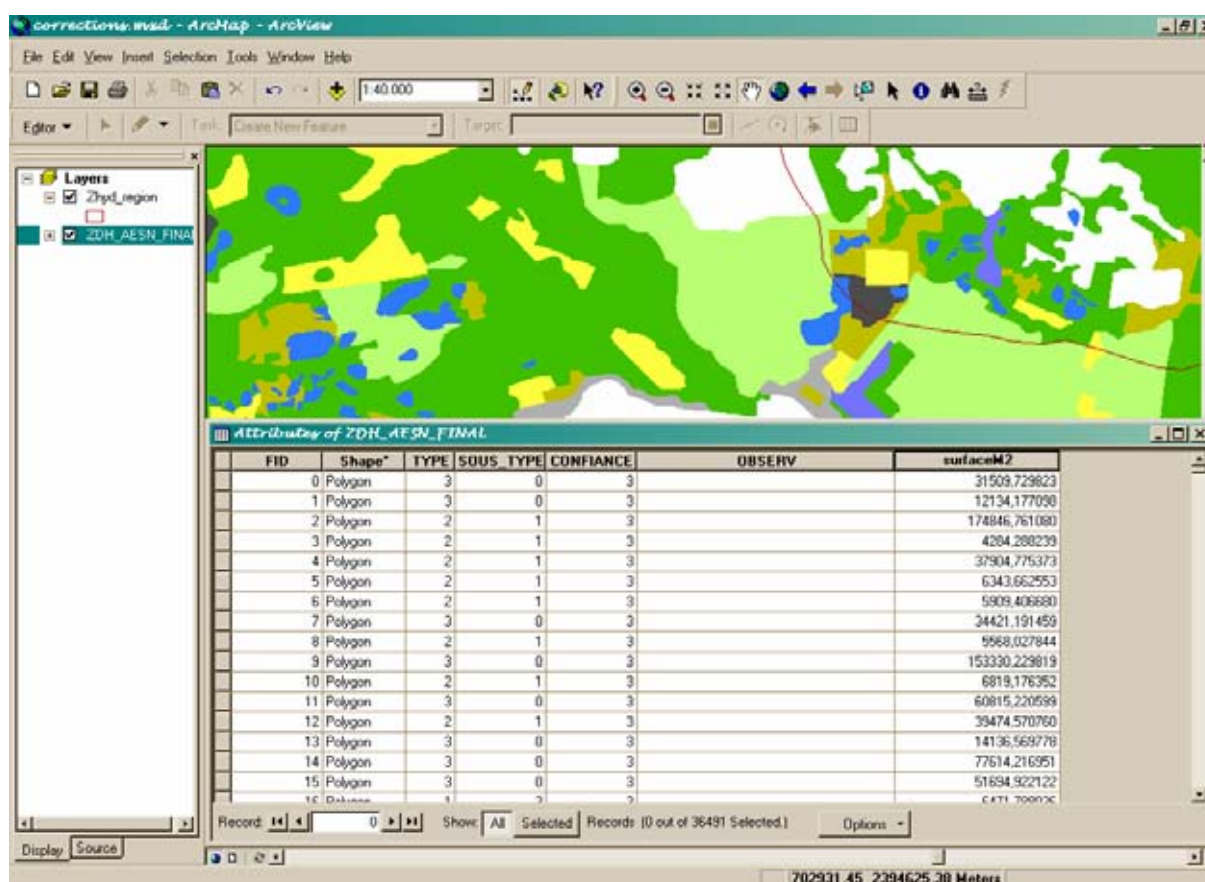
3.1 Produit final

Le produit final de cette étude est une couche d'information géographique représentant les différents types de zones humides sur le bassin Seine-Normandie. Pour rappel, l'échelle de lecture de cette couche est le 1:50.000^{ème} (1mm papier représente 50 mètres sur le terrain).

La table attributaire associée est constituée de différents champs :

- i) un identifiant unique (numéro unique concaténé au numéro de département) ;
- ii) le type (niveau 1) de zone humide ;
- iii) le sous-type (niveau 2) ;
- iv) le degré de confiance ;
- v) un champ observation qui vient compléter l'information. Dans ce champ "observation", on retrouve à la fois les codes 'sous-type' des unités composant les mosaïques du type 8 mais aussi d'autres informations générales (par exemple, si une étendue d'eau libre a clairement l'aspect d'une carrière ou d'un bassin d'orage, cela est mentionné) ;
- vi) Superficie du polygone en m²

Figure 3 : vue exemplative du fichier sous SIG



3.2 Analyse statistique de la couche des zones à dominante humide

Il est important de noter que, par souci de cohérence territoriale, les limites de Zones Hydrographiques constituent des limites de polygones. Ainsi, une grande prairie humide s'étendant sur plusieurs zones hydrographiques sera fractionnée en autant de polygones distincts. Cela a pour effet de fractionner artificiellement (augmentation du nombre, diminution de la surface moyenne) la couche des zones à dominante humide. Ce fractionnement se justifie cependant par l'utilisation optimale du produit final sous SIG.

Tableau 3 : données synthétiques sur les ZDH

Nombre total de polygones cartographiés	36.491,0
Surface Totale des polygones (km ²)	5.592,02
Surface Moyenne des polygones (km ²)	0,153
Ecart Type de la Surface des polygones	0,722

On peut donc considérer que les zones à dominantes humides du bassin Seine-Normandie représentent une surface de 5.592 km² soit 5,9 % du bassin. Ce chiffre est à comparer avec la surface des zones potentiellement humides calculée à partir de l'indice topographique, qui est de 14.230 km² soit 15 % du bassin.

Le graphique et les deux tableaux suivants donnent un aperçu statistique des zones à dominante humide du Bassin Seine – Normandie. Les deux tableaux font référence aux commissions géographiques et il est important de noter que la commission « Rivières Ile-de-France » recouvre partiellement quatre autres commissions (voir carte des directions de secteur en [annexe 3](#)).

Figure 4 : Représentativité spatiale par type de zone à dominante humide du bassin AESN

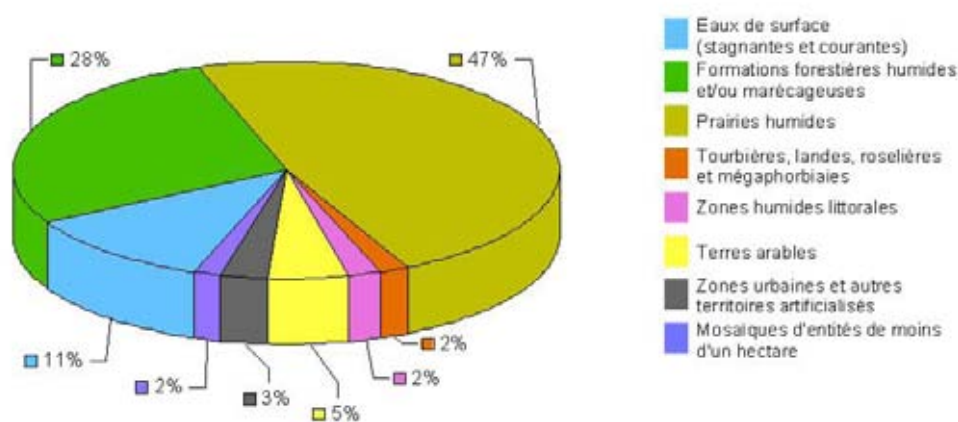


Tableau 4 : Surfaces de ZDH et surface totale des territoires de commission géographique

	Surface Totale (km ²)	Total ZDH (km ³)	Proportion ZDH (%)
Bocages Normands	14.245	1.782	12,51
Vallées de la Marne	12.765	394	3,09
Vallées de l'Oise	16.973	1.046	6,16
Rivières d'Ile-de-France	12.924	563	4,36
Seine Aval	20.073	1.070	5,33
Seine Amont	30.809	1.299	4,22
Ensemble Bassin	94.865	5.592¹⁴	5,89

Sur l'ensemble du bassin, on obtient une moyenne de 5,89% de zones à dominante humide. La commission géographique des Bocages Normands obtient un pourcentage deux fois plus élevé qui s'explique par la densité de son chevelu hydrographique. Ce pourcentage plus élevé de ZDH a bien été confirmé lors des relevés de terrain. Dans cette zone, toutes les petites vallées sont occupées par des prairies humides et les sondages pédologiques confirment la présence d'un pseudo-gley à moins de 50cm et/ou la présence d'un gley.

Tableau 5 : surfaces de ZDH par type et par commission géographique

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8	TOTAL
Bocages Normands	37,2	108,8	1.386,4	36,3	85,3	59,9	30,9	37,2	1.782
Vallées de la Marne	64,9	214,9	75,6	6,9	0,0	21,3	5,2	4,7	394
Vallées de l'Oise	80,2	413,9	408,2	25,6	0,0	65,9	42,3	10,5	1.046
Rivières d'Ile-de-France	113,5	339,7	49,3	8,1	0,0	27,1	11,1	14,1	563
Seine Aval	200,1	168,1	489,4	23,9	23,4	76,7	65,2	23,2	1.070
Seine Amont	254,3	654,1	314,7	9,6	0,0	33,3	12,0	21,7	1.299
Ensemble Bassin¹⁵	636,7	1.559,9	2.674,3	102,3	108,7	257,1	155,6	97,3	

¹⁴ la commission géographique « Rivière Ile-de-France » est à cheval sur 4 autres commissions géographiques correspondant à 4 grands sous-bassins (voir carte des commissions géographiques en annexe 3)

¹⁵ la somme des données (en colonne) en excluant la commission géographique des Rivières d'Ile-de-France

Si de la surface totale des zones à dominante humide on retranche les surfaces des types 6 et 7 correspondant à des zones humides « cachées » par les activités humaines (terres arables, bâtis....), on aboutit à un chiffre de 4.543 km², soit **4,8 %** du bassin.

Comme on peut le voir sur la carte de générale des Zones à Dominante Humide (voir [annexe 23](#)) et sur la figure X, la majeure partie des ZDH sont constituées de prairies et de bois (respectivement 47% et 28 % des ZDH). Ces unités suivent globalement le réseau hydrographique, à l'exception des lacs de la Champagne humide qui sont des bassins artificiels et de quelques marais.

Les terres arables (type 6) occupent moins de 5% des zones à dominante humide. Les zones humides, plus difficilement cultivables sans drainage, sont plutôt laissées en pâture ou en bois. Ce constat se confirme lorsqu'on examine l'occupation du sol du bassin AESN. Le bassin est marqué par une anthropisation relativement forte ce qui se traduit par une densité assez faible de forêts, une forte urbanisation autour de la région parisienne et des grands cours d'eau et une exploitation soutenue des terres par l'agriculture dans le bassin parisien. L'implantation des différents types d'agriculture est fortement corrélée avec les facteurs pedo-climatiques du bassin et suit de ce fait un schéma concentrique :

- le centre du bassin, où les conditions pédo-climatiques sont les plus favorables, est occupé par des grandes cultures qui ont un poids important à l'échelle du bassin (60% de la SAU) ainsi que par des cultures industrielles ;
- en périphérie du bassin se trouvent des régions plus spécialisées dans l'élevage bovin (Morvan, Basse-Normandie, Thiérache) ;
- dans les zones de transition, les systèmes d'exploitation « mixte » en polyculture-élevage prédominent.

Les zones d'élevage sont globalement humides, avec logiquement une dominance des prairies le long des cours d'eau.

Les eaux marquent différemment le paysage en fonction de la nature du sous-sol. La densité est très forte (cours d'eau de surface) dans le Cotentin (massif granitique ancien) et dans le Morvan (voir carte géologique simplifiée en [annexe 4a](#)). Ces conditions favorisent les écoulements de surface aux dépens de l'infiltration. Ceci explique l'apparence « très humide » de ces deux zones. A l'inverse, on observe quelques « zones sèches » correspondant à de larges zones exemptes de ZDH sur la carte. L'exemple le plus frappant est le pays de Caux (nord-est du Havre). Cette absence de zones humides (même de cours d'eau de surface) est ici aussi intimement liée à la géologie du secteur : le plateau calcaire karstique ne permet pas l'écoulement ou la stagnation d'eau en surface.

Les secteurs fortement modifiés par l'homme recèlent peu de ZDH. C'est le cas de l'agglomération parisienne qui comportait jadis des marais, drainés pour permettre l'urbanisation. Il demeure toutefois dans cette région, au sud-est de Paris, des massifs forestiers importants (forêt de Rambouillet, etc.) et en grande partie à dominante humide. Cette humidité est liée à un ralentissement de la dynamique de l'eau dans le sol (drainage pauvre) suite à la présence d'un substrat imperméable (ex marnes vertes) et une position topographique plane.

La largeur des bandes humides le long du réseau hydrographique est due au régime du cours d'eau et à la topographie locale. Ainsi la largeur du lit majeur de grandes rivières comme l'Oise implique des débordements importants. Ces zones inondables sont principalement des prairies ou

des bois humides, mais tous les types de milieux peuvent être trouvés. La largeur des ZDH au niveau des estuaires est aussi liée au relief. Selon la largeur de l'estuaire lui-même, les zones humides littorales prendront plus ou moins d'importance.

A l'inverse des zones bocagères d'élevage que sont le Morvan et le Cotentin, la Bassée se caractérise par la présence de ripisylves avec quelques reliques de prairies. Dans ce cas, il s'agit d'un contexte général agricole de cultures : la grande majorité des zones trop humides pour être cultivées sont donc laissées « à l'abandon » et se boisent.

3.3 Validation des résultats

3.3.1 Répartition spatiale

La carte de situation des points de contrôles pour la validation des résultats est présentée en annexe 24.

3.3.2 Matrice de confusion

Les données de terrain (vérité terrain) ont été traitées de deux manières différentes. La première matrice de confusion (tableau 6) met l'accent sur la typologie (niveau 1) et la seconde matrice (tableau 7) met quant à elle l'accent sur le caractère humide ou non humide et, complète ainsi les résultats de la première matrice.

Vérité terrain	PIAO - Photointerprétation									
	Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
	1	6								6
	2		75	1						76
	3		3	142	4					149
	4			4	17					21
	5					20				20
	6			2			17			19
	7							5		5
	8								5	5
Total	6	78	149	21	20	17	5	5	301	

Tableau 6 : Matrice de confusion pour la typologie

La précision moyenne de la cartographie des zones à dominante humide est de **95%**. Ce bon résultat devra cependant être pondéré par les résultats de la seconde matrice.

Il ressort de cette matrice de confusion les faits marquants suivants :

- La reconnaissance des classes 1, 5, 6, 7 et 8 ne pose pas de problèmes particuliers pour les photo-interprètes ;
- Pour les autres classes, on remarque quelques confusions :
 - Classe 2 : la matrice relève des erreurs possibles avec la classe 3. Dans le cas présent, ces erreurs ne sont pas liées à un problème de photo-interprétation mais plutôt à la précision des travaux de PIAO. Les limites des polygones classés en 2 ne sont donc pas tout à fait justes et de ce fait les points de contrôle se situent sur une autre classe en l'occurrence la classe 3 dans le cas présent.
 - Classe 3 : globalement la reconnaissance de cette classe ne pose aucune difficulté mis à part quelques confusions avec les classes 4 et 6. Les raisons sont multiples : la distinction entre certains faciès de prairie (classe 3) et une mégaphorbiaie ou un marais pose problème lors de la PIAO (résolution insuffisante des orthophotoplans, continuum entre deux type, etc.). C'est également le cas avec les terres arables (classe 6). Des erreurs peuvent aussi provenir des différences entre les dates d'acquisition des orthophotographies et les dates des relevés de terrain.

- Classe 4 : même remarque que pour le point précédent et dans ce cas des confusions sont possibles avec la classe 3.

Vérité terrain	PIAO - Photo-interprétation					Précision pour le producteur (%)
		Humide	Non humide	Complexe	Total	
	Humide	262	10	1	273	96
	Non humide	1	117	4	122	95
	Complexe	14	9	9	32	
	Total	275	136	14	427	
	Précision pour l'utilisateur (%)	90	86			

Tableau 7 : Matrice de confusion pour le caractère humide ou non humide

Pour valider les résultats de la photo-interprétation et la méthodologie utilisée, nous avons également échantillonné la zone située à l'extérieur de l'enveloppe humide.

La précision moyenne donnée par cette seconde matrice est de **91%**, ce qui représente un résultat très positif.

La classe « complexe » a été introduite dans cette matrice pour les relevés qui posaient certains problèmes (ex : absence d'une végétation caractéristique d'un milieu humide mais présence d'un pseudo-gley et/ou d'un gley à faible profondeur, *etc.*) et pour lesquels il était difficile de se prononcer pour une des deux classes principales (humide ou non humide). Il est bon de rappeler que le passage d'une classe à l'autre (humide – non humide) n'est pas abrupt et constitue généralement un continuum.

Les taux de fiabilité des 2 classes principales sont :

- Classe « Humide » : 95% ;
- Classe « Non humide » : 86 % (les 14 % restant se partagent comme suit : 7% pour humide et 8% pour complexe). Ce taux de 86% est inférieur au taux moyen global mais reste très bon surtout qu'il englobe des échantillons classés comme « complexe ». Les 10 échantillons classés comme non humide par la PIAO correspondent essentiellement à des points situés à proximité (100 à 200 m) d'une zone cartographiée comme humide (précision de la PIAO) ou dans des petites formations forestières non cartographiées en raison de leur taille (< 2 ha) et souvent situées en tête de bassin versant.

3.4 Produits dérivés (de présentation)

3.4.1 Produits cartographiques papiers

Les résultats de l'étude sont présentés sous deux formes :

- Cartographie sur l'ensemble du bassin : présentation des zones humides, typologie de niveau 1 (type) et statistiques de la représentativité spatiale des zones humides par département – échelle de la carte 1 :500.000^{ème} ;
- Cartographie par commission géographique (6 commissions¹⁶) : présentation des zones humides, typologie de niveau 2 (sous-type), statistiques de la représentativité spatiale des zones humides par direction de secteur – échelle des cartes 1 :250.000^{ème}.

3.4.2 *Atlas numérique*

Un Atlas Numérique sur CD-Rom a également été produit dans le cadre de ce projet. Il permet de visualiser de manière conviviale les résultats de la cartographie des zones à dominante humide (type 1). Pour visualiser l'application flash dans un browser classique (Internet explorer par exemple) il faut installer un plugin « macromedia ». ce dernier s'installe automatiquement si l'ordinateur est connecté à internet.

L'utilisateur dispose des fonctions de visualisation de base : zoom in, zoom out, pan, ... 7 niveaux de zoom sont disponibles (maximum = étendue totale du bassin, minimum = 1 :50.000).

La technologie utilisée pour ce CD impose un lissage des couches géographiques affichées à l'écran. Cette application ne reflète donc pas complètement la qualité de la cartographie des zones à dominante humide. Les produits de qualité maximale sont la forme vectorielle (shapefile).

¹⁶ Commissions géographiques du bassin AESN : Rivières d'Ile-de-France ; Bassin de la Seine Amont ; Bassin Aval de la Seine ; Vallée de l'Oise, Vallée de la Marne et les Bocages Normands

4 Conclusions

Cette étude au caractère novateur a permis de mettre en place une méthode permettant une cartographie homogène et fiable des zones à dominante humide à l'échelle d'un très grand bassin versant.

Cette méthode, qui peut aisément être transposée dans d'autres contextes, présente en outre l'avantage de nécessiter un coût faible par rapport à d'autres méthodes existantes (inventaires de terrain systématiques, télédétection satellitale à très haute résolution, *etc.*). Le tableau suivant donne une vision synthétique du coût :

Coût total du projet Hors Taxes (€)	212.750,00
Surface traitée (km ²)	94.865,00
=> coût au km ² (€/km ²)	2,24
Nombre de km ² traité par jour et par photo-interprète ¹⁷ (en vitesse de croisière)	400

Tableau 8 : Synthèse des coûts de l'étude

Le coût au km² (2,24€) est à comparer à l'ordre de grandeur avancé par le Groupe de Travail sur la délimitation des Zones Humides en mars 2003, qui estimait à entre 6,10 €/km² et 19,82 €/km² le prix de revient d'une telle cartographie à l'échelle 1 :25.000. On peut aussi avoir en tête le coût d'une image satellite de type THR (Ikonos, Quickbird), de l'ordre de 25€/km² (sans compter les coûts de traitements et de classification qui sont également importants), ou le coût de la Bd ortho 50 cm sur tout le bassin (220 K€). Au vu de ces chiffres, on peut réellement qualifier le coût de cette étude de faible au vu du résultat final.

De même, les délais de réalisation sont réduits (de l'ordre de 12 mois en ce compris la phase de mise en place de la méthodologie), si on les compare au temps nécessaire à la conduite d'enquêtes de terrain de très grande envergure, ou à la programmation de l'acquisition d'images satellite de type THR sur une zone si vaste.

Il a été possible d'obtenir de tels résultats grâce à la capitalisation d'informations existantes sous de nombreuses formes (images satellites Landsat ETM+, cartes topographiques, inventaires partiels existants, données descriptives des régions naturelles, cartes géologiques, *etc.*) et leur mise en cohérence sous un Système d'Information Géographique. La réalisation préalable d'un masque binaire, basé sur ces nombreuses informations existantes et distinguant les Zones Potentiellement Humides des Zones Présumées Non Humides, a permis de focaliser les travaux de photo-interprétation visuelle sur les zones d'intérêt pour cette étude.

¹⁷ Cette superficie comprend les travaux liés aux 3 étapes de l'interprétation : analyse, définition de l'enveloppe et ensuite photo-interprétation du contenu de l'enveloppe. C'est un chiffre moyen qui dépend de la zone et de la taille de la zone hydrographique. Notons aussi que le temps de traitement est inversement proportionnel à la taille de l'unité hydrographique

En contrepartie de ces avantages incontestables, cette étude présente des limites en termes de qualité descriptive de chaque Zone à Dominante Humide cartographiée. En effet, l'information produite pour chaque ZDH se cantonne à un type d'occupation du sol, un sous-type optionnel, et à un indice de confiance quant à son caractère humide. Nombre d'informations descriptives bien utiles pour des biotopes humides peuvent être souhaitées, mais n'ont pas fait l'objet de cette étude.

De plus, il ne faut pas que les gestionnaires de zones humides, cherchent à zoomer au-delà du 1/50000^{ème} et à calquer leur très bonne connaissance de terrain sur un secteur particulier, sur les produits cartographiques de cette étude. Leur échelle de travail est bien plus précise que celle du produit.

Cette cartographie, outre un état 0 quantitatif des zones à dominante humides du bassin, n'est pas une fin en soi, mais une base précieuse pour de futurs travaux de délimitation et de caractérisation, que l'Agence financera à des taux incitatifs lors de son 9^{ème} programme à partir de 2007.



Agence de l'Eau Seine-Normandie - AESN

Cartographie des zones à dominante humide du bassin Seine - Normandie



Annexes

Avril 2006

Groupement : Gallia Sana / I-Mage Consult / CERE



<http://www.galliasana.com>



<http://www.i-mage.be>



<http://www.le-cere.fr>

Liste des annexes

Annexe 1 : Composition du comité de pilotage (CP).....	3
Annexe 2 : Bassin hydrographique de l'Agence de l'Eau Seine - Normandie (AESN).....	4
Annexe 3 : Découpage du bassin en commissions géographiques (6).....	5
Annexe 4A : Carte géologique simplifiée du bassin AESN.....	6
Annexe 4B : Carte du relief du bassin AESN	7
Annexe 5A : Localisation des sites pilotes et principaux résultats de la phase test.....	8
Annexe 5B : Synthèse des résultats de la phase test	9
Annexe 6 : Logigramme illustrant la méthodologie générale utilisée	20
Annexe 7 : Correspondances entre la typologie utilisée et les typologies EUNIS et Corine Biotopes.....	21
Annexe 8 : Illustrations des types et sous-types (illustrations données à titre indicatif – non exhaustif).....	22
Annexe 9A : Carte des « Petites Régions Agricoles » (source INSEE).....	28
Annexe 9B : Codification des Petites Régions Agricoles	29
Annexe 10 : Carte du CTI ajusté et seuillé.....	30
Annexe 11A : Carte des « Petites Régions Forestières » du bassin AESN (source IFN)	31
Annexe 11B : Codification des Petites Régions forestières.....	32
Annexe 12 : Clé d'interprétation – hiérarchie des critères de décision dans la délimitation de l'enveloppe à dominante humide (Etape 2).....	33
Annexe 13 : Dates d'acquisition des prises de vue aériennes (orthophotoplans) - AESN.....	34
Annexe 14 : Exemple de délimitation de l'enveloppe humide – Vallée de l'Esque (Bocages Normands).....	35
Annexe 15 : Arbre de décision (Etape 3)	36
Annexe 16 : Critères de photo-interprétations utilisés pour identifier les types et les sous-types	36
Annexe 16 : Critères de photo-interprétations utilisés pour identifier les types et les sous-types	37
Annexe 17 : Clé d'interprétation – hiérarchie des critères de photo-interprétation (Etape 3) .	38
Annexe 18 : Illustrations des différents types et sous-types de zones à dominante humide sur orthophotoplans et sur image satellites	39
Annexe 19 : Liste des images satellitaires multitudes utilisées	47
Annexe 20 : Environnement de travail des photo-interprètes.....	48
Annexe 21 : Illustrations de GLEY et de PSEUDO-GLEY.....	49
Annexe 22 : Fiche de relevé de terrain et encodeur GPS (Trimble GeoXT)	50
Annexe 23 : Carte des zones à dominante humide du bassin AESN (typologie niveau 1).....	51
Annexe 24 : Localisation des points de contrôle (validation des travaux de PIAO)	52

Annexe 1 : Composition du comité de pilotage (CP)

1. Mme Aïcha Amezal (Agence de l'Eau Seine-Normandie – Pôle Rivières et Zones Humides)
2. Mr Julien Bertran (Agence de l'Eau Seine-Normandie - – Pôle Rivières et Zones Humides)
3. Mr Frédéric Bassien (Agence de l'Eau Seine-Normandie – Service Connaissance du Milieu Naturel)
4. Mr Michel Deshayes (CEMAGREF Montpellier)
5. Mme Laurence Hubert-Moy (Université Rennes II) – assistance à maîtrise d'ouvrage
6. Mr Bernard Clément (Université Rennes II) - assistance à maîtrise d'ouvrage
7. Mme Marie-Claude Ximenez (Observatoire National des Zones Humides - IFEN)

Adresses e-mail

BERTRAN Julien : bertran.julien@aesn.fr (pilote de l'étude)

AMEZAL Aïcha : amezal.aicha@aesn.fr

BASSIEN Frédéric : bassien.frederic@aesn.fr

HUBERT-MOY Laurence : laurence.hubert@uhb.fr

DESHAYES Michel : deshayes@teledetection.fr

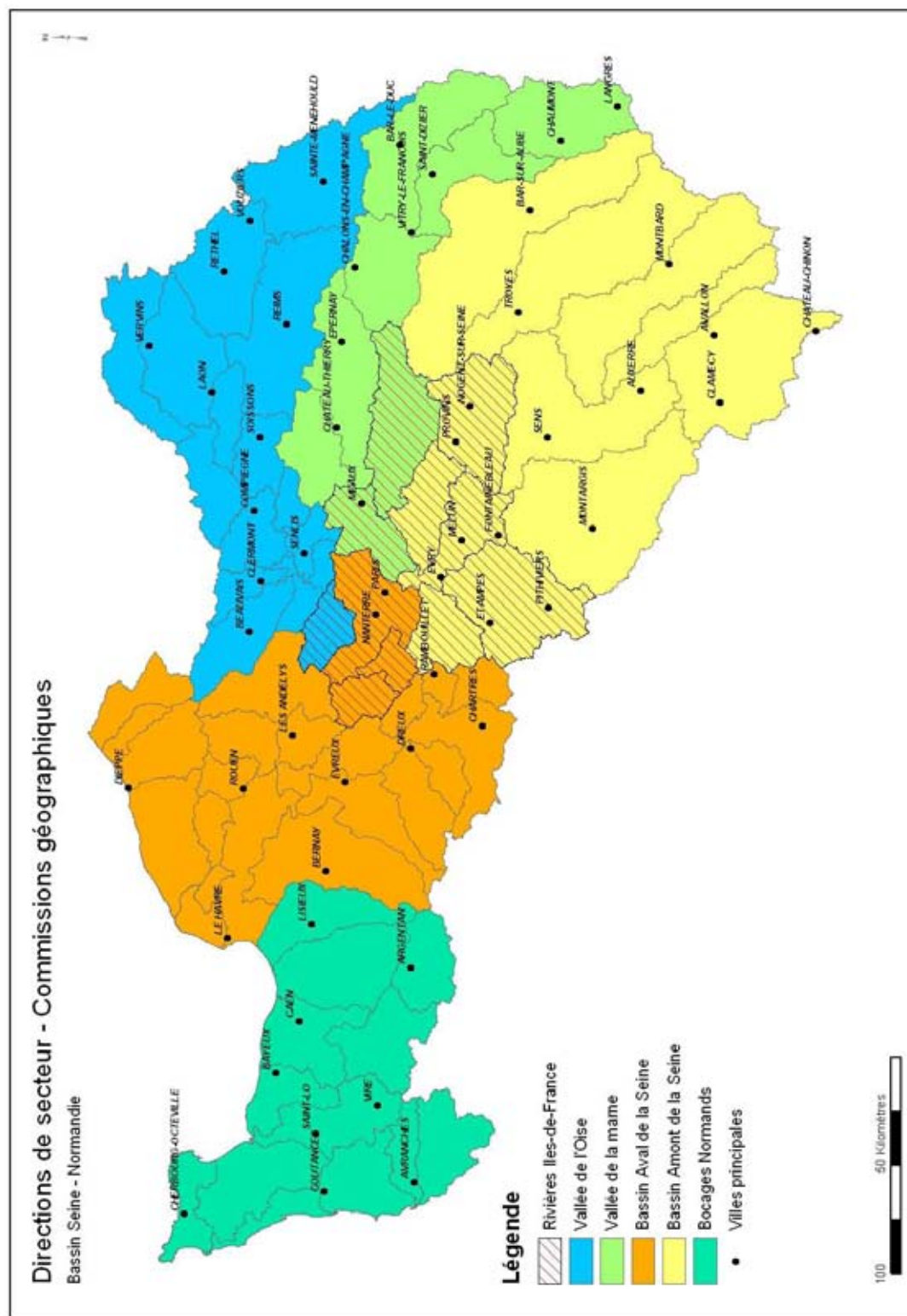
CLEMENT Bernard : bernard.clement@univ-rennes.fr

XIMENES Marie-Claude : marie-claude.ximenes@ifen.fr

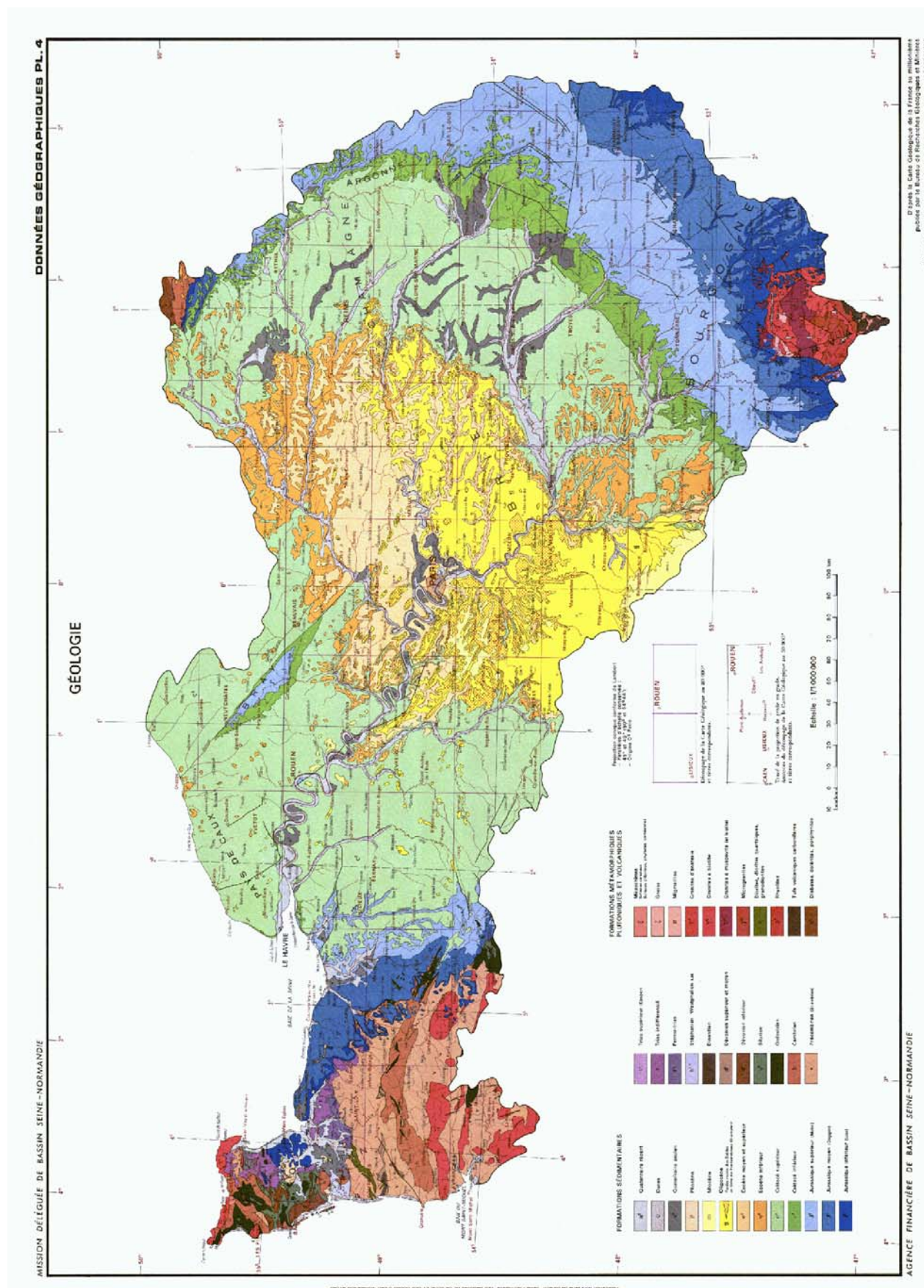
Annexe 2 : Bassin hydrographique de l'Agence de l'Eau Seine - Normandie (AESN)



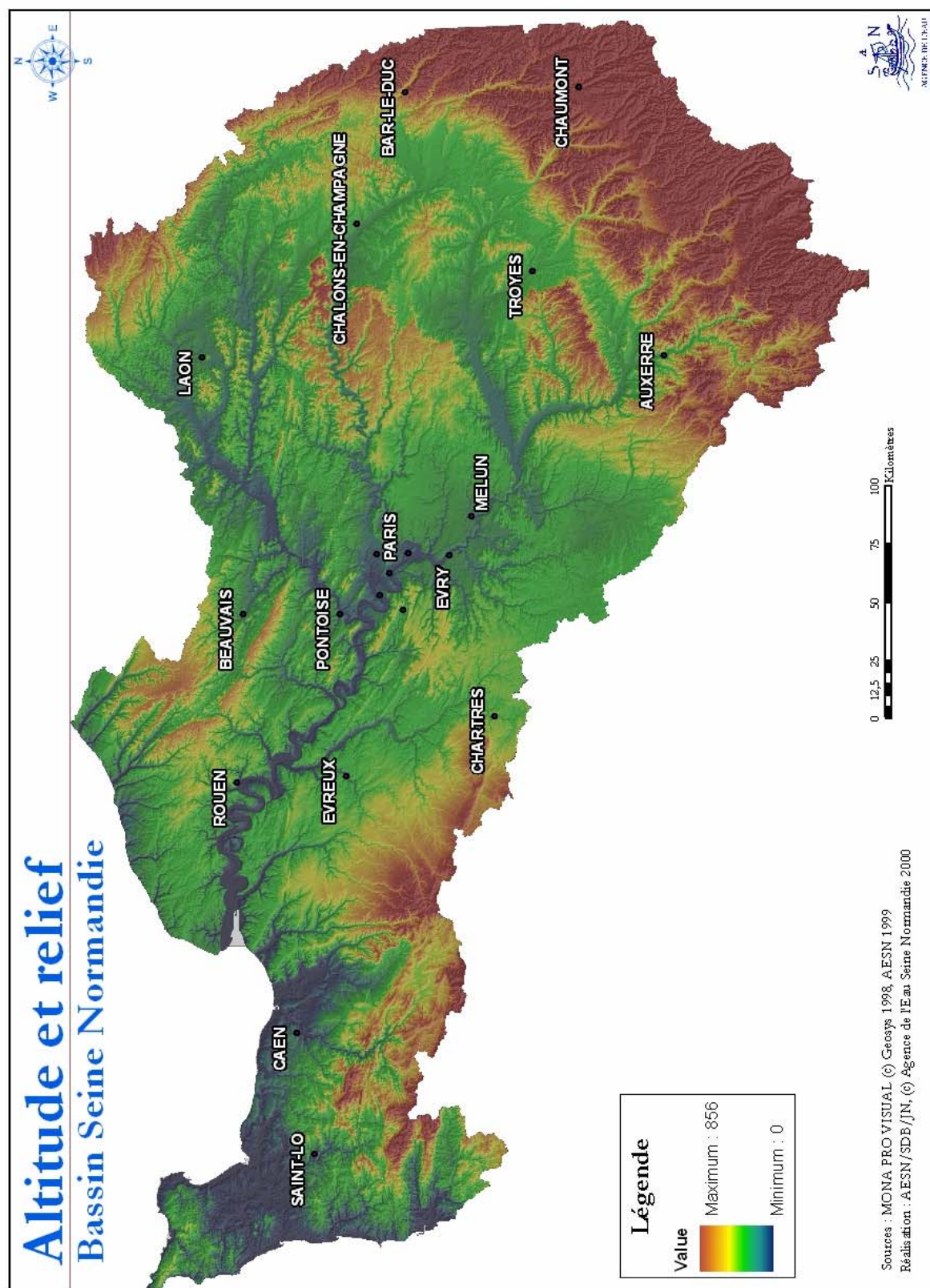
Annexe 3 : Découpage du bassin en commissions géographiques (6)



Note : Le Comité de Bassin Seine-Normandie a institué 5 commissions géographiques fondées sur le découpage des principales grandes unités hydrographiques du bassin. Elles sont complétées par une 6^{ème} commission géographique Ile-de-France qui prend en compte la spécificité de ce territoire à cheval sur 4 grands sous-bassins.

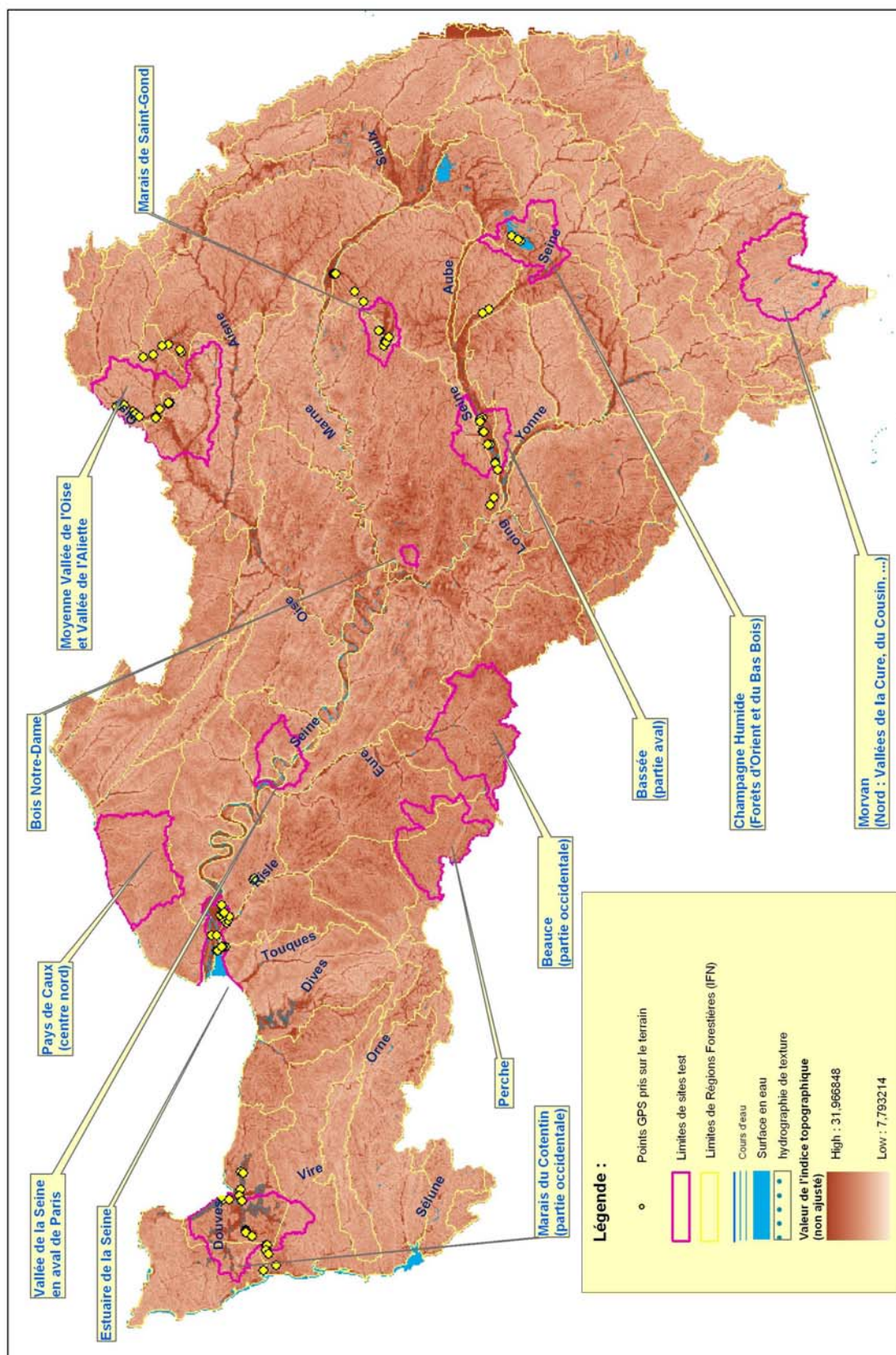
Mars 2006

Annexe 4B : Carte du relief du bassin AESN



Annexe 5A : Localisation des sites pilotes et principaux résultats de la phase test

Carte de situation des 10 sites « tests » (le site du Bois Notre-Dame n'a finalement pas été cartographié dans cette phase)



Annexe 5B : Synthèse des résultats de la phase test

1. Choix des sites

Les limites des sites épousent des limites de Zones Hydrographiques. Ils sont ainsi constitués de parties cohérentes de bassins versants.

Leur taille est hétérogène ; en effet pour certains sites, c'est une grande Zone Humide (ex : Marais de Saint-Gond, Bois-Notre Dame, ...) qui est recherchée, pour d'autres, c'est toute une partie région agricole recelant une certaine densité de Zones Humides de différents types.

Le tableau suivant donne une vue d'ensemble de ces caractéristiques :

N°	Nom	surface (km ²)
1	Morvan (Nord : Vallées de la Cure, du Cousin, ...)	560
2	Champagne Humide (Forêts d'Orient et du Bas Bois)	833
3	Marais de Saint-Gond	753
4	Moyenne Vallée de l'Oise et Vallée de l'Allette	555
5	Bassée (partie aval)	586
6	Perche	840
7	Beauce (partie occidentale)	1250
8	Pays de Caux (centre nord)	619
9	Marais du Cotentin (partie occidentale)	516
10	Marais Vernier et vallée de la Risle	597
TOTAL :		7103

Le total des sites représente un peu moins de 10 % du bassin en surface. Toutefois, et malgré la présence de deux sites qui seront sans doute très pauvres en Zones à dominante humide (Payse de Caux et Beauce), l'échantillon des sites recèlera certainement un pourcentage de Zones à dominante humide supérieur à l'ensemble du bassin.

L'ensemble des zones retenues permet une bonne prise en compte des différents types de zones à dominante humide du bassin Seine-Normandie. D'un point de vue écologique, elles constituent en effet un panel jugé représentatif des territoires phytogéographiques (domaines et sous-secteurs) et des faciès pétrographiques. Au sein d'une même zone cohabitent différents types de milieux humides et même souvent plusieurs stades d'évolution de ces milieux.

Morvan

Cette partie du Morvan, appelée Bas-Morvan, est une région siliceuse qui comporte un large panel de zones humides à végétation acidiphile. Les rivières (Cure, Cousin) à végétation immergée sont notamment bordées de ripisylves à aulnes ou de mégaphorbiaies à Reine des prés (*Filipendula ulmaria*). Aux abords des sources et sur les rives humides se tiennent les « mouilles » dont la flore varie selon l'ensoleillement. Au niveau des queues d'étang se développent des ceintures de végétation diversifiées comme les formations basses de grèves sableuses, les bas-marais tourbeux à Laïches, Joncs, Prêles, Linaigrettes etc., les saulaies, etc. On distingue enfin les tourbières, au faciès variable selon leur stade d'évolution (colonisation par la Callune, les Bouleaux...). De petites tourbières à Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*) et à Linaigrettes (*Eriophorum* spp.) peuvent apparaître sur des pentes prononcées, dans des pâtures (milieux maintenus ouverts).

Délimitation de l'Enveloppe

Comme pour le site du Cotentin, le masque total a été validé et ré-interprété en combinant les informations de la carte topographique et de la carte géologique. La strate Fz (alluvions récentes) coïncide généralement bien avec les zones humides. Cette concordance a été confirmée par l'analyse des orthophotoplans et par les différents relevés de terrain qui ont été effectués. Sur les orthophotoplans on distingue bien les zones humides (prairie essentiellement) des zones plus sèches par un pattern plus sombre et moins régulier.

Malheureusement cette couche d'alluvions récentes n'est pas reprise sur l'ensemble des cartes géologiques de la région. Pour ces feuilles géologiques où la strate Fz est absente, il faudra réinterpréter le masque uniquement sur base des informations de la carte topographique et de l'image satellitale.

Interprétation de l'enveloppe

La photointerprétation (PIAO) des enveloppes à partir des orthophotoplans n'a pas posé de problèmes particuliers. L'occupation des sols est dominée par les prairies « humides » (cf. photos ci-dessous), les formations forestières et les surfaces en eau (étangs).



Champagne humide : Orient

La Champagne humide est marquée par de grands plans d'eau artificiels créés sur des affleurements d'argiles. Les lacs possèdent une végétation amphibie riche dont l'implantation est conditionnée par les variations du niveau de l'eau (assèchement estival).

Les grands étangs présentent des ceintures de végétation constituées de groupements denses de hautes herbes vivaces. Les forêts englobent des groupements humides à grandes Laïches (*Carex* spp.) qui subissent eux aussi la dessiccation temporaire du sol en été.

Les forêts et clairières des Bas-bois, sur marne et argile, sont plus ou moins inondables. On note également la présence de grandes clairières marécageuses (moliniaies) résultant de l'abandon d'anciennes prairies. Dans les forêts existent de petits étangs mésotrophes et des fossés marneux.

Délimitation de l'Enveloppe

Pour la délimitation de l'enveloppe des zones potentiellement humides on a tenu compte de la couche des corridors fluviaux, tout en vérifiant la limite de ces derniers avec les cartes topographiques et le masque total. Il faut mentionner pour ce site pilote l'absence de la grande majorité des cartes géologiques.

Interprétation de l'enveloppe

A part les grandes étendues d'eau et leur ceinture de végétation (ripisylves, roselières, marais), l'enveloppe suit plutôt le cours de l'Aube et de la Barse. Dans ces vallées, on a identifié une mosaïque d'entités : prairies, étangs liés à la présence des gravières et des sablières le long de l'Aube, boisements humides. Comme dans les autres régions étudiées, on constate une régression de l'habitat humide face au développement de l'exploitation agricole des fonds de vallée et des zones anthropiques.

Marais de Saint-Gond

Le marais de Saint-Gond est une vaste tourbière alcaline en bon état relatif malgré les multiples pressions anthropiques : mise en culture, extraction de tourbe, etc. Ce marais recèle plusieurs habitats exceptionnels pour la plaine française. Au sein du site existent des formations de marais calcaire à Marisque (*Cladium mariscus*), de tourbière basse alcaline et de tourbière boisée. On distingue également les eaux libres à characées (*Chara* spp.) et les eaux courantes colonisées par des espèces aquatiques comme la Renoncule flottante (*Ranunculus fluitans*).

Des groupements prairiaux (prairies humides de fauche et moliniaies sur calcaire) complètent le spectre des zones humides présentes.

Délimitation de l'Enveloppe

Comme pour certains autres sites (Cotentin et Morvan notamment), la délimitation de l'enveloppe s'est faite en deux temps. La correspondance entre la strate Fz et la présence de zones humides a été confrontée et validée sur le terrain. En conséquence toute la strate Fz (ou encore Fz/Fy) a été incluse dans l'enveloppe humide.

Très souvent, le drainage artificiel (fossés de drainage) est présent dans ces formations alluviales humides et permet alors le développement de l'agriculture. Ces zones drainées ont été maintenues dans l'enveloppe.

En dehors de cette strate Fz, le masque a mis en évidence d'autres zones potentiellement humides comme des petits vallons recouverts par des colluvions de type CP (colluvions de bordure de plateau et de dépression). Ces zones à colluvions sont occupées par l'agriculture et sont généralement drainées (présence d'un fossé de drainage, visible sur les orthophotoplans). Potentiellement, ce sont bien des zones humides (dépression où l'eau va s'accumuler préférentiellement) mais qui ne le sont plus grâce au drainage. A ce stade des travaux d'interprétation, ces zones humides (CP) sont reprises dans l'enveloppe humide.

Interprétation de l'enveloppe

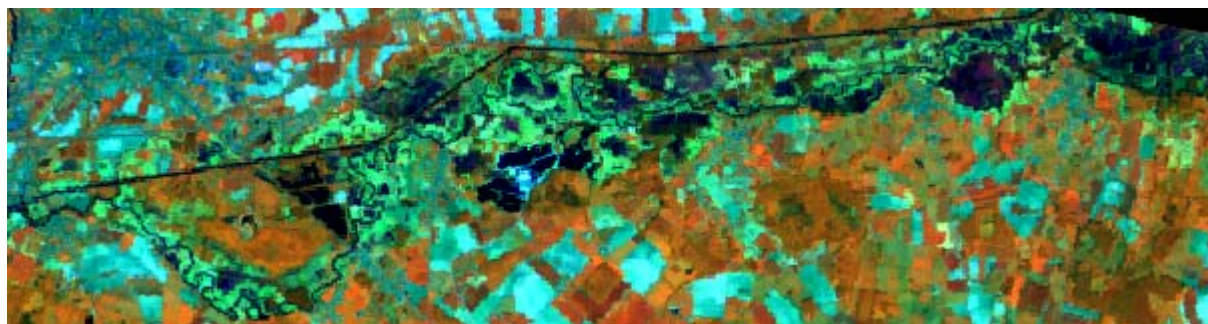
Au sein même du site des Marais de Saint-Gond, on retrouve principalement des prairies humides, des roselières, des mégaphorbiaies parsemées d'arbustes (saulaies en boule) et des formations forestières sur tourbe (tourbes boisées composées de bouleaux). En dehors du marais proprement dit, on retrouve de l'agriculture drainée dans certaines enveloppes (présence de fossés de drainage).

Vallée de l'Oise

La moyenne vallée de l'Oise est une vaste zone humide de plus de 8000 hectares. Cette vallée alluviale représente une mosaïque de prairies, de mares et de bras-morts et de boisements alluviaux. L'ensemble de ces milieux est lié à la dynamique de la rivière et subit donc des inondations saisonnières. Des plans d'eau libre de taille variable, issus des carrières d'extraction de sables et graviers, sont présents le lit majeur de l'Oise. Par ailleurs, on trouve ponctuellement dans le secteur retenu des milieux originaux, telle la tourbière alcaline de Marest-Dampcourt ou encore les landes humides de Versigny. Ces dernières ont récemment fait l'objet d'un étrépage qui diversifie les Zones Humides du site. Enfin, dans la vallée de l'Ailette se trouve le marais de Cessières qui a la particularité d'englober un large spectre d'habitats humides de substrats acides et basiques.

Délimitation de l'Enveloppe

La délimitation de l'enveloppe des zones potentiellement humides s'est de nouveau faite par un affinage du masque sur base des corridors fluviaux, de la topographie et de la géologie. Pour les mêmes raisons que dans le cas de la Bassée, les couches géologiques autres que celle des alluvions récentes (Fz), notamment la couche d'alluvions anciennes (Fy), ont été exclues de l'enveloppe. Les images satellitales (figure ci-dessous) prises au mois de juin 2001 et mars 2003 ont également permis d'affiner les limites du masque.



Interprétation de l'enveloppe

L'interprétation à l'intérieur de l'enveloppe s'est basée sur les orthophotoplans et les images satellites (199-026 du 23/05/01, 198-026 du 19/03/03), les cartes topographiques étant consultées régulièrement.

L'occupation du sol dans l'enveloppe potentiellement humide est dominée par des prairies de fauche. De nombreuses mares et tronçons de forêts alluviales se retrouvent également dans cette zone.

Bassée

La Bassée est une vaste plaine alluviale de la Seine. Elle abrite la plus grande et l'une des dernières forêts alluviales du Bassin parisien ainsi qu'un ensemble relictuel de prairies humides. La forêt alluviales est constituée de groupements à aulnes (*Alnus spp.*), saules (*Salix spp.*), ormes (*Ulmus spp.*) et frênes (*Fraxinus spp.*). La Bassée présente également un réseau de noues et de milieux palustres d'un grand intérêt écologique. On distingue particulièrement les mégaphorbiaies, formations fleuries, hautes et denses, ainsi que les prairies à Molinie sur calcaire. Cette zone se caractérise par une flore originale pour la région parisienne, constituée d'espèces en aire disjointe ou en limite d'aire (espèces médio-européennes notamment).

Délimitation de l'Enveloppe

Les limites de la vallée alluviale sont visibles sur l'image satellite Landsat ETM+ du 23/09/2000. En effet, elles se situent à l'interface entre l'occupation majoritairement agricole des versants et celle, mixte, de la vallée (plans d'eau, formations forestières, prairies, zones urbaines et agricoles).

Les grands types d'occupation du sol mentionnés au point précédent sont eux aussi bien différenciables sur l'image.

L'enveloppe des zones potentiellement humides a été délimitée par adaptation du masque sur base des informations fournies par la carte topographique, les corridors fluviaux et la carte géologique (formations Fz). En effet, les limites de la couche géologique des alluvions récentes (Fz) suivent assez bien celles de la vallée principale mais aussi celles des vallées secondaires.

Le travail de terrain a mis en évidence la variabilité du degré d'humidité à l'intérieur de l'enveloppe des zones humides. Les parcelles cultivées visitées dans la vallée alluviale se sont avérées non humides (absence de tâches de pseudo-gley et de gley) tandis que les parcelles occupées par les boisements l'étaient. Dans la plupart des cas, ceci s'explique par la présence d'un micro relief non identifiable sur les cartes topographiques.

Le seul critère disponible pour extraire certaines zones de l'enveloppe dans la vallée alluviale s'est avéré être la couche géologique des alluvions anciennes (Fy). En effet, quand on croise la carte géologique avec l'occupation des sols (orthophotoplans – travaux de PIAO), on remarque que la grande agriculture et l'habitat se situent généralement sur les formations Fy (alluvions anciennes) plus hautes dans le paysage et mieux drainées. Nous avons opté pour extraire toutes ces zones de l'enveloppe humide qui reprenait toute la vallée alluviale en l'occurrence classée en ZNIEF II.

Malheureusement la transition entre alluvions anciennes et récentes n'est pas toujours clairement délimitée sur l'ensemble des cartes géologiques qui couvrent toute la zone de la basée.

L'élimination des zones sur alluvions anciennes entraîne celle de certaines gravières qui n'ont pas été réintégrées à l'enveloppe de part leur position plus haute dans le paysage.

Interprétation de l'enveloppe

La délimitation des grands types de zones humides n'a pas posé de problème particulier. Les orthophotoplans et l'image satellite ont été les principaux éléments utilisés dans cette phase de photo- interprétation. La prise en considération de l'extension de la couche Fz dans les vallées secondaires mène à l'inclusion de zones agricoles drainées et de zones urbaines dans l'enveloppe des zones à dominante humide. Ces zones n'ont pas été exclues afin de garder une cohérence topographique et géologique dans la délimitation de l'enveloppe.

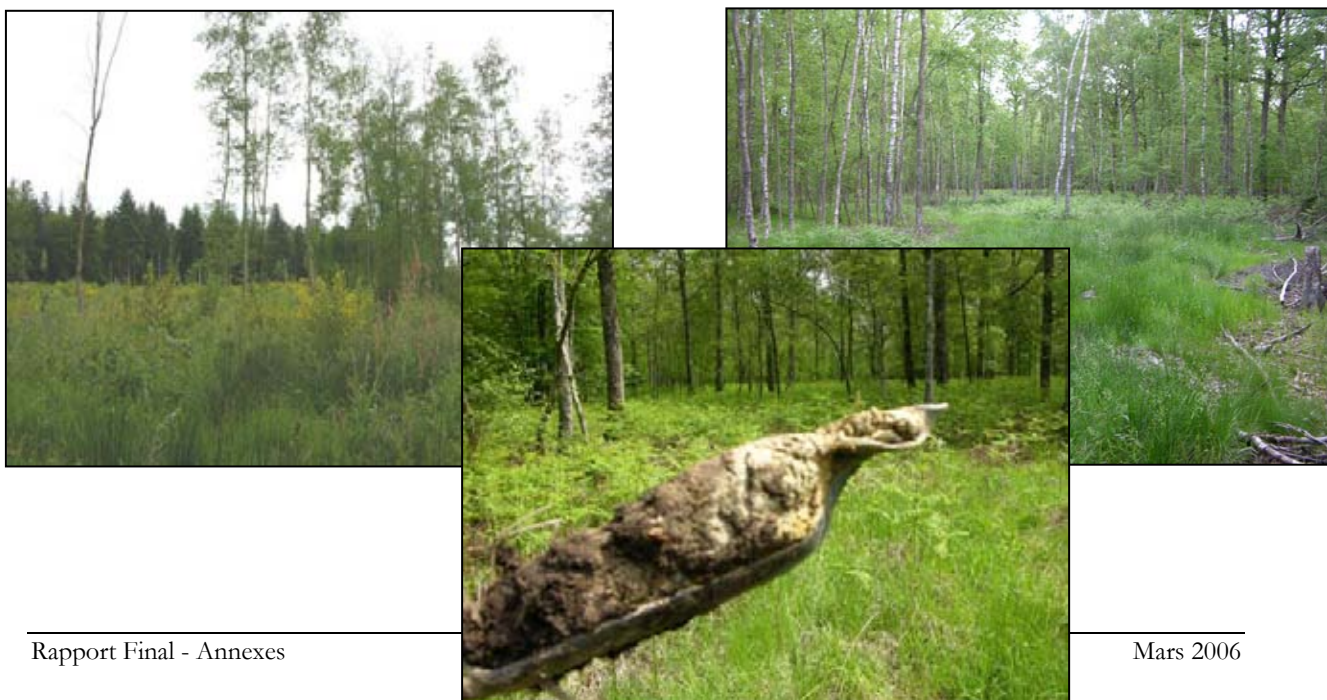
Perche

La zone définie comporte de nombreuses prairies humides. La végétation traduit les différents degrés d'humidité, depuis les zones d'eau libre (mares, ruisseaux...) jusqu'aux groupements hygrophiles du type jonçaie. D'autres groupements végétaux de substrat calcaire sont également représentés. Dans le Perche subsistent des tourbières acides ponctuelles, où des peuplements denses de sphaignes colonisent des mares d'eau acide. Ces tourbières acides peuvent résulter d'un processus d'acidification d'un marais tourbeux ; la superposition d'une tourbière acide sur une tourbière eutrophe ou mésotrophe engendre la coexistence d'une végétation de substrat acide et d'une végétation plus basicline qui « émerge » là où la tourbe acide est peu épaisse.

Délimitation de l'Enveloppe

Sur base des constations faites sur les autres sites pilotes (Cotentin, Morvan, Marais Saint-Gond, etc.) et des relevés de terrain, le masque a été réinterprété en tenant compte de la carte topographique, mais également de la carte géologique et plus spécifiquement de la strate des alluvions récentes – Fz.

Pour certaines zones, comme la forêt domaniale du Perche et de la Trappe, nous avons suivi les limites de la Znieff1 pour délimiter l'enveloppe de la zone potentiellement humide. En effet, les différents relevés pédologiques effectués dans cette zone (zone hydrographique 752), mais aussi les différentes espèces floristiques présentes, ont mis en évidence l'existence d'une humidité du sol assez importante (présence du pseudogley à moins de 30 cm de profondeur – drainage déficient). Seuls, les critères topographiques et géologiques ne nous permettaient pas de délimiter une enveloppe correcte, c'est pourquoi nous avons utilisé la limite de la Znieff I.



Dans les petits vallons, mais où la couche Fz est présente, on a observé, contrairement au site du Cotentin, que les sols sont principalement occupés par l'agriculture. Sur les orthophotoplans et sur les cartes topographiques, on peut observer que ces zones d'alluvions récentes sont drainées artificiellement (présence d'un fossé de drainage). On a décidé de garder ces zones à l'intérieur de l'enveloppe (présence de la strate Fz), mais de mentionner qu'elles ont un degré de confiance, par rapport à l'humidité, assez faible.

Interprétation de l'enveloppe

A l'intérieur de l'enveloppe le degré d'humidité variable est le témoin des différentes occupations du sol. La partie sud de l'enveloppe est réservée à la forêt. Dans la vallée de l'Avre les prairies occupent la première place dans la gestion territoriale, tandis que les plaines alluviales les moins importantes étalent une mosaïque d'entités : prairies, cultures, avec parfois une prédominance de l'agriculture.



Comme on peut le voir sur la composition colorée, la majorité des zones humides est située dans la plaine alluviale de l'Avre, les vallées de ses affluents étant en grande partie drainées et les terrains convertis à l'agriculture. Au sud de l'image satellitale on distingue la vaste zone forestière du Perche.

A l'intérieur de l'enveloppe qui entoure les petits vallons, le parcellaire est partagé entre l'agriculture et l'herbage. Les entités étant trop petites pour être cartographiées, elles ont été classées dans le type 7 (mosaïque d'entités de moins d'1 ha).

Beauce

La Beauce est retenue en tant que site « sec ». Cette vaste plaine agricole calcaire ne comporte guère que quelques bassins, généralement à proximité directe des agglomérations. L'aquifère se trouve en effet à plusieurs dizaines de mètres sous la surface du sol. La géomorphologie et la morphopédologie de la Beauce expliquent sa sécheresse générale. En effet, cette région se caractérise par une très grande perméabilité du sous-sol calcaire et par des sols limoneux (limon de placage) ne retenant que très peu les eaux de pluies. La richesse de la couche limoneuse recouvrant le calcaire a conduit à l'exploitation agricole de la majorité des terres ne laissant aux boisements qu'une partie des fonds de vallées. Ceci est visible sur l'image satellite. Les prairies sont elles aussi minoritaires en terme d'occupation des sols.

Délimitation de l'Enveloppe

Ce sont les caractéristiques physiques et d'occupation des sols mentionnés ci-dessus qui ont guidé la délimitation de l'enveloppe.

L'aspect général du site nous a amené à ne délimiter comme zones potentiellement humides que les fonds de vallée (cf. point précédent).

L'affinage du masque s'est fait essentiellement sur base de la géologie (disponibilité des corridors fluviaux avec présence de la strate des alluvions récentes (Fz)) et de la topographie. Les limites de l'enveloppe sont en permanence confrontées et ajustées en fonction du relief local.

Interprétation de l'enveloppe

L'interprétation de l'enveloppe s'est déroulée sans problème particulier. Elle s'est faite sur base essentiellement des orthophotoplans et de l'image satellite, la carte topographique étant consultée en second lieu.

L'enveloppe humide est essentiellement occupée par des formations forestières, des plans d'eau et des prairies. On y trouve également quelques zones urbaines et en très faible pourcentage de l'agriculture.

Pays de Caux

Il s'agit du second « site sec » retenu. Le plateau calcaire faiblement ondulé est le paysage dominant. Il est occupé par une agriculture intensive (blé, lin, betterave sucrière). Une ligne de partage des eaux orientée ouest-est divise le Pays de Caux entre une région nord et une région sud. L'altitude de cette "crête" s'élève vers l'est de 100 à 180 mètres environ. Des vallées sèches dues au réseau karstique ne présentent pas d'écoulement en surface.

Délimitation de l'Enveloppe

L'enveloppe humide du pays de Caux a été déterminée dans un premier temps à partir du masque et de la carte topographique. Cependant l'interprétation de l'enveloppe à partir des orthophotoplans et de l'IS complétée par une reconnaissance de terrain, nous a obligé à revoir les limites de l'enveloppe qui englobait des zones non humides. En effet, les sondages pédologiques effectués sur le terrain au niveau du plateau et dans les petits vallons occupés par l'agriculture ont montré une absence totale d'hydromorphie (absence de taches d'oxydoréduction) et par conséquent, un drainage favorable.

Les zones potentiellement humides se cantonnent au niveau des vallées alluviales à pente faible (la Durdent et la Valmont), là où on retrouve la couche géologique des alluvions récentes (Fz). Dans ces zones on a pu recenser de nombreuses prairies humides.

Les petits vallons parsemés de mares ont été exclus de l'enveloppe humide faute d'un indice d'hydromorphie permanent (gley) ou semi-permanent (pseudo- gley) dans le sol.



Interprétation de l'enveloppe

L'occupation du sol de cette zone est relativement simple. Les vallées de la Durdent et de la Valmont présentent un mosaïque d'entités : prairies, mégaphorbiaies, plans d'eau, terrains agricoles, avec un taux d'urbanisation élevé.



Marais du Cotentin

Cette zone est constituée de marais intérieurs et arrière-littoraux, de dunes, de grèves et de vases salés. Articulés sur plusieurs basses-vallées, les marais du Cotentin (couplés à ceux du Bessin plus à l'est) occupent une immense dépression située à la charnière du Cotentin armoricain et de la limite du bassin Parisien. La large échancrure de la baie des Veys en constitue l'exutoire marin. Plusieurs types de prés salés sont représentés dans la baie, notamment les prés à Spartines (*Spartina spp.*) et les prés à Puccinellies (*Puccinellia spp.*). Dans la zone des marais proprement dits, le panel des zones humides est large : étangs avec diverses ceintures de végétation (dont grèves à *Littorella uniflora*), lac naturel eutrophe, mégaphorbiaies, marais calcaires, dépressions tourbeuses et tourbières à différents stades d'évolution.

Délimitation de l'Enveloppe

La délimitation de l'enveloppe a été réalisée en deux temps. Une première délimitation a été effectuée sur base du masque total, de la carte topographique et des images satellitales. Cette première délimitation a ensuite été confrontée aux cartes géologiques (figure 4) et il est apparu que les enveloppes qui avaient été dessinées coïncidaient bien avec la couche des alluvions récentes (Fz). Sur ces formations alluviales on retrouve principalement, les prairies et parfois le bocage quand ce dernier gagne du terrain sur les zones humides. Les différents relevés de terrain ont également permis de valider cette approche.

Interprétation de l'enveloppe

L'occupation des sols de cette zone pilote est relativement simple. Dans les enveloppes, on trouve en majorité des prairies humides (cf. photo ci-dessous), l'agriculture reste quant à elle marginale.

Pour les prairies humides, aucune distinction n'a été faite quant au sous-type (oligotrophe/mésotrophe ou eutrophe).



Image satellitale

Pour cette zone nous disposons de trois jeu de données ETM+ : une image du début avril 2000, une image du mois de septembre (23/09/200) et une image du mois de mai (21/05/2001).

Comme on peut le voir sur la composition colorée de l'image d'avril 2000, une grande majorité des prairies humides situées dans la partie nord de la carte (prairies situées au nord des enveloppes) se détachent assez bien sur le plan spectral (couleurs plus sombres des prairies humides – inondation/engorgement temporaire) des prairies sèches situées dans les bocages.

Cette caractéristique devient beaucoup moins nette quand on remonte les petites vallées (partie sud des enveloppes). On retrouve parfois des prairies situées dans l'enveloppe qui ont exactement les mêmes caractéristiques spectrales que les prairies situées dans le bocage (haut-pays) (cf. figure ci-après).



Les différents essais de classification supervisée et de calcul d'indices à partir des images multidates n'ont pas permis de différencier de manière fiable et exhaustive les prairies humides et les prairies sèches.

Marais Vernier et vallée de la Risle

Ancien méandre de la Seine, le Marais Vernier forme un amphithéâtre naturel de 45 km² entre la Seine et les collines boisées. Ce cirque paysager bénéficie d'un microclimat et son paysage recèle une faune et une flore d'une richesse insoupçonnée. Le paysage, forgé durant des siècles, résulte des relations entre l'homme et les contraintes naturelles. Les bois demeurent sur le haut de la pente et protègent de l'érosion les cours plantées de vergers. Les aulnes sont les arbres typiques du marais. Leur nom populaire, le «Verne», est sans doute à l'origine du nom «Marais Vernier».

Les paysages de la Vallée de la Risle sont composés de prairies humides et inondables marquées par des alignements de frênes et de saules. Exposés au sud, les coteaux calcaires se couvrent de plantes aux affinités méditerranéennes. L'habitat s'est implanté sur les premiers reliefs, hors de portée de la marée qui provoque des phénomènes d'érosion.

Délimitation de l'Enveloppe

Les zones potentiellement humides sont concentrées dans la vallée de la Risle et dans le marais Vernier. Une grande majorité des affluents de la Risle a été incluse dans l'enveloppe, la topographie du milieu empêchant un drain naturel de l'eau de ruissellement et favorisant le maintien des prairies.

Pour la limite de l'enveloppe on a tenu compte du masque et de l'ensemble des cartes, tout en vérifiant le tracé des corridors fluviaux et de la strate Fz des alluvions récentes. Toutefois la littérature consacrée à cette région mentionne la régression des zones humides.

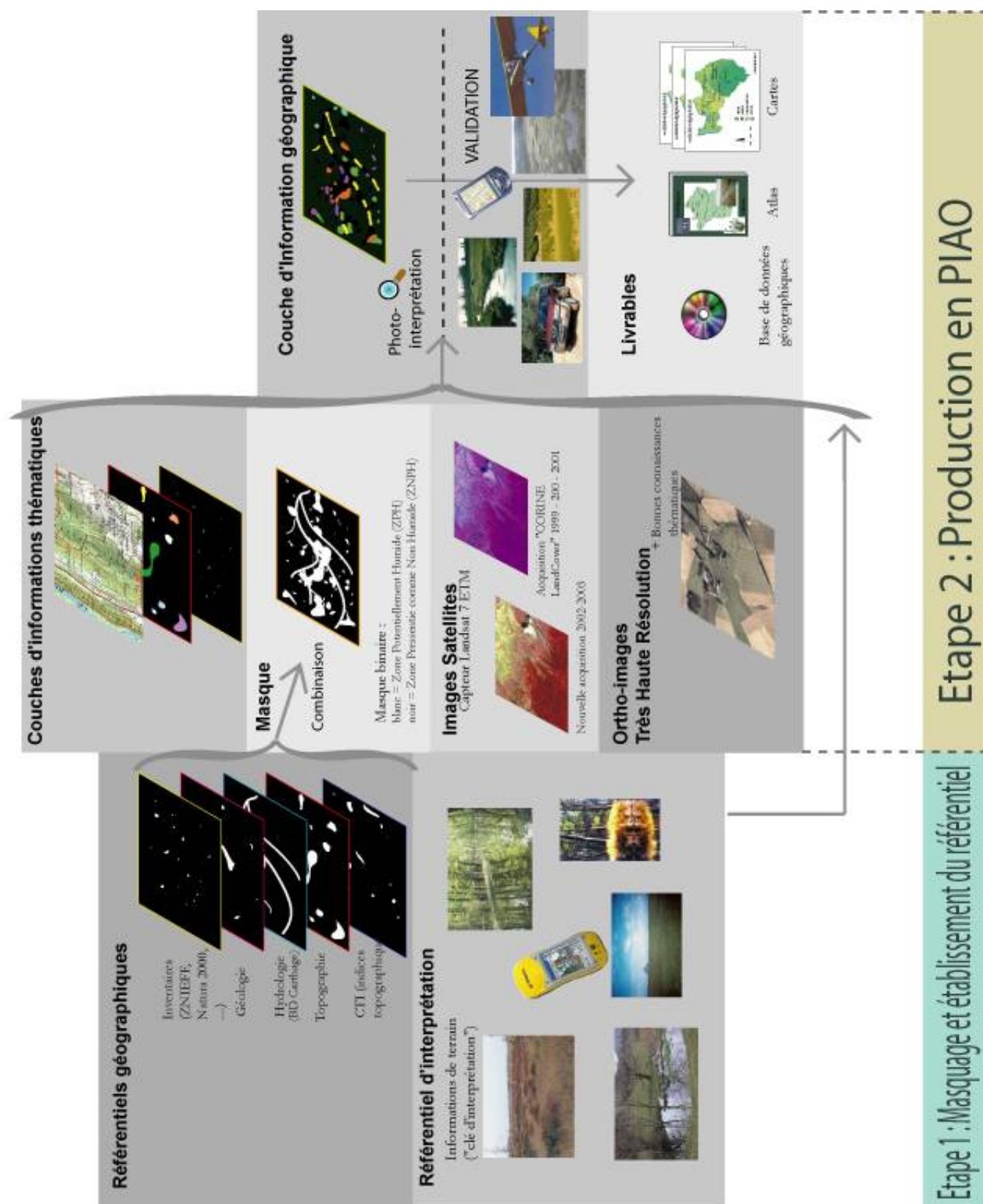
Interprétation de l'enveloppe

L'occupation des sols de cette zone pilote est relativement simple, les orthophotoplans et la composition colorée faisant partie des outils employés à ce stade d'interprétation. Dans les enveloppes, on trouve en majorité des prairies.

Dans le marais Vernier, la digue des Hollandais au XVII^e siècle et celle du XIX^e siècle ont figé le cours actuel de la Seine et asséché en partie le marais en le rendant plus accessible à l'exploitation agricole. Les prairies de fauche et de pâturage spécifiques au marais sont prolongées au nord de la digue par les zones céréalières.

Les terrains tourbeux du cœur du marais Vernier sont occupés par la forêt et les roselières, le tout étant parsemé par des étangs, témoins d'une hydromorphie importante. Les roselières ont été classées dans le type 4, sous-type 5 (non cartographiable), mais elles ont été mentionnées dans la colonne des observations.

Annexe 6 : Logigramme illustrant la méthodologie générale utilisée



Annexe 7 : Correspondances entre la typologie utilisée et les typologies EUNIS et Corine Biotopes

Typologie Etude	EUNIS habitat classification	CORINE biotopes
1.1 Eaux courantes	<i>C2 Surface running waters</i>	2.4 Eaux courantes
1.2 Annexes hydrauliques	<i>C1 Surface standing water</i>	2.2 Eaux douces stagnantes
1.3 Eaux stagnantes – Plans d'eau	<i>C1 Surface standing water</i>	2.2 Eaux douces stagnantes
2.1 Boisements à forte naturalité	<i>G1.1 Riparian and gallery woodland, with dominant Alnus, Betula, Populus or Salix (+ G1.21, G1.22, G1.41, G1.51, G1.52)</i>	44.1 Formations riveraines de saules 44.3 Forêts de frênes et d'aulnes des fleuves médio-européens 44.4 Forêts mixtes de chênes, d'ormes et de frênes des grands fleuves 44.9 Bois marécageux d'aulne, de saule et de myrte des marais
2.2 Boisements artificiels	<i>G1.C Highly artificial broadleaved deciduous forestry</i> <i>G3.F Highly artificial coniferous plantations</i>	83.3 Plantations
3 Prairies humides	<i>E3.4 Moist or wet eutrophic and mesotrophic grassland</i> <i>E3.5 Moist or wet oligotrophic grassland</i>	37.3 Prairies humides oligotrophes 37.2 Prairies humides eutrophes
4.1 Bas marais et tourbières	<i>D1.1 Raised bogs</i> <i>D2.2 Poor fens and soft-water spring mires</i> <i>D2.3 Transition mires and quaking bogs</i> <i>D4.1 Rich fens, including eutrophic tall-herb fens and calcareous flushes and soaks</i> <i>D5.2 Beds of large sedges normally without free-standing water</i>	51 Tourbières hautes 54.2 Bas-marais alcalins 54.4 Bas-marais acides 54.5 Tourbières de transition
4.2 Landes humides	<i>F4.1 Wet heaths</i>	31.1 Landes humides
4.3 Roselières	<i>C3.2 Water-fringing reedbeds and tall helophytes other than canes</i> <i>D5.1 Reedbeds normally without free-standing water</i> <i>D5.2 Beds of large sedges normally without free-standing water</i>	53 Végétation de ceinture des eaux
4.4 Mégaphorbiaies	<i>E5.4 Moist or wet tall-herb and fern fringes and meadows</i>	37.1 Communautés à Reine des prés et communautés associées
5.1 Pannes dunaires	<i>B1.8 Moist and wet dune slacks</i>	16.3 Lettes dunaires humides
5.2 Slikke	<i>B1.1 Sand beach driftlines</i> <i>B1.2 Sand beaches over the driftline</i>	14 Vasières et bancs de sable sans végétations 15.1 Gazons pionniers salés 15.2 Prairies à Spartine
5.3 Schorre	<i>B1.2 Sand beaches over the driftline</i>	15.2 Prairies à Spartine 15.3 Prés salés atlantiques
6 Terres arables	<i>I.1 Arable land and market gardens</i>	82 Cultures
7 Zone urbaine et autres territoires artificialisés	<i>J Constructed, industrial or other artificial habitats</i>	86 Villes, villages et sites industriels

Annexe 8 : Illustrations des types et sous-types (illustrations données à titre indicatif – non exhaustif)

Type 1 :Eaux de surface (stagnantes et courantes)



Type 2 : Formations forestières humides et/ou marécageuses



Type 3 : Prairies humides



Type 4: Tourbières, landes, roselières et mégaphorbiaies



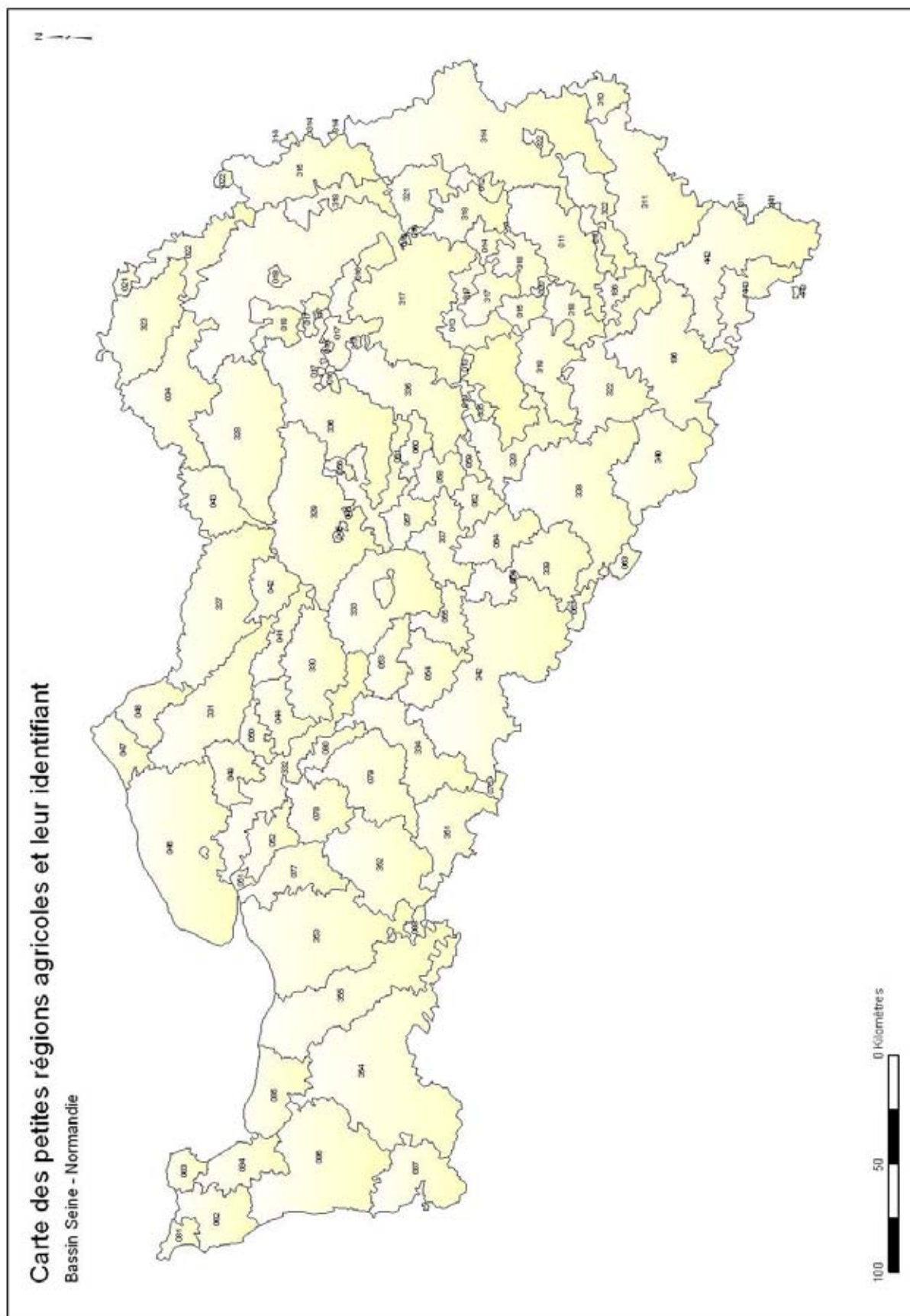
Type 5 : Zones humides littorales



Type 6 : Terres arables



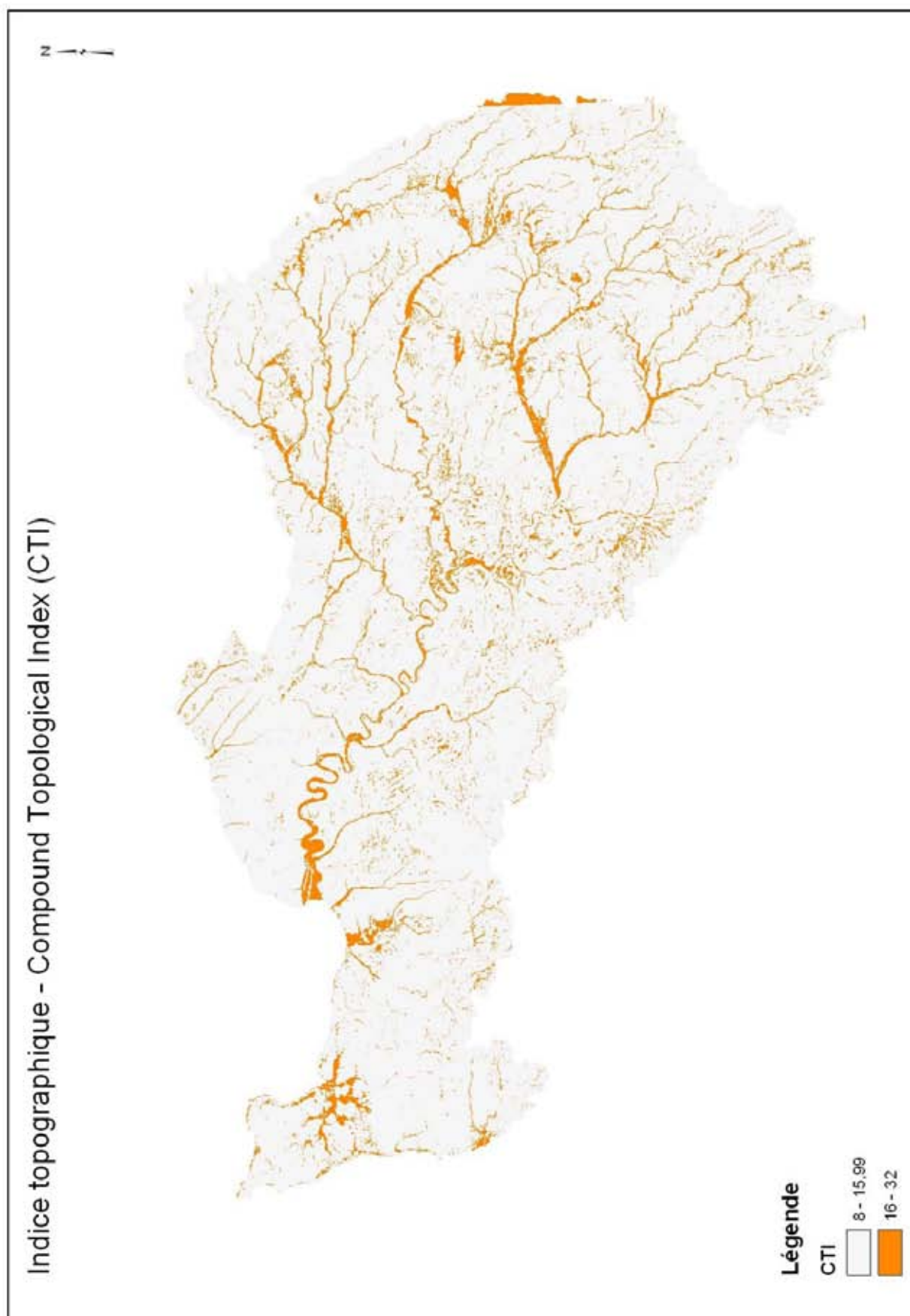
Annexe 9A : Carte des « Petites Régions Agricoles » (source INSEE)



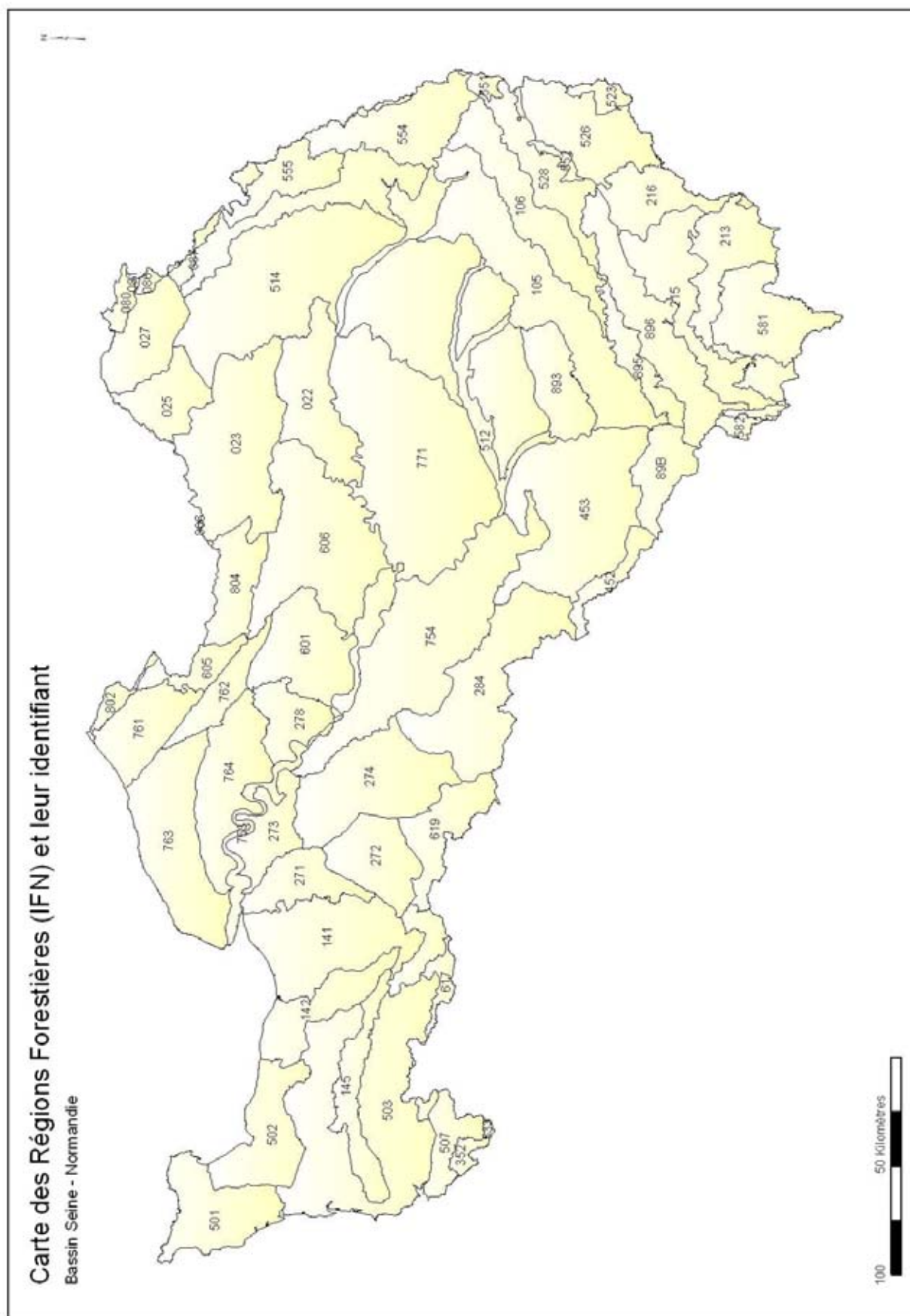
Annexe 9B : Codification des Petites Régions Agricoles

CODE_PRA	Petite Région Agricole		
010	Tonnerois (21010)		
011	Vignoble du Barrois (10011)		
012	Vallage (52012)		
013	Vallee de la Champagne Crayeuse (10013)		
014	Plaine de Brienne (10014)		
015	Plaine de Troyes (10015)		
016	Vallee de la Marne (51016)		
017	Vignoble (51017)		
018	Pays Remois (51018)		
018	Pays Remois (51018)		
019	Vallee du Nogentais (10019)		
020	Vallee de la Champagne Humide (10020)		
021	Ardenne (08021)		
022	Cretes Pre-Ardenaises (08022)		
034	Saint-Quentinois et Laonnois (02034)		
041	Pays de Thelle (60041)	078	Plateau de Neubourg (27078)
042	Clermontois (60042)	079	Plateau d Evreux Saint-Andre (27079)
044	Vexin Normand (27044)	080	Plateau de Madrie (27080)
045	Butte de Dammartin (77045)	081	la Hague (50081)
046	Pays de Caux (76046)	082	Bocage de Valognes (50082)
047	Petit Caux (76047)	083	Val de Saire (50083)
048	Entre Bray et Picardie (76048)	084	Cotentin (50084)
049	Entre Caux et Vexin (76049)	085	Bessin (14085)
050	Pays de Lyons (27050)	086	Bocage de Coutances et Saint-lo (50086)
051	Marais Vernier (27051)	087	Avranchin (50087)
052	Roumois (27052)	088	Marlerault (61088)
053	Plaine de Versailles (78053)	186	Plateaux de Bourgogne (89186)
054	Yvelines (78054)	310	Bassigny-Chatenois (88310)
055	Hurepoix (91055)	311	Plateau Langrois,montagne (52311)
057	Brie Boisee (77057)	314	Barrois (52314)
058	Brie Centrale (77058)	315	Argonne (08315)
059	Montois (77059)	317	Champagne Crayeuse (02317)
060	Brie Est (77060)	318	Champagne Humide (10318)
061	Vallees de la Marne et du Morin (77061)	319	Pays d Othe (10319)
062	Brie Humide (77062)	320	Bassee et Basse-Yonne (89320)
063	Orleanais (45063)	321	Perthois (51321)
063	Orleanais (45063)	322	Vallees de l Yonne a la Marne (89322)
076	Faux Perche (28076)	323	Thierache (02323)
077	Lieuvin (27077)	327	Plateau Picard (80327)
		328	Soissonnais (02328)
		329	Valois (02329)
		330	Vexin (27330)
		331	Pays de Bray (76331)
		332	Vallee de la Seine (76332)
		333	Ceinture de Paris (91333)
		334	Drouais (28334)
		335	Brie Champennoise (10335)
		336	Tardenois (51336)
		337	Brie Francaise (77337)
		338	Gatinais Pauvre (45338)
		339	Gatinais Riche (91339)
		340	Puisaye (45340)
		342	Beauce (28342)
		351	Perche (27351)
		352	Pays d Ouche (27352)
		353	Pays d Auge (61353)
		354	Bocage Normand (14354)
		355	Plaine Normande (61355)
		441	Cote Viticole et Arriere-Cote de Bourgogne (21441)
		442	Autunois-Auxois (21442)
		443	Morvan (89443)

Annexe 10 : Carte du CTI ajusté et seuillé



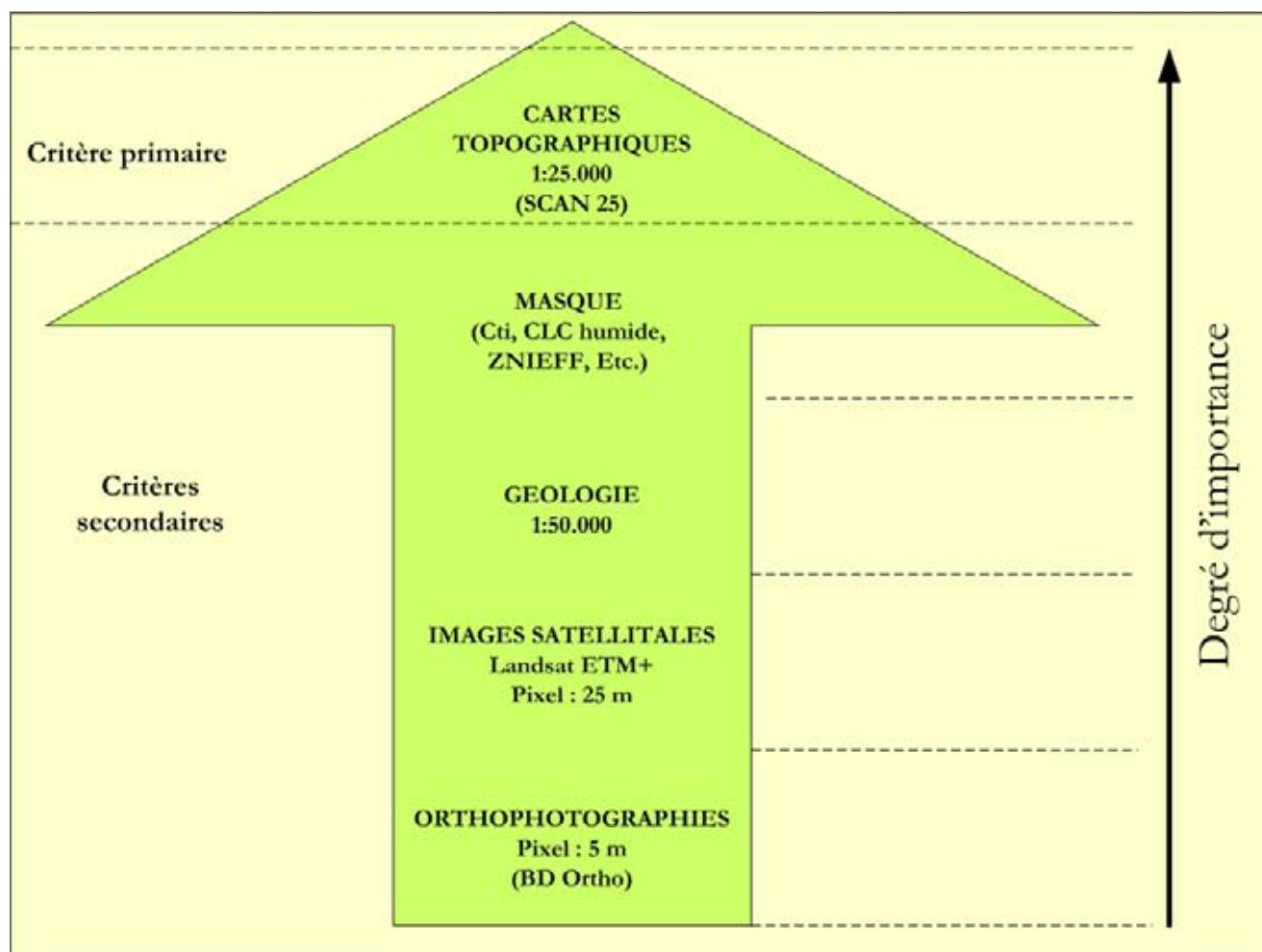
Annexe 11A : Carte des « Petites Régions Forestières » du bassin AESN (source IFN)



Annexe 11B : Codification des Petites Régions forestières

REGN	Region Forestière
022	TARDENOIS
023	SOISSONNAIS
025	SAINT-QUENTINOIS
027	HAINAUT ET THIERACHE
080	ARDENNE PRIMAIRE
081	DEPRESSIONS ARDENNAISES
086	PREMIERE CRETE ARDENNAISE
087	SECONDE CRETE ARDENNAISE
105	CHAMPAGNE HUMIDE
106	PLATEAU DES BARS-NORD
141	PAYS D'AUGE
142	CAMPAGNES DE NORMANDIE
145	COLLINES BOCAINES
213	PLAINES PREMORVANDELLES
215	PLATEAU BOURGUIGNON SUD
216	MONTAGNE BOURGUIGNONNE
271	LIEUVIN
272	PAYS D'OUCHE
273	ROUMOIS
274	PLATEAUX DE NEUBOURG DE SAINT-ANDRE ET DROUAIS
278	VEXIN NORMAND
284	BEAUCE
352	REGION DE FOUGERES - DOL
452	ORLEANAIS
453	GATINAIS
501	NORD-COTENTIN
502	PLAIN ET BESSIN
503	BOCAGE NORMAND
507	BASSES COLLINES DE NORMANDIE
512	VALLEES DE LA MARNE SEINE ET AFFLUENTS
514	CHAMPAGNE CRAYEUSE
523	BASSIGNY - AMANCE ET ANNEXES
526	PLATEAU DE LANGRES
528	PLATEAU DES BARS-SUD
533	BAS-MAINE
551	COTES ET COLLINES DE MEUSE
552	WOEVRE ET ANNEXES
554	BARROIS
555	ARGONNE
581	MORVAN
582	PLATEAU NIVERNAIS
601	PAYS DE THELLE ET VEXIN FRANCAIS
605	PICARDIE VERTE
606	VALOIS ET VIEILLE FRANCE
617	HAUTES COLLINES DE NORMANDIE
619	PERCHE
753	VALLEE DE LA SEINE
754	PAYS DES YVELINES ET DE FONTAINEBLEAU
761	PETIT CAUX
762	PAYS DE BRAY
763	PAYS DE CAUX
764	CAUX MERIDIONAL ET PAYS DE LYONS
771	BRIE
802	VIMEU
804	PLATEAU PICARD
806	SANTERRE
893	PAYS D'OTHE
895	PLATEAU BOURGUIGNON NORD
896	PLATEAU BOURGUIGNON CENTRAL
89B	PUISAYE

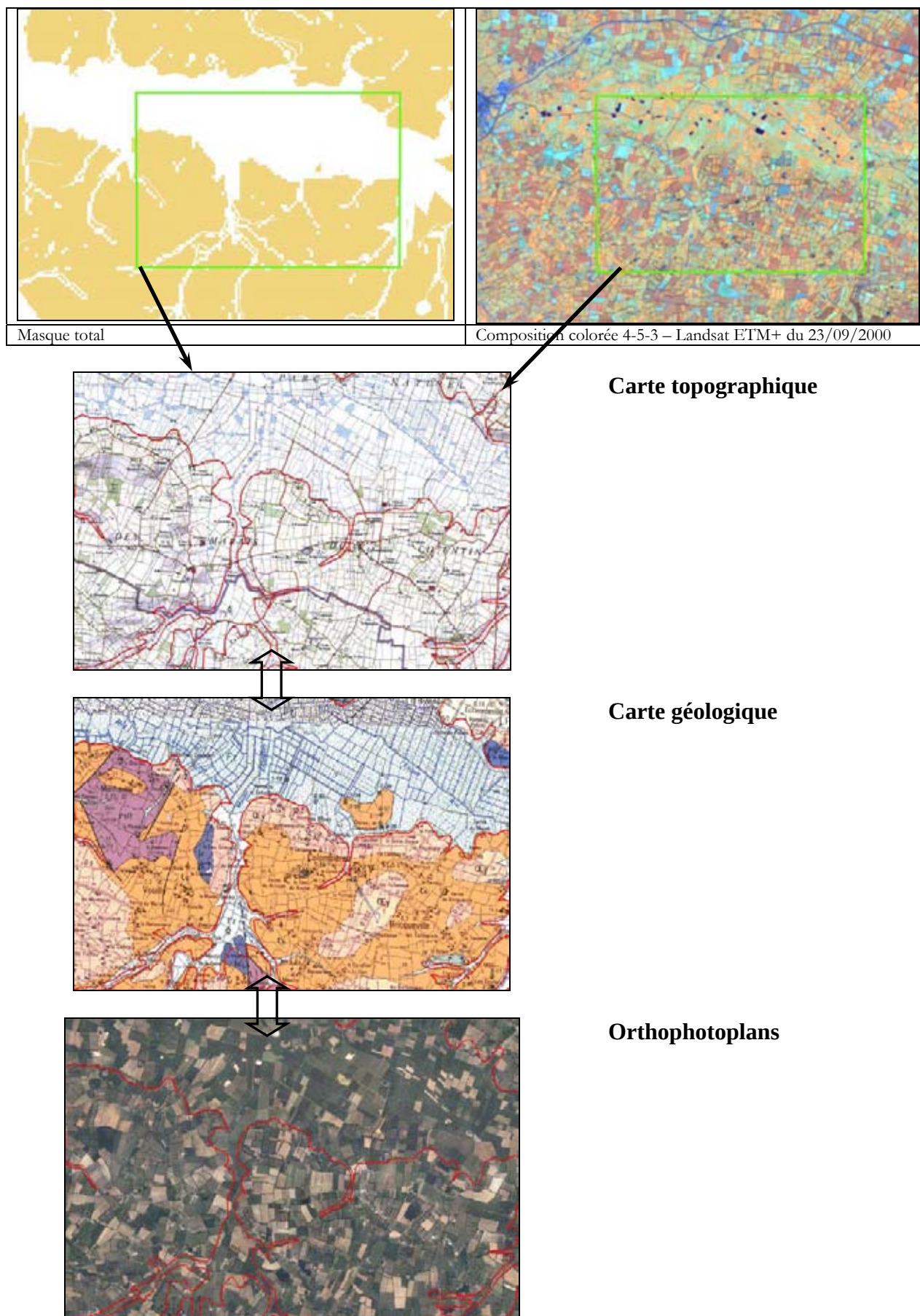
Annexe 12 : Clé d'interprétation – hiérarchie des critères de décision dans la délimitation de l'enveloppe à dominante humide (Etape 2)



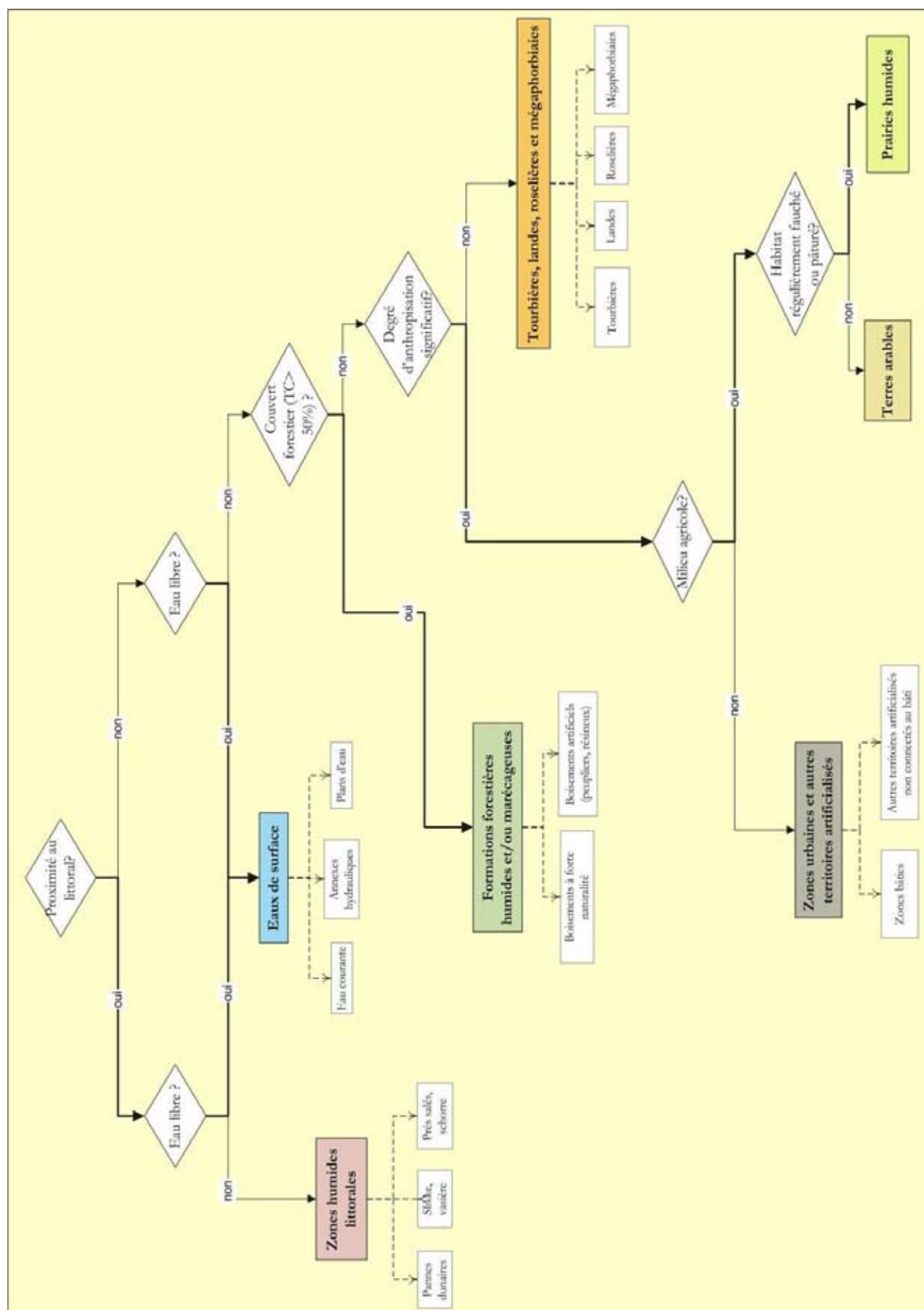
Annexe 13 : Dates d'acquisition des prises de vue aériennes (orthophotoplans) - AESNDépartements

02 Aisne (partiel)	21/05 > 24/08/2001	3 mois
08 Ardennes (partiel)	09/06 > 20/06/2000	15 jours
10 Aube	09/06 > 10/09/2000	3 mois
14 Calvados	06/2000	1 mois
21 Côte d'Or (partiel)	18/06 > 16/09/2002	3 mois
27 Eure	19/07 > 17/10/2000	3 mois
28 Eure-et-Loir	02/06 > 17/08/2002	2 mois
45 Loiret (partiel)	20/05 > 21/05/2001	2 jours
50 Manche	14/08 > 28/09/2002	1,5 mois
51 Marne	11/09 > 18/10/1999	1 mois
	ou 30/07 > 05/09/2004	1 mois
52 Haute Marne (partiel)	23/06 > 15/08/2001	2 mois
55 Meuse (partiel)	20/07 > 29/07/2002	10 jours
58 Nièvre (partiel)	14/06 > 14/08/2002	2 mois
89 Yonne	" "	2 mois
60 Oise	01/06 > 29/07/2002	2 mois
61 Orne	30/05 > 24/07/2001	2 mois
76 Seine Maritime	13/06 > 21/06/2003	8 jours
75 Seine	28/05 > 08/07/2005	15 jours
77 Seine et Marne	" "	"
78 Yvelines	" "	"
91 Essonne	" "	"
92 Hauts-de-Seine	" "	"
93 Seine St Denis	" "	"
94 Val de Marne	" "	"
95 Val d'Oise	" "	"

Annexe 14 : Exemple de délimitation de l'enveloppe humide – Vallée de l'Esque (Bocages Normands)



Annexe 15 : Arbre de décision (Etape 3)

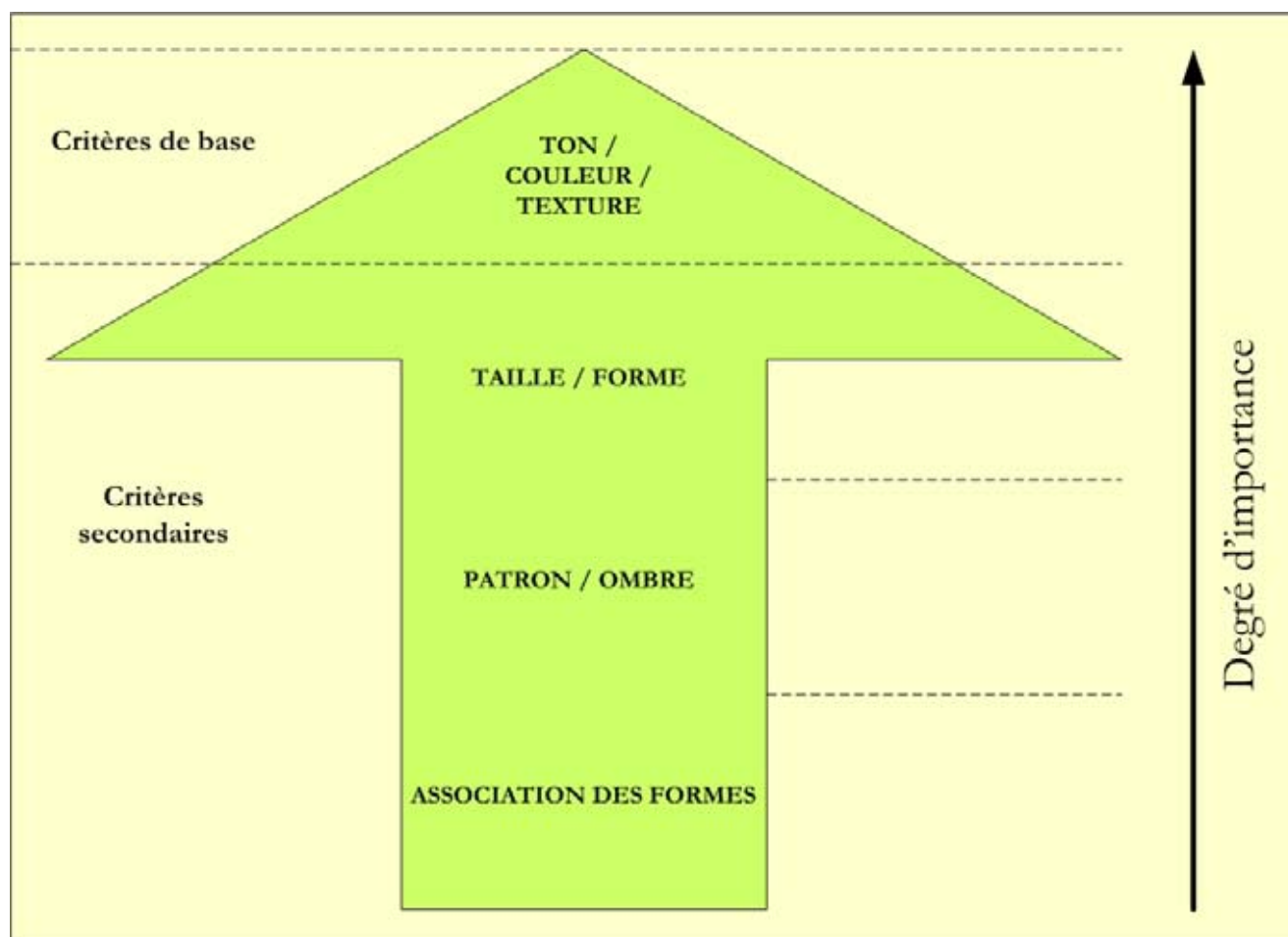


Annexe 16 : Critères de photo-interprétations utilisés pour identifier les types et les sous-types

Type	Teinte et couleur		Forme	Texture		Ombre	Patron / Pattern
	Orthophotoplan	Images satellitales ETM - composition colorée 453		Orthophotoplan	Images satellitales ETM - composition colorée 453		
Eaux de surface							
eaux courantes (fleuve, rivière, annexes hydrauliques)	régulière / sombre : brun	régulière / très sombre : bleu à noir	linéaire	uniforme / lisse	uniforme / lisse		
plans d'eau			curvi-linéaire				
			surfacique / régulière à irrégulière				
Formations forestières humides et/ou marécageuses							
boisements à forte naturalité	régulière / très sombre : vert	irrégulière / brun à orange	irrégulière	moutonnée	grossière	présence	présence d'un damier (lâyons, chemins...)
boisements artificiels		peuplier : régulière / rouge ; résineux : régulière / marron foncé	régulière	striée (alignement)	grossière		
Prairie	régulière / sombre à claire : vert	régulière / orange	surfacique / irrégulière et parfois rectangulaire	tacheté / fine à rugueuse	uniforme / lisse		régulier / rectangulaire
Tourbières, landes, roselières et mégaphorbiaies							
Tourbières et bas-marais				tachetée / grossière / hétérogène			irrégulier
Landes humides	irrégulière	irrégulière / vert à brun		tachetée / fine à grossière / hétérogène			irrégulier
Roselières	irrégulière / claire : marron	régulière / orange		tachetée / grossière / hétérogène			irrégulier
Mégaphorbiaies	irrégulière / mixte sombre-clair : marron			tachetée / grossière / hétérogène			irrégulier
Zones humides littorales							
Pannes dunaires				hétérogène			pas de pattern
Slikke, vasières				lisse			pas de pattern
Schorre, prés salés	irrégulier / sombre : vert	régulière / sombre : bordeaux		lisse à grossière			pas de pattern caractéristique
Terres arables							
en végétation	régulière / sombre à claire : vert	régulière / rouge à orange	surfacique / carrée ou rectangulaire	uniforme / lisse à fine	uniforme / lisse		régulier / rectangulaire
sol nu	régulière à irrégulière / sombre à claire : marron à beige	régulière / bleu ciel		lisse à rugueuse	uniforme / lisse		régulier / rectangulaire
Zones urbaines et autres territoires artificialisés							
Zones bâties	très irrégulière / sombre à clair : gris, marron, blanc	irrégulière / claire : bleu, bleu ciel		hétérogène / striée		présence	
Autres	très irrégulière à régulière						

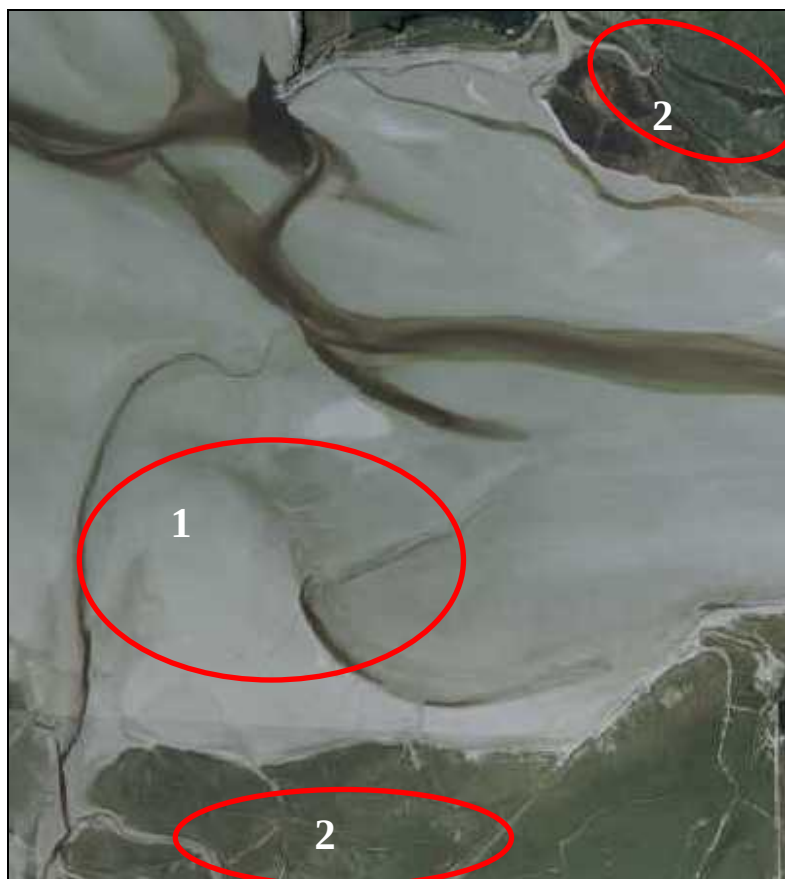
Remarques : ces critères peuvent varier en fonction de l'échelle - une case vide signifie que le critère n'est pas utilisé pour différencier le type ou le sous-type

Annexe 17 : Clé d'interprétation – hiérarchie des critères de photo-interprétation (Etape 3)



Annexe 18 : Illustrations des différents types et sous-types de zones à dominante humide sur orthophotoplans et sur image satellites

L'échelle des illustrations est comprise entre le 1 :15 000 et le 1 :20 000 et n'est donnée qu'à titre indicatif – les photos présentées ci-dessous ne reflètent pas la qualité des orthophotoplans originaux



Mont Saint-Michel

1. Slikke
2. Schorre / Pré salé



La Bassée

1. Eau courante
2. Annexe hydraulique
3. Plan d'eau
4. Boisement semi-naturel
5. Autres territoires artificialisés (sable d'extraction et zone industrielle)



L'Oise

1. Tourbières, landes (sous-type non spécifié)
2. Boisements à forte naturalité
3. Plantations (peupliers)
4. Terres arables



Tourbière de Baupré

1. Plan d'eau
2. Boisements à forte naturalité
3. Prairies humides
4. Marais intérieurs, tourbières et landes (sous-type non spécifié)
5. Tourbière (exploitée)



Estuaire de la Seine

1. Prairies humides
2. Plans d'eau
3. Roselières
4. Schorre



Marais de Saint-Gond

1. Plan d'eau
2. Boisements à forte naturalité
3. Prairies humides
4. Roselières



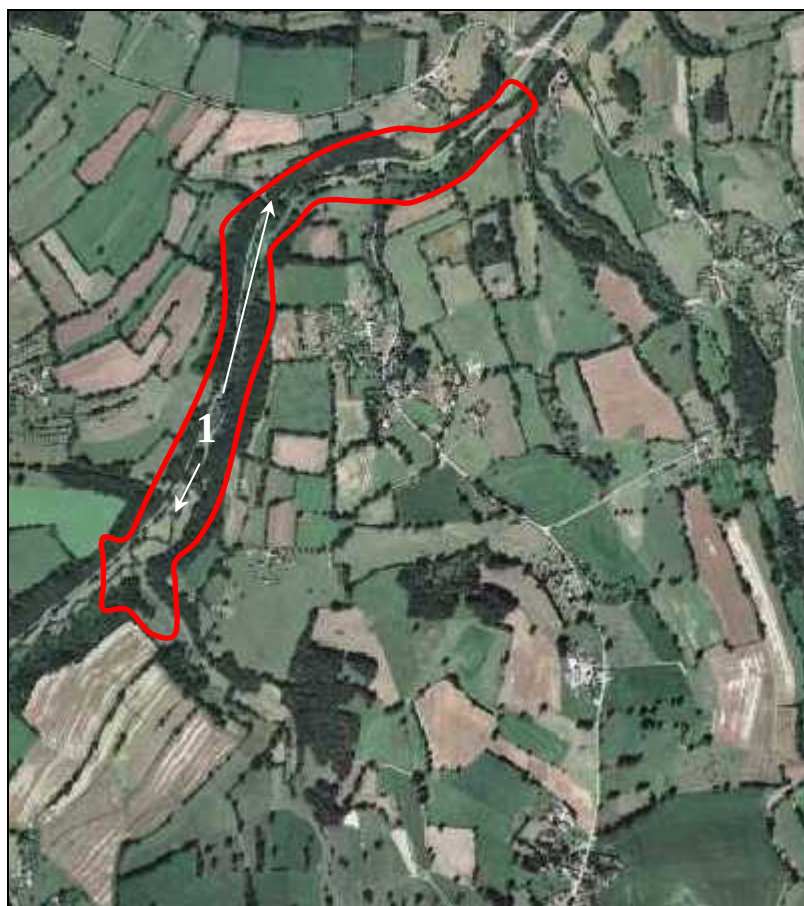
Landes de Lessay

1. Plans d'eau
2. Lande humide
3. Plantations (résineux)



Bocage Normand

1. Mégaphorbiaies
2. Prairies humides



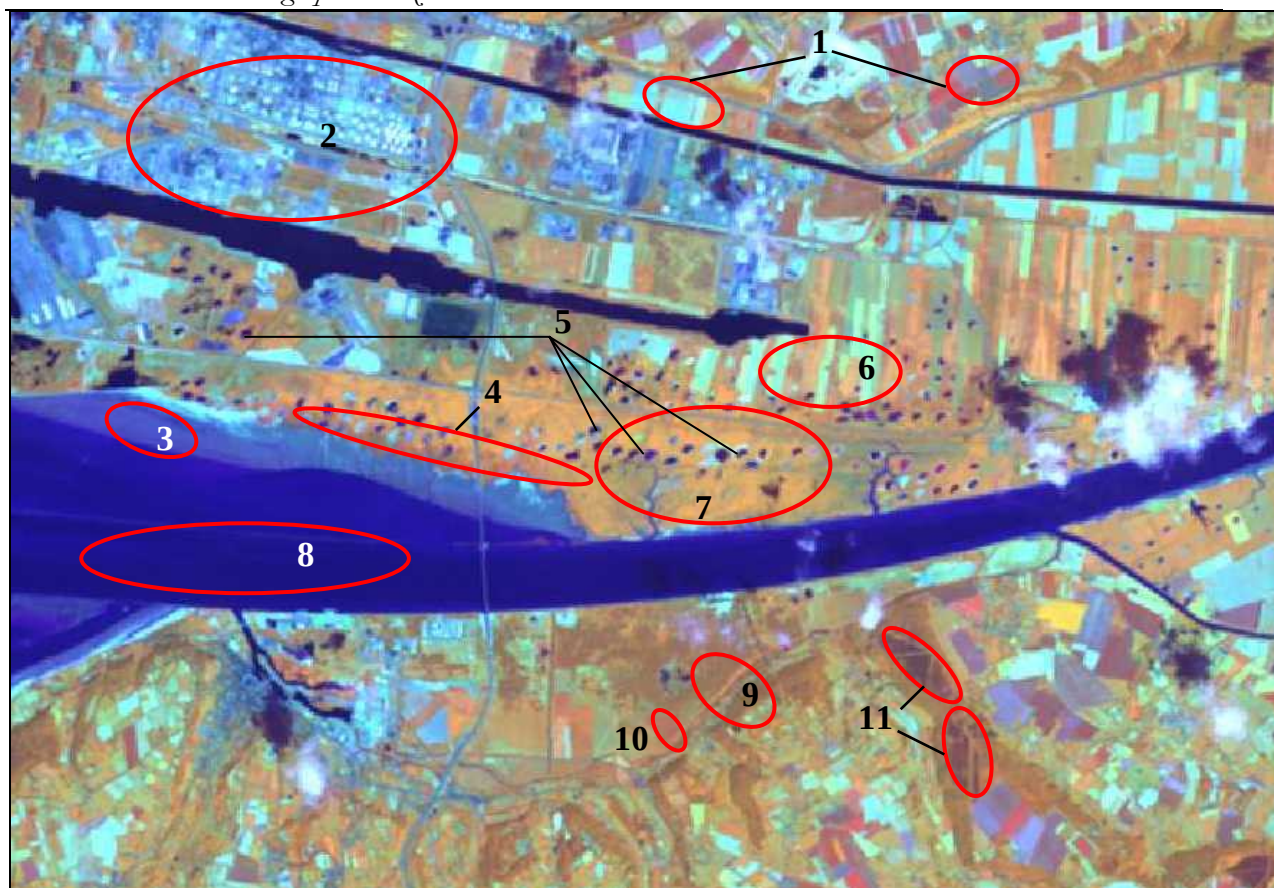
Bocages Normands

1. Mosaïque d'entités humides de moins d'un hectare (prairies humides et boisements à forte naturalité)

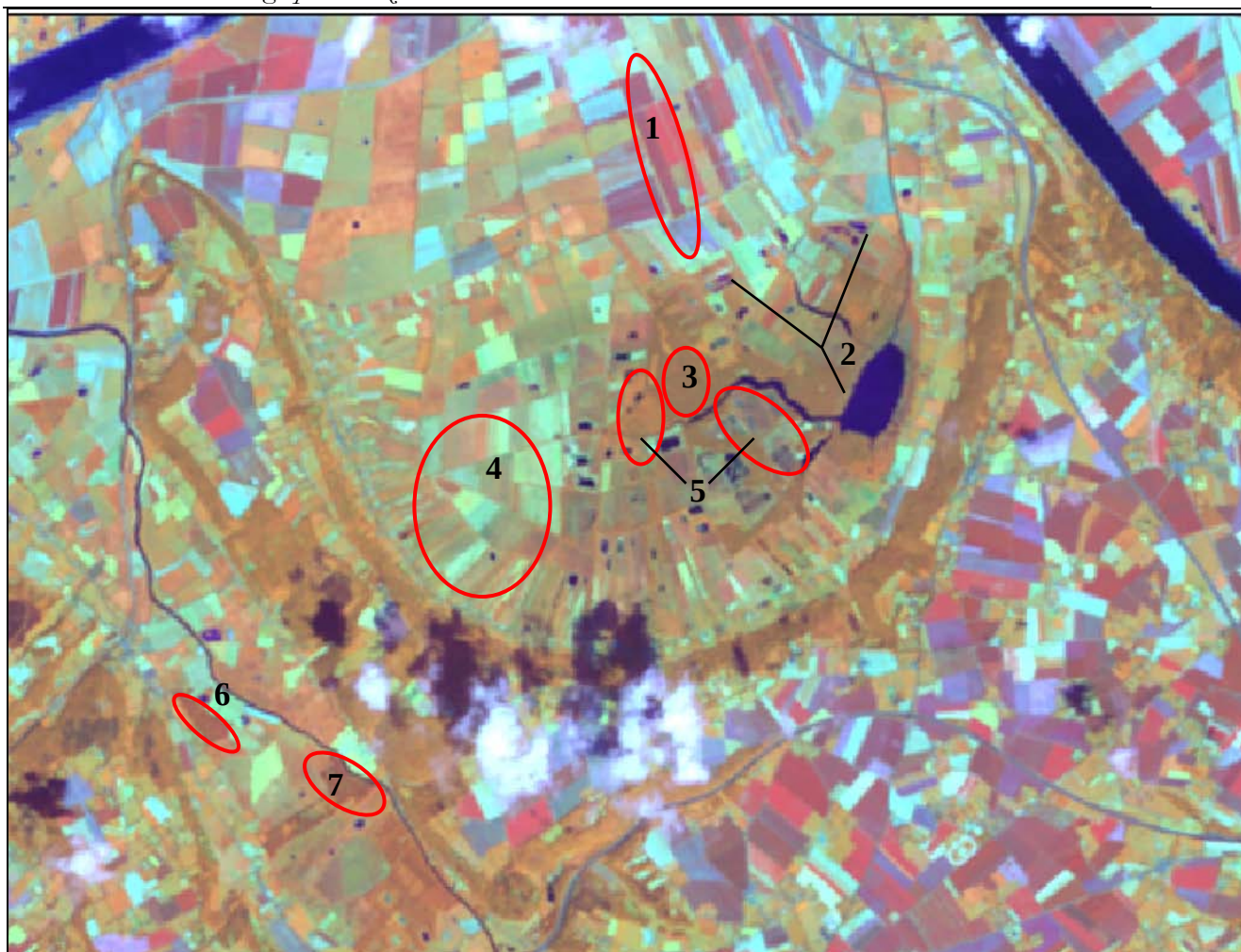


Oise

1. Boisements à forte naturalité
2. Plantations ou boisements artificiels



1. Terres arables, 2. Zone urbaine, 3. Slikke, 4. Schorre, 5. Plans d'eau, 6. Prairies humides, 7. Roselières, 8. Eaux courantes, 9. Boisements à forte naturalité (feuillus), 10 et 11. Plantations ou boisements artificiels (9: peupliers, 10: résineux) – Région du Havre (Bassin Aval de la Seine)

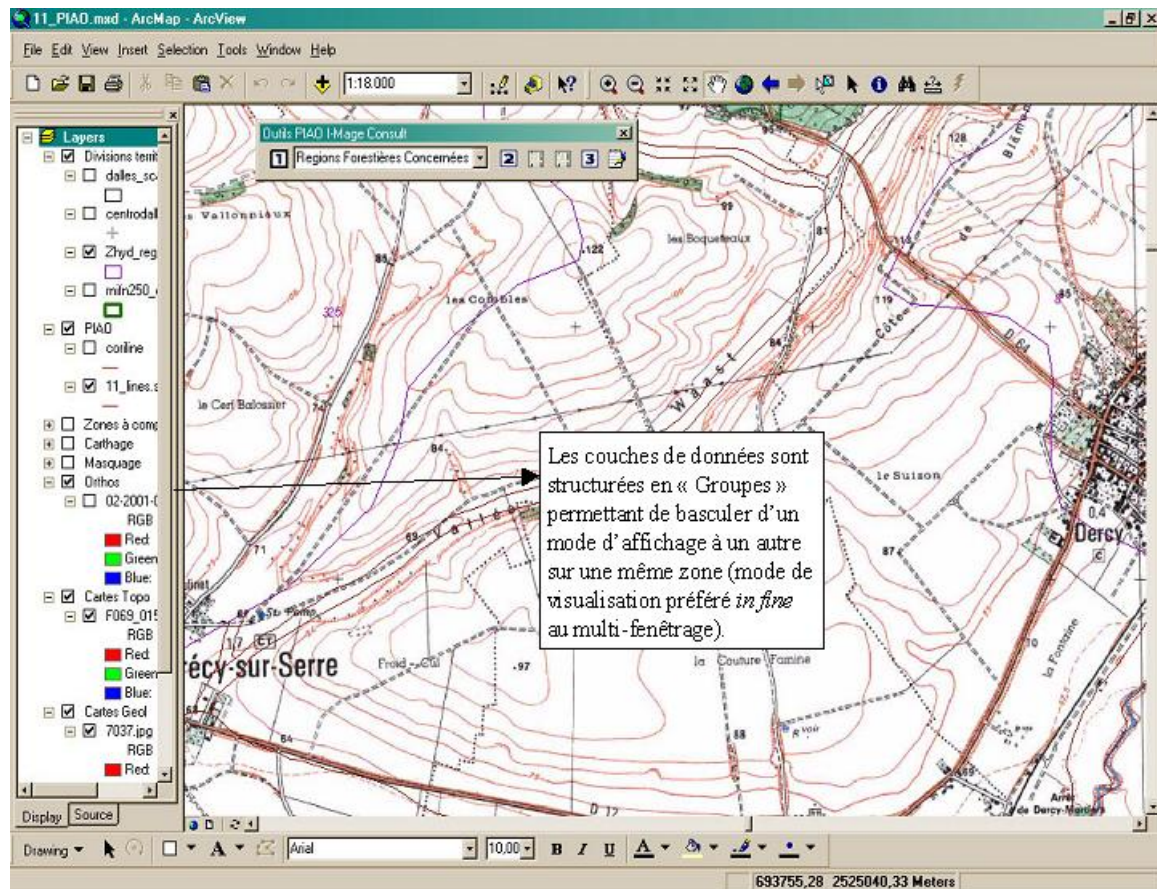


1. Terres arables, 2. Plan d'eau, 3. Boisements à forte naturalité (feuillus), 4. Prairies humides, 5. Roselières, 6 et 7. Plantations (6: peupliers, 7: résineux)

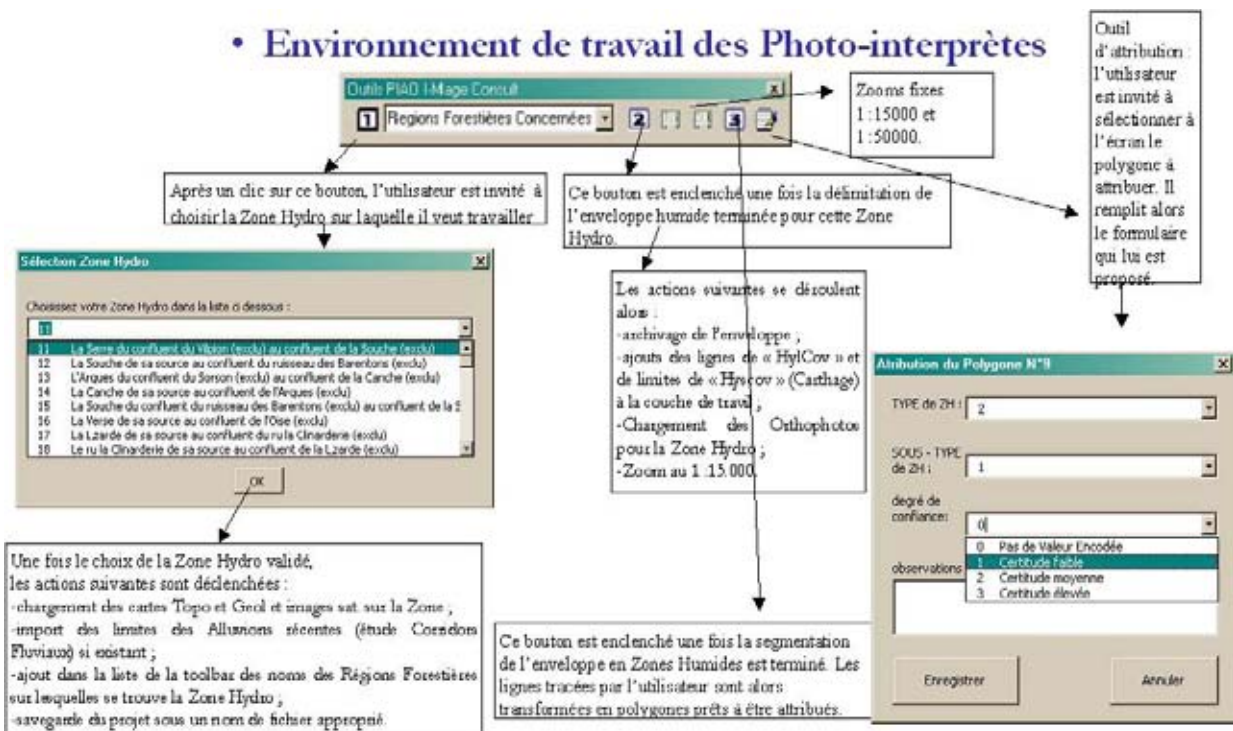
Annexe 19 : Liste des images satellitales multitudes utilisées

Path/Row	Date d'acquisition des images fournies par l'AESN	Date d'acquisition des images complémentaires
202 025	5/12/2001	20/11/2001
202 026	5/12/2001	
201 025	10/12/2001	
201 026	23/09/2000	21/05/2001
201 027	23/09/2000	
200 025	10/05/2001	30/05/2001
200 026	28/06/2000	16/10/1999
200 027	31/08/2000	
199 025	24/08/2000	
199 026	24/08/2000	23/05/2001
199 027	24/08/2000	23/05/2001
198 025	8/01/2000	19/03/2003
198 026	8/01/2000	19/03/2003
198 027	8/01/2000	19/03/2003
197 026	9/11/2000	26/06/2001
197 027	9/11/2000	26/06/2001

Annexe 20 : Environnement de travail des photo-interprètes



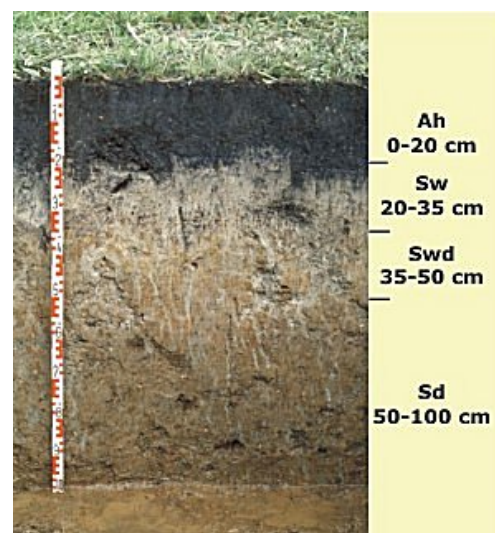
• Environnement de travail des Photo-interprètes



Annexe 21 : Illustrations de GLEY et de PSEUDO-GLEY



Pseudo-Gley : apparition de tâches d'oxydo-réduction (couleur rouille et blanche)



Gley : présence d'un horizon réduit (gris bleu) et présence d'une nappe d'eau à faible profondeur

Annexe 22 : Fiche de relevé de terrain et encodeur GPS (Trimble GeoXT)

Fiche de terrain					
Responsable:			Date		
Position GPS	oui/non	N° relevé			
Photo	oui/non	N°			
Relevé pédo	oui/non				
prés tâches d'oxydo-réduction	oui/non				
apparition du pseudogley (prof)					
apparition du gley (prof)					
profondeur de la nappe (prof)					
texture (générale)					
Echelle d'observation	50 x 50	100 x 100	250 x 250	500 x 500	1000 x 1000
Types					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
Végétation caractéristique					
Remarques					



[illegible]

Annexe 24 : Localisation des points de contrôle (validation des travaux de PIAO)

