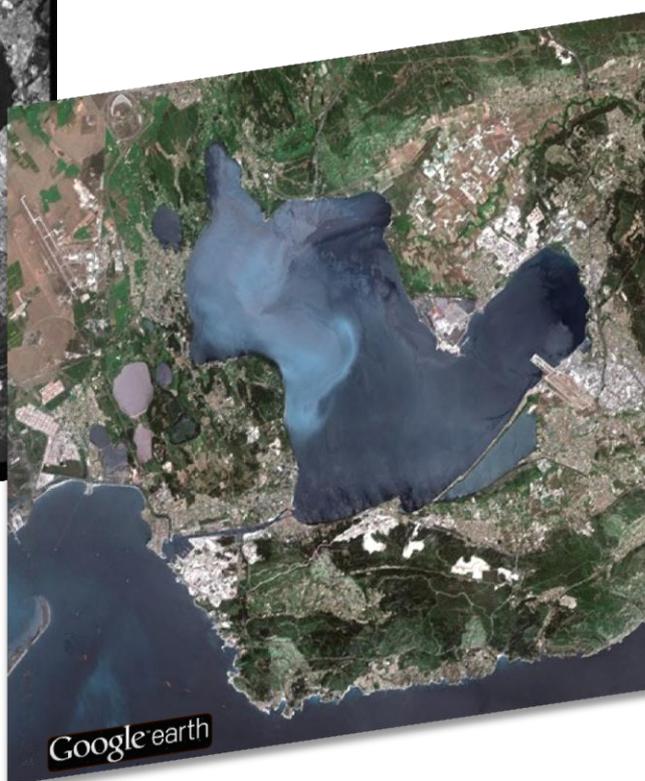


**Etat des lieux de l'occupation des sols
des rives de l'Etang de Berre
et des sites Natura 2000 adjacents
par photo-interprétation**

Etat actuel et évolution depuis le milieu du XX^{ème} siècle



Caron Hugo
Chardon Romain
Druez Flora
Eudes Manon

Fouchard Marion
Grauer Rosanna
Lalleroni Aurélie
Van der Yeught Alexandre

Promotion 2012-2013 Master SET - Sciences de la Biodiversité et Ecologie
parcours professionnel Expertise Ecologique et Gestion de la Biodiversité

INTRODUCTION	1
I. La méthode de photo-interprétation	3
1. Zone d'étude : définition de l'étendue et de la résolution du quadrillage.....	3
2. Choix de la typologie	4
3. La table attributaire	4
4. Méthode de photo-interprétation.....	5
a. Récupération des données	5
b. Géoréférencement des ortho-photographies anciennes.....	5
c. Photo-interprétation	6
d. Consignes de photo-interprétation : calibration des observateurs.....	6
5. Vectorisation des voies de communication et du trait de côte	7
6. Évaluation de la certitude des interprétations	8
II. Résultats	10
1. Occupation des sols des rives de l'Etang de Berre, des sites Natura 2000 adjacents et leurs pourtours en 1950 (1949-1955) et en 2008	10
a. Résultats de l'analyse des certitudes de photo-interprétation.....	10
b. Occupation des sols des rives et des sites Natura 2000 de l'Etang de Berre, dans les années 1950 (1949-1955).....	11
c. Occupation des sols des rives et des sites Natura 2000 de l'Etang de Berre, en 2008	13
2. Evolution des rives de l'Etang de Berre, des sites Natura 2000 et leurs pourtours de 1950 à 2008.....	15
a. Comparaison des occupations des sols.....	15
Zones urbanisées et bâties	15
Zones agricoles.....	16
Zones Naturelles.....	18
Zones humides naturelles et artificialisées.....	19
b. Evolution du trait de côte	21
III. Discussion	23
Certitudes d'interprétation.....	23
Trait de côte.....	23
L'évolution de l'occupation des sols.....	24
Conclusion	26
Bibliographie	27
Annexes	28

Liste des Figures :

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Table attributaire du quadrillage de la zone d'étude	4
Tableau 2 : Proportion de mailles de certitude maximale (niveau 4) pour chaque typologie, pour la détermination du type de milieu pour les années 1950 (1949-1955) et 2008	10
Tableau 3 : Proportion de mailles de certitude maximale (niveau 4) pour chaque typologie, pour la dominance du type de milieu pour les années 1950 (1949-1955) et 2008.....	10
Tableau 4 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones urbanisées et bâties autour de l'Etang de Berre	16
Tableau 5 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones agricoles autour de l'Etang de Berre	17
Tableau 6 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones naturelles autour de l'Etang de Berre	19
Tableau 7 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones humides naturelles et artificielles autour de l'Etang de Berre	20

INTRODUCTION

Situé dans le département des Bouches-du-Rhône, l'Etang de Berre, avec une superficie proche des 155 kilomètres carrés, est la plus vaste lagune européenne. Il s'agit d'un bassin de vie, où activités humaines et milieux naturels cohabitent. En effet, le site est devenu, avec le temps, un pôle majeur pour le développement des industries lourdes de la région (telles que des industries de raffinage, ou de pétrochimie). Or, l'étang est également entouré de zones naturelles, riches d'une faune et flore d'exception et d'habitats remarquables.

Dans les années 1970, le développement économique et industriel de la région de l'Etang de Berre a engendré une explosion démographique, avec une population locale dont les effectifs ont été multipliés par 2,4 entre 1960 et 1990 (Davout, 2010) et une densité moyenne de la population qui s'est multipliée par 2,2 entre 1968 et 2006 (Insee, 2009). Une augmentation démographique se traduit le plus souvent par l'expansion des zones urbaines et plus généralement des zones artificialisées et peut ainsi mettre en péril des zones naturelles, comme celles trouvées autour de l'Etang de Berre.

En effet, l'Etang de Berre est entouré par plusieurs sites appartenant au réseau européen Natura 2000, identifiés comme des zones remarquables compte tenu de leur rareté et de leur fragilité. Ces sites sont de deux types, des Zones Spéciales de Conservation (ZSC), qui répondent à la directive Habitats de l'Union européenne (de 1992), et des Zones de Protection Spéciale (ZPS), qui répondent à la directive Oiseaux (de 1979). Ces sites sont, pour les ZSC, le site « Marais et zones humides liées à l'étang de Berre » (FR9301597), qui se répartit en quatre localités : l'ancien site de la Poudrerie royale de Saint-Chamas, la Petite Camargue, les Salins de Berre et l'Etang de Bolmon, et, pour les ZPS, le site « Salines de l'Etang de Berre » (FR9312005), qui se répartit sur les Salins de Berre, et le site « Garrigues de Lançon et Chaînes alentour » (FR9310069). Ce dernier s'étend sur 27 471 hectares, depuis la limite Nord de l'étang, jusqu'au fleuve de la Durance, au Nord du département des Bouches-du-Rhône.

Dans ce contexte particulier, il semblait intéressant de réaliser un état des lieux de l'occupation des sols autour de l'Etang de Berre, afin de mettre en évidence des enjeux, parfois divergents, qui pèsent sur ce territoire. Par ailleurs, une étude de l'évolution de cette occupation des sols, depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle jusqu'à nos jours, permet de mieux comprendre l'évolution des usages de l'étang au cours de cette période, ainsi que de mieux appréhender sa situation actuelle.

Ainsi, grâce à un partenariat entre le Gipreb (Gestion intégrée, prospective et restauration de l'Etang de Berre) et la promotion 2012-2013 du master professionnel deuxième année de Science de la Biodiversité et Ecologie, parcours Expertise Ecologique et Gestion de la Biodiversité (Aix-Marseille Université), dans le cadre d'un module de Système d'Information Géographique (SIG), cette étude a pu être réalisée.

L'occupation du sol des rives de l'Etang de Berre ont donc été analysées sur un pas de temps d'une soixantaine d'années (des années 1950 aux années 2010), au cours duquel les évolutions du milieu ont probablement été des plus rapides, en raison tout d'abord de l'augmentation de la croissance économique d'après-guerre, puis de l'arrivée des rapatriés d'Algérie (Atlas des Métropolitains, 2002).

Dans l'objectif de connaître aussi l'évolution des milieux autour des sites Natura 2000, statut de protection qui n'a été mis en place que peu de temps avant les années 2010, et d'analyser les mutations qui ont pu, ou qui pourront les affecter, l'étude de l'évolution de l'occupation des sols sur et autour de ces sites a aussi été entreprise.

Les sites Natura 2000 concernés par cette étude sont la ZSC « Marais et zones humides liées à l'étang de Berre » et la ZPS « Salines de l'Etang de Berre ». La ZPS « Garrigues de Lançon et Chaînes alentour » n'a pas été traitée. En effet, elle s'étend sur une surface tellement vaste, qu'elle n'est pas concernée par les enjeux propres aux rives de l'Etang de Berre.

Ainsi, ce ne sont pas moins de dix communes qui ont été en partie prises en compte dans cette étude : Berre L'Etang, Vitrolles, Rognac, Marignane, Châteauneuf-les-Martigues, Martigues, Saint-Mitre-les-Remparts, Istres, Saint-Chamas et Miramas (Figure 1).



Figure 1 : Villes périphériques de l'Etang de Berre concernées par l'étude de l'occupation des sols

Le présent document a donc pour objectif de présenter une méthode d'analyse des évolutions des occupations du sol des rives de l'Etang de Berre afin de mettre en place une réflexion autour des enjeux qui pèsent sur celui-ci.

I. La méthode de photo-interprétation

La réalisation de l'étude est basée sur de nombreuses réflexions, ainsi que sur la mise en place d'outils techniques et de leurs différentes modalités qui seront développés par la suite.

Le travail de cette étude a principalement reposé sur la technique de photo-interprétation, qui nécessite l'usage d'ortho-photographies.

Afin de mener à bien cette étude et de répondre aux objectifs fixés, deux alternatives méthodologiques ont été identifiées :

- la première était l'interprétation des ortho-photographies par la vectorisation des contours de chaque type d'occupation du sol (définis au préalable),
- la seconde était l'interprétation des ortho-photographies à l'aide d'un quadrillage, dont chaque maille se verrait attribuer un type d'occupation du sol sur le critère de dominance de celui-ci au sein de la maille.

Ces deux méthodes présentent chacune des avantages et des inconvénients qui leurs sont propres.

La première méthode est, par définition, plus précise en termes de délimitation des occupations du sol. Mais il s'avère très délicat de donner une délimitation exacte de milieux qui sont adjacents, et le biais de cette interprétation, dû à l'observateur, est ainsi particulièrement accentué.

De plus, les informations apportées par ce type de méthode ne semblent pas vraiment adaptées à l'analyse que cette étude souhaite fournir. En effet, il sera difficile de comparer les changements d'occupation du sol survenus entre les années 1950 et les années 2000, avec une méthode d'interprétation dont les paramètres ne peuvent être normalisés.

La seconde méthode, bien qu'*a priori* moins précise dans la délimitation des différentes zones, s'avère beaucoup plus efficace et juste dans le cadre de cette étude. Il est bien plus aisé de normaliser la méthode pour définir une dominance que pour définir des contours.

Les analyses de changements historiques dans l'occupation des sols seront donc facilitées du fait que toutes les mailles seront positionnées exactement au même endroit entre les deux périodes. Les surfaces exactes des différents types ne pourront cependant pas être calculées. En revanche des proportions et donc des tendances pourront être dégagées de ces données. C'est donc cette seconde méthode qui a été retenue.

1. Zone d'étude : définition de l'étendue et de la résolution du quadrillage

La zone d'étude choisie comprend les contours de l'Etang de Berre, les sites Natura 2000 adjacents et leurs pourtours. Pour ce faire, un quadrillage de polygones a été disposé sur les photographies aériennes (anciennes et récentes) de la zone d'étude à photo-interpréter.

La photo-interprétation a été effectuée sur une frange d'un kilomètre depuis le trait de côte de l'étang en 2008. Les sites Natura 2000 et leurs contours n'étant qu'en partie compris dans cette frange, une zone supplémentaire d'un kilomètre autour de ces sites a été ajoutée à la zone d'étude.

La première étape essentielle fût la détermination de la taille des mailles du quadrillage qui conditionnera la qualité des analyses ultérieures.

La procédure suivie s'est basée sur l'identification des plus petits polygones contenus dans la typologie Corine Land Cover (Ministère de l'écologie, du développement durable et de

l'énergie, 2010), autour de l'Etang de Berre. En outre, le choix devait s'arrêter sur une taille de maille maximisant à la fois la précision (une taille assez petite de maille), la faisabilité en termes de temps de traitement (un nombre restreint de mailles à traiter) et l'efficacité de la méthode. Il s'est avéré qu'une taille de **250 mètres** de côté répond à ces exigences.

2. Choix de la typologie

La deuxième étape essentielle de ce travail a été de définir la typologie à utiliser pour l'interprétation des photographies aériennes. Pour cela, la typologie Corine Land Cover a été choisie comme base de réflexion, mais avec une nette simplification des catégories. La définition de la typologie finale a nécessité plusieurs étapes de réflexion qui seront présentées dans une partie distincte (Annexe 1). Au terme de ces étapes, la typologie présentée ci-dessous a été retenue.

1 - Zones urbanisées et bâties : pavillons résidentiels et leurs jardins, immeubles, zones industrielles, zones commerciales, bâti agricole, parkings, espaces verts, jardins, aéroports, cimetières, campings, plages en zones urbaines, bords de route en ville, chemins de fer, ports et digues.

2 - Zones agricoles : champs cultivés, champs abandonnés.

3 - Zones naturelles : zones boisées avec peu ou pas de présence d'habitations, les espaces ouverts et semi-ouverts, les zones herbacées non exploitées, ainsi que les plages hors de la ville.

4 - Zones humides naturelles et artificialisées : salins exploités et non exploités, mares et roselières.

5 - Surfaces en eau : étangs, rivières, fleuves, lacs.

6 - Non renseigné : quand les mailles se trouvaient au niveau de bords noircis (photographies aériennes historiques), et qu'il n'y avait pas d'autre photographie disponible à superposer sur les bords. Cela correspond donc à des mailles pour lesquelles nous n'avons pas réussi à photo-interpréter, par manque d'information ou manque de lisibilité.

3. La table attributaire

La table attributaire associée aux quadrillages est la suivante :

Tableau 1 : Table attributaire du quadrillage de la zone d'étude

FID	Shape	Id	Idmaille	observa	label	cert_lab	cert_dom

Les 8 champs de cette table sont définis ci-après :

- ✓ « FID », « Shape » et « Id » sont générés automatiquement par le logiciel ArcMap.
- ✓ « Idmaille » est un champ qui a été créé pour construire un identifiant unique à chaque maille. En termes de choix du type d'identifiant, une solution possible est d'utiliser les coordonnées du centroïde de la maille. Pour créer l'identifiant, les coordonnées X et Y du centroïde de chaque maille sont donc extraites et concaténées au niveau du champ « Idmaille » par l'intermédiaire d'un calculateur de champs, le symbole « & » permettant la concaténation. L'avantage de choisir cette méthode pour

identifier les mailles réside dans le fait que les mailles sont directement localisables sur une carte.

- ✓ « observa » : numéro de l'observateur (Aurélié Lalleroni : 1, Manon Eudes : 2, Rosanna Grauer : 3, Marion Fouchard : 4, Hugo Caron : 5, Romain Chardon : 6, Alexandre Van der Yeught : 7, Flora Druéz : 8).
- ✓ « label » : type d'occupation du sol attribué à la maille d'après la typologie établie.
- ✓ « cert_lab » : certitude dans l'identification du type d'occupation du sol (*cf* partie « Évaluation de la certitude des interprétations »).
- ✓ « cert_dom » : certitude dans l'identification de la dominance du type d'occupation du sol (*cf* partie « Évaluation de la certitude des interprétations »).

4. Méthode de photo-interprétation

a. Récupération des données

Afin d'appréhender l'évolution de l'occupation des sols et du trait de côte, des photographies aériennes datant des années 1950 (1949 et 1955) et de 2008 ont été sélectionnées. L'ensemble des photographies aériennes provient du site de l'Institut de Géographie National (IGN). En effet, pour éviter l'étape de numérisation des photographies aériennes fournies par le GIPREB, une vérification de celles disponibles gratuitement sur le site de l'IGN a été réalisée. En combinant plusieurs campagnes de prise de vues aériennes, l'ensemble des photographies aériennes du pourtour de l'étang sur un kilomètre à partir de la rive et également l'intégralité des sites Natura 2000 et leurs pourtours, a pu être rassemblé. Les photographies aériennes datent de 1949 à l'exception de 3 photographies aériennes sur 32 qui sont de 1955 (Figure 2). L'échelle de l'ensemble des photographies aériennes est d'environ 1 : 28.000 (Annexe 2).

b. Géoréférencement des ortho-photographies anciennes

Le système de coordonnées des photographies aériennes des années 1950 n'étant pas indiqué, il s'est avéré nécessaire de les géoréférencer. Le géoréférencement consiste, sur un logiciel de SIG, à créer plusieurs points de contrôle, afin de caler la photographie aérienne ancienne sur celle de 2008. Pour cela, des éléments facilement identifiables et présents sur les deux ortho-photographie sont repérés (croisement de routes, bâtiments, etc.). Les points de contrôle doivent être nombreux et choisis sur l'ensemble des ortho-photographies, afin que le calage soit le plus précis possible. Dans le cadre de cette étude, une quinzaine de points de contrôle ont été réalisés pour chaque photographie aérienne ancienne. Un zoom maximal de 1 : 2000 a été fixé pour la réalisation du géoréférencement. Au terme de cette opération, un nouveau raster géoréférencé est créé.

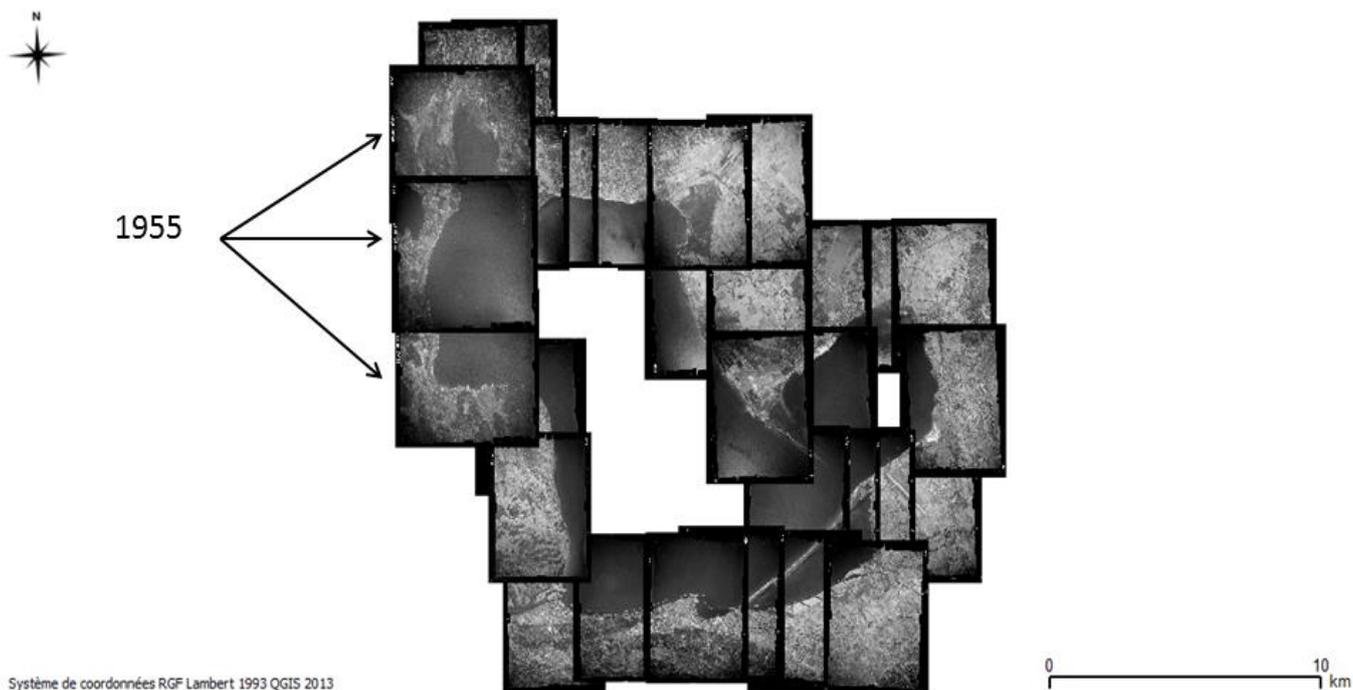


Figure 2 : Carte de l'Etang de Berre de 1949-1955, composée des 29 photographies géoréférencées de 1949 et des 3 photographies géoréférencées de 1955.

c. Photo-interprétation

Pour permettre la réalisation de la photo-interprétation, un quadrillage de 250*250 mètres a été réalisé. Dans un premier temps, un quadrillage de 250*250 mètres recouvrant largement la zone est construit. L'origine de ce quadrillage est un point GPS pris au hasard, par exemple au niveau du Sud-Ouest de la zone et son orientation est fixée vers le Nord. Dans un deuxième temps les mailles correspondant à la zone d'étude sont sélectionnées, afin d'obtenir un quadrillage recouvrant uniquement la zone d'étude.

Pour réaliser la photo-interprétation, le quadrillage de polygones de 250 mètres sur 250 mètres a été placé par-dessus les ortho-photographies. Pour chaque maille est renseigné : la typologie dominante, la certitude concernant le choix de la typologie et la certitude concernant la dominance de cette typologie. Au total 1824 mailles ont été photo-interprétées. Les mailles ont été réparties équitablement entre les huit observateurs. Ces derniers ont photo-interprété en même temps sur différents ordinateurs, les tables attributaires ont donc dû être regroupées afin d'analyser l'ensemble des données des 1824 mailles.

d. Consignes de photo-interprétation : calibration des observateurs

Afin de minimiser les variations entre observateurs, qui altèrent la robustesse de l'interprétation, certaines règles méthodologiques ont été fixées.

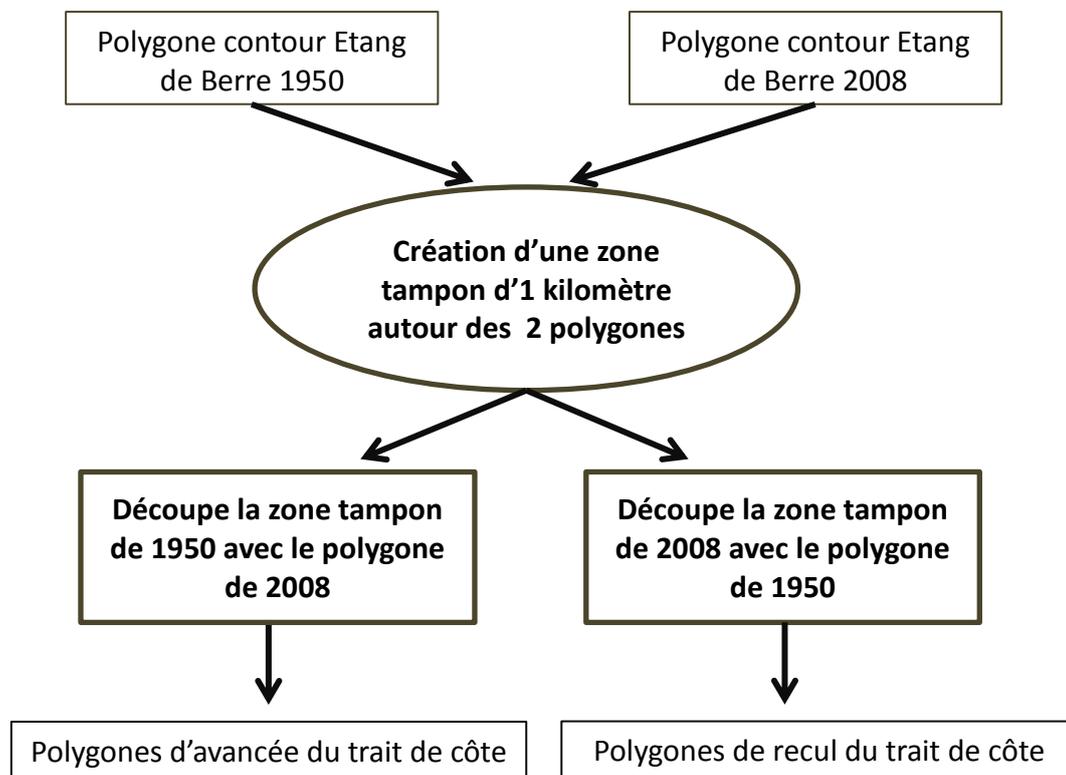
Premièrement, les catégories de la typologie ont été détaillées, définies et décrites précisément. Des règles spécifiques ont également été fixées, notamment pour certains cas problématiques récurrents de distinction des types d'occupation du sol :

- Lorsque des stries peuvent être discernées sur un terrain comportant de la végétation, cette maille doit être considérée comme une « Zone agricole » et non pas comme une « Zone naturelle », car, le fait d’être au moins anciennement agricole, confère à cette parcelle des caractéristiques écologiques particulières.
- Lorsqu’une maille comporte des pavillons ainsi que des zones légèrement boisées, cette maille doit être considérée comme une « Zone urbanisée et bâtie » et non pas comme une « Zone naturelle » car il a été estimé que la zone boisée est trop fragmentée pour avoir le même fonctionnement écologique qu’une « Zone naturelle ».
- Lorsqu’une maille est en majorité composée de surface en eau, mais qu’une zone de rive est comprise au sein de celle-ci, la photo-interprétation porte sur la portion de terre.

Pour finir, comme pour le géoréférencement des photographies aériennes, un zoom maximal a été fixé (1 : 2000), et lors de l’interprétation, l’observateur doit obligatoirement changer d’échelle, d’une échelle large à une échelle fine. Cette règle est importante, car un zoom fin permet, certes, de voir plus de détails, mais une vision à grande échelle permet de distinguer des ensembles paysagers qui peuvent aider à comprendre auquel de ces ensembles se rapporte la maille.

5. Vectorisation des voies de communication et du trait de côte

Dans le but de voir plus particulièrement les voies de communication en 2008 et l’évolution du trait de côte, un travail de vectorisation a été effectué. Pour mettre en évidence l’évolution du trait de côte, deux polygones, correspondant aux contours de l’Etang de Berre dans les années 1950 et en 2008, et deux tampons distincts de 1 kilomètre de large autour de chacun ont été créés. En découpant un polygone d’une année par le tampon de l’autre année, des polygones différents d’avancée et de recul du trait de côte ont été obtenus (Figure 3).



E
Figure 3 : Chaîne de traitement permettant l'obtention de polygones d'avancée et de recul du trait de côte.

En ce qui concerne les voies de communication, seules les principales (axes routiers importants, lignes de chemin de fer) ont été mises en évidence, car les routes secondaires ont un impact écologique moindre et leur vectorisation risquait de nuire à la lisibilité de la carte. La vectorisation a été faite par polygones.

Pour augmenter le plus possible la précision liée à la vectorisation, plusieurs mesures ont été prises. Le décalage des photographies aériennes entre années a été réduit au maximum, en cherchant à obtenir la distance la plus faible entre la totalité des points de calage lors du géoréférencement. La qualité des photographies de 1950 (1949-1955) a été améliorée en modifiant le contraste des photographies et le tracé des traits de côte était normalisé par les consignes suivantes :

- ✓ Un zoom maximal de vectorisation a été défini au 1 : 2000^{ème}.
- ✓ Pour la photo-interprétation, l'observateur avait l'obligation de dé-zoomer régulièrement afin de voir le contexte.
- ✓ Pour le trait de côte, une précaution particulière devait être apportée à la vectorisation des ports et des digues.

6. Évaluation de la certitude des interprétations

La photo-interprétation est une méthode qui peut être rendue difficile pour plusieurs raisons. Tout d'abord, dans l'identification de la nature du milieu, plusieurs facteurs peuvent engendrer des difficultés d'interprétation. Premièrement, certains éléments sont liés à la photographie en elle-même. En effet, la qualité des différentes ortho-photographies varie, et lorsque la qualité est moyenne, voire plutôt mauvaise (ortho-photographies des années 1950), l'identification des types d'occupation du sol devient délicate. De plus, les conditions dans lesquelles ont été prises ces photographies peuvent jouer sur l'interprétation : position du soleil induisant des jeux d'ombres, altitude etc. Mais l'interprétation dépend également de l'observateur lui-même. Chaque observateur, en fonction de son acuité visuelle, son expérience, son analyse etc., ne verra pas les mêmes choses.

Ensuite, évaluer la dominance d'un type d'occupation du sol procédant d'une observation plus objective, cela a été plus aisé de faire baisser les taux d'incertitude. Ainsi, deux quadrillages d'aide à la décision ont été mis en place, l'un de 50 mètres de côté (Figure 4) et l'autre de 25 mètres de côté (plus précis) (Figure 5), que l'observateur peut utiliser en cas de doute, en décomptant le nombre de carreaux occupés par un type d'occupation.

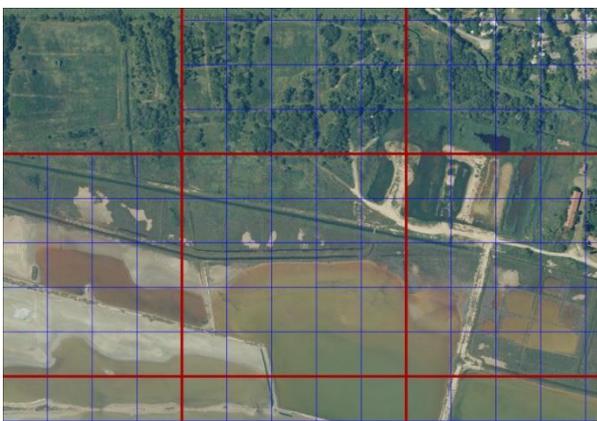


Figure 4 : Quadrillage de 250*250 mètres (en rouge) avec superposé celui de 50*50 mètres (en bleu).

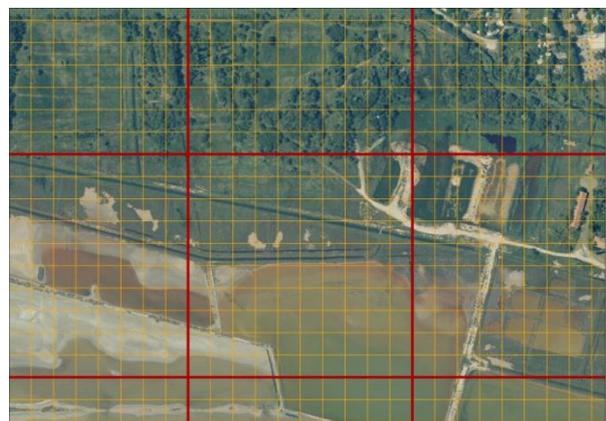


Figure 5 : Quadrillage de 250*250 mètres (en rouge) avec superposé celui de 25*25 mètres (en orange).

Ainsi, afin d'évaluer la précision des interprétations des observateurs, deux colonnes spécifiques ont été prévues dans la table attributaire (Tableau 1) du quadrillage qui est disposé sur la zone d'étude.

La première de ces colonnes concerne la certitude de l'observateur dans l'identification de la nature du milieu (soit le type d'occupation du sol qu'il va attribuer à la maille).

L'autre colonne permet de recueillir le degré de certitude de l'observateur concernant la dominance du type d'occupation du sol qu'il aura choisi. Ces deux éléments sont notés sur 4 niveaux par l'observateur :

1 → Pas sûr

2 → Peu sûr

3 → Presque sûr

4 → Absolument sûr

II. Résultats

1. Occupation des sols des rives de l'Étang de Berre, des sites Natura 2000 adjacents et leurs pourtours en 1950 (1949-1955) et en 2008

a. Résultats de l'analyse des certitudes de photo-interprétation

Après la photo-interprétation de l'ensemble des rives de l'étang, des sites Natura 2000 et de leurs pourtours, dans les années 1950 et en 2008, les résultats de l'évaluation de la certitude ont été analysés. Une synthèse de ces résultats arrondis sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 2 : Proportion de mailles de certitude maximale (niveau 4) pour chaque typologie, pour la détermination du type de milieu pour les années 1950 (1949-1955) et 2008

	1950	2008	Différence entre les deux années	Moyenne
1 - Zone urbanisée et bâtie	63	95	32	79
2 - Zone agricole	86	80	-6	83
3 - Zone naturelle	79	79	0	79
4 - Zones humide naturelle et artificialisée	56	92	36	74
5 - Surface en eau	100	100	0	100
Moyenne	78	88	10	83

Tableau 3 : Proportion de mailles de certitude maximale (niveau 4) pour chaque typologie, pour la dominance du type de milieu pour les années 1950 (1949-1955) et 2008

	1950	2008	Différence entre les deux années	Moyenne
1 - Zone urbanisée et bâtie	78	91	13	85
2 - Zone agricole	90	90	0	90
3 - Zone naturelle	88	89	1	89
4- Zone humide naturelle et artificialisée	76	91	15	84
5 - Surface en eau	100	100	0	100
Moyenne	87	91	4	89

Tout d'abord, en moyenne pour les deux années et tous les habitats confondus, le niveau 4 de certitude (« absolument sûr ») a été attribué à environ 86 % des mailles interprétées. Le degré de certitude des observateurs peut donc être considéré comme satisfaisant.

Premièrement, nous pouvons remarquer que, globalement, la certitude des observateurs est plus forte pour l'année 2008 (89,5% de mailles de certitude 4 en moyenne) que pour l'année 1950 (82,5% en moyenne), ce qui est sûrement imputable à la qualité graphique des ortho-photographies, bien meilleure en 2008. Cependant, cette différence a probablement été réduite par l'effet « apprentissage », l'interprétation des ortho-photographies de 2008 ayant été réalisée avant celle de 1950.

Deuxièmement, les observateurs étaient plus sûrs de leur interprétation concernant la dominance de l'habitat (88% en moyenne) par rapport à celle du type d'habitat (83% en moyenne).

Concernant les types d'occupation du sol, la catégorie « Zone humide naturelle et artificialisée » correspond à des zones que les observateurs ont interprété avec le plus de difficulté (79% de mailles de certitude 4 en moyenne), alors que « Surface en eau » a été déterminé avec certitude pour 100 % des mailles concernées.

b. Occupation des sols des rives et des sites Natura 2000 de l'Etang de Berre, dans les années 1950 (1949-1955).

Les résultats obtenus par la photo-interprétation sont analysés ici. Ils sont composés des cartes produites, ainsi que de la quantification des occupations du sol lors des deux années étudiées et des changements d'occupation entre ces deux mêmes années.

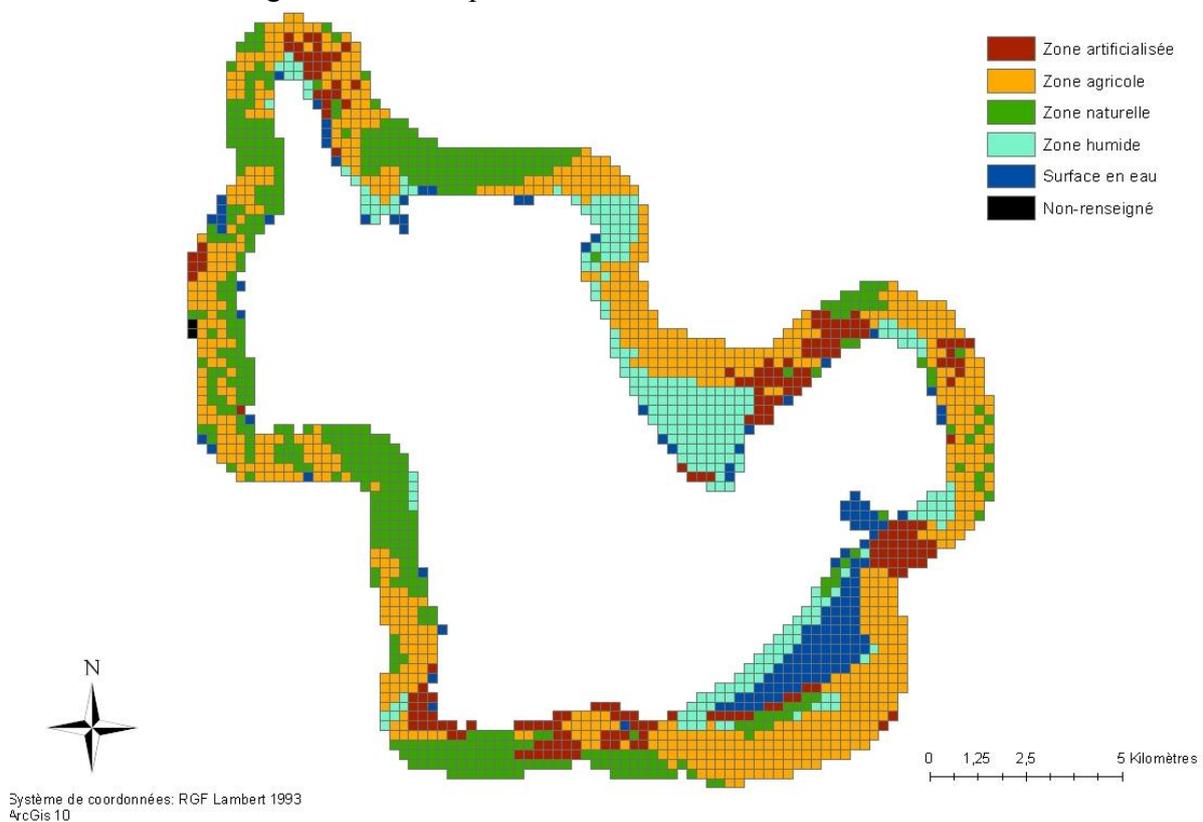


Figure 6 : Occupation des sols, autour de l'Etang de Berre et des sites Natura 2000 adjacents, pour les années 1950 (1949-1955).

Le premier constat visuel qui peut être fait à partir de la Figure 4 est la prépondérance des zones agricoles sur les autres types d'occupation du sol. Celles-ci sont réparties tout autour de l'étang de façon relativement homogène. Toutefois, la concentration en zones agricoles est plus forte sur la moitié Est. Les zones naturelles sont elles, plus largement représentées sur la moitié Ouest. Quant aux zones artificielles, elles sont cantonnées à des endroits précis :

- Berre l'Etang et la Mède, où les raffineries étaient déjà présentes et en service depuis 1931 pour Shell-Berre et 1935 pour la raffinerie de Provence.

- La Poudrerie royale de Saint-Chamas, qui était en activité depuis 1690.
- Martigues, avec le canal de Caronte, et Marignane, où l'aéroport était déjà en service depuis les années 1920.

En ce qui concerne les sites Natura 2000, à l'époque, la Petite Camargue était composée de zones humides et également de zones agricoles. Le site de la Poudrerie royale était composé de zones urbanisées et bâties et également de zones humides. Les Salins de Berre étaient déjà en exploitation et donc classés en « Zone humide naturelle et artificialisée ». Pour finir l'Etang de Bolmon était bordé de zones humides naturelles et artificialisées et de zones agricoles, avec quelques zones urbanisées et bâties.

Ci-dessous, la Figure 7 confirme le constat visuel concernant les proportions d'occupations du sol, établies grâce à la carte (Figure 6).

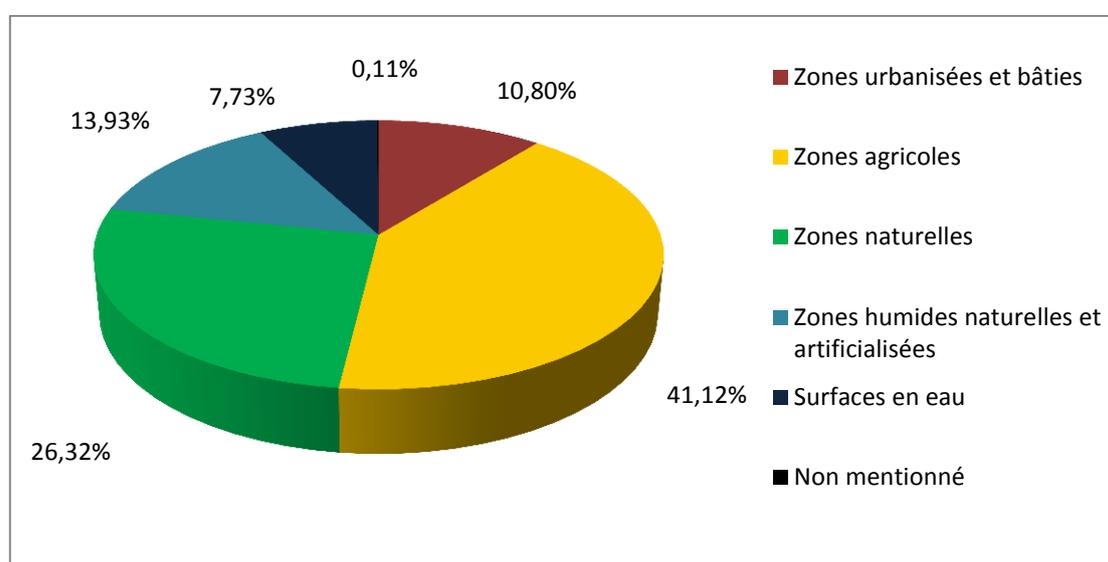


Figure 7 : Proportions des différents types d'occupation des sols autour de l'Etang de Berre pour les années 1950 (1949-1955).

c. Occupation des sols des rives et des sites Natura 2000 de l'Étang de Berre, en 2008

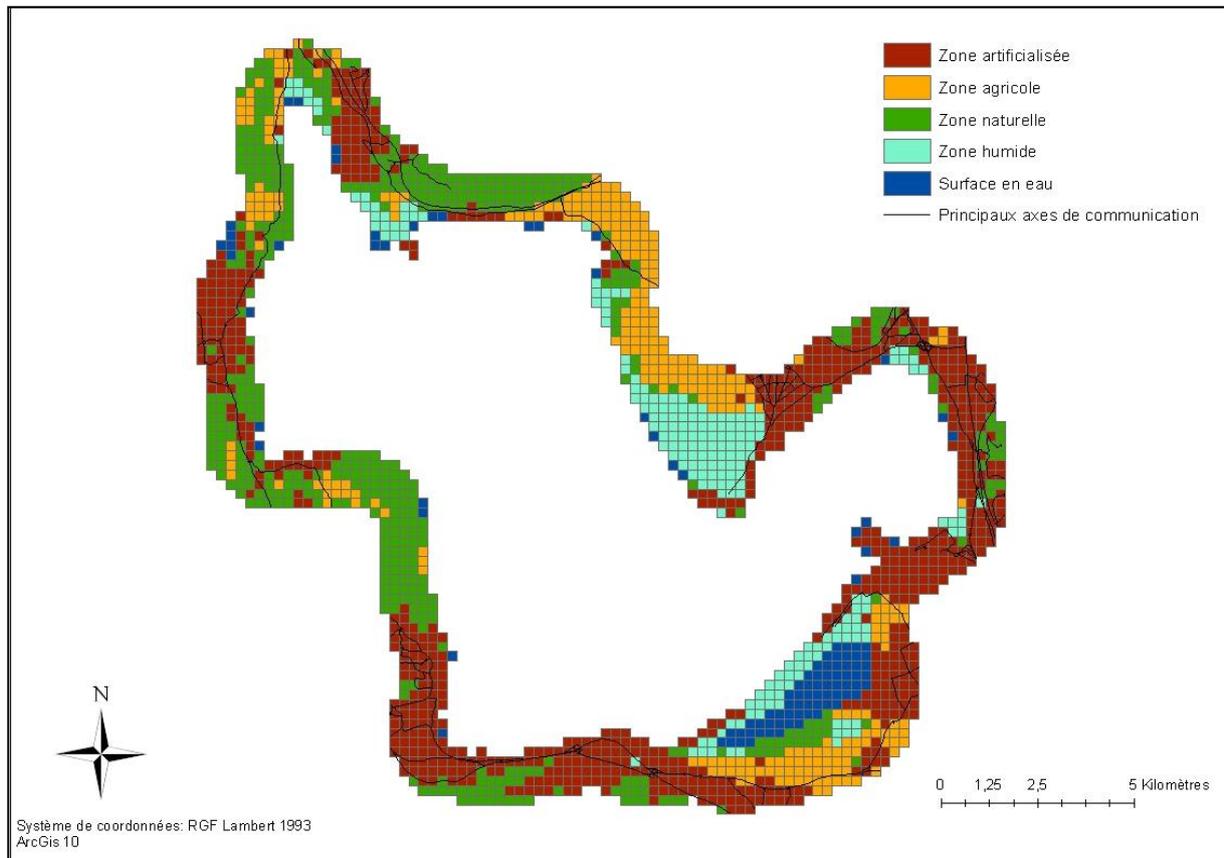


Figure 8 : Occupation des sols autour de l'Étang de Berre et des sites Natura 2000 adjacents, en 2008

L'observation de la carte ci-dessus (Figure 8) laisse penser qu'il y a une certaine dominance des zones artificialisées par rapport aux autres types d'occupations du sol. Le tableau 5 et la Figure 7 confirme cette impression, puisqu'on peut y voir que les zones artificialisées représentent 40 % de l'occupation totale du sol autour de l'Étang de Berre. Après les zones artificialisées, ce sont les zones naturelles qui occupent la plus grande surface, avec 26 % de l'occupation du sol, suivies par les zones agricoles, avec 16 %, puis les zones humides, avec 11 %. Enfin, les surfaces en eau ne représentent que 5 % de l'analyse, ce qui semble normal étant donné qu'il avait été fait le choix de ne s'intéresser seulement qu'au pourtour terrestre de l'étang.

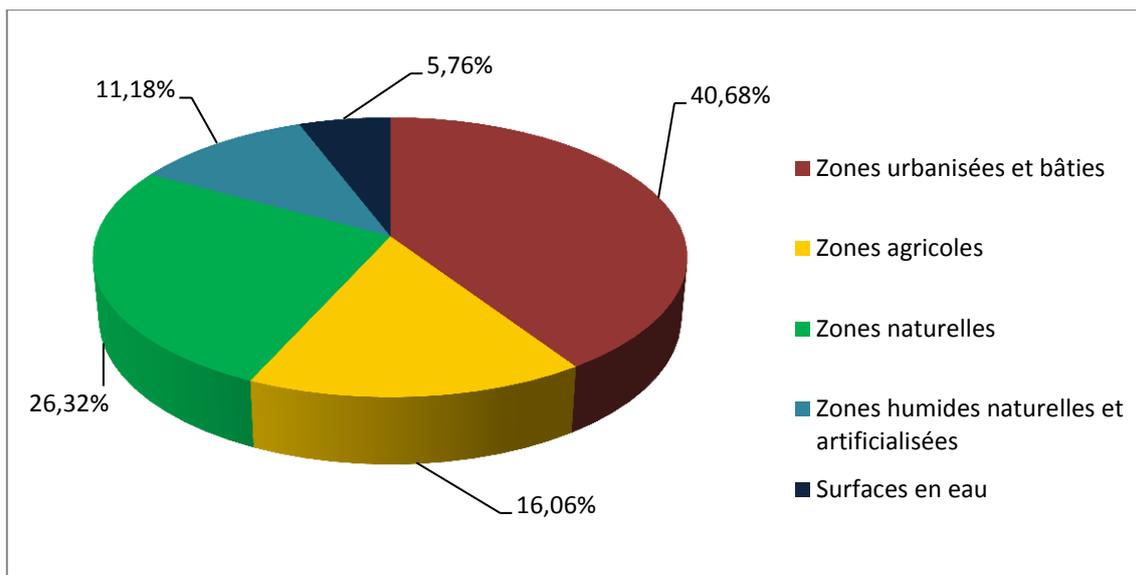


Figure 9 : Proportion des différents types d'occupation des sols autour de l'Etang de Berre en 2008

En outre, en reprenant la Figure 7, il est également possible de constater qu'il existe de larges zones autour de l'étang qui ne sont pas entrecoupées par les principales voies de communication.

Bien-évidemment, la densité des voies de communication est bien supérieure dans les zones artificialisées que dans les autres zones. Cependant, le fait que certains secteurs en soient relativement préservés est important d'un point de vue écologique. En effet, les routes et autres axes de communication entraînent une rupture, un morcellement de certaines continuités, notamment écologiques, ce qui altère fortement la fonctionnalité des écosystèmes.

2. Evolution des rives de l'Etang de Berre, des sites Natura 2000 et leurs pourtours de 1950 à 2008.

a. Comparaison des occupations des sols

Une première interprétation de l'évolution de l'occupation du sol des rives de l'Etang de Berre au cours du temps peut se faire à partir des deux cartes générales produites par année.

Un changement important du type d'occupation du sol peut être constaté entre 1950 et 2008. En effet, 41% des mailles ont été identifiées sous le type « Zones agricoles » en 1950, alors qu'elles ne sont que 16% en 2008. Inversement, les mailles classées en « Zones urbanisées et bâties » représentent 11% des mailles de 1950, mais 41% en 2008. Les nombres de mailles pour « Surfaces en eau » et « Zones humides » ont connu une légère diminution de leurs occurrences alors que pour les « Zones naturelles » elles conservent exactement le même pourcentage de mailles d'une année sur l'autre (Figure 9).

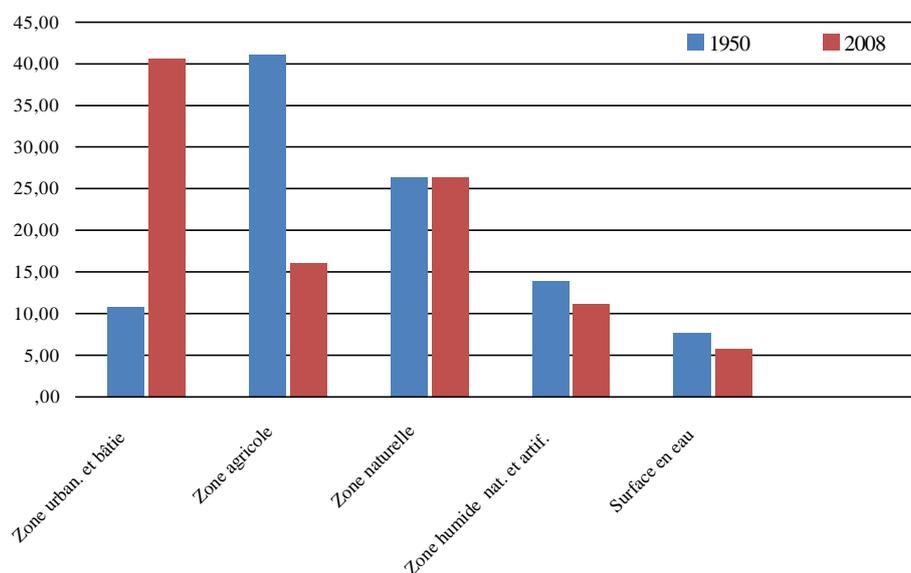


Figure 10 : Evolution de la proportion (en %) des différentes occupations du sol autour de l'Etang de Berre, entre les années 1950 et 2008

Zones urbanisées et bâties

Après analyse des résultats de la photo-interprétation, un gain de 576 mailles pour l'occupation du sol « Zone urbanisée et bâtie » a pu être mis en évidence, ainsi qu'une perte de 31 mailles et une absence d'évolution pour 166 d'entre elles (Tableau 4).

Entre 1950 et 2008, le nombre de mailles de la catégorie « Zone urbanisée et bâtie » a quasiment été multiplié par quatre. Concernant les gains, ils proviennent pour 66% des zones agricoles et pour 21% des zones naturelles (Tableau 4).

La perte de l'occupation du sol « Zones urbanisée et bâtie » pour 31 mailles peut être expliquée par l'abandon de l'exploitation du site de la Poudrerie royale de Saint-Chamas au Nord de l'étang et qui est aujourd'hui classé en partie en site Natura 2000. Près de 60% des

pertes de zones urbanisées et bâties se sont faites en faveur du type « Zone naturelle » (Tableau 4).

Tableau 4 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones urbanisées et bâties autour de l'Étang de Berre

Direction des pertes		
	Nombre de mailles	Pourcentages
Urb→Agr	3	9,58
Urb→Nat	18	58,06
Urb→Hum	3	9,68
Urb→Eau	7	22,58
Total	31	100,00

Provenance des gains		
	Nombre de mailles	Pourcentages
Agr→Urb	381	66,15
Nat→Urb	122	21,18
Hum→Urb	40	6,94
Eau→Urb	31	5,38
Non→Urb	2	0,35
Total	576	100,00

Urb = zones urbanisées et bâties

Agr = zones agricoles

Nat = zones naturelles

Hum = zones humides naturelles et artificialisées

Eau = surfaces en eau

Non = non renseigné

Zones agricoles

A l'inverse des zones urbanisées et bâties, les mailles des zones agricoles ont connues une forte diminution de leurs effectifs. D'une part, sur les 750 mailles classées en « Zone agricole » en 1950, 494 ont changé de type d'occupation du sol en 2008, en grande majorité au profit des zones urbanisées (Tableau 7). Il y a donc eu une réduction des zones agricoles de 61% entre 1950 et 2008. Cependant, il est possible d'identifier deux zones stables à vocation agricole, sur les communes de Saint-Chamas, Berre l'Étang pour la première, et Châteauneuf-les-Martigues pour la seconde (Figure 10).

D'autre part, près de 19 % des pertes l'ont été à l'avantage des « Zones naturelles » et 4% en direction de « Zones humides » (Tableau 5), ce qui confirme l'abandon des terres agricoles.

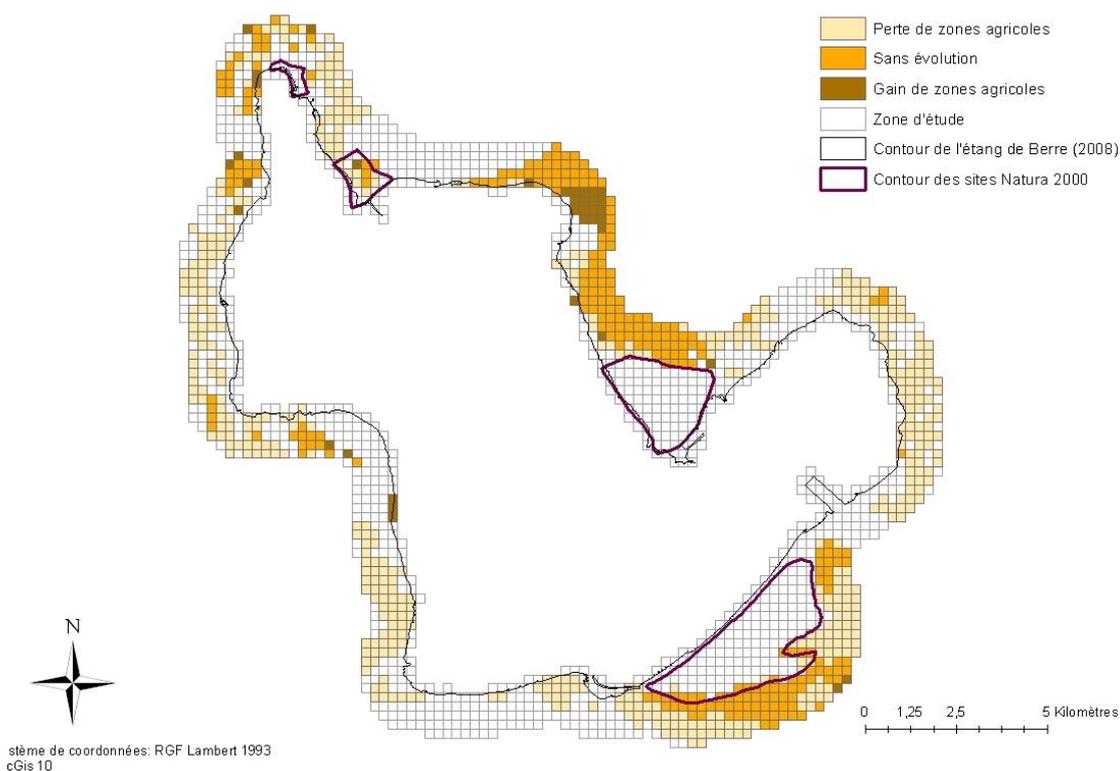


Figure 11 : Evolution des zones agricoles autour de l'Étang de Berre, entre les années 1950 et 2008

Tableau 5 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones agricoles autour de l'Étang de Berre

Direction des pertes		
	Nombre de mailles	Pourcentage
Agr→Urb	381	77,1
Agr→Nat	93	18,8
Agr→Hum	20	4,1
Total	494	100

Provenances des gains		
	Nombre de mailles	Pourcentage
Urb→Agr	3	8,1
Nat→Agr	14	37,84
Hum→Agr	20	54,05
Total	37	100,00

Urb = zones urbanisées et bâties
Agr = zones agricoles
Nat = zones naturelles
Hum = zones humides naturelles et artificialisées
Eau = surfaces en eau
Non = non renseigné

Zones Naturelles

L'analyse de la carte produite (Figure 11), permet de constater qu'au Nord-Ouest de l'étang une concentration en zones naturelles est globalement plus importante qu'au Sud-Est.

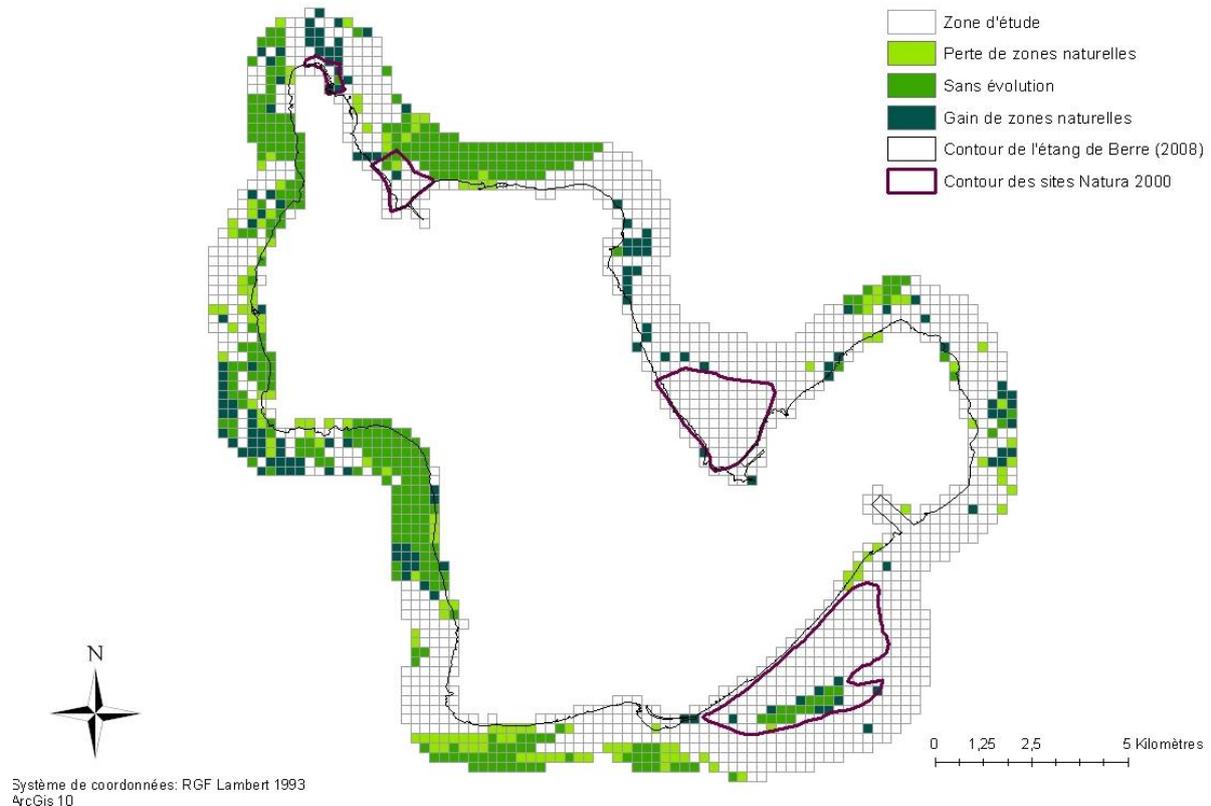


Figure 12 : Evolution des zones naturelles autour de l'Etang de Berre, entre les années 1950 et 2008

Le nombre de mailles identifiées en « Zones naturelles » en 1950 est identique à celui de 2008, par rapport à 1950, 138 mailles ont été perdues et 138 autres ont été gagnées (Tableau 6). Sur ces pertes, plus de 88% des pertes des zones naturelles l'ont été en faveur des zones urbanisées et bâties (Tableau 6). Les gains de zones naturelles proviennent à 67% de zones agricoles, à 15% de zones humides, à 13% de zones urbanisées et bâties (Tableau 6).

Tableau 6 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones naturelles autour de l'Étang de Berre

Direction des pertes		
	Nombre de mailles	Pourcentage
Nat→Eau	2	1,45
Nat→Agr	14	10,14
Nat→Urb	122	88,41
Provenances des gains		
	Nombre de mailles	Pourcentage
Urb→Nat	18	13,04
Agr→Nat	93	67,39
Hum→Nat	21	15,22
Eau→Nat	6	4,35
Total	138	100,00
Total	138	100,00

Urb = zones urbanisées et bâties

Agr = zones agricoles

Nat = zones naturelles

Hum = zones humides naturelles et artificialisées

Eau = surfaces en eau

Non = non renseigné

Zones humides naturelles et artificialisées

Le nombre de mailles de type « Zone humide » est passé de 254 en 1950, à 204 en 2008 (Tableau 7).

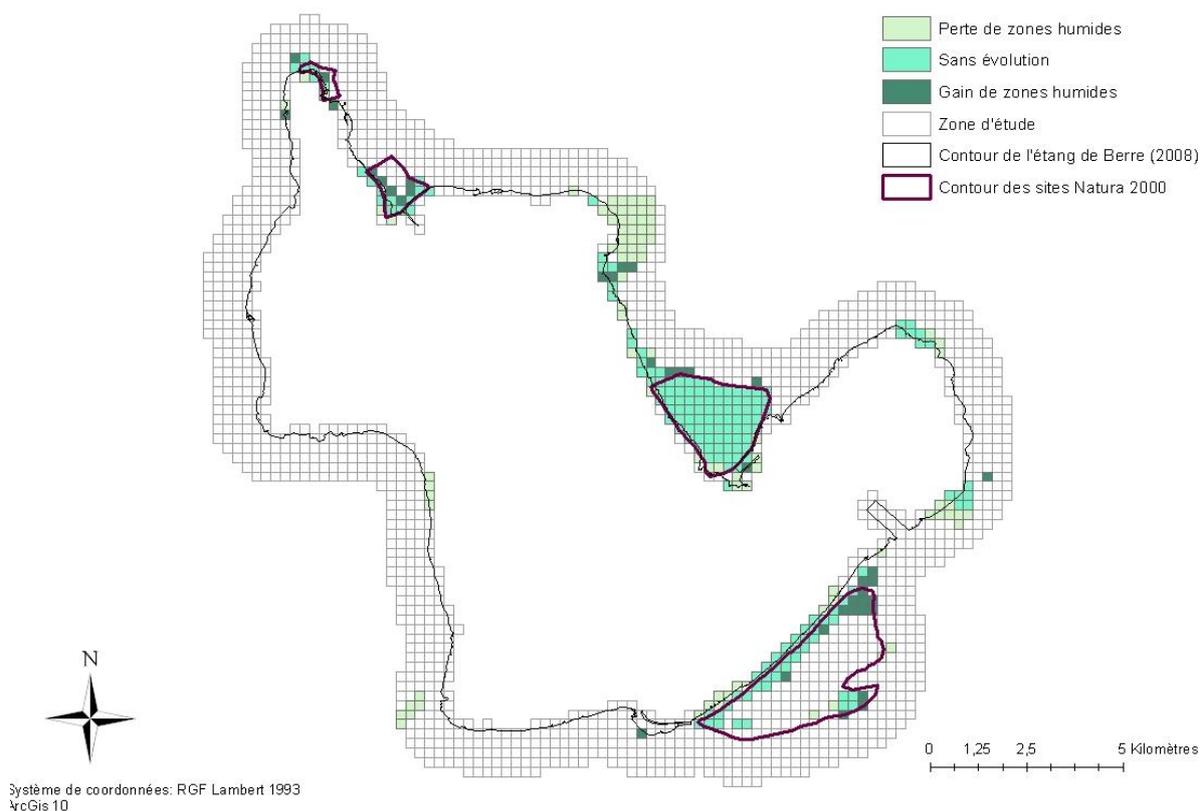


Figure 13 : Evolution des zones humides naturelles et artificialisées autour de l'Etang de Berre, entre les années 1950 et 2008

Tableau 7 : Type et quantification des pertes et gains entre 1950 et 2008 pour les zones humides naturelles et artificielles autour de l'Etang de Berre

Direction des pertes		
	Nombre de mailles	Pourcentage
Hum→Urb	40	45,45
Hum→Agr	20	22,73
Hum→Nat	21	23,86
Hum→Eau	7	7,95
Total	88	100,00

Provenance des gains		
	Nombre de mailles	Pourcentage
Urb→Hum	3	7,89
Agr→Hum	20	52,63
Eau→Hum	15	39,47
Total	38	100,00

Urb = zones urbanisées et bâties
Agr = zones agricoles
Nat = zones naturelles
Hum = zones humides naturelles et artificialisées
Eau = surfaces en eau
Non = non renseigné

Comme vu auparavant, les zones humides sont majoritairement situées sur les sites Natura 2000. La carte (Figure 12) montre que la perte de certaines de ces zones est concentrée en un endroit assez précis et en faveur de nouvelles zones agricoles. Ces terres ont donc probablement été drainées, et allouées à l'activité agricole, mais restent sûrement impropres à la construction.

b. Evolution du trait de côte

L'évolution du trait de côte semble être hétérogène en termes d'avancées ou de reculs des rives, de répartition spatiale de ces changements, de leur configuration, et de leur origine. Les avancées de rives se présentent sous des formes géométriques réparties sur l'ensemble du pourtour de l'étang. Les reculs sont plus localisés sur les côtes Nord-Est de l'étang et ont des formes plus douces (Figure 13).

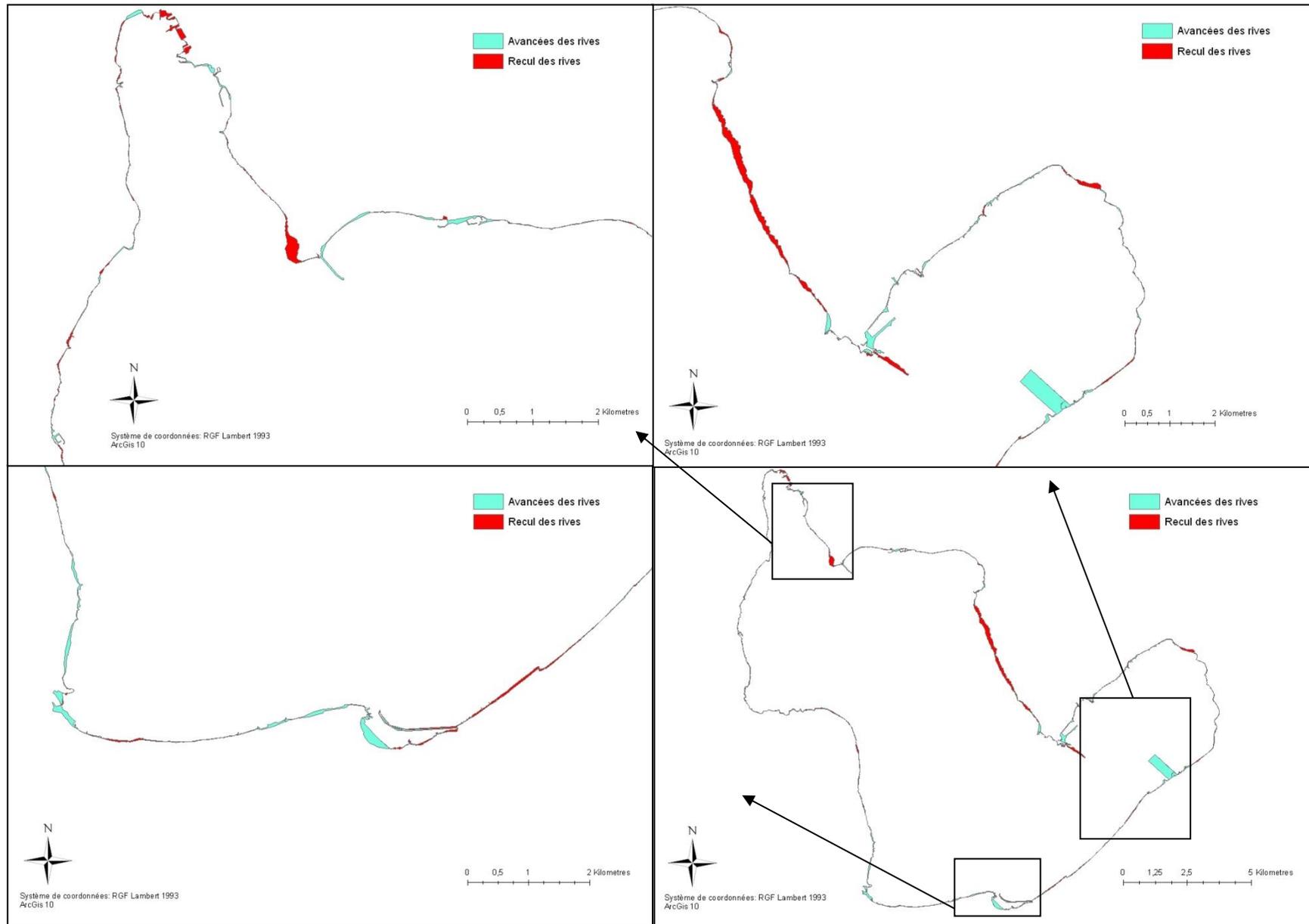


Figure 14 : Evolution du trait de cote de l'Etang de Berre entre 1950 et 2008

Le recul des rives est plus important sur la plus grande rive Nord-Est de l'étang (dont une partie appartient au site Natura 2000 de la Pointe de Berre) et sur la côte Nord-Est du site de la Petite Camargue. D'après nos résultats, ces reculs atteignent, respectivement jusqu'à 100 mètres et 200 mètres en 60 ans, soit une érosion d'approximativement 1,70 mètres par an pour la plus longue rive Nord-Est et 3,30 mètres pour la côte Nord-Est de la Petite Camargue.

III. Discussion

Tout d'abord, il est important de préciser qu'il n'existe pas de mesure de l'erreur (écart-type etc.) dans cette étude, car elle n'a été effectuée qu'une seule fois. Les petits écarts quantitatifs seront donc interprétés le moins possible. Les interprétations néanmoins effectuées sont à considérer avec mesure.

Certitudes d'interprétation

En moyenne pour les deux années et tous les habitats confondus, le niveau 4 de certitude (« absolument sûr ») a été attribué à environ 86 % des mailles interprétées. Le degré de certitude des observateurs peut donc être considéré comme satisfaisant. Ensuite, nous pouvons constater que la proportion de mailles « certaines » pour les deux types de certitude, est légèrement plus faible pour 1950 (82,5% de mailles de certitude 4 en moyenne), que pour 2008 (89,5% en moyenne). Cet écart, s'explique probablement par une coloration noir et blanc et une moins bonne qualité des photographies anciennes par rapport à celles de 2008. Néanmoins, cet écart n'est pas aussi élevé que ce que nous envisagions initialement. Cela provient probablement de l'ordre chronologique d'interprétation. En effet, les photographies de 2008 ont été photo-interprétées avant les photographies anciennes, ce qui a pu entraîner un effet « apprentissage ».

Ensuite, les observateurs étaient plus sûrs de leur interprétation concernant la dominance de l'habitat (88% en moyenne) par rapport à celle du type d'habitat (83% en moyenne).

Concernant les types d'occupation du sol, la catégorie « Zone humide naturelle et artificialisée » correspond à des zones que les observateurs ont interprété avec le plus de difficulté (79% de mailles de certitude 4 en moyenne), alors que « Surface en eau » a été déterminé avec certitude pour 100 % des mailles concernées. Ces résultats ne sont pas étonnants, car les zones humides sont des territoires dont les caractéristiques sont délicates à distinguer sur une photographie aérienne (contrairement à une forêt dont les arbres sont facilement visibles). Il serait donc intéressant d'effectuer des vérifications terrains dans le cadre de ce type d'étude.

Trait de côte

Parmi les différentes occupations du sol interprétées, la « Surface en eau » est une typologie choisie principalement pour une raison méthodologique. Elle permettait d'attribuer par défaut une typologie aux quelques mailles situées en dehors des rives terrestres de l'étang, et constituées à 100% d'eau libre. L'analyse de l'évolution de la proportion de mailles en « Surface en eau » entre 1950 (1949-1955) et 2008, n'est donc pas intéressante en termes d'interprétation.

Le tracé du trait de côte de 1950 (1949-1955) et de 2008, quant à lui, peut donner des informations sur cette évolution.

Les premiers résultats sur lesquels nous pouvons revenir sont ceux relatifs aux avancées du trait de côte entre 1950 (1949-1955) et 2008. Les formes géométriques observées d'avancée des rives sur l'étang correspondent à des structures anthropiques : les formes en « crochet » ou en « pic » sont des ports ou des digues, le rectangle est l'aéroport de Marignane, et les lignes droites sont des aménagements artificiels ou des constructions de routes sur les bords de l'étang. D'autres avancées ne sont pas géométriques (Poudrerie royale de Saint-Chamas, Pointe de Berre) et représentent des comblements et remblais.

La plupart des avancées du trait de côte mettent en évidence l'ampleur du développement des activités anthropiques industrielles entre 1950 (1949-1955) et 2008.

Les résultats des reculs du trait de côte (200 mètres en 60 ans pour certains secteurs) n'ont pas de réelle valeur quantitative. Ils indiquent des grandes tendances. En effet, le degré de précision associé à l'évolution du trait de côte est influencé par plusieurs facteurs : le décalage des photographies aériennes entre années, la qualité des photographies des années 1950, et la précision des tracés des deux polygones de trait de côte. Bien que la précision de la vectorisation soit maximisée par certaines mesures décrites dans la partie Matériel et Méthode de ce rapport, l'accumulation de sources d'imprécision doit être prise en compte lors de l'interprétation. Notons également que les chiffres publiés par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône sont d'un tout autre ordre de grandeur : 0.95m/an pour ce secteur. Cette « non-quantification » de l'incertitude liée à la mesure finale de surface de côte (gagnée ou perdue) nous a amené à ne considérer et n'interpréter que les résultats dont les valeurs de distance sont supérieures à 30m. La marge d'erreur liée à la position des traits de côte aurait pu être estimée en calculant l'écart-type du trait de côte moyen entre les deux années (Halouani *et al.*, 2007).

La localisation des principaux et plus grands reculs sur les rives Nord-Est peut s'expliquer par l'action érosive des vagues poussées dans cette direction par le mistral venant du Nord-Ouest, vent dominant sur l'étang. La forme « grignotée » du plus long rivage Nord-Est et l'orientation vers l'Ouest de toutes les rives ayant régressé soutiennent cette hypothèse. En outre, les reculs des rives les plus importants ont eu lieu sur des zones classées « Zone humide ». Nous pouvons supposer que ces milieux sont plus sensibles à l'érosion que les autres types de rives, éventuellement du fait de leur faible altitude et de la faible sensibilité à l'érosion des zones urbanisées. En effet, sur le site de la Poudrerie royale de Saint-Chamas, les formes géométriques du trait de côte actuel correspondent à des routes, ou anciennes routes qui protègent les rives.

Enfin, l'avancée de terre dans l'étang présente à la pointe de Berre dans les années 1950 a disparu complètement, poursuivant le processus d'érosion déjà en cours avant 1948 (Germain, 1917).

L'avancée des rives semble donc correspondre majoritairement à des installations anthropiques artificielles et le recul des rives à une érosion apparemment « naturelle ».

L'évolution de l'occupation des sols

D'après les résultats que nous avons obtenus, l'occupation des sols des rives de l'Etang de Berre a subi d'importants changements.

Tout d'abord, les transformations les plus spectaculaires concernent les zones urbanisées et les zones agricoles. Elles sont effectivement passées, respectivement, de 10% à 40% et de 41% à 16%, de 1950 à 2008.

En 1950, Les zones agricoles sont donc dominantes, tandis que les zones urbanisées sont peu nombreuses, de faible étendue et cantonnées seulement à quelques centres urbains pionniers d'une activité industrielle à ses débuts. Les zones naturelles sont bien présentes autour de l'étang puisqu'elles représentent plus d'un quart de la surface des rives (Figure 7) et les zones

humides sont en proportion un peu plus minoritaires. Ce constat reflète assez bien l'état général des paysages français de cette époque. En effet, la pratique ancestrale du drainage agricole avait déjà impacté une grande partie des zones humides (jusque dans les années 1990), l'agriculture était encore organisée à l'échelle de nombreuses exploitations familiales de taille réduite, et occupait une surface importante sur le territoire.

En 2008, la situation s'est quasiment inversée pour les zones agricoles et urbanisées, ces dernières étant devenues dominantes. Visiblement, les zones urbanisées se sont étendues à partir des noyaux urbains historiques que constituent les villes de Berre l'Etang, Rognac, Marignane, La Mède, Martigues et Istres. Cette urbanisation peut s'expliquer par l'extraordinaire essor des activités industrielles autour de l'Etang de Berre à partir des années 1970. Cela a généré d'importants besoins en espace pour établir les industries, puis loger les personnes attirées par les demandes importantes en main d'œuvre. Des années 1970 à 2008, la population du pourtour de l'étang a plus que doublé, pour atteindre près de 250 000 habitants (Gipreb). *A contrario*, les zones agricoles ne se trouvent plus cantonnées que dans deux principaux secteurs : au Sud-Est de l'étang et au Nord. Cette situation reflète bien les profondes transformations des pratiques agricoles en France, initiées dans les années 1950. Avec l'avènement de l'agriculture intensive et la hausse de la productivité moyenne par hectare, l'espace consacré à l'agriculture a été fortement réduit.

Concernant les zones humides, elles sont principalement concentrées sur les sites Natura 2000. Ces zones présentent la plupart du temps de forts enjeux écologiques. Elles ont donc bénéficiées d'un statut de conservation particulier. Malgré la légère perte de zones humides dans l'intervalle de temps considéré, les sites Natura 2000 semblent, à première vue, ne pas avoir été touchés par l'évolution des milieux voisins.

Un autre constat important, et auquel il n'était pas très intuitif de s'attendre, est celui du maintien de la surface des zones naturelles entre 1950 et 2008, sur environ un quart de la surface des rives considérées. Mais cela ne signifie pas que les zones naturelles identifiées dans les années 1950 soient exactement les mêmes qu'en 2008. En effet, l'analyse de l'évolution au sein de chaque type d'occupation du sol, indique une variation spatiale dans l'intervalle de temps considéré, mais cela reste assez minime. Ce constat est, à première vue, une bonne nouvelle pour la biodiversité et les espaces naturels du contour de l'étang. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, les zones agricoles ont été en grande partie (à 77%) remplacées par des zones urbanisées. Or, les zones agricoles de 1950 se caractérisent par des parcelles de petite taille, avec des pratiques agricoles de type extensives, très propices à la biodiversité. En outre, 122 mailles (88%) des pertes de zones naturelles se sont faites en faveur des zones urbanisées, alors que les gains se sont principalement (67%) fait par abandon de terres agricoles. Il en résulte que ce ne sont pas les mêmes types de zones naturelles qui se trouvent autour de l'Etang de Berre, en 1949 et en 2008. D'une part, certaines zones, probablement originellement naturelles et non exploitées, sont devenues des « zones urbanisées ». D'autre part, les zones devenues naturelles durant l'intervalle de temps, proviennent majoritairement d'anciennes zones agricoles et ont donc été impactées par un fonctionnement anthropique. En outre, en 2008, certaines zones naturelles correspondent à d'anciennes zones urbanisées (site de la Poudrerie royale au Nord de l'étang).

Nos résultats illustrent donc un changement important de l'usage des sols, en 60 ans, avec des territoires majoritairement ruraux en 1950, puis majoritairement urbains en 2008. Néanmoins, cette étude a pu mettre en évidence le maintien global de la surface en zones naturelles sur les rives de l'Etang de Berre.

Conclusion

Le présent travail souligne clairement l'importance de l'outil cartographique dans l'analyse de l'occupation des sols d'un site donné et des évolutions dont ce dernier a été le théâtre au cours du temps. L'utilisation de la photo-interprétation par quadrillage nous a permis de mettre en évidence des grandes tendances de l'évolution des rives de l'étang entre 1948 et 2008. La réplicabilité de cette méthode pourra permettre de continuer l'étude grâce aux prochaines campagnes de photographie aériennes et d'analyser plus finement les évolutions au cours de la période étudiée dans ce rapport en utilisant les photographies disponibles des années intermédiaires.

Il a ainsi été possible d'évaluer l'ampleur réelle, et non dictée par les *a priori*, de la pression anthropique sur l'Etang de Berre et des enjeux qui s'y rattachent, mais également de la persistance de zones encore naturelles, relativement préservées, au Nord et à l'Ouest. En effet, notre travail a montré que la part des zones naturelles est la même en 2008 et dans les années 1950. Cependant, il est tout de même probable que le passage de nombreuses zones agricoles en zones urbanisées ait altéré les connexions écologiques ainsi que la richesse globale de l'ensemble du pourtour de l'Etang de Berre. En effet, les zones agricoles des années 1950 (agriculture extensive et organisée en petites parcelles) présentaient une valeur écologique bien plus importante que les zones urbanisées actuelles.

L'anthropisation peut aussi être mesurée en observant l'évolution du trait de côte. La visualisation par photographies aériennes des gains de terre sur l'étang permet de dire que la majorité de ces gains ont résulté d'aménagements humains. Ces derniers sont identifiables grâce aux formes géométriques qu'ils prennent, c'est le cas pour la piste d'atterrissage et de décollage de l'aéroport ou encore pour les routes construites en bordure de l'étang et ayant nécessité d'empiéter sur la masse d'eau.

Le recul des terres apparaît lui comme étant naturel. En effet, les vents et courants ayant une action érosive sur les terres. Cependant, il est important de noter que cette érosion n'affecte que les endroits non aménagés. Les zones humides naturelles sont les plus soumises à l'érosion, contrairement aux surfaces gagnées sur l'étang par l'homme protégées par leur structure en béton.

Au terme de cette étude, nous pouvons donc dire que l'anthropisation massive des rives de l'Etang de Berre au cours du temps est un préjugé récalcitrant provenant probablement de l'époque industrielle et de la pollution de l'eau en ayant résulté. Toutefois, l'action de l'homme n'est pas à négliger, car elle est à l'origine de la perte de surfaces importantes de terres agricoles à forte valeur écologique et de la modification du pattern naturel des rives de l'Etang de Berre.

Par conséquent, les efforts déjà engagés pour réduire les diverses pollutions qui affectent l'étang doivent être maintenus pour la préservation des milieux naturels encore existants et contribuer à redorer l'image de l'Etang de Berre.

En outre, des améliorations et perspectives peuvent être ciblées concernant l'étude. Le diagnostic des réseaux routiers et de transport en général mériterait d'être approfondi de façon à mieux se rendre compte des enjeux relatifs. Les réseaux de transports étant de grand modificateurs des connexions écologiques, il est nécessaire de les intégrer à la démarche afin d'affiner encore la mise en évidence de l'impact humain sur les pourtours de l'étang. Des vérifications terrain pour évaluer la précision des interprétations par photographies aériennes sera aussi à mettre en place pour les futures études afin d'en améliorer la crédibilité et de faciliter la prise en compte des biais de photo-interprétation. Par ailleurs, la prise en compte de cette étude dans une analyse spatiale globale des enjeux en fera une aide pour les outils de gestion.

Bibliographie

- Atlas des Métropolitains (2002). La densité de population : une évolution aujourd'hui plus homogène. *Le territoire*
- Cheinet, J.C. (1994). Etang-de-Berre : complexité du problème écologique et enjeux humains. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, Tome 21, 39-42.
- Davout, G. (2010). Pourtours de l'étang de Berre : l'industrie reste moteur, le tertiaire rattrape son retard. *Insee Provence-Alpes-Côte d'Azur*, n°139
- Germain L. (1917). L'étang de Berre. *Annales de Géographie*. Tome 26, n°143. 329-343.
- Gipreb (2010). Etang de Berre suivi écologique du milieu. *Rapport de synthèse 2009-2010*.
- IGN (2012). Géoportail. (<http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>)
- INEOS à Lavera (2009). Le site de Lavera. (<http://www.ineoslavera.fr/28-Presentation.htm>)
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2010). Information géographique – Corine Land Cover. *Développement durable*.
- MNHN (2012). Inventaire national du Patrimoine naturel. (<http://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/recherche>)
- Insee (2009). Etang de Berre – Evolution et structure de la population. *Portrait de Territoire*
- Koch, C., Ameziane, F., Fauquet, F., Scandolera, M. (2012). La reconversion du patrimoine industriel, entre sauvegarde et valorisation : le cas de l'ancienne Poudrerie royale de Saint-Chamas (13). *Colloque international pluridisciplinaire : De la friche industrielle au lieu culturel*.
- Maréchaux, P. & Médina, S. (1995). Vitrolles, ville nouvelle à la recherche de son équilibre : croissance et paupérisation d'une ville nouvelle. *Mémoire de DESS pour la Faculté des Sciences Economiques de l'Université d'Aix-Marseille II*.
- Marseille Provence (2011). L'aéroport – DONNEES CLES. (<http://www.marseille.aeroport.fr/l-aeroport/donnees-cles>)

Annexes

Annexe 1 : Etude pilote

Mise en place de l'étude pilote

Dans le but de photo-interpréter de manière assez homogène l'occupation des sols sur le contour de l'Etang de Berre, une étude pilote a été mise en place, permettant également de tester la typologie choisie auparavant.

- Réalisation de la typologie

Dans le cadre de cette étude, la typologie et son élaboration sont d'une grande importance, car cela conditionne les résultats ainsi que leur interprétation. A la suite de recherches bibliographiques, Corine Land Cover (CRIGE PACA, 2006), a été choisie comme base pour cette étude, notamment dans l'optique de pouvoir par la suite comparer les résultats obtenus avec d'autres cartographies réalisées à l'aide de cette typologie européenne.

Mais cette dernière, demandant un niveau de précision bien trop important quant à la nature du milieu renseigné, a été simplifiée dans le but de la rendre utilisable pour cette étude.

Les 5 niveaux de base de cette typologie ont été conservés, et pour deux catégories (Territoire artificiel et Forêt et milieu semi-naturel) le second niveau de précision a été partiellement conservé.

La typologie utilisée lors de cette étude pilote est la suivante (une 6ème catégorie « non renseignée » a été rajoutée) :

- ◆ Territoire artificiel
 - Tissus urbain
 - Zone commerciale/Industrielle
 - Autres
- ◆ Territoire agricole
- ◆ Forêt et milieu semi-naturel
 - Forêt
 - Milieu à végétation arbustive/herbacée
 - Espace ouvert, peu de végétation
- ◆ Zone humide
- ◆ Surface en eau
- ◆ Non renseignée

- Définition de la table attributaire

Pour la réalisation de l'étude pilote, une table attributaire spécifique a été utilisée. Le nombre de champs était identique à celle de la table attributaire pour la photo-interprétation finale, la seule différence étant de faire apparaître les initiales de chaque observateur sur tous

les champs, dans le but de pouvoir combiner ces tables par la suite, sans que les champs se mélangent.

Afin d'avoir un nombre de mailles assez importants pour cette phase test, il a été choisi de photo-interpréter 100 mailles par observateur (7 répliques des 100 même mailles au total), ce qui semblait un nombre suffisant pour tester l'efficacité de cette méthode.

Pour choisir ces 100 mailles à photo-interpréter, un tirage aléatoire de 2 mailles de la zone d'étude a été réalisé sous le logiciel R. 50 mailles ont ensuite été sélectionnées de façon concentrique (dans les sens des aiguilles d'une montre) autour des deux mailles initiales.

Le but de la phase test était de vérifier si la typologie choisie s'avérait adéquate à l'objet d'étude, un nombre faible de différences d'interprétation entre les observateurs devant le montrer. La phase test devait aussi permettre d'estimer le temps nécessaire à la photo-interprétation finale. Dans cette optique, aucune communication entre observateurs n'a été autorisée durant la phase test, afin de limiter l'influence d'une autre personne sur l'interprétation de l'observateur (contrairement à la phase finale, où les échanges sont autorisés dans un souci de justesse de la photo-interprétation).

Enfin, les tables attributaires des différents observateurs ont été réunifiées sous le logiciel ArcGis, permettant de visualiser les différences d'interprétations.

Résultats de l'étude pilote

Après la réalisation de la étude pilote, les 100 mailles qui photo-interprétées 7 fois par des observateurs différents, ont permis de quantifier le nombre de mailles photo-interprétées de la même manière et le nombre de mailles photo-interprétées différemment (1 ou 2 différences de choix de l'occupation du sol).

La certitude de la détermination du type de milieu ainsi que celle de sa dominance ont aussi été mises en évidence, et ce pour les deux niveaux de typologie.

Le but de l'analyse de ces résultats était de vérifier si la typologie, la taille des mailles, ainsi que le quadrillage en lui-même, étaient bien adaptés à l'étude.

Les résultats de cette analyse sont directement obtenus par des requêtes SQL sur les tables attributaires.

- Résultats de l'étude pilote pour le niveau 1 de typologie

Pour ce niveau de la typologie, la certitude du milieu et de sa dominance n'ont pas été interprétées, ce qui amène un biais sur les résultats de cette phase. En effet il aurait été pertinent de renseigner ces certitudes sur ces deux paramètres pour les 2 niveaux de typologie, afin de pouvoir comparer la perte ou non de certitude du niveau 1 au niveau 2 de la typologie (à savoir, est-ce qu'un détail plus important de la typologie permet ou non d'apporter des informations supplémentaires)

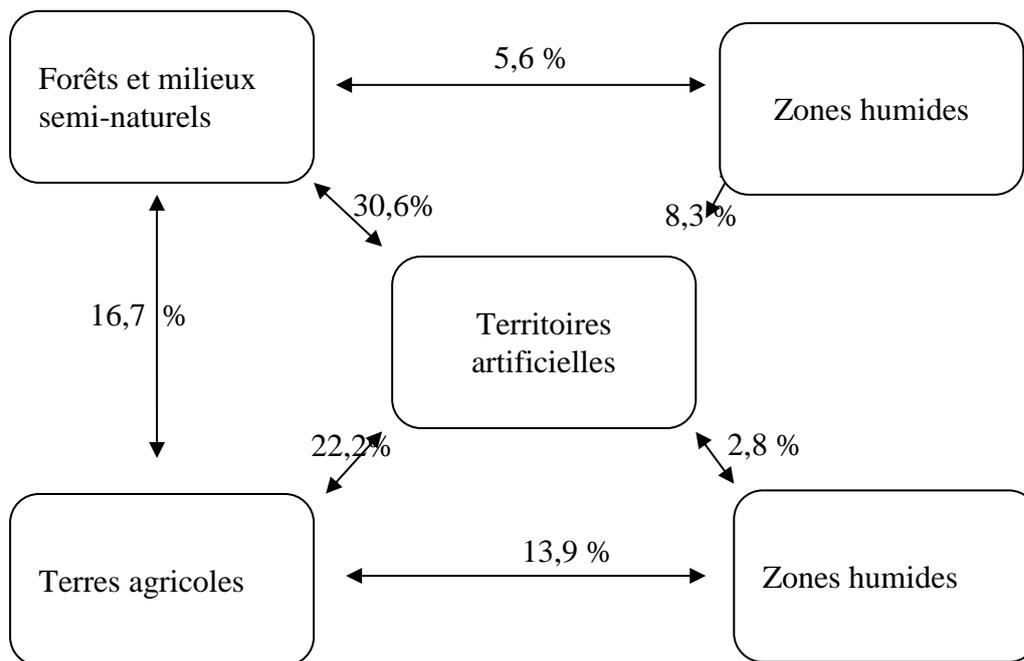
Les 6 niveaux de typologie de niveau 1 utilisée sont rappelés ci-après :

- Territoire artificielle,
- Terre agricole,
- Forêt et milieu semi-naturel,
- Zone humide,
- Surface en eau,
- Non renseignée.

Les résultats de l'étude pilote montrent que 63% des mailles ont été photo-interprétées de la même façon (même typologie). Ce résultat met en évidence une importante hétérogénéité d'interprétation entre les différents observateurs, ce qui voulait être évité au maximum.

Il n'y a cependant qu'une seule maille qui a été photo-interprétée de trois manières différentes.

Le schéma suivant détail ces résultats, montrant le nombre de cellules photo-interprétées entre 2 typologies différentes. Par exemple 11% de la totalité de nos cellules ont été photo-interprétées soit en « forêts et milieux semi naturels » soit en « territoires artificielles » ce qui équivaut à 30 % des cellules ayant été photo-interprétées par 2 typologie lors de cette étude pilote.



- Résultats de l'étude pilote pour le niveau 2 de typologie

Pour ce niveau de typologie, il a été possible de quantifier, tout comme pour le premier, le nombre de mailles identifiées de la même façon ou non par les observateurs, mais il a également été possible d'analyser les certitudes renseignées lors de la photo-interprétation (pour la typologie et la dominance).

Les 9 niveaux de typologie de niveau 2 utilisés sont rappelés ci-après :

- Tissu urbain,
- Zone commerciale/industrielle,
- Autre,
- Territoire agricole,
- Forêt,
- Milieu à végétation arbustive/herbacée,
- Espace ouvert, peu de végétation,
- Zone humide,
- Surface en eau.

Pour ce niveau de typologie, le pourcentage de mailles photo-interprétées de la même manière est de 32%. Ce résultat, encore plus faible que pour le niveau 1, suggère qu'il n'est pas pertinent d'avoir autant détaillé les typologies, car elles ne semblent que rajouter de la difficulté à déterminer la nature d'un milieu.

En ce qui concerne les certitudes sur la dominance du milieu, il y a 21 mailles ayant au moins un score de dominance de 1 (cf. « pas certain ») et 30 qui ont été déterminées de façon absolument certaine par les 7 observateurs.

D'une manière générale, il semble que dans cette phase, les observateurs n'étaient pas assez certains lors de la détermination de la typologie des mailles.

Pour pallier à ce problème, il a été fait le choix de rajouter un second quadrillage avec des mailles de 50 m par 50 m, dans le but d'aider les observateur à mieux déterminer la dominance d'un type de milieu.

En ce qui concerne l'estimation de la certitude de détermination de la typologie, là aussi des disparités sont apparues. Il y a 27 mailles ayant une certitude de typologie notée comme « absolument certain » et 11 mailles ayant une certitude de typologie notée « pas sûre ».

Les résultats obtenues pour la certitude de la typologie ont mis en évidence que notre typologie de type 2, très détaillée, ne permettait pas d'être plus précis, mais qu'au contraire elle diminuait la certitude de détermination d'une typologie.

Il a donc été décidé de modifier de manière importante cette première typologie, dans le but d'en obtenir une plus simple et plus adaptée à cette étude.

Afin de ne pas perdre trop de précision dans la détermination de la typologie, un seul niveau de typologie a finalement été conservé dans l'étude.

Pour chaque catégorie de cette typologie finale, il a été défini précisément ce que cela pouvait englober.

Annexe 2 : Liste des ortho-photographies utilisées

- 27 ortho-photographies de la mission C3144-0011_1949_F3144_xxxx, (xxxx correspond au numéro du cliché).

L'échelle est d'environ 1 : 27.900, à quelques dizaines près, car cela varie d'une photographie à une autre. Les clichés ont été pris le 09/09/1949. Cliché n° 0001, 0002, 0004, 0006, 0007, 0009, 0021, 0030, 0031, 0039, 0041, 0043, 0045, 0047, 0051, 0059, 0063, 0077, 0079, 0081, 0082, 0084, 0086, 00106, 0110, 0112, 0119

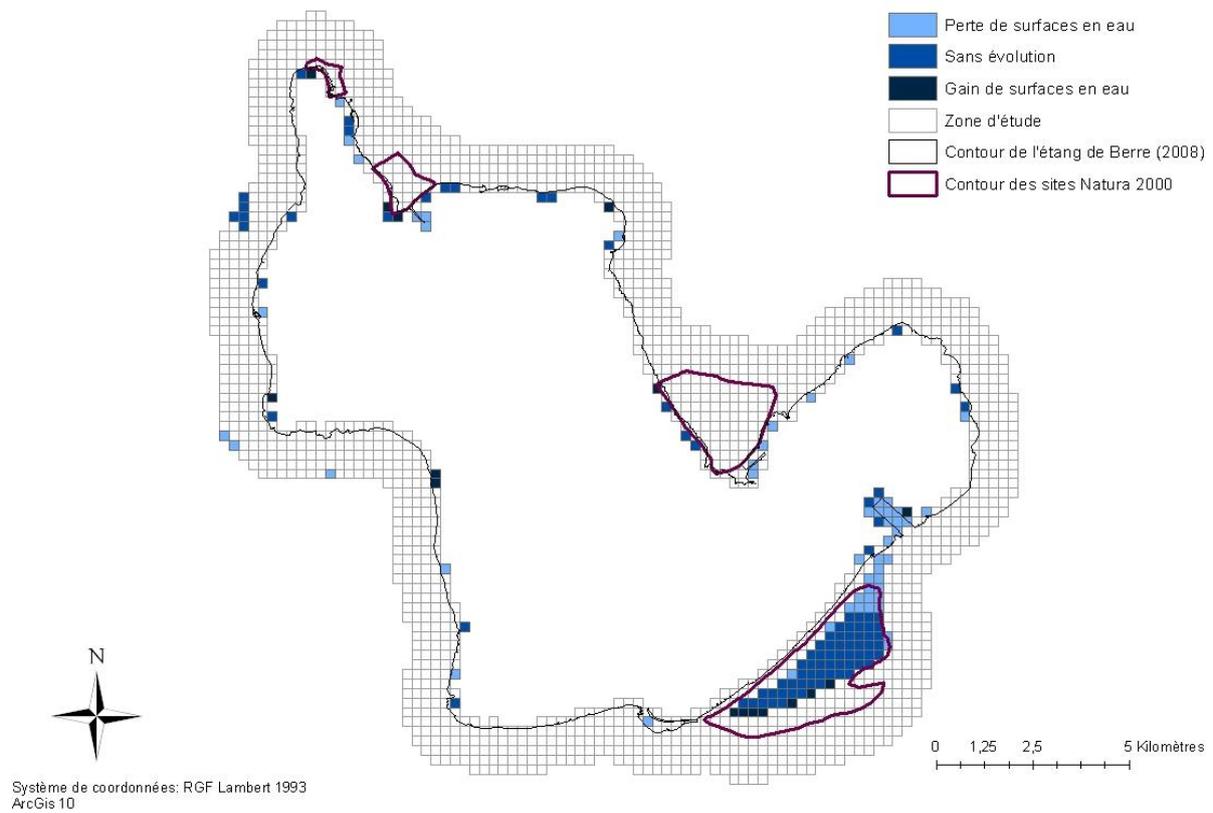
- 2 ortho-photographies de la mission C3143-0071_1949_F3143_3343_xxxx, (xxxx correspond au numéro du cliché).

L'échelle est d'environ 1 : 28.400, à quelques dizaines près, car cela varie d'une photographie à une autre. Les clichés ont été pris le 19/09/1949. Clichés n°0448, 0449.

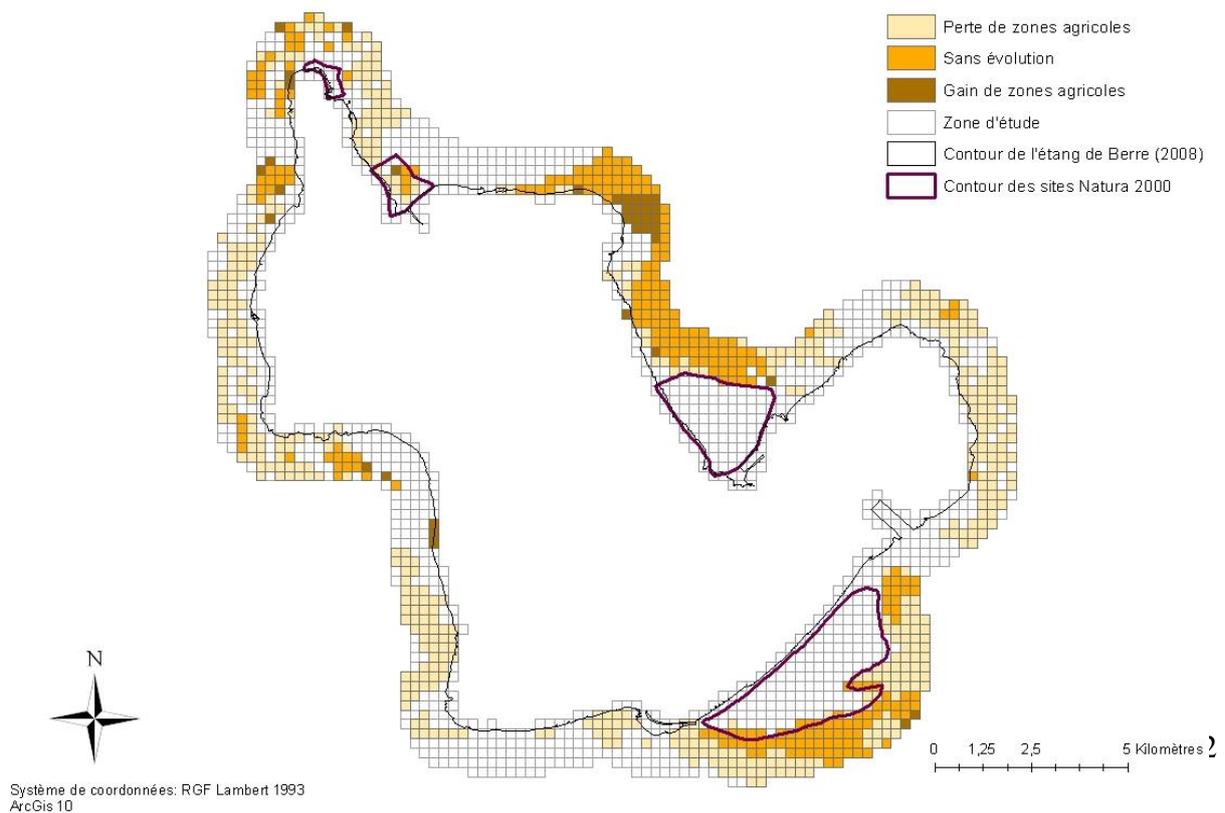
- 3 ortho-photographies de la mission C3042-0021_1955_F3042_3044_xxxx, (xxxx correspond au numéro du cliché).

L'échelle est d'environ 1 : 27.000, à quelques dizaines près, car cela varie d'une photographie à une autre. Les clichés ont été pris le 16/03/1955. Clichés n°0243, 0245, 0247.

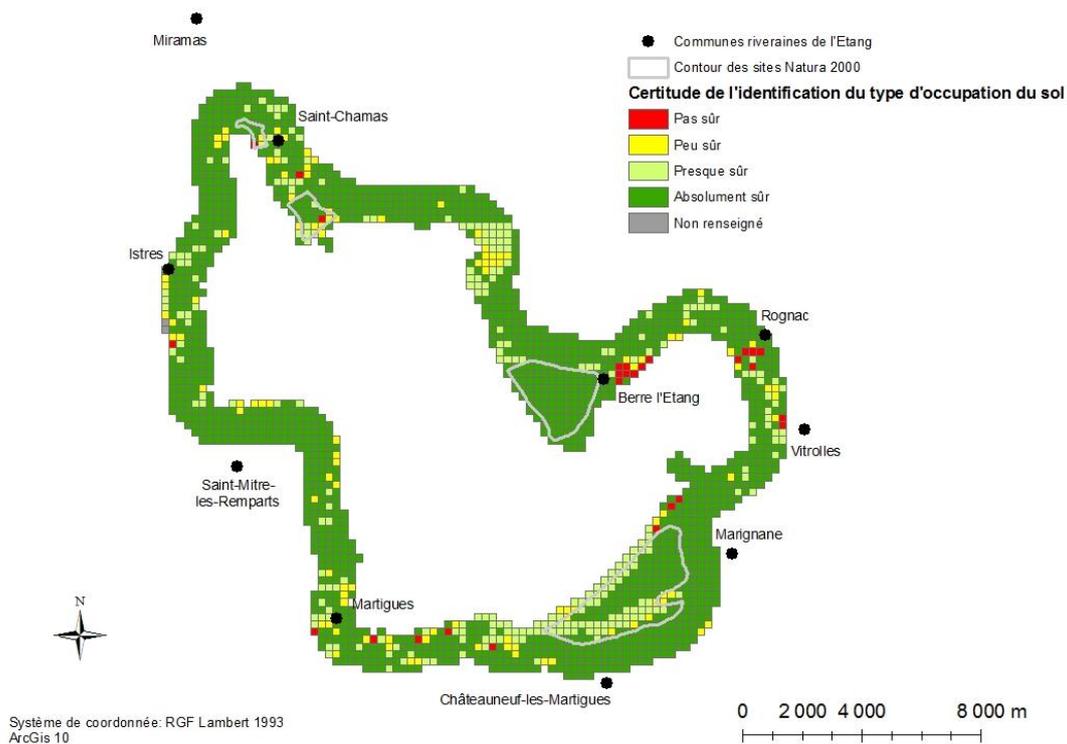
Annexe 3 : Evolution de l'occupation des sols : Les zones en eau



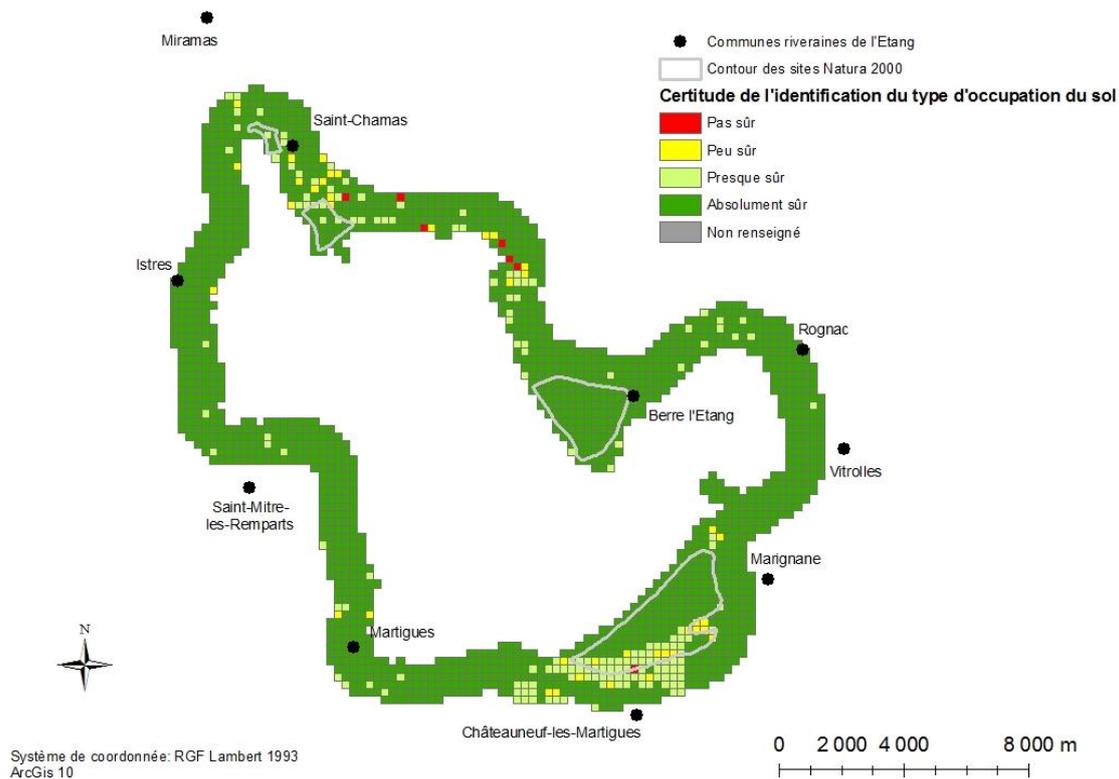
Annexe 4 : Evolution de l'occupation des sols : Les zones agricoles



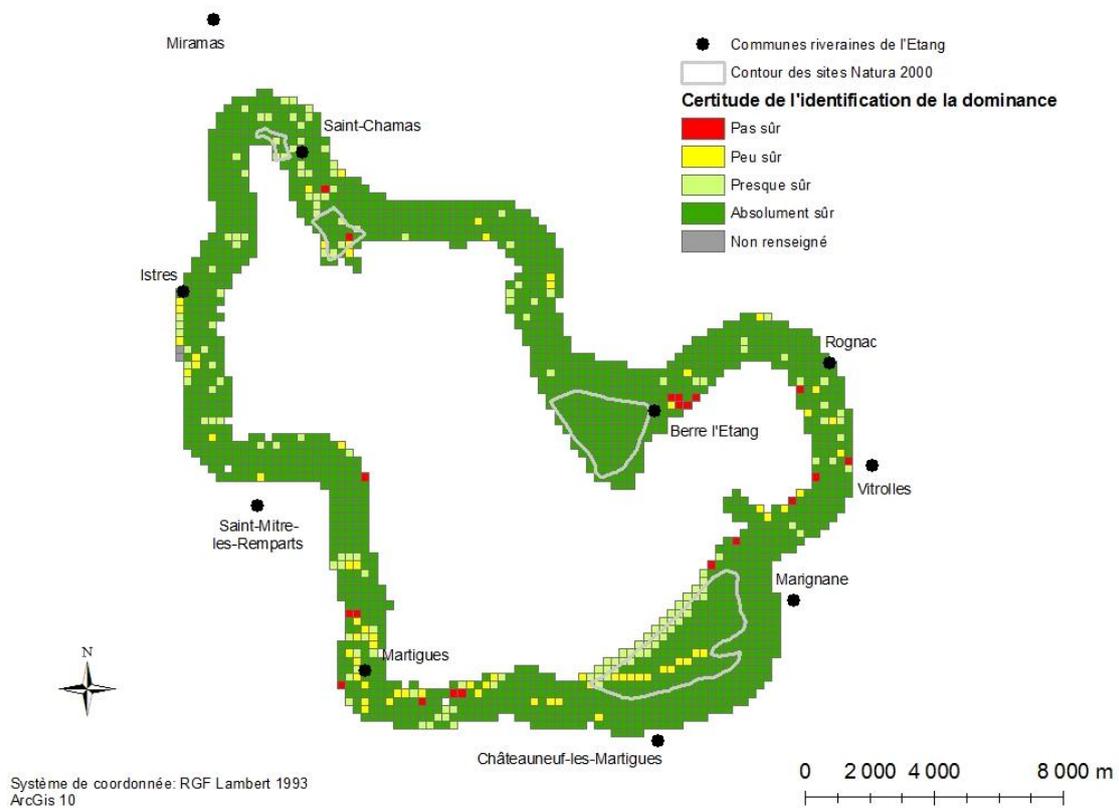
Annexe 5 : Certitude portant sur la typologie pour la photo-interprétation des ortho-photographies de 1950



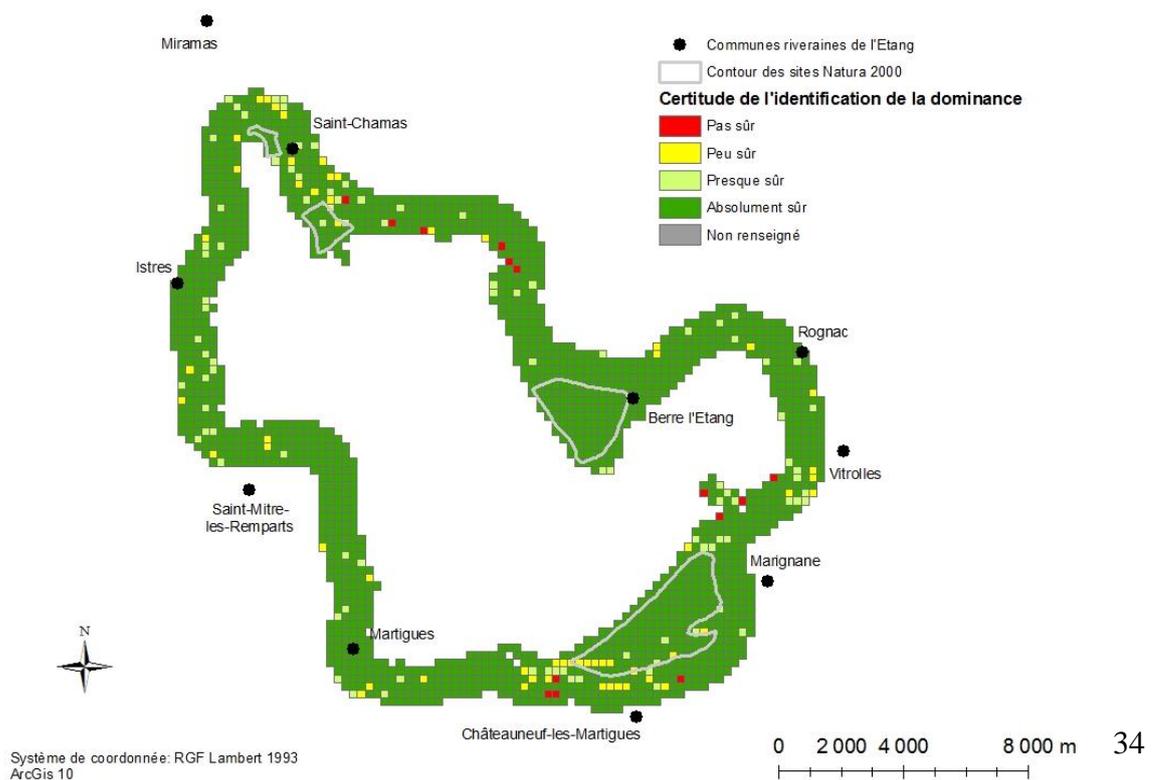
Annexe 6 : Certitude portant sur la typologie pour la photo-interprétation des ortho-photographies de 2008



Annexe 7 : Certitude portant sur la dominance pour la photo-interprétation des ortho-photographies de 1950



Annexe 8 : Certitude portant sur la dominance pour la photo interprétation des ortho-photographies de 2008



Annexe 9 : Visualisation des provenances des gains et destination des pertes pour les Zones Urbanisées et les Zones Naturelles.

