

Université de Montréal

**Représentation de trajectoires spatiotemporelles dans un
système d'information géographique**
**Le cas des activités d'observation de mammifères marins dans le
Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent**

par

Cédric Jeanneret-Grosjean

Département de géographie

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences (M.Sc)
en Géographie

Avril, 2010

© Cédric Jeanneret-Grosjean, 2010

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé:

**Représentation de trajectoires spatiotemporelles dans un système d'information
géographique**

Le cas des activités d'observation de mammifères marins dans le Parc marin du Saguenay –
Saint-Laurent

Présenté par :

Cédric Jeanneret-Grosjean

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Jeffrey Cardille, président-rapporteur
Danielle J. Marceau, directrice de recherche
Lael Parrott, co-directrice de recherche
Pascale Biron, membre du jury

Résumé

L'important volume des excursions de bateaux touristiques liées aux activités d'observation en mer des mammifères marins (AOM) dans le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent (PMSSL) pourrait avoir un impact négatif sur la santé des baleines qui fréquentent cette région de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent. Cette situation a poussé les gestionnaires du Parc à désirer un outil d'information et de gestion pour mieux suivre l'évolution des AOM.

Le présent mémoire décrit la conception de cet outil en proposant un modèle de l'excursion et des activités d'observation qui sert à l'élaboration d'une base de données. En s'appuyant sur le concept de la trajectoire spatiotemporelle, utilisée pour l'étude du comportement de déplacement basé sur l'activité, et sur le concept de l'objet mobile, développé en géomatique, notre modèle de données permet de reproduire graphiquement les trajectoires des excursions et l'enchaînement des activités qui ont lieu au cours de celles-ci. Le modèle est orienté objet et implanté dans une Geodatabase, une base de données relationnelle exploitable par le système d'information géographique (SIG) ArcGIS. Les objets de la base de données sont créés à partir des données de trois années de suivi des AOM réalisés par le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM). Nous montrons que le SIG peut exploiter la base de données de façon à répondre correctement aux besoins en information exprimés par les gestionnaires et que la représentation informatique des excursions sous la forme de trajectoires spatiotemporelles ouvre de nouvelles avenues de recherche sur les patrons d'activités et le comportement de déplacement des bateaux.

Mots-clés: Activités d'observation en mer de mammifères marins, excursions de bateaux touristiques, modèle de données objet relationnel, Geodatabase, ArcGIS, trajectoire spatiotemporelle, comportement de déplacement basé sur l'activité, objet mobile.

Abstract

The considerable volume of commercial boat trips associated with whale-watching activities (WWAs) in the Saguenay-Saint-Laurent National Marine Park (PMSSL) may have negative impacts on the health of the whales visiting the Saint-Lawrence River estuary. This situation has led park officials to seek an appropriate information management system in order to better monitor WWAs.

This paper contributes to the design of such a tool by modeling excursion patterns of WWAs, resulting in a database. Based on the space-time path concept used for the study of activity-based travel behavior as well as the mobile-object geometical concept, our data-model enables us to plot the trajectories of the excursions and the sequence of activities taking place during those excursions. The model is object-oriented and built into a Geodatabase (an ArcGis-processable relational database). The objects in the database are based on data collected by the Marine Mammal Research and Education Group (GREMM) during a three-year WWA monitoring program. Finally, this report demonstrates that geographic information systems can be effectively used to process the database in a way that serves the needs of park officials, and that the representation of excursion data in a GIS opens up new avenues for research on the space-time pattern of observation activities and the travel behavior of boats.

Keywords: Whale watching activities, commercial boat trips, object relational data model, Geodatabase, ArcGIS, Space time path, activity based travel behavior, mobile object

Table des matières

1. Introduction	1
1.1 Problématique de l'étude	1
1.2 Objectifs de l'étude	5
Objectif global	5
Objectifs spécifiques	5
2. Conceptualisation du système des activités d'observation	7
2.1 Les besoins en information	7
2.2 Cadre théorique : la géographie temporelle	10
2.2.1 La trajectoire spatiotemporelle	12
2.2.2 La réalisation d'une activité	15
2.2.3 Les comportements de déplacement d'un objet mobile	24
2.3 La nature des données	31
2.3.1 L'enquête Origine-Destination	31
2.3.2 Les suivis des excursions réalisés par le GREMM	33
3. Élaboration du modèle de données du SIG	39
3.1 Méthodologie	39
3.2 Le modèle conceptuel de données	43
3.2.1 Le bateau	43
3.2.2 L'excursion	46
3.2.3 L'environnement	51
3.3 Les modèles logique et physique des données	54
4. Résultats	61
4.1 Préparation des données d'origine pour le peuplement de la Geodatabase	61
4.1.1 Les données sur l'environnement	61
4.1.2 Les blocs d'observation instantanée des suivis	62
4.1.3 Les données de permis	64
4.2 Cartographie de l'environnement	66
4.2.1 La région d'étude	66
4.2.2 Les attractions	68
4.3 Création des trajets des excursions et des activités	71
4.3.1 Création des trajets ponctuels	71
4.3.2 Interpolation linéaire des trajets	74
4.3.3 Ajout d'information par agrégation	77
4.4 Visualisation et analyse des trajets	80
4.4.1 Exploration de l'excursion et de ses activités	80
4.4.2 Sélection et analyse multicritères des excursions	83
4.4.3 Sélection et analyse multicritères des activités	87
4.4.3.1 Bilan des trajets d'activités	87
4.4.3.2 Exploration visuelle des trajets d'activité	89

4.4.3.3 Examen des trajets d'activité dans le cadre de la réglementation	91
La durée	92
La vitesse	94
Le changement de direction	98
5. Discussion et conclusion	102
Références	108
Annexe A : Les AOM dans la région du PMSSL	i
Annexe B : Les modifications apportées à la table des blocs d'observation instantanée	i
Annexe C : Le règlement sur les activités en mer dans le PMSSL	i

Liste des tableaux

Tableau 1: Les besoins en information traduits en fonctionnalités.....	8
Tableau 2: Lecture des segments d'une trajectoire spatiotemporelle	19
Tableau 3: Les concepts retenus de la géographie temporelle.....	23
Tableau 4: Description des paramètres d'analyse de trajectoires ponctuelles	30
Tableau 5: Structure d'une table de données des suivis	36
Tableau 6: Liste des cartes numérisées et des éléments topographiques retenus	61
Tableau 7: Répartition des ITP selon l'activité et l'espèce.....	63
Tableau 8: Les types de permis et leurs attributs descriptifs	65
Tableau 9: Insertion des identifiants des trajets d'activités	73
Tableau 10: Nombre d'instances des classes liées aux trajets	77
Tableau 11: Agrégations réalisées pour l'excursion	79
Tableau 12: Agrégations réalisées pour l'activité.....	79
Tableau 13: Bateaux actifs et leurs excursions selon le quai l'année et leur taille	85
Tableau 14: Comparaison de données sur les excursions de grands et petits bateaux.....	85
Tableau 15: Les trajets d'activités selon leur type et la taille des bateaux (2001 et 2002).	88
Tableau 16: Critères retenus pour l'analyse des codes de conduite.....	92
Tableau 17: Distribution des trajets selon leur durée.....	93
Tableau 18: Distribution des trajets selon la vitesse	95

Liste des figures

Figure 1: Schéma conceptuel de l'excursion en tant que chaîne d'activités	17
Figure 2: Une trajectoire spatiotemporelle avec des lieux d'activités fixes	18
Figure 3: Une trajectoire spatiotemporelle avec des lieux flexibles d'activités	19
Figure 4: L'impact de la cadence d'enregistrement sur la forme du trajet	26
Figure 5: Calcul de la longueur d'un trajet	27
Figure 6: Différence entre la direction et l'angle de déviation	28
Figure 7: Section du MCD centrée sur le bateau	44
Figure 8: Section du MCD centrée sur l'excursion et les activités	48
Figure 9: Section du MCD centrée sur les éléments de l'environnement.....	53
Figure 10: Généralisation Object / Feature des classes du MLD	56
Figure 11: La Geodatabase dans ArcCatalog	59
Figure 12: Région d'étude.....	67
Figure 13: Les attractions fixes aux alentours de Tadoussac	70
Figure 14: Logique de la création des trajets ponctuels des activités	72
Figure 15: Interpolation des ITP\BOI en un trajet linéaire d'excursion	75
Figure 16: Les activités liées aux ITP	75
Figure 17: Trajets ponctuel et linéaire des activités.....	76
Figure 18: Interpolation des activités à l'aide de segments.....	76
Figure 19: L'outil d'identification exploitant les associations du modèle.....	81
Figure 20: Représentation graphique d'une excursion et ses activités dans le SIG.....	82
Figure 21: Les excursions selon la taille des bateaux et le quai d'embarcation (captures d'écran)	84
Figure 22: Sélection d'excursions à haute vitesse et présence de bélugas (capture d'écran)	87
Figure 23: Les trajets d'activités du bateau 'GF' (capture d'écran)	90
Figure 24: Les observations de cétacés de plus de 60 min pour le bateau 'GF' (capture d'écran)	91
Figure 25: Vitesses moyennes et maximales des observations pour 'GF'	96
Figure 26: Vitesses moyennes et maximales des observations pour 'FD'	97
Figure 27: Coefficient de variation de la vitesse des observations de 'GF'.....	98
Figure 28: Coefficient de variation de la vitesse des observations de 'FD'	98
Figure 29: Un changement brusque de direction (capture d'écran).....	100

Liste des sigles et des abréviations

ACTID	Identifiant unique d'une activité au cours de l'excursion
ACT	Activité
ADA	Angle de déviation absolu
AOM	Activité d'observation en mer de mammifères marins
BNDT	Base nationale de données topographiques
BOI	Bloc d'observation instantanée
DS	Dénombrement systématique
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
ET	Écart-type
EXCID	Identifiant unique d'une excursion
FD	« Famille Dufour » (nom de coque d'un bateau)
GF	« Grand Fleuve » (nom de coque d'un bateau)
GPS	Global Positioning System
GREMM	Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins
GRM	Abréviation pour GREMM
ITP	Instance Temporelle de Position
M	Mètre
MAX	Valeur maximale
MCD	Modèle conceptuel de données
MIN	Minute
MLD	Modèle logique de données
MOY	Valeur moyenne
MPD	Modèle physique de données
MPO	Ministère Pêches et Océans Canada
NAD	North American Datum
NO_EXC	Numéro ordinal d'une excursion
NO_ITP	Numéro ordinal d'un ITP
O-D	Origine-Destination
OBS	Activité d'observation
PMSSL	Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent
SGBD	Système de gestion de base de données
SHC	Service hydrographique du Canada
SIG	Système d'information géographique
SIGHAB	Système d'information pour la gestion de l'habitat du poisson
SQL	Structured Query Language
TST	Trajectoire spatio-temporelle
UML	Unified Modeling Language
UTM	Universal Transverse Mercator
XYT	Coordonnées précisant la longitude, la latitude et le temps relatif
ZPM	Zone de protection marine
ZUI	Zone d'utilisation intensive

À mes parents

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement:

- Ma directrice de recherche, la professeure Danielle J. Marceau, et ma co-directrice de recherche, la professeure Lael Parrott, pour la confiance qu'elles m'ont témoignée en m'acceptant comme candidat à la maîtrise, pour leur patience, leur disponibilité et leur judicieux conseils scientifiques; je leur suis aussi très reconnaissant pour le soutien financier qu'elles m'ont fourni pour que je puisse parfaire mes recherches;
- Le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins, le GREMM et l'équipe du Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent, pour la chaleur de leur accueil, leur coopération et leurs conseils avisés, ainsi que pour l'accès à leurs données de recherche;
- Ma compagne Amélie et tous mes amis, leur présence m'ayant été d'un grand réconfort;
- Mes chers parents et mon frère Loïc, pour la constance de leurs encouragements et leur précieux soutien tant moral que financier.

1. Introduction

1.1 Problématique de l'étude

L'activité d'observation de mammifères marins est définie comme une activité touristique de nature commerciale, réalisée à bord d'une embarcation, pour laquelle l'on paie afin de s'approcher et observer des mammifères marins (Simmonds, 2005). Destinée à offrir une expérience de proximité avec les grands animaux marins, cette activité d'observation se fait presque exclusivement à bord de bateaux¹. Depuis une vingtaine d'années, ces activités connaissent une croissance formidable dans le monde. En 1991, seuls 31 pays et territoires proposaient aux touristes des services d'observation; en 1998, on en compte 87. Le nombre d'observateurs est passé, pour ces mêmes années, de 4 millions à 9 millions respectivement, avec une valeur économique estimée aujourd'hui à plus d'1 milliard de dollars américains. Aussi de nombreuses communautés (essentiellement côtières) profitent-elles de cette croissance, voyant, dans le monde, leur nombre passer de 295 en 1994 à 492 en 1998 (Hoyt, 1995 et 2001).

Le développement des activités d'observation de mammifères marins (les AOM²) au Canada ne fait pas exception à la règle. Depuis 1971, au Québec d'abord, puis dans d'autres provinces, le secteur touristique lié à l'observation de baleines n'a cessé de croître. C'est principalement le long de l'estuaire et du golfe du Fleuve Saint-Laurent que sont dispersées les localités offrant des « services » d'observation. Le Fleuve (sa partie marine) est effectivement un endroit privilégié pour cette activité touristique, pour des raisons de proximité et d'accessibilité des aires d'observation, d'infrastructure moderne, de forte promotion commerciale, mais aussi de grandes variétés d'espèces de cétacés présentes (Tableau A.2 de l'annexe A). C'est le secteur du Parc marin Saguenay – Saint-Laurent qui a connu l'augmentation la plus importante des activités d'observation, autant au niveau de la flotte de bateaux, du nombre d'entreprises commerciales que du nombre de visiteurs.

¹ Dans certaines régions, des sites sont aménagés le long des côtes, avec des miradors et promontoires équipés de longues-vues, pour permettre une observation des animaux à partir de la côte.

² On parle aussi d'activité d'observation en mer.

Situé à la confluence du fjord de la rivière Saguenay et du Fleuve, ce secteur géographique fait partie d'un écosystème d'une grande richesse nourricière pour les mammifères marins.

L'augmentation de ce type de trafic maritime entraîne des problèmes sérieux pour la protection des mammifères marins dans l'estuaire (Dionne, 2001). La recherche scientifique liée à l'évaluation des impacts des AOM sur les cétacés a pris de l'importance cette dernière décennie (Lusseau, 2004). La plupart des études scientifiques sur les impacts de cette activité sont fondées sur l'observation de l'animal (ou d'un groupe) dans son milieu de vie, vérifiant la réalisation ou l'absence de comportements précis (respiration, alimentation, fuite) ou généraux (abandon temporaire d'une zone habitée) en présence de bateaux (Constantine, 1999; Lien, 2001). Ces études ont identifié des réponses comportementales des animaux spécifiquement reliées à la présence de bateaux. Ces réponses vont de l'évitement horizontal (Lusseau, 2003), l'espacement des intervalles de plongées (Michaud et Giard, 1998), l'augmentation de la vitesse de nage (Jahoda et al., 2003) à des variations dans la vocalisation (Erbe, 2002). Dans le secteur du Parc marin Saguenay – Saint-Laurent, les chercheurs Giard et Michaud (1997) ont observé, en relation avec les types de plongées profondes du rorqual commun, une réduction de la durée moyenne de la plongée, et sa grande variabilité au niveau de la profondeur atteinte. Selon eux, ces modifications semblent être proportionnelles à l'intensité de l'exposition des animaux aux bateaux touristiques réalisant des AOM. Ces perturbations pourraient modifier la stratégie optimale de chasse, risquant ainsi d'entraîner une diminution importante de l'efficacité du comportement alimentaire et donc de son apport énergétique.

Ainsi, bien que la plupart de ces recherches examinent les effets à court terme, faute de méthodes et d'outils permettant de suivre l'évolution des animaux à long terme (Simonds, 2005), il reste qu'en général, les résultats des études d'impacts montrent que la circulation des bateaux provoque un changement de comportement dans le cycle de vie des animaux et perturbe leurs activités biologiques quotidiennes. Il apparaît donc clairement que même une seule embarcation, s'approchant avec insistance, trop près, trop vite, trop bruyamment, trop fréquemment, trop longtemps peut interrompre la réalisation des

processus vitaux d'un mammifère marin, peu importe l'espèce (Lien, 2001). Ces facteurs sont évidemment exacerbés lorsque le nombre et le type de bateaux augmentent. Considérer, avec cette réalité à l'esprit, les AOM comme de l'écotourisme pose un problème éthique certain.

Le Parc marin Saguenay – Saint-Laurent (le PMSSL), dont le mandat est de «rehausser le niveau de protection et favoriser la mise en valeur, [...], d'une portion représentative du milieu marin de l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que du fjord du Saguenay» (Gouvernement du Québec, 1995) fait donc face à une problématique de gestion durable d'un des éléments les plus importants de son capital biologique. C'est pourquoi, depuis 2002, la gestion des activités d'observation de mammifères marins dans le Parc repose sur une réglementation destinée à les contrôler au moyen d'un système de permis et en imposant aux pilotes des bateaux des comportements spécifiques de conduite lorsqu'ils circulent autour des animaux. Cette réglementation est le fruit d'un travail de suivi et d'analyse des AOM, conçu par le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (le GREMM) et réalisé depuis 1984 (GREMM, 1993; Michaud et al., 1997). L'élaboration du 'Règlement sur les activités en mer dans le Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent'³ a fait l'objet d'une approche concertée : les croisiéristes, le milieu scientifique, les intervenants touristiques, économiques et sociaux de la région, ont tous participé, avec les gouvernements du Québec et du Canada, à son élaboration.

L'application du règlement et la gestion des AOM qui en découlent nécessitent et utilisent des outils permettant d'informer et de suivre l'évolution de la situation. La principale source d'information sur les AOM dans le Parc reste l'ensemble des données issues du travail de suivi des excursions commerciales, réalisé annuellement par le GREMM. Les suivis, conduits à bord de bateaux touristiques, ont permis, d'une part, l'édification d'une inestimable base de données sur les déplacements, les activités d'observation et les espèces observées, et, d'autre part, l'analyse, sous plusieurs angles, de l'évolution des AOM. Les résultats de ces analyses (uniques au monde) sont compilés dans

³ Gazette du Canada, Partie II, Vol.136, #6, DORS/2002-76.

des Rapports annuels de suivis⁴, offrant aux gestionnaires du Parc un aperçu cartographique et statistique détaillé de la progression des activités d'observation, autant par rapport à la répartition spatiale et temporelle des lieux d'activités et des espèces observées qu'à la composition de la flotte de bateaux. En plus des données des suivis qui documentent une partie des excursions et des activités réalisées annuellement, le Parc possède de nombreuses autres sources et types d'informations documentant le 'système AOM', comme, par exemple, les permis d'excursion octroyés depuis la mise en place de la réglementation, les caractéristiques des bateaux, des entreprises et des lieux d'attractions touristiques, ou encore, les nombreuses données cartographiques sur l'écologie, la physiographie et la bathymétrie caractérisant l'environnement naturel et culturel du Parc.

Mais, bien que les gestionnaires aient sous la main une grande quantité de données⁵, ces dernières sont actuellement dispersées et enregistrées dans des formats informatiques incompatibles entre eux, ce qui, dans le travail quotidien, rend fastidieuse toute tentative de traitement et d'analyse de ces informations. Les gestionnaires (Parcs Canada, 2007) ont exprimé le besoin d'avoir à leur disposition un outil intégré d'aide à la décision pour faciliter leur travail de gestion du trafic maritime dans le Parc, et en particulier celui lié aux AOM.

À l'heure actuelle, les gestionnaires du Parc ne disposent donc pas d'un tel système intégré d'information. Les données qui documentent ce qu'on pourrait nommer le 'système AOM' et en particulier les éléments abordés plus haut, sont généralement disparates, se retrouvant dispersées et sous différents formats. Le problème ici est qu'il existe beaucoup

⁴ Cf. Michaud 1997 pour la période 1984-1996 et Michaud 1999, 2000, 2001 pour des exemples de rapport de suivis annuel.

⁵ Par exemple, il existe des informations sur les entreprises, les ports où elles sont installées, les horaires prévus des départs des excursions, le nombre de visiteurs, les capacités des marinas, etc. De même sont disponibles les caractéristiques des bateaux, de leurs dimensions à leur vitesse de croisière en passant par la force de leur moteur, le mode de propulsion et la capacité d'embarcation. Les caractéristiques physiques et biologiques des espèces sont elles aussi documentées en détails. De plus, les données issues des travaux de suivi du GREMM, très riches en information, ne sont aucunement associées à l'information des « sorties » notées dans les permis, et les données des suivis ne sont pas automatiquement replacées dans le contexte écologique du Parc, alors qu'il existe de nombreuses données géo-référencées sur les attractions touristiques ou sur le milieu marin en tant que tel (bathymétrie, flore).

d'informations qui ne sont pas reliées entre elles de façon logique, alors que de tels liens, s'ils étaient établis au sein d'un système d'information, fourniraient, entre les mains des gestionnaires, une plus-value grandement bénéfique pour la gestion des AOM et à la protection des mammifères marins. Soutenir l'effort de gestion des AOM et contribuer à la création d'un système d'information sont ainsi les buts de notre travail pour répondre à cette problématique des AOM dans le PMSSL.

1.2 Objectifs de l'étude

Objectif global

Ce travail de maîtrise fait partie intégrante d'un projet de recherche, conçu par les responsables du Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent, les scientifiques du GREMM, Pêches et Océans Canada (MPO), l'Université de Montréal, l'Université de Calgary et l'École de technologie supérieure. Le but de ce projet de recherche est de développer, sur plusieurs années, un système informatisé d'aide à la décision, destiné à soutenir la gestion du trafic maritime dans le Parc.

L'un des outils envisagé par le projet est un système d'information et de gestion qui peut rassembler en une base de données unique toutes les données concernant les AOM et qui permet la visualisation et l'analyse des déplacements liés à ces activités dans le Parc. Notre travail, présenté dans ce mémoire, a pour objectif de créer cette base de données (BD) et de la coupler à un système d'information géographique (SIG) pour fournir aux gestionnaires un outil qui contribuera à nourrir en données l'effort de gestion des AOM dans le Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent.

Objectifs spécifiques

Le présent mémoire est avant tout un exercice de modélisation destiné à reproduire informatiquement le phénomène de l'activité d'observation, sous une forme qui répondrait le mieux aux besoins des analyses des gestionnaires. Voici la liste des objectifs spécifiques du présent travail :

- Montrer que l'approche par système d'activité, associée aux concepts de la trajectoire spatiotemporelle et de l'objet mobile, issus de la géographie temporelle et de la géomatique, offre un cadre conceptuel idéal pour modéliser et analyser les activités d'observation réalisées au cours des excursions des bateaux touristiques.
- Créer un modèle de données des AOM et l'intégrer au sein d'un logiciel informatique adapté.
- Tester le modèle informatique des données pour montrer qu'il répond aux besoins des gestionnaires, en :
 - o reproduisant sous forme de trajectoires spatiotemporelles les excursions des bateaux suivis par le GREMM
 - o créant des requêtes spatiales, temporelles et/ou thématiques qui permettent de compléter l'analyse des suivis et de soutenir l'évaluation de la mise en pratique des codes de conduites prescrits par le règlement
 - o produisant des cartes et des tableaux autrement utiles pour la gestion des AOM.

Les différentes parties du mémoire sont organisées selon l'ordre des objectifs qui eux-mêmes reprennent les étapes normales de l'élaboration du modèle de données d'un SIG (Burrough et McDonnell, 1998). Ainsi, en premier lieu, est décrit le processus de conceptualisation qui identifiera les éléments clés du système AOM à modéliser. Suit ensuite une description du modèle de données d'après lequel est construite la base de données du SIG. Finalement, une fois peuplé de données réelles, le SIG est testé et évalué au moyen d'une batterie variée de requêtes, et des recommandations sont formulées quant à sa pertinence en tant qu'outil d'information et de gestion.

2. Conceptualisation du système des activités d'observation

La conceptualisation est la première étape du travail de modélisation (Zeiler, 1999). Elle est en soi une réflexion sur le phénomène d'intérêt (et le système qui le produit), qui cherche à identifier les différents éléments y jouant un rôle et à comprendre la nature des relations qui lient ces éléments et produisent le phénomène. Cet exercice d'observation et d'abstraction amène généralement le chercheur à vouloir créer un modèle complet du système \ phénomène (Egenhofer et Frank, 1992). Mais selon la problématique de leurs études, les chercheurs voudront surtout reproduire seuls les éléments et interactions du système qui semblent essentiels à leur analyse. Dans notre cas, comme nous devons cibler la réflexion sur l'excursion et les activités réalisées au cours de celle-ci, le point de départ de la conceptualisation est l'énoncé des besoins exprimés par les gestionnaires du Parc qui utiliseront le SIG pour gérer les AOM. En suivant une logique d'induction nous pourrions ainsi identifier les éléments clé d'information et sonder certains domaines théoriques de la géographie pour trouver les concepts adaptés aux besoins de l'analyse qui seront repris dans le modèle de données.

Le cadre théorique de notre modèle s'appuie sur des modèles développés en géographie, en particulier le modèle de la trajectoire spatiotemporelle, issu de la géographie temporelle, et le modèle des objets mobiles, utilisé en géomatique. Ces concepts explicitent des notions indispensables aux travaux d'analyse du comportement de transport (ou de déplacement) basé sur l'activité (Frihida et al., 2002), permettant d'appréhender et de représenter correctement le déplacement d'entités individuelles destiné à la réalisation d'activités (tel celui des bateaux d'observation au cours d'une excursion).

2.1 Les besoins en information

Lors du développement d'une application informatique, il est crucial de bien identifier les besoins des futurs utilisateurs et de cadrer correctement la portée de l'application (Brown, 2001; CNRS-DSI, 2002). L'architecture d'un système d'information,

c'est-à-dire, entre autres choses, la structure, l'organisation et les associations des données en son sein, est obligatoirement liée aux fonctionnalités et aux informations que l'utilisateur souhaite extraire ou traiter avec l'outil final (Miller et Wentz, 2003). Pour rappel, la problématique de notre étude est la gestion de l'activité commerciale d'observation de mammifères marins à bord de bateaux. Cette activité étant réglementée mais difficilement contrôlable, notre objectif est de concevoir l'architecture d'un système d'information géographique qui permettrait, une fois fonctionnel, d'analyser ces activités avec le plus de données possible et d'aider à la prise de décision quant à leur gestion. Nous allons donc ci-dessous présenter les principaux besoins exprimés par les futurs utilisateurs en termes d'informations et de fonctionnalités.

Tableau 1: Les besoins en information traduits en fonctionnalités

BESOIN 1 *Centraliser les informations sur les entreprises, les bateaux et les pilotes*

- Offrir une vue d'ensemble et permettre la recherche rapide et multicritères d'informations sur les acteurs du système et mettre à jour leurs détails.

BESOIN 2 *Connaître le profil global de l'activité de chaque acteur (entreprise, bateau ou pilote)*

- Retracer pour chaque acteur son activité globale (rendement) et sélectionner pour une période et une zone données les excursions et les activités individuelles qui sont liées à un ou plusieurs acteurs.

BESOIN 3 *Visualiser le trajet du bateau lors d'une excursion et le trajet lors d'une activité d'observation*

- Reproduire graphiquement la trajectoire des différents déplacements individuels.

BESOIN 4 *Dresser le bilan des activités au cours d'une excursion*

- Pouvoir sélectionner une excursion pour accéder aux informations sur les différentes étapes de l'itinéraire (l'enchaînement des activités liées à une excursion ou un groupe choisi d'excursions).

BESOIN 5 *Caractériser les comportements de déplacements du pilote au cours de l'excursion et au cours de l'observation de mammifères marins*

- Pouvoir analyser la nature physique et spatiotemporelle des déplacements.

BESOIN 6 *Cartographier l'environnement du parc en particulier les attractions touristiques autres que les mammifères marins (les attractions fixes)*

- Créer des cartes du parc pour replacer les excursions et les activités dans les contextes touristique, géographique et environnemental.

BESOIN 7 *Réutiliser les données des suivis*

- Éviter d'imposer une collecte de données parallèle à celle des suivis.

Chaque point de la liste peut être compris comme une future « fonctionnalité » du SIG. Certaines touchent à la nécessité de rassembler et homogénéiser des données disparates, d'autres permettraient d'évaluer la mise en pratique par les pilotes des codes de conduites, d'autres encore serviraient à enrichir les connaissances sur la « performance » des acteurs (entreprises, bateaux, pilotes) ou bien sur l'évolution du système des activités d'observation pour compléter les analyses scientifiques du GREMM.

À un autre niveau, il est apparu souhaitable que le SIG utilise les données des suivis réalisés par le GREMM, qui applique une méthodologie d'échantillonnage efficace déjà rodée. On désire ainsi éviter, avec la « nouvelle » base de données qu'exploitera le SIG, d'imposer une collecte de données totalement différentes de celle des suivis pour alimenter le système d'information.

Du point de vue de la conceptualisation, la lecture des besoins permet d'identifier les éléments au « centre » du modèle. Ainsi, nous trouvons d'abord l'acteur, c'est-à-dire l'individu humain et son contexte professionnel (le pilote, employé d'une entreprise, aux commandes d'un bateau). À ce niveau, on cherche à connaître par exemple les habitudes de conduite ou les caractéristiques des bateaux utilisés, et pour le pilote lui-même, le succès de ses recherches d'animaux et son respect des codes, et pour l'entreprise, sa flotte de bateaux

et le succès de la formation des pilotes sur le règlement. Un autre élément clé est le déplacement réalisé (lié à une excursion ou une activité). L'analyse ici porterait, d'une part, sur leurs caractéristiques physiques (vitesse, accélération, sinuosité), spatiales (lieu et situation de sa réalisation) et temporelles (date et heure, durée). D'autre part, pour chaque déplacement, on doit être en mesure d'en connaître le but, c'est-à-dire, l'activité pour laquelle il a été réalisé. De plus, autant pour l'excursion que l'activité d'observation, il faut pouvoir visualiser, donc le représenter graphiquement et caractériser le trajet qui y est lié, thématiquement et physiquement. Finalement, un dernier élément important est l'environnement : les déplacements doivent être replacés dans le contexte géographique, tant humain (quais d'embarcation, attractions culturelles) que naturel (zones navigables, attractions naturelles). Ces fonctionnalités qui découlent des besoins des futurs utilisateurs du SIG sont à la base des principaux éléments que notre modèle de données doit reproduire.

2.2 Cadre théorique : la géographie temporelle

La littérature scientifique couvrant le domaine de la géographie temporelle (*Time Geography* en anglais) s'accorde sur le fait que ce sont les travaux novateurs de Thorsten Hägerstrand et de son équipe de l'Université de Lund en Suède qui ont posé, dans les années 1970, les premières bases théoriques de cette branche de la géographie (Miller, 2004). À ses débuts, ce que nous nommons aujourd'hui la géographie temporelle avait été imaginée et développée en réaction à l'utilisation de méthodes erronées ou archaïques dans le domaine de la prédiction de la demande de transport, prédiction destinée à la planification des réseaux routiers en milieu urbain (Pred, 1977). Bien que la prédiction de la demande en transport urbain semble loin du sujet qui nous intéresse, les concepts proposés alors par l'équipe de Hägerstrand pour remplacer une vision inefficace du déplacement, sont directement applicables à la représentation et à l'analyse du déplacement des bateaux d'observation.

Les modèles de la demande en transport ont été développés vers la fin des années 1950. Leur but était de faciliter la prédiction de la demande future en transport et donc de permettre une meilleure planification d'un réseau routier en fonction de ces prévisions. Ces premiers modèles sont compris comme des modèles à quatre étapes (« Four-step models », McNally, 2004), basés sur des données de fréquence d'utilisation des tronçons du réseau routier. Ils ont été conçus et calibrés pour permettre une analyse à un niveau dit « agrégé », sous forme de « zones de trafic » : l'individu se déplaçant est associé à une zone et son déplacement est agrégé (additionné) à ceux des autres individus de la zone (Axhausen et Gärling, 1992). En d'autres mots, le territoire est divisé en zones qui prennent des valeurs correspondant à une sorte de potentiel de transport (effectif ou réalisable) estimé par calcul statistique du volume des déplacements. Cette analyse dite 'agrégée' de la demande en transport est à la base de la planification du réseau routier qui a plongé de nombreux centres urbains dans les problèmes de congestion bien connus actuellement (Kunstler, 1993). L'approche agrégée, largement utilisée depuis les années 1960 pour les plans de gestion et les investissements en infrastructure de transport, souffre d'une lacune importante. Étant donnée qu'elle s'applique à une échelle régionale et à un niveau zonal, elle ne prend aucunement en considération le comportement individuel de l'utilisateur du réseau routier, ce qui limite considérablement la fiabilité de la prédiction de la demande (Axhausen, 2000).

En conséquence, au cours des années 1970 et 1980, avec les travaux de Hägerstrand et de Lennrop sur le transport en milieu urbain, cette approche inadéquate a été progressivement remplacée par une approche de modélisation désagrégée du comportement de transport, basée sur l'activité (McNally, 2000). Celle-ci considère la prise de décision individuelle et les choix posés au niveau des individus et des ménages comme l'élément fondamental du déplacement et, plutôt que de fonctionner par agrégations et analyses statistiques, cette approche veut tenir compte de chaque déplacement de chaque entité individuelle (dans le contexte des études du transport en milieu urbain). La prémisse sous-tendant cette approche est que les besoins d'un citadin ou d'un ménage influent directement sur les choix pris au niveau des déplacements réalisés (expliquant le comportement). Les

réalisations des besoins sont alors directement liées aux activités devant être réalisées et c'est le programme d'activité d'un individu qui motive, explique et justifie les déplacements avant, pendant et après la réalisation de chaque activité (Fruhida et al., 2002).

L'idée de Hägerstrand (selon Pred, 1977) sous-tendant l'approche désagrégée est que la reconnaissance des besoins individuels (soit les activités) peut mieux prédire la demande en transport des habitants d'une région urbaine. Par exemple, si l'on notait, pour chacun des ménages d'un quartier, les déplacements faits pour réaliser les activités quotidiennes, on aurait au bout de quelques semaines d'enquête une idée précise, pour chaque ménage, de son patron d'activités et des routes empruntées pour réaliser les programmes quotidiens. Maintenant, si l'on souhaite transformer un tronçon de route en une rue piétonne, les informations de l'enquête permettraient de prédire à quel point les patrons et les routes empruntées seraient modifiées et à quel point ces changements risqueraient, le cas échéant, de congestionner le réseau routier à différents endroits. Pour Pred (1977), cette étude désagrégée interprète une sorte de « chorégraphie » du système de transport des citoyens.

L'utilité, dans notre cas, du modèle désagrégé de prédiction du transport, ne se trouve pas dans leur capacité à prédire une quelconque demande, mais plutôt dans les concepts utilisés par ce modèle (sur lesquels repose la simulation de la prédiction). Aujourd'hui, on reconnaît que les concepts associés à la géographie temporelle sont d'une utilité qui dépasse largement le cadre des modèles de prédiction de la demande de transport en milieu urbain (Miller, 2005). Ces concepts, que nous détaillerons plus loin, gravitent tous, à notre avis, autour de cette idée qui est la trajectoire spatiotemporelle (TST). Comme nous le montrerons, ils revêtent une importance majeure pour notre travail de modélisation du système des AOM, centré sur les excursions de bateaux touristiques.

2.2.1 La trajectoire spatiotemporelle

On peut penser que toute trajectoire, qui par définition représente le chemin parcouru par un objet pendant une période de temps, est par nature spatiotemporelle. C'est

en effet le cas, mais pour la géographie temporelle, la trajectoire spatiotemporelle est une sorte de « métaconcept » qui englobe plusieurs éléments définissant les déplacements associés aux activités d'un individu et qui va donc au-delà de la simple idée du chemin parcouru dans le temps (Khun, 2001).

Un de ces éléments fondamentaux, sous-jacent à la trajectoire spatiotemporelle, est celui de *l'individu* : chaque TST est en soi la représentation d'un déplacement *unique* réalisé par une seule entité individuelle (cette unicité est à la base de l'approche désagrégée imaginée par Hägerstrand). La TST est donc le produit d'un individu. Et à l'idée d'individu est liée celle du *moyen de transport* utilisé pour le déplacement : ce dernier peut être réalisé soit par la marche ou l'utilisation d'un véhicule, motorisé ou non. Un autre élément fondamental de la TST est ce qui motive le déplacement de l'individu, soit les *activités* qu'il s'est fixées et qu'il doit réaliser. Enfin, comme son nom l'indique, la TST est aussi la représentation sensible (visuelle principalement) du déplacement, c'est-à-dire le tracé dans un repère géométrique du *trajet* de l'entité individuelle.

Dans le cadre de notre travail de modélisation, c'est l'excursion qui correspond à une trajectoire spatiotemporelle. L'excursion, comme une TST, ne peut être expliquée si l'on ne tient pas compte du pilote (l'individu), du bateau (le moyen de transport), de l'observation de mammifère marins (l'activité) et de son trajet dans l'espace. L'excursion comprise telle une TST se présente à notre avis comme le point de départ le plus pertinent pour la modélisation des AOM, se trouvant effectivement au centre des besoins des gestionnaires.

À un niveau théorique, pour comprendre l'excursion comme une trajectoire spatiotemporelle, il faut d'abord expliciter sa *finitude*. Bien qu'elle puisse en principe représenter le déplacement d'un individu pendant toute sa vie, on réduit normalement la portée d'une TST à un élément de la vie de l'individu qui se répète (ou se produit régulièrement) et lui impose de se déplacer et qui présente des limites claires, ou du moins pas trop arbitraires, dans le *temps* et l'*espace* (Pred, 1977). L'unité temporelle

régulièrement choisie dans le contexte des études du transport en milieu urbain est la journée; l'unité spatiale est le plus souvent l'étendue de la ville (Wang et Chen, 2001; Yu et Shaw, 2004). Dans notre cas, la finitude d'une excursion est définie à partir du temps qu'elle prend pour être complétée (quelques heures) et de l'espace qu'elle a couvert dans la région du PMSSL.

La trajectoire spatiotemporelle occupe effectivement l'espace (X, Y) et le temps (T) et ces trois dimensions une fois associées forment le *cube d'espace-temps* (« space-time aquarium » selon Kwan et Lee, 2004). Ce cube représente tous les endroits et moments que peut visiter un individu en fonction des contraintes qui lui sont directement ou indirectement associées. Par exemple, une même personne a un cube spatiotemporel de taille différente selon le moyen de transport qu'elle utilise : en voiture, elle pourra parcourir de plus longues distances que si elle était à pied; les deux cubes possibles auront donc un volume spatiotemporel différent.

En plus du cube, la géographie temporelle définit trois types de *contraintes* théoriques qui explicitent encore davantage la finitude d'une TST (Pred, 1977; Buliung, 2005). Ces contraintes dictent non seulement les limites théoriques du cube, mais aussi les conditions dans lesquelles la trajectoire peut progresser à l'intérieur de ce cube.

Un premier type de contraintes sont les contraintes dites de *potentiel* (« capability constraints »). Ces contraintes sont propres à l'individu qui désire réaliser une activité. Celui-ci, par ses acquis (prédispositions) physiques, mentaux ou matériels, possède un certain potentiel ou une capacité à réaliser l'activité. Par exemple, un jeune pilote de bateau, limité par son inexpérience, prendra vraisemblablement plus de temps pour trouver une baleine et risquera de circuler loin des zones marines fréquentées par les animaux. Ou encore, une contrainte de potentiel peut être le type d'embarcation utilisée. Un grand bateau lent ne pourra pas autant s'éloigner du port d'embarquement qu'un petit bateau rapide dans la même période de temps.

Un deuxième type de contraintes sont les contraintes dites d'*association* (« coupling constraint »). Les contraintes d'association précisent *quand, où et pendant combien de temps?* (« Where, when, and for how long? », Miller, 2005b) l'individu *se doit* d'interagir avec d'autres individus (ou des éléments de l'environnement) dans le but de produire, d'échanger ou de consommer. Comme l'individu dans notre cas est un pilote professionnel aux commandes d'un bateau, les contraintes d'association sont dictées par le devoir professionnel (tel un chauffeur de bus). Ainsi, par exemple, une contrainte d'association est l'embarquement de passagers et le passage obligatoire au quai d'un port.

Un troisième type de contraintes sont les contraintes dites d'*autorité* (« authority constraints »). Ces contraintes contrôlent l'accès individuel à des domaines spatiotemporels particuliers (des sections du cube). Elles régissent l'accessibilité et la nature du déplacement dans certaines zones spatiotemporelles. Les codes de conduites dictés par la réglementation sont un exemple de types de contraintes d'activités.

Les contraintes déterminent le volume et la forme du cube d'abord, puis de la trajectoire. La plupart des contraintes sont déduites lors de l'analyse des différents éléments de la TST (en particulier l'activité), ou des interactions qui existent entre les éléments du système dans lequel se réalise la TST (Wu et al., 2001). Identifier et étudier les différentes contraintes en début d'analyse assure la prise en compte d'informations cruciales pour la bonne compréhension du phénomène du déplacement (Khun, 2001). Ainsi, en considérant l'excursion comme une TST, il nous est possible dès maintenant de réfléchir aux limites de son cube et aux conditions de sa réalisation : les éléments qui pourront être identifiés seront alors retenus dans notre modèle.

2.2.2 La réalisation d'une activité

Nous venons de nommer les principales composantes d'une trajectoire spatiotemporelle et nous avons décrit les caractéristiques du substrat dans lequel celle-ci peut exister. Il nous faut maintenant parler de la composante la plus importante de la trajectoire spatiotemporelle : l'activité.

Toute la pertinence du concept de la TST repose en fait sur sa capacité à intégrer l'idée de la motivation du déplacement; et concrètement, c'est le besoin de réaliser une activité qui motive l'individu à se déplacer (Axhausen et Gärling, 1992). Nous allons voir que l'excursion, en tant que trajectoire spatiotemporelle, peut être comprise comme une série ordonnée de déplacements s'enchaînant dans l'espace et le temps, et que chacun de ces déplacements représente la réalisation d'une activité. En d'autres mots, l'excursion d'un pilote à la barre du bateau est en soi une suite de déplacements s'enchaînant, au cours desquels le pilote réalise chaque fois une activité (Figure 1).

À première vue, la TST pourrait être considérée comme une activité en tant que telle : en effet, réaliser l'excursion est la mission première du pilote. Mais ce qui différencie une TST proprement dite d'une activité au sens strict est le fait que la TST relie des activités entre elles (elle est composée d'activités), et que l'activité ne peut être subdivisée en d'autres activités (McNally, 2000). Dans notre modèle des AOM, nous devons donc faire la distinction entre les entités 'excursion' et 'activité' (ces dernières faisant référence aux déplacements se réalisant au cours de l'excursion). Néanmoins, il reste que ces deux entités sont une sorte de déplacement et partagent donc des caractéristiques communes. Le déplacement se faisant dans un cube spatiotemporel, il est défini par un point aux coordonnées XYT de début et un point XYT de fin. La trajectoire de l'excursion étant composée des trajets des activités réalisées au cours de celle-ci, l'heure et la position de début de la première activité seront aussi l'heure et la position de départ de l'excursion, tout comme l'heure et la position de fin de la dernière activité marqueront la fin de l'excursion. La durée et la longueur d'une excursion seront alors la somme des durées et des longueurs des déplacements liés à chacune des activités réalisées pendant l'excursion.

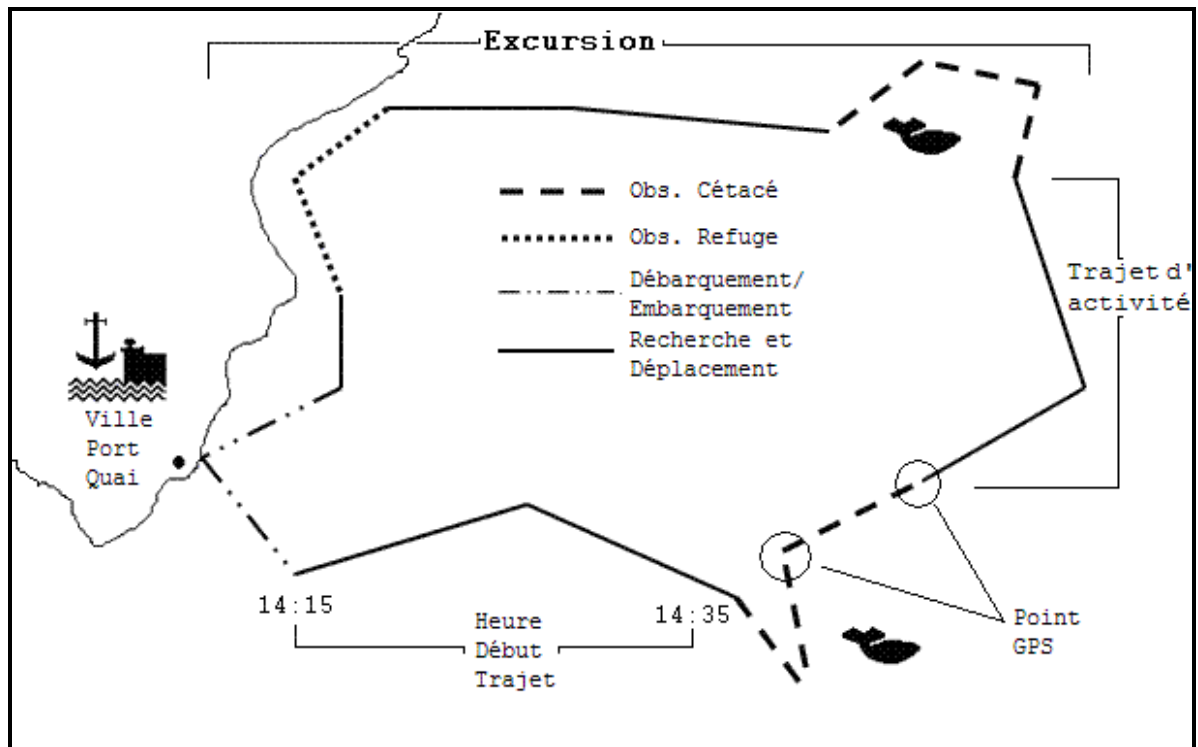


Figure 1: Schéma conceptuel de l'excursion en tant que chaîne d'activités

La réalisation d'une activité ne peut être entièrement décrite sans tenir compte du lieu d'activité. Les lieux d'activités peuvent être de deux types. Il existe les lieux d'activité dits fixes, ou *stations*, et les lieux d'activité dits flexibles, ou *domaines* (Pred, 1977; Kwan et Lee, 2004). Parmi les différents types d'activités que réalise le pilote au cours d'une excursion, certaines activités se déroulent en des lieux fixes, c'est-à-dire quand le bateau est immobile, comme par exemple lors de l'embarcation de passagers au quai d'un port; les autres activités au cours de l'excursion se déroulent en des lieux flexibles. Les activités d'observation de cétacés se définissent, entre autres, par des lieux flexibles : elles ne se produisent pas toujours aux mêmes endroits, l'observateur et l'observé sont en mouvement constant, certes à très basse vitesse, et le lieu d'observation est lui-même en mouvement (engendré par le courant marin et le déplacement de l'attraction).

Dans les deux figures présentées ci-après, nous avons dessiné une TST avec des activités à lieux fixes et à lieux flexibles (Figure 2) et une TST avec des activités à lieux flexibles uniquement (Figure 3).

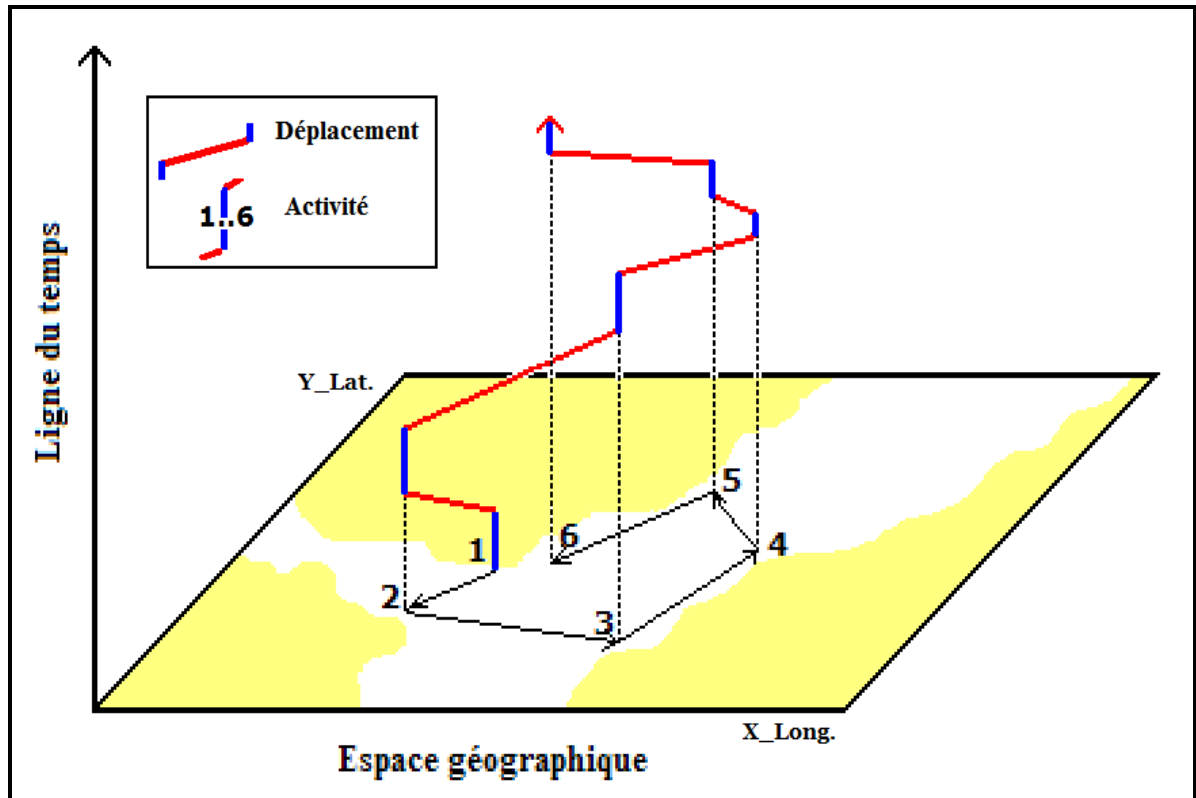


Figure 2: Une trajectoire spatiotemporelle avec des lieux d'activités fixes

La Figure 2 illustre le cas hypothétique le plus couramment présenté dans la littérature. Les activités se déroulent en des lieux fixes, et les déplacements entre ces lieux sont considérés comme tels, sans y rattacher d'activité particulière. Dans un cas comme celui de l'excursion d'un bateau, où toute activité est obligatoirement liée à un déplacement (le bateau n'est jamais vraiment immobile et il ne se déplace jamais pour rien), une excursion (qui commence quand le bateau quitte le port) représentée en trois dimensions telle une TST ne présentera jamais des segments de son trajet parfaitement parallèle à l'axe du temps (Figure 3).

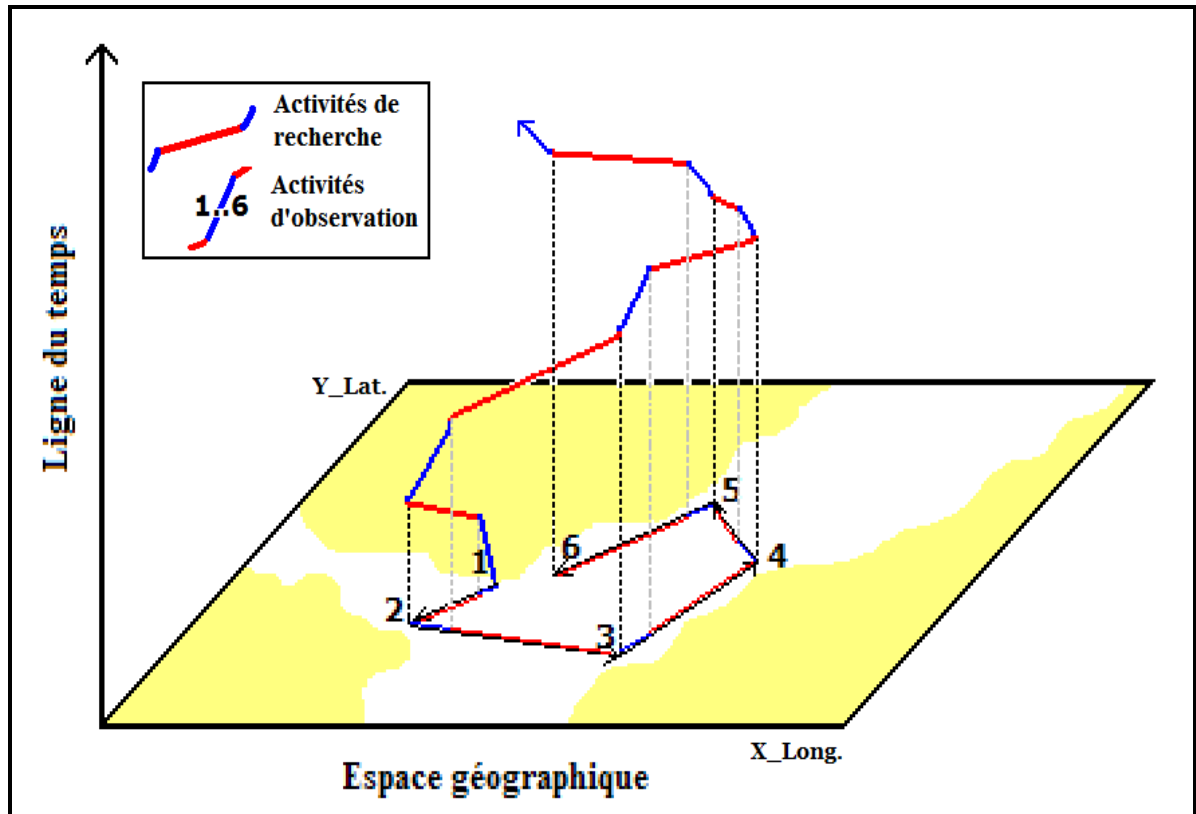


Figure 3: Une trajectoire spatiotemporelle avec des lieux flexibles d'activités

La représentation graphique d'une TST, qui inclut obligatoirement celle des activités, dans un repère 2D + T (Longitude / Latitude et temps relatif), permet une lecture de l'enchaînement des activités. Les points d'inflexion dans le tracé symbolisent ici un changement arbitraire d'activité tandis que la pente et la longueur des segments ainsi distingués permettent de caractériser la nature de l'activité (Tableau 2).

Tableau 2: Lecture des segments d'une trajectoire spatiotemporelle

			Longueur géométrique du segment	
			Courte	Longue
Pente vers...	tend	0	Petite distance parcourue en très peu de temps (un sprint de 100 m)	Grande distance parcourue en très peu de temps (le projectile d'une arme)
		1	Quasi stationnaire pendant un court moment (un autobus à un arrêt)	Quasi stationnaire pendant un long moment (une séance de shopping dans un centre d'achat)

Néanmoins, quand on omet les couleurs sur les deux TST dessinées plus haut, il n'est pas possible de distinguer le but des activités représentées par les différents segments. Pour combler cette carence en information, l'activité doit être caractérisée par type afin d'indiquer le but de celle-ci. En fait, la littérature à ce sujet donne des définitions concrètes des différents éléments qui servent à caractériser l'activité (tels que précisées dans Pred, 1997; Axhausen et Gärling, 1992; Khun, 2001; ou encore Miller, 2005b).

Ici entre en jeu la notion de *programme spatiotemporel*. Le programme est l'énumération (textuelle) des différentes activités qu'un individu prévoit exécuter dans le cadre d'une TST : il correspond à l'ordonnement des activités dans le temps selon une logique propre aux besoins de l'individu. Le programme énumère donc les activités à faire et par là en précise le type (ou le but) et peut en indiquer en plus les heures et les lieux à visiter pour les réaliser (quoi, où et à quel moment, tel que le montrent Wang et Chen, 2001). Une excursion est le résultat de l'exécution d'un programme spatiotemporel. En tant que tel, le programme décrit ce qui est prévu par l'individu au début de son déplacement. À titre d'illustration, le programme prévu par une entreprise pour ses excursions pourrait être le suivant : embarquement de passagers, *puis* recherche de baleines, *puis* observation de baleines et *une heure avant* le débarquement, longer la côte pour l'observation des falaises de granite.

Mais dans notre cas particulier, le programme, une fois suivi, est souvent différent de celui prévu initialement, notamment au niveau des lieux visités et des heures de début et de fin des activités (les baleines se déplaçant constamment, apparaissant sporadiquement à la surface de l'eau). Ainsi nous appelons *itinéraire* le programme réellement suivi. En étudiant le programme d'un pilote, on peut comprendre l'ordre et le but des activités qu'il prévoit faire. Avec l'itinéraire, on confirme cet ordre dans le temps et l'espace et le type exact des activités réalisées.

La logique du programme (ce qui était prévu avant l'excursion) ou de l'itinéraire (ce qui s'est finalement fait), incorpore la notion d'*horaire* (« activity schedule », Axhausen,

2000). Dans le cas des AOM, deux types d'horaires existent. L'un est hebdomadaire : élaboré par l'entreprise, pouvant changer sans préavis, il organise les excursions pour chaque jour de la semaine. C'est l'horaire que nous trouvons souvent sur les sites Internet des entreprises d'excursions pour informer les touristes des départs d'excursions. Un autre horaire est celui qui est rattaché au programme ou à l'itinéraire de l'excursion. L'horaire correspond à la suite ordonnée des heures prévues ou réelles (dans le cas de l'itinéraire) de début des activités. Au sein d'une TST, c'est grâce à l'horaire réel que l'on peut extraire les heures de début et de fin de chaque activité et en calculer la durée.

À l'idée de l'itinéraire est associée aussi la notion de *trajet* : la réalisation d'une activité se faisant non seulement dans le temps, mais aussi dans l'espace. Essentiellement, le trajet correspond au tracé du déplacement réalisé dans le cadre d'une activité (les différents segments distinguables, voir Figures 2 et 3). Le trajet d'une TST est la somme des trajets des activités qui la composent. La notion de trajet rejoint finalement celle du lieu flexible de l'activité. Finalement, ce que nous enseigne le programme, et surtout l'itinéraire avec son horaire et son trajet, est le fait que la TST est une suite continue d'activités qui s'enchaînent, et dont la durée et la longueur sont les sommes de celles des activités qui la composent.

Sous un autre angle, il existe des activités ayant un plan de réalisation bien défini (une sorte de programme pour l'activité même). Celles-ci doivent être réalisées en suivant une suite prédéterminée d'actions : on parle alors d'*activité planifiée* (« goal-directed activity », Buliung, 2005). Cette notion rejoint l'idée de contrainte et l'exemple parfait d'un tel plan sont les codes de conduites du règlement : ces derniers dictent les durées et les distances que le pilote doit respecter lorsqu'il réalise une activité d'observation. Les codes de conduite sont donc non seulement une série de contraintes d'autorité mais ils imposent aussi le plan de réalisation d'une activité d'observation de mammifères marins.

À un autre niveau encore, celui de l'agrégation des activités individuelles, l'activité est associée à la notion de faisceau. Un *faisceau* d'activité désigne la réunion, dans un

espace et dans un temps très rapprochés, des activités de même nature réalisées au cours de plusieurs trajectoires spatiotemporelles quasi simultanées (concept appliqué par Yanagisawa et al., 2003). En fait, l'émergence d'un faisceau permet d'identifier un lieu d'activité très achalandé ou un lieu visité par habitude (ou par devoir). Un faisceau se crée lorsque plusieurs individus, dans l'exécution de leurs tâches, se retrouvent au même endroit (zone/lieu) au même moment/période, et se défait un peu plus tard, lorsque les individus se séparent. Cette notion de faisceau d'activités permet d'identifier les aires où se concentrent spatialement et en fonction du temps les bateaux d'observation. Par exemple, les travaux du GREMM ont permis d'identifier des Zones d'utilisation intensives (ZUI) grâce aux données des suivis que nous utiliserons pour reproduire les excursions. Le faisceau permet de trouver ces lieux tout au long d'une journée; par exemple : en début de journée les TST des habitants d'un quartier se regroupent en un faisceau au-dessus de l'emplacement d'un Tim Horton, et en soirée un autre, au-dessus d'un cinéma. L'analyse d'une représentation en trois dimensions permet en plus d'extraire un profil des durées des activités réalisées au lieu précis « au-dessus » duquel émerge un faisceau (Pred, 1977).

De plus, sur une base individuelle, le faisceau correspond au patron de déplacement d'un pilote en particulier : il nous donne donc de l'information sur les habitudes de navigation d'un pilote car il est établi à partir d'une grande quantité de TST de ce pilote. Les faisceaux qui apparaissent lorsque l'on reproduit toutes les TST d'un individu marquent les lieux et les heures de fréquentation habituelle. Cela donne une idée précise de ce qu'on appelle un *patron d'activité individuel* (McNally, 2000; Buliung, 2005).

Enfin, l'ensemble des activités d'observation dans le parc et leur réalisation au cours du temps peuvent être considérés comme un *système* d'activité. Ce système regroupe tous les éléments individuels qui jouent un rôle au niveau de l'exécution des activités d'observation. L'évolution et l'interaction de ces éléments constitutifs vont donc décider du devenir du système. La géographie temporelle permet ainsi de parler de système d'activités, et par là de relier les concepts que nous venons de décrire à ceux de la théorie des systèmes (Pred, 1977).

Le Tableau 3 récapitule les différents concepts décrits, en associant le plus possible ces concepts à des exemples tirés de notre cas d'étude.

Tableau 3: Les concepts retenus de la géographie temporelle

Concepts	Définitions	Exemples
<i>Trajectoire spatiotemporelle</i>	Le déplacement d'un individu motivé par les activités à réaliser	L'excursion
<i>Cube spatiotemporel</i>	Le substrat dans lequel est réalisée la TST	La région du parc pendant chaque saison touristique
<i>Contrainte d'autorité</i>	Interdictions et permissions	Les codes de conduites du règlement, l'environnement physique
<i>Contrainte d'association</i>	Oblige l'interaction	L'embarquement et le débarquement
<i>Contrainte de potentiel</i>	Les capacités individuelles de l'entité	La taille du bateau, l'âge du capitaine
<i>Moyen de transport</i>	Mode utilisé pour le déplacement	Le bateau
<i>Activité</i>	L'action principale réalisée à un endroit. Définie par un début, une fin, un trajet (ou lieu) et un type.	L'observation de mammifères marins
<i>Lieu d'activité</i>	Endroit où se réalise l'activité	La présence d'un bateau à moins de 400 m d'un mammifère marin
<i>Type d'activité</i>	Classification qui permet de distinguer les activités ayant des buts différents	L'observation d'une espèce spécifique
<i>Projet</i>	Programme d'activités à réaliser	La série d'activités prévues d'un circuit
<i>Itinéraire</i>	La série des lieux ou des trajets d'activités réalisées	L'excursion dans ses dimensions spatiales
<i>Horaire</i>	La série des heures de début des activités réalisées	L'ordre temporel des activités de l'excursion
<i>Trajet</i>	Le chemin parcouru pendant une activité ou une excursion	
<i>Journal</i>	La liste détaillée des activités réalisées au cours de la TST combinant les informations de l'itinéraire et de l'horaire	L'enquête Origine-Destination
<i>Faisceau</i>	Le goulot d'étranglement où se concentrent dans le temps et l'espace des segments de différentes TST	Les zones d'utilisation intensive
<i>Patron</i>	Agrégation de toutes les TST d'un individu ou d'un groupe d'individus	Les habitudes de conduite d'un pilote

L'ensemble des concepts de la géographie temporelle nous permet d'appréhender correctement l'excursion et l'activité d'observation, au travers d'éléments qui sont à la base de l'analyse souhaitée par les futurs utilisateurs (cf. Tableau 1). Néanmoins, les éléments que nous venons de voir ne nous permettent pas de reproduire l'excursion au niveau informatique, dans un SIG, ni d'en étudier les comportements de déplacement. Nous

devons pour cela nous pencher sur les modèles d'objets mobiles élaborés en géomatique. Nous verrons la forte compatibilité entre les concepts développés en géographie temporelle et ceux en géomatique, ces derniers permettant de traduire les premiers en des termes informatiques.

2.2.3 Les comportements de déplacement d'un objet mobile

Il existe de nombreux modèles de données théoriques en géomatique qui appréhendent les dimensions temporelle et spatiale : ce sont les modèles de données spatiotemporels qui touchent à une multitude de différents phénomènes qui demandent pour leur étude une représentation du temps et de l'espace (Abraham et Roddick, 1999; Pelekis et al., 2004). Le modèle de l'objet mobile est en géomatique le cadre théorique destiné à interpréter et interroger les déplacements d'un objet en mouvement. On peut distinguer deux grands types d'applications qui utilisent les trajectoires d'objets mobiles (du Mouza, 2000). Le premier type s'intéresse principalement à l'analyse des trajectoires décrivant l'historique du mouvement pendant une période de temps arbitraire. Le but est ici de comprendre comment l'objet s'est déplacé et quels endroits ont été visités. Cela requiert une connaissance de la trajectoire complète des objets, enregistrée et affichée dans un système de gestion de données pour l'analyse, et laisse supposer que l'on interroge en fait le passé (les mouvements ayant été enregistrés et stockés au fur et à mesure). Le second type d'applications est davantage orienté vers l'enregistrement en temps réel du déplacement d'entités mobiles (utilisé dans le domaine des « location-based services »). Dans un tel cas, on cherche à prévoir, à partir du comportement de déplacement du passé immédiat, la trajectoire future de l'objet, plutôt qu'à faire une analyse a posteriori des comportements. C'est le premier type d'application qui nous concerne directement.

Par comportements de déplacements, nous entendons la manière dont s'est déplacé le bateau, autrement dit, la façon dont le pilote a conduit le bateau au cours de l'excursion, lors de chaque activité. Nous voulons montrer ici que la trajectoire spatiotemporelle représentée sous forme d'une série de points aux coordonnées XYT permet l'extraction

d'un grand nombre d'informations sur les comportements de déplacement d'une entité individuelle. Ces données sur le déplacement sont davantage quantitatives que qualitatives, contrairement à celle que l'on peut seulement extraire visuellement de la lecture d'une TST sous forme de ligne continue (cf. Figures 2 et 3) : elles ajoutent des informations qui ne sont pas directement appréhendées par les concepts de la géographie temporelle.

Basée sur l'idée que c'est la position de l'entité qui change au cours du temps, le modèle des objets mobiles est conçu pour l'analyse des positions passée, présente et future d'un objet (ponctuel ou à contours) qui se déplace (Güting et al., 2000). La série des positions dans le temps, issue de l'enregistrement des coordonnées spatiales, par exemple au moyen d'un capteur GPS, à des instants réguliers dans le temps, donne la trajectoire ponctuelle de l'objet en mouvement. Pour nous, l'objet mobile représente l'entité individuelle dont le déplacement est dicté par l'activité, et la trajectoire ponctuelle liée au déplacement de cet objet est la représentation élémentaire du trajet de la TST.

La donnée de base d'un GPS est numérique mais de format textuel. Elle fournit trois informations fondamentales : la coordonnée longitudinale, la coordonnée latitudinale et l'heure et la date à laquelle ces coordonnées de position ont été enregistrées. Lorsque l'on enregistre ces données en mode continu pour avoir la série de points qui reproduit le trajet, on parle de « tracking ». À partir des données de base fournies par le GPS, il est possible d'extraire un certain nombre d'autres informations sur les comportements de déplacements.

Le temps qui s'écoule entre deux enregistrements consécutifs est la *cadence*. C'est une mesure que l'on spécifie au niveau du GPS en mode « tracking » : elle peut varier de la seconde à l'heure, d'une journée au mois; le choix de la cadence dépend généralement du type d'objet mobile dont on veut connaître la trajectoire réalisée. La cadence est un élément crucial qui justifie la pertinence ou non de l'utilisation de données d'un tracking. Si la fréquence d'enregistrement est trop espacée dans le temps, on risque de perdre de précieuses informations sur les comportements de déplacements et, si elle est trop courte, on aura un surplus de données ponctuelles qui encombreront la base de données. Ainsi,

pour éviter cela, la cadence d'enregistrement doit être accordée en fonction de l'objet suivi et des comportements que l'on veut extraire des données. La Figure 4 illustre une trajectoire formée par des points pris aux 10 minutes et à la minute. On constate que la trajectoire peut être très différente en fonction de la cadence d'enregistrement.

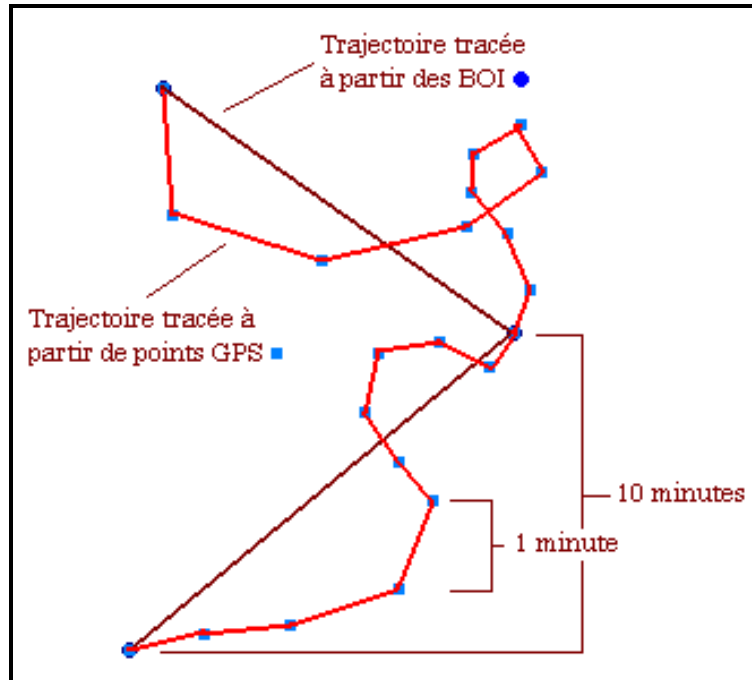


Figure 4: L'impact de la cadence d'enregistrement sur la forme du trajet

Comme on connaît la cadence d'enregistrement, la *durée* d'un tronçon de trajectoire peut être déterminée par le nombre de points que contient ce trajet. Cela donne une durée dans la même unité de mesure que celle de la cadence. Avec cette méthode, la durée est équivalente au nombre de points auquel on soustrait 1. Par exemple, si un trajet contient 16 points enregistrés toutes les deux minutes, le trajet aura une durée de 30 minutes. En considérant que la trajectoire de l'excursion est représentée par une série de points GPS, le premier point de cette série indique l'endroit et l'heure de départ et le dernier, l'endroit et l'heure d'arrivée. On peut alors calculer la durée d'une deuxième façon, en soustrayant l'heure de début de l'heure de fin du trajet, pour avoir la durée en heures, minutes, et secondes.

La *longueur* d'une excursion ou d'une activité peut être estimée en additionnant les distances entre chaque point consécutif de la série. Cette longueur de segment est désignée comme la *distance du pas* (le « steplength », Figure 5).

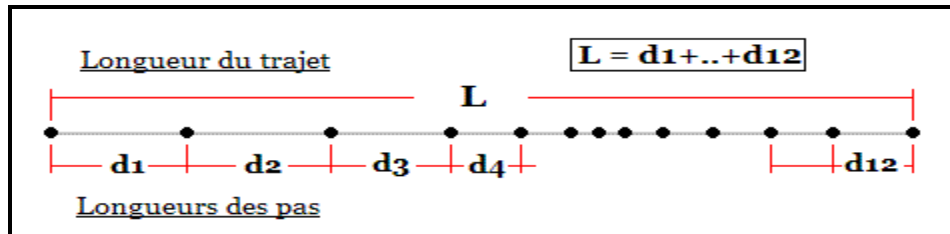


Figure 5: Calcul de la longueur d'un trajet

La *vitesse* en un point est toujours une moyenne estimée à partir de deux points, l'un pris avant et l'autre après le point en question. La distance entre ces deux points est divisée par le temps qu'a pris l'objet pour traverser cette distance. Avec le GPS, la vitesse associée à un point correspond en fait à la vitesse au point situé exactement au milieu du trait tracé entre le point dont on veut connaître la vitesse et le point suivant. Cela est dû au fait que cette vitesse est calculée avec la distance du pas, mentionnée ci-devant. Avec les vitesses ponctuelles, il est possible de connaître la *variation de la vitesse* pour un segment du trajet, en divisant l'écart-type de la moyenne des valeurs des vitesses aux points du segment de trajectoire choisi, par la moyenne de ces valeurs. Visuellement, cette variation de vitesse se constate en comparant les distances des pas (on peut voir dans la Figure 5 que l'objet mobile a décéléré puis accéléré, si l'on lit les points noirs de gauche à droite).

Normalement, une donnée GPS, si elle fait partie d'une série de points consécutifs, contiendra aussi de l'information sur la *direction* du segment qui joint un point au suivant. La direction (« bearing ») est calculée à partir du nord géographique : c'est une valeur toujours positive qui va de 0 à 359°. Une autre donnée qui peut être ajoutée aux points de la trajectoire est l'*angle de déviation* (« turnangle »). Ce dernier, pour un point donné, correspond à la différence de la direction en ce point et de la direction au point précédent. L'angle de déviation a une valeur entre 0 et 180, et peut être aussi bien négatif (mouvement

lévogyre) que positif (mouvement dextrogyre)⁶. L'angle de déviation, qui doit être calculé à l'aide d'au moins trois points, ne peut pas être calculé pour les points qui forment le début ou la fin d'un trajet. La Figure 6 illustre la différence entre la direction et l'angle de déviation.

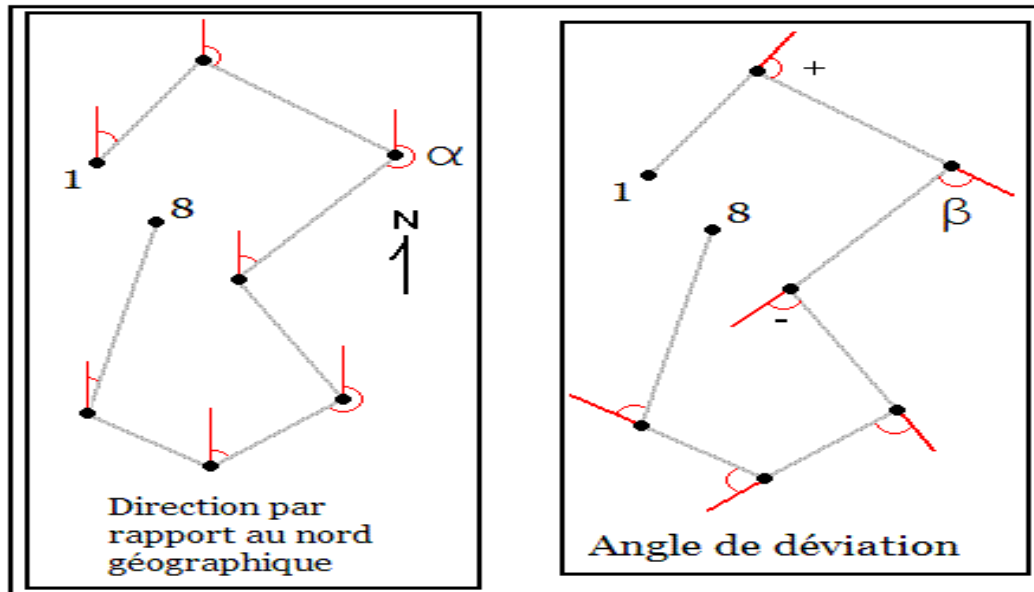


Figure 6: Différence entre la direction et l'angle de déviation

Le *changement de direction* entre deux points consécutifs est donc la valeur (absolue) de l'angle de déviation. Pour un trajet, la différence entre la direction du premier segment (associé au premier point du trajet) et la direction du dernier segment sert à donner une idée du changement général de direction en bout de trajet. On peut aussi calculer la moyenne des valeurs absolues de tous les angles de déviations pour caractériser le changement de direction au cours du trajet (angle de déviation absolu). Un autre moyen est de calculer le coefficient de variation des déviations pour quantifier l'importance des changements de direction (le rapport de l'écart-type de la moyenne des angles de déviation sur la moyenne des angles) au cours d'un trajet d'une activité.

⁶ Cette valeur peut varier de 0 à 180 degrés et prend un signe négatif si le changement de direction s'est fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport à l'orientation du segment précédent.

Un dernier élément d'information que l'on peut extraire d'une trajectoire en points est la sinuosité. Il existe plusieurs façons de calculer la sinuosité. Un premier calcul de sinuosité est la division de la longueur totale du trajet par la distance qui sépare le premier point du dernier de la série. Plus la valeur de ce calcul s'approche de 1, moins le trajet est sinueux. On parle de sinuosité métrique (Beyer, 2004). Les autres types de sinuosité se basent sur la dimension fractale du trajet. Un calcul de la sinuosité tient compte du nombre de segments linéaires que contient le trajet, de la longueur totale de ce dernier, et de la distance qui sépare le premier point du dernier (la sinuosité fractale selon Beyer, 2004). Les deux autres manières de calculer la sinuosité sont directement tirées du domaine de la biologie qui étudie les déplacements des animaux : ce sont des modèles de « non-scalar movement patterns » qui utilisent la dimension fractale. Il y a le modèle connu comme le « first order correlated random walk » (Socha et Zemeck, 2003). Ce modèle est un index spatial qui estime la tortuosité d'un trajet en fonction de la quantité de tournants aléatoires associés à une longueur de trajet donnée. Il y a aussi le modèle du « directed walk » (Nams, 1996) qui considère la sinuosité d'un trajet lorsque l'entité en mouvement se dirige vers un point spécifique de l'espace et qu'elle connaît les obstacles se situant sur son chemin (le déplacement a donc un but et n'est pas complètement aléatoire comme le sous-entend le premier modèle).

Les principales informations sur le déplacement pouvant être extraites d'une trajectoire ponctuelle que nous avons décrite plus haut sont reprises dans le Tableau 4.

Tableau 4: Description des paramètres d'analyse de trajectoires ponctuelles

Paramètres	Définition	Formule	Unité de mesures
<i>Série, trajet, trajectoire ponctuelle</i>	Série de points consécutifs	NP (Nombre de points)	
<i>Cadence d'enregistrement</i>	Temps entre deux points consécutifs	Cad (valeur fixe)	Minute (min)
<i>Distance du pas</i>	Distance qui sépare deux points consécutifs	L_{PAS}	Mètre (m)
<i>Durée du trajet</i>	Temps écoulé entre le début et la fin du trajet	$T_{TOT} = [Cad * (NP - 1)]$	Minute
<i>Longueur du trajet</i>	Distance parcourue entre le début et la fin	$L_{TOT} = \sum L_{PAS}$	Mètre
<i>Vitesse</i>	Vitesse moyenne d'un segment du trajet	$V = L_{PAS} / Cad$	m/min
<i>Changement de vitesse</i>	Coefficient de variation de la vitesse au cours d'un trajet (utilisé comme un index)	$V_{VAR} = V_{ET} / V_{MOY}$	
<i>Direction</i>	Sens que prend le vecteur par rapport au nord géographique	Dir	Degré
<i>Angle de déviation</i>	Différence entre la direction actuelle et la direction précédente	$Dev = (Dir\ actuelle - Dir\ précédente)$	Degré
<i>Changement de direction</i>	Coefficient de variation de l'angle de déviation au cours du trajet (utilisé comme un index)	$Dev_{VAR} = Dev_{ET} / Dev_{MOY}$	
<i>Sinuosité métrique</i>	Longueur du trajet sur la longueur la plus courte qui rejoint les points de début et de fin (utilisée comme un index)	$SL = (L_{tot} / L_{Net})$	

La raison qui nous pousse à adopter la représentation ponctuelle de la trajectoire spatiotemporelle est le fait que le GPS constitue le seul moyen d'acquérir des données sur le déplacement réalisé par le bateau. Le GPS est un moyen très fiable pour acquérir les informations sur la trajectoire. La trajectoire est alors reproduite par des données ponctuelles en une série ordonnée dans le temps, échantillonnées à une fréquence suffisamment élevée. Elles permettent alors de reconstruire le déplacement d'un objet mobile et d'extraire lors de son analyse des données sur les comportements de déplacement.

On comprend que la trajectoire spatiotemporelle est un concept composite, une sorte de « métaconcept » qui regroupe et associe plusieurs autres concepts. C'est aussi un outil très utile, d'une portée sémantique considérable dans un contexte d'analyse de déplacement individuel. Le concept de la TST est ainsi retenu car il est englobant : il relie naturellement le pilote au bateau, le bateau à son déplacement, le déplacement aux activités, et par extension, le pilote à l'entreprise, l'excursion à son point de départ et d'arrivée, l'activité

aux attractions observées, etc. Une TST représentée dans un repère tridimensionnel donne non seulement des informations de base sur les excursions et les activités (où et quand) mais informe aussi sur les « comportements » de déplacements (quoi et comment) : par exemple, sur l'ordre des activités réalisées, la vitesse, la longueur et la direction des déplacements, la durée et le lieu de réalisation des activités, etc.

2.3 La nature des données

L'étude des types de données qu'il faut pour documenter les trajectoires spatiotemporelles sert à la conceptualisation du système AOM. En effet, en étudiant la nature des données nécessaires et la méthode de leur échantillonnage, nous pouvons préciser davantage les éléments qui seront repris dans le modèle de données du SIG. Nous allons ici montrer ce que prévoit la géographie temporelle pour l'acquisition des données et décrire les données des suivis, réalisés par le GREMM, que nous devons réutiliser.

2.3.1 L'enquête Origine-Destination

Les données nécessaires à l'élaboration des trajectoires spatiotemporelles nécessitent une planification poussée de leur collecte (Shaw et Wang, 2000; Frihida et al., 2002). En effet, chacun des éléments du système d'activité exige des données de qualité pour le documenter. Par exemple, dans notre cas d'étude, ces données doivent nous informer sur les contraintes (environnements physiques et institutionnels, mode de transport, etc.), l'emplacement géographique des lieux visités, la forme des trajets suivis, les heures et durées des activités. Les exigences en matière d'informations spatiales, temporelles et thématiques soulèvent des questions quant aux méthodes adéquates de collecte des données nécessaires (problème exposé dans Raper et al., 2002).

Les données liées aux activités et aux déplacements sont de nature complexe. Elles comprennent de nombreuses références spatiales et temporelles (heures et lieux des départs et arrivées, de réalisation de l'activité), des références thématiques relatives aux types d'activités et de l'information sur le mode de transport et les contraintes du « prisme ». De

plus, elles sont souvent très volumineuses et souvent inscrites sur support papier (Kwan et Lee, 2004).

Dans la littérature scientifique sur les déplacements basés sur l'activité, la méthodologie favorisée de collecte de données est l'enquête Origine-Destination (O-D) (Axhausen, 2000; McNally, 2000; Frihida et al., 2002). L'enquête O-D utilise des questionnaires, élaborés précisément en fonction des besoins de l'étude, qui sont remplis par chacun des individus étudiés. Un questionnaire est complété chaque fois qu'un déplacement d'intérêt (une TST) est réalisé; chaque questionnaire correspond alors à une occurrence d'une trajectoire spatiotemporelle d'un des individus de l'étude. Dans sa forme la plus simple, l'enquête prévoit la collecte d'information sur la route empruntée, les heures (début\fin) et les types des activités et sur les lieux visités. Ensuite, l'enquête peut étendre sa collecte à des données spécialisées, souvent dans le but de maximiser la portée du questionnaire. L'enquête O-D est destinée à produire ce qu'on nomme un *journal d'activité* (ou *journal de voyage*; « travel diary » or « activity diary » selon Shaw et Wang, 2000). Les informations des questionnaires reproduisent ainsi textuellement l'itinéraire, l'horaire et le trajet des TST individuelles.

Les enquêtes Origine-Destination ont initialement été prévues dans le contexte du milieu urbain où l'entité se déplace en utilisant la *grille* du réseau de routes : cela implique que la trajectoire est le plus souvent reproduite à partir des segments de routes que l'individu a empruntés et notés dans le journal de l'enquête. La trajectoire du déplacement est donc interpolée à partir d'un réseau routier (comme pour Kwan, 2000 ou Frihida et al., 2002) et représentée visuellement par une chaîne de segments tel que le montre la Figure 2. Dans un cas comme le nôtre, un tel réseau n'existe pas puisque les entités se déplacent sur l'eau. Donc le déplacement d'un bateau doit être enregistré par d'autres moyens. Le moyen le plus courant sont les outils informatiques de support à la navigation, de type GPS. L'utilisation du GPS est encore récente dans l'enquête O-D, et on ne trouve que peu d'exemples qui combinent les données d'un GPS avec les données de la fiche d'enquête qui contient l'information thématique sur les activités (Shaw et Wang, 2000). Avec le GPS, on

acquiert la trajectoire ponctuelle de l'entité étudiée (comme nous l'avons mentionné dans la Partie 2.2.3 sur l'objet mobile).

En considérant le GPS pour retracer le déplacement du bateau, nous faisons (selon Miller 2005b) le pont entre la géographie (« l'activité humaine») et la géomatique (« l'objet mobile »). Pour construire dans toute leur complexité les trajectoires spatiotemporelles que sont les excursions, la série d'instances temporelles de position (les points géoréférencés enregistrés au cours du déplacement par un GPS) doit être reliée aux données inscrites dans un journal d'activité. Une des contributions majeures de notre recherche est justement de développer un modèle de données qui permettrait, une fois implanté dans un SIG, d'associer automatiquement ces deux types de données.

Il se trouve que les données que les chercheurs du GREMM recueillent lors des suivis des excursions combinent à leur manière des données GPS et des données sur fiche. La partie qui suit est une analyse des données des suivis que nous devons réutiliser dans le SIG : nous allons devoir analyser leur structure pour bien comprendre les types d'informations qu'elles contiennent.

2.3.2 Les suivis des excursions réalisés par le GREMM

Les données avec lesquelles nous tentons de construire les excursions et les activités d'observation proviennent exclusivement des suivis réalisés par le GREMM. L'objectif ici est de décrire la structure informatique des tables et les types de données qui ont été enregistrés lors de ces suivis et d'expliquer certaines des transformations qu'elles devront subir pour être adaptées au modèle de données que nous allons élaborer.

Les suivis sont réalisés de façon systématique depuis le début des années 1990 et le premier rapport officiel date de 1995⁷. Ainsi, chaque année, au rythme d'un suivi (et quelquefois de deux) par jour pendant la saison touristique (début juin à fin septembre), les

⁷ Les premiers travaux sur les excursions aux AOM datent de 1984. En 1993, le GREMM a officialisé son travail de suivi et la rédaction des rapports annuels a commencé en 1997.

chercheurs du GREMM participent à une (ou deux) excursions de mi-journée⁸ d'un bateau pour remplir un type particulier de journal d'activité.

Durant chaque excursion, les données sont recueillies selon deux protocoles de collecte : les blocs d'observations instantanées (BOI) et les dénombrements systématiques (DS). Les BOI et les DS constituent une forme d'*échantillonnage instantané par balayage* (« instantaneous scan sampling »; Bédard et Michaud, 1995). Cet échantillonnage est réalisé à bord du bateau toutes les dix minutes après l'heure de départ de l'excursion. La description de ces deux protocoles est fournie dans Bédard et Michaud (1995).

« Au début de chaque BOI [c'est-à-dire, toutes les dix minutes de l'excursion], la position géographique de l'embarcation, obtenue à l'aide d'un appareil de navigation de type G.P.S., était notée. De plus, des informations sur les conditions de mer étaient inscrites; plus précisément, la hauteur moyenne des vagues ainsi que la visibilité.

L'activité de l'embarcation était [constatée et ensuite] classée dans une des 4 catégories mutuellement exclusives (1 = observation de cétacés, 2 = recherche ou déplacement, 3 = observation de pinnipèdes ou d'oiseaux, 4 = autre activité).

La vitesse était classée comme « immobile » (1) si le bateau était au neutre ou simplement embrayé, « déplacement lent » (2) si la vitesse était inférieure à 9 km/h (5 nœuds) et « déplacement rapide » (3) si la vitesse dépassait 9 km/h. Le nombre de petites embarcations [16 passagers et moins], de grandes embarcations [17 passagers et plus] et de plaisanciers présents à l'intérieur d'un rayon de 2000 m autour de l'observateur était aussi noté.

Finalement, le nombre de cétacés de chaque espèce observée depuis le dernier BOI à l'intérieur d'un rayon de 2000 m était, selon une échelle semi-quantitative, adaptée à chaque espèce. Si l'activité était « observation de cétacés », on notait l'espèce qui faisait l'objet d'une approche (espèce cible). Les distances étaient estimées visuellement par les observateurs. [...].

Lors d'un DS, les mêmes informations étaient notées en plus de la distance approximative entre l'observateur et chaque petite embarcation, grande

⁸ L'heure de départ des excursions que nous avons retenue se situe toujours entre 10 h et 15 h. La plupart des compagnies offrent cependant au moins trois excursions par jour.

embarcation et plaisancier situés à l'intérieur d'un rayon de 2000 m autour de l'observateur. On notait également, pour chaque groupe de baleines situé à l'intérieur d'un rayon de 2000 m autour de l'observateur, l'espèce, la taille du groupe et sa distance approximative de l'observateur ».

La méthode de balayage offre une sorte de photographie de la situation du bateau, de son activité en cours et de son environnement immédiat. Le procédé d'échantillonnage élaboré par le GREMM permet de récupérer des données riches en informations.

Le principe du suivi est le suivant :

- C'est une excursion individuelle de bateau qui est suivie à chaque fois,
- Un observateur est utilisé et il accompagne le bateau tout au long de l'excursion,
- Un capteur de position de type GPS est utilisé par l'observateur,
- La cadence d'enregistrement des BOI est fixée à 10 minutes.

Pour chaque point enregistré au cours de l'excursion:

- La vitesse du bateau est classée selon trois types,
- L'activité en cours est classée selon quatre possibilités dont une seulement se réfère à l'observation de cétacé,
- Les bateaux sont typés en fonction du nombre maximal de passagers qu'ils peuvent transporter,
- L'espèce qui est l'objet d'une observation est identifiée et la taille du troupeau est notée,
- La distance entre le bateau et l'animal ciblé est estimée par l'observateur,
- L'observateur réalise un décompte des bateaux et des animaux aux alentours.

Pour chaque BOI, les informations propres au balayage et la position du bateau sont enregistrées par le chercheur au moyen d'un ordinateur portable et d'un capteur GPS, selon une méthodologie similaire à celle d'une enquête origine-destination. Le Tableau 5 présente les attributs, les types de données, et les thèmes d'information que documentent les attributs.

Tableau 5: Structure d'une table de données des suivis

	Nom de l'attribut	Types de données	Exemple de donnée		Nom de l'attribut	Types de données	Exemple de donnée
I	NO_LIGNE	double	10959	XI	BAT_GR	double	1
II	DATE_CARTO	double	10626	XI	BAT_M	text	1
II	ANNEE	double	2001	XI	BAT_PE	double	0
II	JOUR	double	3	XI	BAT_MPE	double	1
II	FIN_DE_SEM	double	0	XI	BAT_PL	double	0
II	PERIODE	double	1	XI	BAT_C	text	0
III	NO_EXC	double	2001001	XI	BAT_A	text	1
IV	NO_BOI	double	1	XI	A_ID	text	1TR;1AV
	NO_DS	text	1	XI	TOT_BAT	double	2
II	H_DEP	long integer	1334	XII	TOT_BSP	double	3
II	H_OBS	long integer	1343	XII	BA_GP	text	1;1;1
II	EXC_MIDI	long integer	1	XII	BA_TOT	double	3
II	H_PIC	long integer	0	XII	BP_GP	text	1;2
II	H_03	long integer	0	XII	BP_TOT	double	3
	PROT_	long integer	1	XII	BP_TOT_W_O	double	2
	DME2	text	1	XII	BM_GP	double	1
V	BAT_ID	text	GF	XII	BM_TOT	text	1
V	BAT_ID	double	9	XII	DL_CODE	double	2
V	BAT_TYPE	double	3	XII	MN_GP	double	1
V	BAT_TYPE_G	double	3	XII	MN_TOT	text	1
VI	PORT_	double	1	XII	PM_GP	double	2
VII	LAT_DEC	double	48,1246	XII	PM_TOT	text	2
VII	LONG_DEC	double	-69,6732	XII	A_SSP	double	1
VIII	SECT_AMAV	double	1	XII	A_SSP_	double	12
VIII	QUAD1X1	double	44023	XII	A_SSP_GP	text	5;2;1;4;2;2
VIII	QUAD3X3	double	2	XII	A_SSP_TOT	double	16
VIII	IN_PMSSL	double	1	XII	NB_A	text	16
VIII	ZUI	double	2	XII	SP_CIBLE_	double	5
IX	ACT	double	2	XIII	VISI	double	3
X	VIT	double	3	XIII	VAG	text	4
				XIII	VISI_0_1	double	1
				XIII	VAG_0_1	double	1
				XIII	COND_0_1	double	1

I	Identifiant unique	VIII	Secteurs de localisation
II	Attributs temporels	IX	L'activité en cours
III	Excursion à laquelle appartient le BOI	X	Grade de la vitesse
IV	Rang du BOI dans la série	XI	Types et nombre de bateaux à proximité
V	Nom et type du bateau en excursion	XII	Types et nombre de baleines observées
VI	Port de départ	XIII	Conditions météorologiques
VII	Coordonnées géographiques		

Le suivi des activités d'observation a pour objectif de documenter, sur une base annuelle, l'évolution de la situation des AOM dans le Parc et de publier les résultats de chaque année dans un rapport. La collecte des données servant au suivi s'avère une méthode très efficace, sinon unique, pour recueillir un grand nombre d'informations sur les activités et le trajet de l'excursion, les animaux observés et la taille de la flotte aux alentours. Les données des suivis ont été prévues pour l'analyse statistique et spatiale de

l'évolution des AOM, faisant l'objet principal des rapports de suivi. Pour permettre la comparaison avec les données « fraîches » et pour illustrer l'évolution de la répartition des observations sur le territoire du Parc, chaque nouveau rapport reprend les résultats des années précédentes (remontant jusqu'à 1984) et les présente selon quatre thèmes.

Le premier thème est celui de l'utilisation du territoire par les bateaux lors des observations. Sont calculés ici les pourcentages des observations de cétacés réalisées dans chacune des ZUI⁹ et dans le reste du territoire. Ces proportions sont ensuite classées en fonction des trois périodes de la saison¹⁰, pour chaque année. Le deuxième thème est le bilan d'activités des excursions. Le bilan d'activité est la proportion de temps allouée par les pilotes à chacun des quatre types activités pouvant être réalisées pendant l'excursion (Observation de cétacé, Recherche, Observation d'oiseaux et de pinnipèdes, Autres activités). Le troisième thème est l'analyse de la répartition des observations en fonction de l'espèce de cétacé présente aux sites d'observations. Pour une demi-douzaine d'espèces est alors calculée la proportion des observations qui les avaient pour cible. Le quatrième thème est l'analyse du nombre de bateaux présents aux sites d'observations afin de connaître la taille de la flotte de bateaux et la diversité des types de bateaux à proximité des bateaux suivis. De plus, au début de chaque rapport est détaillé le bilan de l'échantillonnage, décrivant la quantité des données recueillies.

À la vue des informations que contiennent les données des suivis, il apparaît que ces dernières sont collectées avec une méthodologie similaire à celle de l'enquête origine-destination. Cette réalité (données combinant des coordonnées XYT et le contexte qui précise l'activité « activity context », condition *sine qua non* pour Parent et al., 1999 et Axhausen, 2000) nous pousse donc à croire que les données des suivis, que les gestionnaires souhaitent pouvoir réutiliser dans le système d'information, sont adaptées, du

⁹ Les ZUI sont : ZUI-1 Île Rouge, ZUI-2 Pointe à la Cariole, ZUI-3 Falaise Sud. Les délimitations des ZUI sont indiquées dans la Carte 9 de Michaud et al., 1997).

¹⁰ La durée (période) du suivi est divisée en trois périodes, de façon à reproduire le début, le milieu et la fin de la saison.

moins au niveau de l'information qu'elles contiennent, pour documenter les concepts théoriques de la géographie temporelle et de la géomatique.

Finalement, la conceptualisation du système des activités d'observation, qui s'est inspirée des besoins des gestionnaires, des concepts liés à la trajectoire spatiotemporelle et à l'objet mobile et aussi des données nécessaires, nous a permis d'identifier les éléments que le modèle de données du SIG devra reproduire. L'élaboration du modèle de données est l'objet du chapitre suivant. Nous allons y traduire informatiquement les éléments issus de la conceptualisation pour pouvoir les intégrer au SIG.

3. Élaboration du modèle de données du SIG

3.1 Méthodologie

La modélisation des données implique trois niveaux, illustrés chacun par un modèle de données allant du moins abstrait au plus abstrait (en terme d'intégration informatique) : ce sont les modèles conceptuel, logique et physique (Burrough et McDonnell, 1998; Bian, 2001). Ces trois modèles sont nécessaires si l'on souhaite s'assurer que le SIG reproduit adéquatement le phénomène que l'on souhaite analyser.

Traditionnellement, une base de données est modélisée à partir d'un modèle dit relationnel. Ce modèle est le standard toujours actuel à l'aide duquel la plupart des bases de données sont construites. Le modèle relationnel est complètement adapté aux applications de gestion grâce à son système de modélisation formé de tables dont les colonnes prennent des valeurs alphanumériques. Les concepts du modèle relationnel (tables, enregistrements, relation, champs, etc.) sont simples et aisément compréhensibles. De plus, la longue existence dont bénéficient maintenant les systèmes de gestion de base de données relationnelles (les SGBDR existent depuis le début de années 1970) a permis de les optimiser et donc de les rendre très performants (Muller, 2001). Un autre point fort de ce modèle est l'existence du Structured Query Language (SQL), un langage standardisé de création et de manipulation de bases de données.

Indépendamment du développement des bases de données, mais en phase avec l'avènement de l'informatique au cours des dernières décennies, la programmation dite *orientée-objet* est de plus en plus adoptée comme un standard de programmation. Destinée à construire des programmes informatiques et des logiciels, l'approche 'objet' fut expérimentée par les développeurs de SGBD. Les efforts qui tentèrent de combiner la richesse sémantique des concepts de l'orienté-objet à la logique relationnelle des bases de données ont permis l'émergence du paradigme *objet-relationnel* dans le domaine des SGBD. Ce paradigme montre que le modèle relationnel avec son concept d'intégrité référentielle n'a pas été remplacé, mais étendu pour inclure certains des concepts de

l'approche objet : cette extension est communément appelée le modèle objet-relationnel (Date et Darwen, 1998).

Le modèle objet-relationnel est à mi-chemin entre les modèles relationnel (Entité-Relation) et orienté-objet, et c'est celui qu'a adopté l'entreprise ESRI Inc. pour son plus récent système d'information géographique, ArcGIS 9. Le principal avantage de ce modèle par rapport à celui de l'Entité-Relation est qu'il permet de créer le modèle de façon intuitive, comme le permet l'utilisation de concepts de l'approche orientée-objet.

Dans un système d'information objet-relationnel, chaque entité du monde réel est représentée par un objet auquel on associe un état et un comportement. L'état de l'objet est représenté par les valeurs de ses propres attributs, tandis que son comportement informatique est reproduit par des méthodes qui agissent sur les valeurs des attributs au moyen de commandes. Les entités du monde réel sont reproduites avec fidélité en tant qu'objets ayant non seulement des attributs mais aussi des liens *intelligents* avec les autres objets du système modélisé (Engenhofer et Frank, 1992). Dans ce sens, un objet dans ArcGIS est une entité indépendante (« self-contained ») rattachée au reste du système par des relations d'association.

L'*objet* (l'entité du monde réel reproduite dans le SIG) est formé d'une structure de données dans laquelle se retrouveront toutes les informations relatives à son état mais aussi celles propres aux méthodes de création, destruction et manipulation de celui-ci. De plus, chaque objet reçoit un identifiant unique pour son référencement. L'utilisation d'un identifiant se démarque de l'approche cartographique classique où chaque objet est identifié par une paire de coordonnées géographiques uniques et immuables. L'identifiant unique permet de 'détacher' l'objet d'un cadre d'analyse strictement spatial. C'est aussi grâce à cette identité unique que les objets communiquent entre eux et se retrouvent associés, de différentes manières, les uns aux autres dans la base de données.

La modélisation centrée sur l'objet nous permettra de reproduire les concepts d'objet mobile, d'excursion et d'activité, et les autres éléments (règles et entités géographiques) propres au système des AOM sous forme de classes d'objets, d'attributs et

de relations dans un modèle de données. Le modèle de données sera construit en utilisant le langage UML¹¹ et il sera implanté dans le système d'information géographique ArcGIS 9 (ESRI, Inc.) pour créer une base physique de données. La base physique de données dans ArcGIS se nomme la « Geodatabase » et sa modélisation se fait en trois étapes.

L'élaboration du modèle de données commence par la modélisation conceptuelle : s'appuyant sur les éléments de la conceptualisation du problème, elle produit un modèle conceptuel des données (MCD) du système des AOM. Le MCD est créé à l'aide de l'outil CASE Visio (Microsoft, Inc.), en utilisant les diagrammes de classe UML (*UML class diagrams*). Toutes les classes d'objets, les attributs et les relations propres au système des AOM sont illustrés dans le MCD. Le MCD est développé indépendamment de toute considération de plateforme d'exploitation logicielle.

La modélisation logique constitue l'étape suivante, correspondant à la traduction du MCD en un modèle de Geodatabase. Ici, les classes d'objets du MCD sont transformées en classes « ESRI » pour créer un second schéma : le modèle logique des données (MLD). Le MLD est visuellement similaire au MCD (il sera aussi développé dans Visio) mais doit se plier aux différentes règles obligatoires de modélisation objet-relationnelle proposées par ESRI, soit, notamment, l'utilisation du « ArcInfo UML Model »¹², la création d'ensembles de données (les « Datasets ») et la définition des types de données (les « Data Types ») et des valeurs annotées (les « Tagged Values »).

Ensuite vient la modélisation physique (MPD) qui est la création en tant que telle de la Geodatabase à partir de l'importation du MLD dans le module ArcCatalog. L'importation passe d'abord par l'utilisation d'un outil de vérification de la sémantique du modèle (« Semantic Checker ») destiné à identifier les erreurs du MLD. Une fois corrigé, le MLD est importé grâce au « ESRI Schema Creation Wizard » disponible dans ArcCatalog. Ce module d'importation est aussi utilisé pour modifier les éléments du modèle sur certains

¹¹ UML est langage de modélisation (Unified Modeling Language) qui peut être utilisé pour modéliser aussi bien une base de données Entité-Relation qu'orientée-objet.

¹² Qui contient justement les classes « ESRI ».

aspects (les valeurs de types de données par exemple) et préciser le système de coordonnées et de projection. Finalement, une fois la Geodatabase implantée dans ArcCatalog, il est possible d'effectuer le peuplement des classes en y intégrant les instances des objets.

Par souci de clarté et de brièveté, nous décrivons dans cette partie seulement le modèle conceptuel de données (le MCD), mais décrivons toutefois les étapes importantes de la transformation du MCD en MLD puis en MPD.

La modélisation conceptuelle des données reprend sous forme de classes d'objets et d'association les concepts qui ont servi à comprendre et définir le problème de recherche (la trajectoire spatio-temporelle d'un objet mobile, les comportements de déplacements et les informations des données des suivis). Les chapitres précédents furent en quelque sorte une étape préliminaire à l'élaboration du modèle conceptuel de données.

La première étape de l'élaboration du modèle de données est l'identification de toutes les entités qui seront reproduites sous forme de classes d'objet. Le moyen recommandé est de fournir une description textuelle simple du système que l'on souhaite reproduire (Makin et al., 1997). Le paragraphe suivant est la description du système des AOM :

« Une entreprise d'excursion en mer emploie un ou plusieurs pilotes et elle possède un ou plusieurs bateaux. Le pilote conduit un bateau mais ce bateau n'est autorisé à circuler dans le parc que si l'entreprise a obtenu un permis pour le bateau en question. Le pilote qui conduit un bateau va réaliser une excursion. Cette excursion commence après l'embarcation de passagers à un quai d'embarcation et se termine avant le débarquement des passagers, au même quai. Pendant l'excursion, le pilote doit chercher des mammifères marins et s'il en trouve, rendre possible leur observation, tout en respectant les codes de conduite. Il peut aussi décider d'observer d'autres attractions dans le Parc avant de retourner au quai de départ. »

Dans cette description, il n'y a pas de mention directe des trajets des activités, mais l'utilisation de verbes tels que « rechercher » et « permettre l'observation » sous-entend que des activités de différents types se réalisent au cours de l'excursion. Les noms communs et les verbes désignent les éléments principaux du système à reproduire (objets et

associations), mais nous nous fondons aussi sur les concepts détaillés précédemment pour choisir et structurer les classes d'objets du modèle.

Pour des raisons de clarté, nous avons choisi de diviser le modèle en trois sections qui pourront être fusionnées par la suite: la première section est centrée sur le bateau, la deuxième sur l'excursion et les activités et la troisième sur l'environnement.

3.2 Le modèle conceptuel de données

3.2.1 Le bateau

Le bateau correspond à l'objet mobile sous-tendant la théorie du déplacement basé sur l'activité. Puisque cette théorie propose un cadre d'analyse désagrégée des déplacements, le bateau représente l'entité atomique individualisée du système d'activité : chaque bateau est unique et chaque activité qu'il réalise lui est propre et par là est unique, elle aussi.

La section du modèle centrée sur le bateau (Figure 7) contient les classes Entreprise, Pilote, Permis et Bateau.

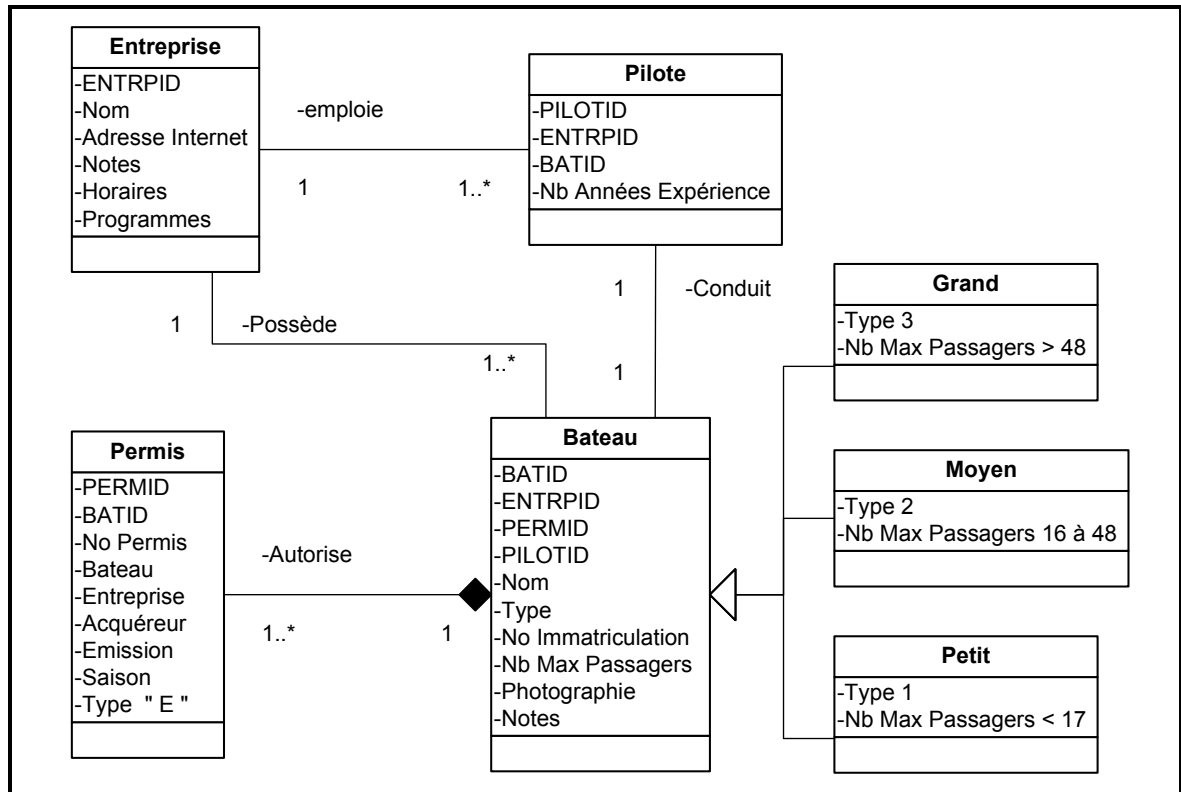


Figure 7: Section du MCD centrée sur le bateau

La classe Bateau regroupe tous les bateaux qui ont le potentiel d'être utilisés à des fins d'excursions touristiques commerciales et appartient obligatoirement à une entreprise d'excursion. Un bateau (un objet, une instance ou une occurrence de la classe Bateau) doit être défini par son nom (celui inscrit sur la coque) et son numéro d'immatriculation. Le type permettra de classer les bateaux selon un thème pertinent pour les différentes analyses prévues. Le GREMM caractérise le type des bateaux en fonction du nombre maximal de passagers qu'ils peuvent embarquer. Dans le MCD nous avons créé des sous-classes en fonction des trois types utilisés par le GREMM¹³.

¹³ Bien que la méthodologie d'échantillonnage ne précise que le type « Grand » et « Petit », les données d'origine contiennent aussi le type « Moyen ». Dans les rapports de suivis par contre, vu le nombre très faible de bateau « moyens » suivis, le GREMM combine, pour alléger l'analyse, les types « moyens » et « grands ».

Le type pourrait aussi être établi en fonction du mode de propulsion, ou encore à la forme de sa coque, en utilisant les informations que l'on extraira au besoin à partir des attributs de la classe (photographie, numéro d'immatriculation).

Les noms se terminant par « ID » désignent les attributs d'identification qui assignent à chaque objet de classe un numéro de série unique dans la base de données. C'est sur cet identifiant que sont basées les associations entre les objets. Il assure l'intégrité référentielle de la base de données en utilisant la logique des clés primaires et étrangères.

La classe Entreprise représente les compagnies qui proposent aux touristes des excursions en mer. Nous avons retenu ici le nom de celles-ci et ajouté des informations sur l'horaire hebdomadaire des excursions offertes, la liste des attractions visitées et des activités proposées, le site Internet ou la personne-contact à rejoindre au besoin.

La classe Pilote représente les capitaines de bateaux. Pour respecter les conditions de protection de leur anonymat, on pourrait utiliser l'identifiant du pilote pour le faire correspondre à des informations protégées comme son nom, par exemple. Selon nous, le nombre d'années d'expérience du capitaine est un attribut d'intérêt pour certaines analyses et simulations (Anwar et al., 2007).

L'objet Permis donne le nom de l'entreprise qui se l'est procuré, le bateau qu'il autorise à circuler, la saison pendant laquelle il est valide (et d'autres informations encore). Le nombre de permis est limité à 59, les permis devant être renouvelés au début de chaque saison touristique. Nous avons jugé utile que la classe des permis contienne non pas 59 instances, mais englobe tous les permis qui ont été délivrés chaque année depuis 2002. Ainsi, il sera possible à l'utilisateur du SIG d'accéder à la liste de tous les permis d'un bateau qui l'ont autorisé à circuler au cours des années. Nous en venons maintenant aux associations entre ces classes.

C'est grâce aux identifiants que l'on peut associer les objets d'une classe à ceux d'une autre. La lecture du modèle à ce niveau est facilitée par les attributs d'identification inscrits en majuscules et se terminant par « ID ». L'entreprise possède au moins un bateau,

et le bateau ne peut appartenir à plus d'une entreprise. Cette logique est précisée au niveau des associations par la cardinalité qui est un concept de modélisation. La cardinalité indique, au moyen de chiffres et de symboles (l'astérisque symbolise l'infini), combien d'objets d'une classe peuvent être associés aux objets d'une autre classe. Ainsi, le pilote conduit un seul bateau et le bateau ne peut être conduit que par un seul pilote. Dans la réalité, il se peut très bien qu'un bateau soit conduit par différents pilotes au cours du temps et qu'un pilote conduise différents bateaux (ce cas serait précisé par une association de type *many-to-many*, avec des astérisques à chaque bout de l'association). Les résultats de ces associations *pseudo-aléatoires* entre bateau et pilote seraient alors les excursions, objet liant ainsi un bateau à un pilote. Nous avons décidé que le pilote était lié à un seul bateau (et vice-versa), car nous ne possédons pas pour le moment de données sur les pilotes. L'entreprise doit employer au moins un pilote et nous considérons aussi que le pilote ne peut travailler que pour une entreprise à la fois. Enfin, nous lions la classe Bateau à l'Excursion (Figure 8), pour indiquer l'idée du moyen de transport : l'excursion est réalisée au moyen d'un bateau, par un pilote.

3.2.2 L'excursion

La section du modèle de données, centrée sur le thème de l'excursion et de l'activité, rassemble les classes les plus complexes de la base de données. La logique derrière l'agencement des classes modélisées dans cette section du MCD s'appuie en grande partie sur le concept de la trajectoire spatio-temporelle, qui sera ici la classe Excursion, servant pour ainsi dire de colonne vertébrale du modèle. L'excursion en tant que chaîne d'activités est un objet composite qui regroupe tous les autres objets par association d'agrégation : les points de la trajectoire ponctuelle lui sont associés, tout comme les trajets d'activités. C'est véritablement le centre névralgique du modèle (Figure 8).

Comme nous l'avons vu, toutes les entités liées à la trajectoire spatiotemporelle sont construites à partir d'une série de points géographiques ordonnés dans le temps. Dans la base de données, ces points sont issus des données de suivis et sont nommés « ITP ». Les ITP sont des *instances temporelles de position*, similaires à des données d'un GPS : ce sont

des objets ponctuels qui contiennent une grande partie des informations associées aux BOI d'origine. Les ITP possèdent toutes les informations pertinentes des BOI, en plus d'une série d'attributs supplémentaires qui sont les identifiants permettant de les associer aux activités et les paramètres destinés à caractériser les comportements de déplacements à partir de points. Les ITP, lorsqu'ils sont regroupés selon les identifiants des trajets (des excursions ou des activités) représentent ce que nous nommons les *trajets ponctuels* des excursions ou des activités.

Les trajets ponctuels des excursions existaient déjà dans les tables des BOI. Ils sont identifiés à partir de l'attribut d'origine '*NO_EXC*'. Les instances d'Excursion possèdent un attribut géométrique *Ligne* : elles sont ainsi les *trajets linéaires* des excursions. Ces lignes sont tracées par interpolation linéaire à partir de la série de points ITP ordonnés dans le temps ayant la même valeur EXCID : le trajet ponctuel de l'excursion est affiché et une ligne est tracée passant par les ITP selon l'ordre temporel.

Les objets linéaires de la classe *Activité* sont tracés de la même manière, c'est-à-dire, à l'aide d'identifiants uniques présents au niveau des ITP. Initialement, il n'existe pas d'identifiants pour les trajets d'activité dans les données d'origine : il nous faut les créer au niveau de l'attribut ACTID de la classe ITP.

Les identifiants uniques associés à l'attribut ACTID des ITP sont donc destinés à instancier les trajets ponctuels des activités, de la même façon qu'un identifiant EXCID instancie une excursion.

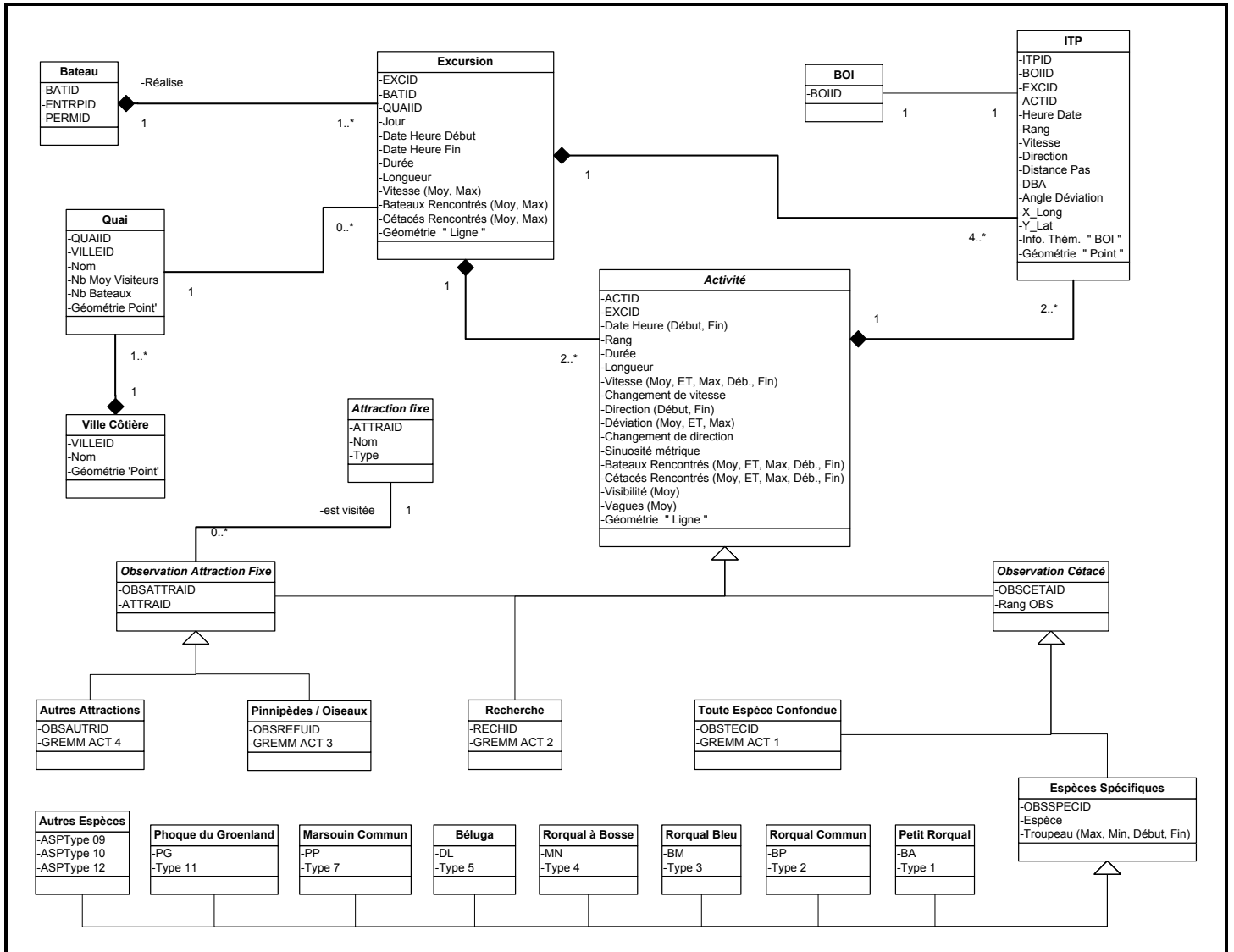


Figure 8: Section du MCD centrée sur l’excursion et les activités

Lors de l’interpolation linéaire des ITP pour créer les objets des classes Excursion et Activité, on réalise aussi des agrégations arithmétiques pour calculer les valeurs des attributs caractérisant les comportements de déplacements. Le SIG permet les opérations arithmétiques sur les attributs des ITP (voir Tableau 4, p. 30) qui calculeront les valeurs des attributs caractérisant les comportements de déplacement des objets linéaires Excursion et Activité (voir Partie 4.3.3, p. 77). Dans le modèle conceptuel de données, nous avons indiqué les attributs de ces deux classes linéaires dont les valeurs sont calculées lors de

l'agrégation des ITP. On y voit ce que les classes ont comme attributs destinées à caractériser les comportements de déplacements (vitesse moyenne, changement de direction, etc.). Pour alléger le modèle des classes Excursion et Activité, on a mis seulement le type de calcul qui sera appliqué à l'attribut des ITP lors de l'agrégation thématique, et non chaque attribut qui correspond à un résultat de calcul (d'où les codes temporaires Moy, ET, Max, etc...). L'agrégation se fait lors de l'interpolation des points pour créer les trajets linéaires en prenant les valeurs de certains attributs des ITP du trajet ponctuel et en exécutant des calculs simples de statistique sur ces séries de valeurs.

L'excursion, telle une trajectoire spatiotemporelle, est donc représentée par une ligne géométrique (interpolée à partir de son trajet ponctuel) et est cernée dans le temps par une série d'attributs temporels dont les heures de départ et d'arrivée. Quatre ITP au minimum sont nécessaires pour la construction d'une excursion (un départ, une arrivée, et deux points situés au large pour une activité). La classe Excursion contient les trajets linéaires des excursions. Une excursion est définie par ses heures-dates de début et de fin, sa vitesse moyenne et maximale, sa longueur et sa durée. Elle est représentée par une ligne. L'excursion est liée à un et un seul bateau (donc à un et un seul pilote); elle commence aussi à un quai d'embarcation et se termine à ce même quai. *L'Heure-Date* d'arrivée est quant à elle interpolée à partir de la durée de l'excursion et son heure de départ. Les autres attributs calculés sont le nombre total d'animaux et de bateaux rencontrés sur la route.

La classe Activité est similaire à l'excursion, mais elle est construite avec au minimum seulement deux ITP (ainsi les plus simples trajets d'activités sont une ligne droite et durent entre 10 et 20 minutes, lorsqu'on utilise exclusivement les données des suivis¹⁴). Elle fait partie de l'excursion, c'est-à-dire, l'excursion est une agrégation des différents trajets des activités qui ont eu lieu au cours de son déroulement. Il faut au moins une activité par excursion.

¹⁴ Ces trajets ne peuvent donc pas informer au sujet des changements de comportements de déplacements.

La classe *Activité* est abstraite (en italique dans le modèle): elle n'existe pas dans la base de données. Seuls les attributs qui la définissent se retrouvent dans toutes les classes d'activités qui la spécialisent. Cette classe abstraite se spécialise en cinq sous-classes :

- Les activités de recherche d'attraction
- Les activités d'observation de refuge faunique
- Les activités d'observation d'attraction non précisée
- Les activités d'observation de mammifères marins, toute espèce confondue
- Les activités d'observation d'une espèce spécifique de mammifères marins

Les activités de recherche d'attraction correspondent à celle de type 2 notées dans les suivis. L'observation de refuge faunique correspond à celle de type 3, et l'observation d'attraction non précisée à celle de type 4¹⁵. Ces classes héritent des mêmes attributs que la classe abstraite *Activité*.

Les deux autres sous-classes sont des *spécialisations d'une spécialisation*. En effet, nous créons une autre classe abstraite *Observation Cétacé* qui se spécialise en deux sous-types : *Toute Espèce Confondue* et *Espèce Spécifique*. La première correspond aux activités d'observation généralisées (Type 1 dans les suivis) et la seconde contient, au moyen d'un attribut sous-typé (similaire à la taille des bateaux), les activités d'observations pour chacune des espèces (la classe *Autres Espèces* contient les trajets liées pour les trois espèces dont on connaît seulement le code). Cette classe comprend toutes les instances d'observation spécifiques à chacune des espèces et en précise la taille du troupeau observé.

Un dernier attribut d'importance se retrouvant dans les classes d'activités est le rang. La classe abstraite *Activité* précise avec l'attribut *Rang_ACT* l'ordre d'enchaînement des activités dans l'excursion par l'utilisation d'un nombre entier ordinal. Il permet de connaître la place de l'activité dans l'excursion. L'attribut *Rang_OBS* propre aux classes

¹⁵ Les classes de type 3 et 4 sont la spécialisation d'une classe abstraite *Observation Attraction Fixe* dont nous reparlerons plus loin.

d'activité d'observation de cétacés, précise uniquement l'ordre des observations de cétacés (toute espèce confondue) dans l'excursion. Grâce aux attributs *Rang_*, il est possible de connaître le programme de l'excursion et d'étudier la séquence des activités et des observations.

D'autres classes se trouvent dans la section du modèle de données centrée sur les excursions et les activités : on voit par exemple que le bateau *réalise* une ou plusieurs excursions (le bateau est une agrégation d'excursions, et donc d'activités et d'ITP), que l'excursion débute à un quai et s'y termine et que le quai est lié à une agglomération côtière. De plus, on peut constater qu'il y a une classe spécialisée d'activités (Observation Attraction Fixe), abstraite elle aussi et qui regroupe les activités de type 3 et 4 inscrites dans les suivis. Cette classe est présente pour montrer un lien conceptuel entre les attractions fixes – des entités géographiques du paysage environnant – et leur observation par un bateau. Ces entités géographiques sont associées à la section du modèle qui touche à l'environnement que nous allons décrire maintenant.

3.2.3 L'environnement

La partie du MCD, centrée sur l'environnement, regroupe toutes les classes d'objets qui recréent en partie l'écosystème et les attractions du Parc dans la base de données, fournissant ainsi le support cartographique. Cette section contient tous les objets qui servent à décrire le milieu naturel du Parc et, par la même occasion, à enrichir le contexte environnemental d'une analyse des déplacements. Des entités de nature institutionnelle (signalisation et limites de zone), celles pouvant devenir des attractions fixes d'une excursion et celles décrivant le relief sont aussi représentées sous forme de classes dans cette section du MCD (Figure 9).

Le terme d'attraction pourrait sembler de prime abord critiquable, vu que les cétacés sont les attractions touristiques principales et les premiers motivateurs d'activités. Ce sont aussi des attractions mobiles et leur observation doit être instanciée indirectement à partir des données des suivis. Cependant, il arrive au bateau d'ajouter à son itinéraire

l'observation d'une des attractions dites fixes de la région du Parc. Contrairement au trajet de l'observation d'un cétacé, celui d'une observation d'attraction fixe peut être déduit directement à partir du passage du bateau dans une zone tampon établie autour de l'entité géographique observée.

Dans la section précédente centrée sur les excursions, un type d'activité est l'observation d'attractions fixes. Bien que dans notre cas les instances des classes d'observation Pinnipèdes/Oiseaux et Autres Attractions soient peuplées à partir des données des BOI, comme les observations de cétacés, il est tout de même possible, et assez facile, de préciser le nom de l'attraction fixe qui est observée. Et cela grâce à la classe Attraction et l'utilisation d'une requête de proximité dans le SIG.

La classe Attraction du modèle conceptuel est donc une classe abstraite qui regroupe tous les types d'entités géographiques fixes, parsemées dans le parc et à ses abords, qui ont le potentiel d'attirer le bateau lors de l'une de ses excursions, pour qu'il y conduise une activité autre que l'observation de cétacés. Les entités ayant ce potentiel sont très nombreuses et la grande majorité des éléments topographiques peuvent être approchés et observés. Nous nous contentons ici de présenter tels quels les objets sur l'environnement, sans préciser les associations avec les objets des sections précédentes, car elles restent à définir au niveau des besoins en information.

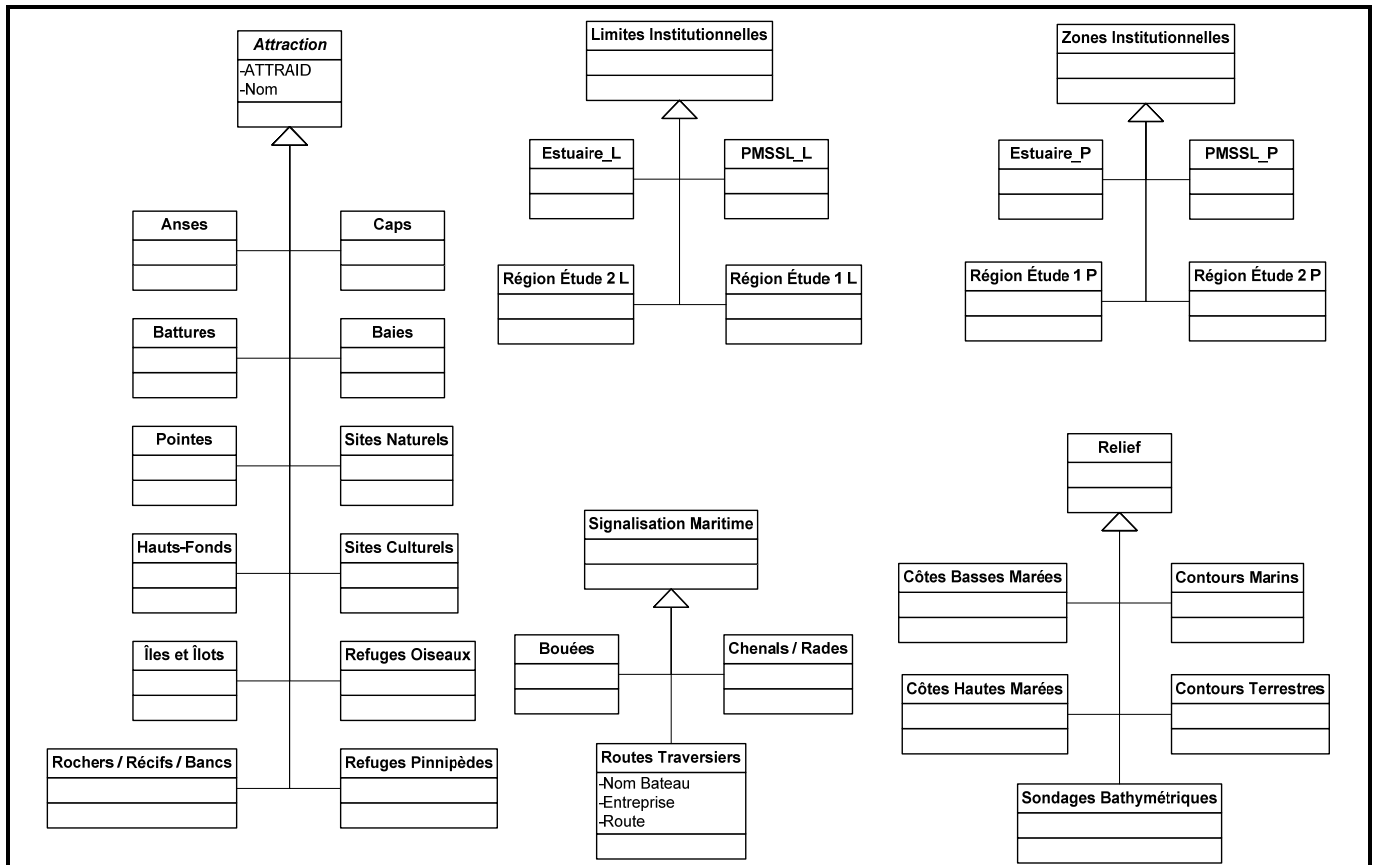


Figure 9: Section du MCD centrée sur les éléments de l'environnement

Les attractions sont représentées par des points auxquels a été associé un toponyme particulier dans le but d'identifier les entités géographiques propices à devenir des attractions d'une activité d'observation. Les attractions fixes peuvent faire l'objet d'une activité d'observation, souvent de seconde priorité par rapport aux mammifères marins. Les attractions servent à prévoir, le cas échéant, différents parcours touristiques dans la région, pouvant être proposés aux bateliers afin de diversifier les lieux d'observation et l'expérience des touristes. Les attractions ont donc le potentiel de devenir une contrainte d'association qui aiderait à mieux comprendre l'itinéraire d'une excursion.

Pour le relief, les classes qui le définissent sont les courbes de niveaux terrestres et bathymétriques et les points de sondage qui sont numérisés ou extraits des cartes SHC et

BNDT¹⁶. Dans un système d'information comme le nôtre, le relief peut être considéré comme une contrainte d'autorité qui délimite le territoire que peut couvrir un bateau lors de son déplacement.

Il existe aussi d'autres classes d'objet destinées à enrichir le contexte cartographique. Il y a les limites et les zones institutionnelles (qui comprennent le Parc, une partie de la zone de protection marine (ZPM¹⁷), et les régions d'étude, sous forme de lignes et de polygones), les éléments du relief et paysage côtier (contours marins et terrestres, pointes et baies, côtes sous haute et basse marées et points de sondages bathymétriques), et les éléments de signalisation maritime (routes de traversiers, bouées). Ces classes d'objets géographiques caractérisent le paysage de la région d'étude. Elles permettent de replacer les trajectoires des excursions et des activités dans leur contexte environnemental. Les objets de la section « Environnement » servent à enrichir le contexte environnemental des AOM. Leur création s'est surtout faite dans l'optique de permettre au SIG de devenir une source centralisée et homogène de données sur le système des AOM.

3.3 Les modèles logique et physique des données

La modélisation logique est la traduction du modèle conceptuel des données (MCD) en un modèle de Geodatabase. Ici, les classes d'objets du MCD sont transformées en classes *ESRI* pour donner le modèle logique des données. Le MLD ressemble de par sa forme au MCD, étant également développé dans Visio et reprenant la très grande majorité des classes et des associations. Contrairement au MCD qui est élaboré de façon à être complètement indépendant de toute plateforme, le MLD doit, lui, représenter la base de données de manière qu'elle soit comprise par le SGBD ArcCatalog d'ESRI. L'élaboration du MLD se plie donc aux différentes règles obligatoires de modélisation logique, qui est de type *objet-relationnel*, proposées par ESRI.

¹⁶ Cf. Tableau 6, p.64.

¹⁷ Cette ZPM est prévue par le ministère Pêches et Océans Canada pour protéger l'estuaire moyen du Fleuve Saint-Laurent.

La transformation du MCD en un MLD se fait en trois étapes. La première étape consiste à insérer tous les éléments du MCD dans le modèle UML du SIG, le « ArcInfo UML Model », et les faire correspondre aux différents éléments équivalents présents dans ce modèle du SIG. Dans un second temps, les classes d'objets ayant une géométrie sont regroupées en des ensembles de données, les « Feature Datasets », qu'il faut créer. Enfin, dans la dernière étape, on se penche sur les attributs pour choisir le type et la taille des données qu'ils contiendront, les « Data Types », et sur les classes pour en définir les valeurs annotées, les « Tagged Values ».

Grâce au « ArcInfo UML Model », il est possible d'ajouter au SIG des éléments aux genres et aux buts très variés. Parmi ces éléments se trouve la Geodatabase. Dans la partie précédente, nous avons créé un schéma conceptuel qui illustre comment *nous* comprenons le système des AOM et envisageons la structure de la base de données (le schéma conceptuel). Dans la présente partie, nous devons intégrer le schéma conceptuel dans le *métamodèle* du SIG pour que ce soit lui qui en comprenne la structure (le schéma d'application) et en fasse une base de données fonctionnelle, la Geodatabase.

Tous les éléments – classes, attributs et associations – du MCD sont d'abord importés dans le « Workspace ». Il revient ici au modélisateur de créer les « Feature Dataset », c'est-à-dire, les ensembles d'objets géographiques qui regroupent certaines classes respectant la même topologie.

Les classes d'un « feature dataset » sont indépendantes géométriquement de celles d'un autre 'FD'. Dans notre cas, il n'existe pas de réseau et aucune règle topologique n'est à considérée. Cependant nous construisons tout de même deux « feature dataset » : l'un regroupe les classes liées aux première et deuxième sections du MCD, l'autre les classes de la troisième section, c'est le « dataset » Environnement. Les classes tabulaires de la première section du MCD centrée sur le bateau ne font partie d'aucun « dataset » et se trouvent placées directement sur le « Workspace ».

Avant d'introduire les classes dans les « datasets » correspondants, il faut associer chacune des classes du MCD importées dans le *Workspace* à l'une des deux classes ESRI

parentes. Les classes non-géographiques, sans géométrie aucune, sont des spécialisations de la classe Object; les classes avec une géométrie sont reliées à la classe Feature, elle même une spécialisation de la classe Object. Les associations se font au moyen d'une généralisation (Figure 10: Bateau est un type d'« objet », Excursion est un type de « feature » qui est un type d'« objet »).¹⁸

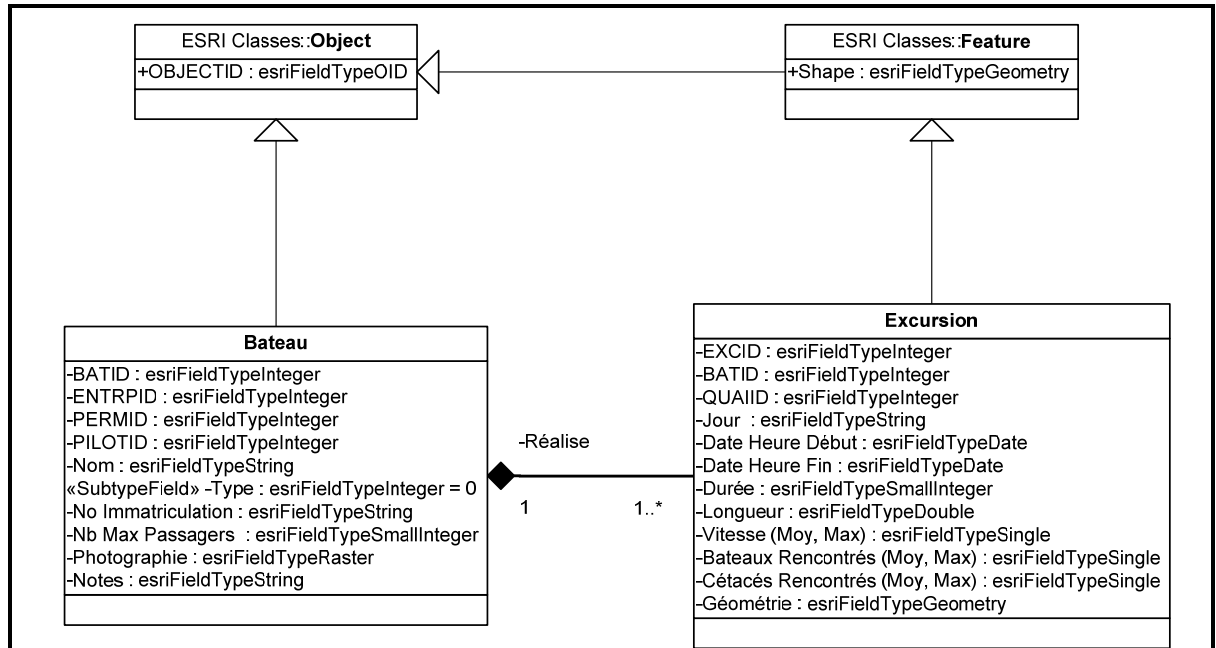


Figure 10: Généralisation Object / Feature des classes du MLD

À ce stade-ci de la modélisation, le schéma s'alourdit nettement, vu le nombre élevé de relations de généralisation qu'il faut y ajouter, pour associer toutes les classes à ces deux super-classes (par contre, toutes les classes spécialisées d'activité héritent de cette relation entre Feature et Activité).

Une fois ces associations faites, les classes à géométrie¹⁹ sont importées dans les « datasets » correspondants. Après l'association des classes du MCD (le MLD en devenir) à celles de base Object et Feature et après la création et le peuplement des « datasets », on

¹⁸ Le « Feature » Excursion illustré à la Figure 10 présente une redondance dans ses attributs : l'attribut 'Géométrie' est en fait l'attribut 'Shape' hérité de la classe « Esri Feature ».

¹⁹ Ces classes à géométrie sont appelées « Features ». Les objets non-géographiques sont des « Tables ».

peut commencer la définition des types de données. Au niveau de la modélisation logique, on nomme l'attribut un *champ* (« Field »). Dans les paragraphes qui suivent, nous utiliserons la terminologie anglophone d'ArcGIS pour désigner les types.

De par leur spécialisation de la classe Object, toutes les classes du modèle héritent d'un champ d'indexation de type *OID*. De plus, toutes les classes liées à la classe Feature héritent d'un champ géométrique « Shape ». Pour chaque objet ayant une géométrie, la nature (Point, Ligne ou Polygone) de celle-ci est précisée au moyen d'une « Tagged Value ». Les classes du modèle utilisent de nombreux champs de même nature et, donc, certains types de données sont fréquents: par exemple, le nom d'un objet est une chaîne de caractères de type « String », les codes des identifiants nécessaires aux associations ont obligatoirement un type « Integer », les dates et heures prennent un type « Date », les paramètres de déplacements et les résultats d'opération sont des nombres réels de type « Double ». La Figure 10 montre que les champs ont été précisés avec un type de données pour les classes Bateau et Excursion. Le processus de sélection des types de données pour les attributs est complété par la définition des paramètres des « Tagged Values » pour les champs, les classes et les associations. Ainsi pour les classes, celles qui possèdent un champ géométrique hérité de la classe parent Feature se voient assignées le type de géométrie des objets de la classe (Point, Ligne ou Polygone). Pour les associations, on précise les champs *Clé primaire* et *Clé étrangère* de l'origine et de la destination de chaque association.

La dernière manipulation à effectuer pour traduire entièrement le modèle conceptuel des données en un schéma logique représentant une Geodatabase fonctionnelle est la création des sous-types de classes. La base de données possède deux classes qui sont sous-typées, Bateau et Observation Espèce Spécifique. Le sous-type dont on parle ici n'est pas le produit d'une généralisation comme celle qui associe la classe Feature aux classes à géométrie. Les sous-types sont des sous-types de classes, et non de sous-classes (qu'engendre l'utilisation d'une association de généralisation). Dans le modèle UML d'une Geodatabase, les sous-types sont créés à partir d'un champ de la classe à l'objet dont on

voudrait préciser un type. La classe Bateau et la classe (Activité > Observation Cétacé >) Espèces Spécifiques possèdent toutes deux un champ à sous-types. Nous l'avons vu lors de la modélisation conceptuelle : à une instance de bateau peut avoir été assigné un type de taille : 'Petit', 'Moyen' ou 'Grand' (et aussi 'Non déterminé'). Il en va de même pour une occurrence d'activité d'observation d'une espèce spécifique de cétacés, qui se fera assigner un type correspondant à l'espèce en question. La classe Bateau a donc quatre sous-types et la classe Espèces Spécifiques en possède en tout 10, dont trois types représentent chacun une espèce non encore identifiée.

La dernière phase du processus de modélisation des données consiste en la création du modèle physique de la Geodatabase à partir du MLD des AOM. Le modèle physique est en pratique la Geodatabase fonctionnelle utilisable à partir du module ArcCatalog d'ArcGIS. À ce stade, l'implantation du modèle physique se fait à partir de ArcCatalog, grâce au « ESRI Schema Creation Wizard ». Avec le modèle physique implanté, la construction de la base de données du SIG est terminée. La Figure 11 montre la Geodatabase telle qu'elle apparaît dans ArcGIS à l'écran d'ordinateur.

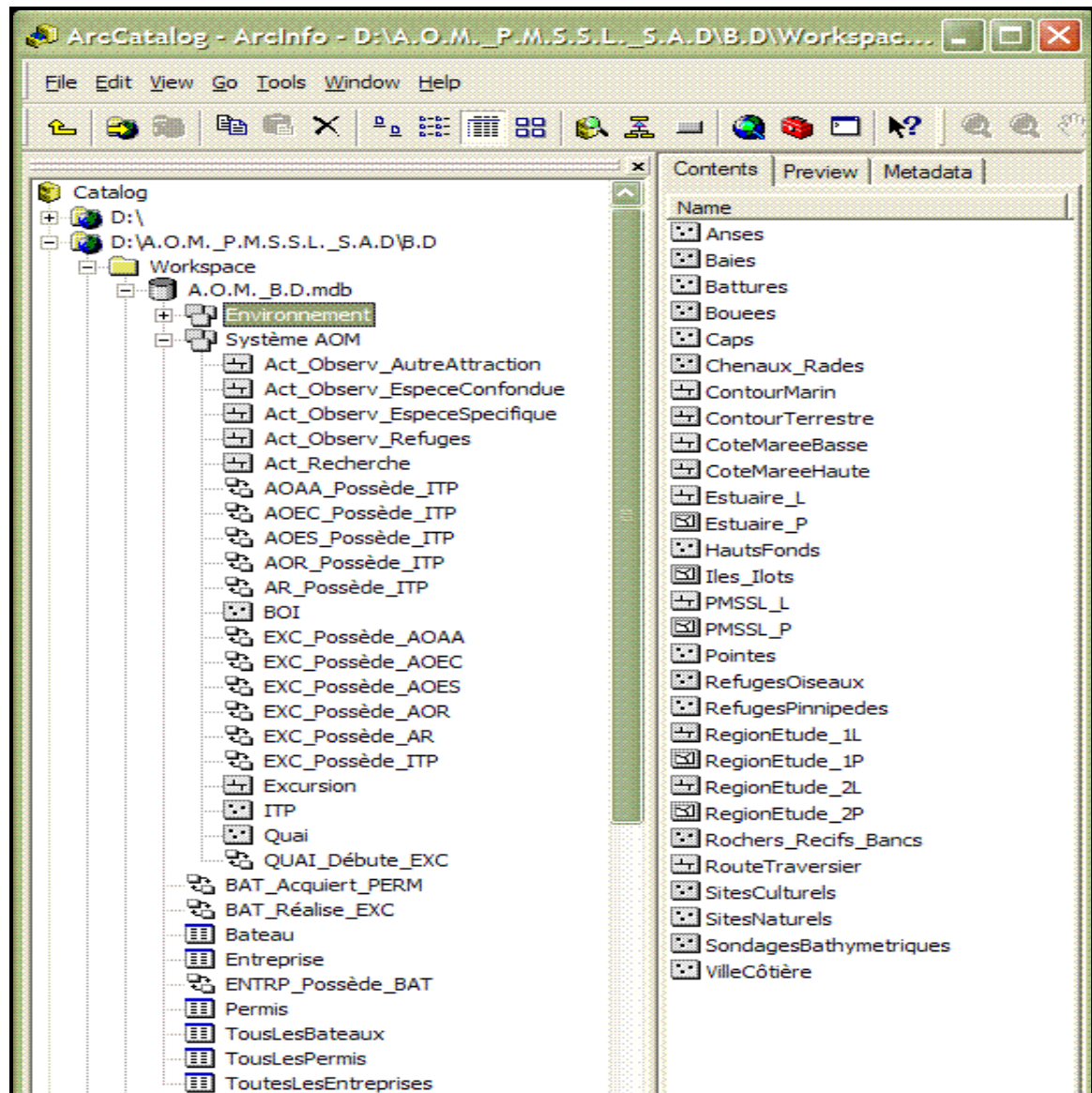


Figure 11: La Geodatabase dans ArcCatalog

Nous venons de modéliser les éléments du système AOM qui ont été identifiés lors de la conceptualisation. Ces éléments ont été transformés en classes d'objets et en associations sous la forme d'un modèle conceptuel de données; le modèle fut ensuite transformé en une Geodatabase pour le rendre lisible et exploitable informatiquement par le SIG. La Figure 11 montre toutes les classes d'objets que contient la Geodatabase, mais à ce stade, la base de données n'est peuplée par aucune donnée. Le peuplement de la base est un processus qui est décrit dans la partie suivante, étant l'un des résultats escompté de notre

travail. Ainsi, dans la partie qui suit, nous allons tester la capacité du SIG à manipuler, interroger et présenter les données mises à notre disposition et montrer ainsi à quel point le modèle de données et son exploitation dans ArcGIS répond ou non aux besoins des futurs utilisateurs (cf. Tableau 1).

4. Résultats

La présente partie est une démonstration des capacités du SIG (et de la Geodatabase) à répondre aux besoins des futurs utilisateurs (présentés au Tableau 1, p. 8).

4.1 Préparation des données d'origine pour le peuplement de la Geodatabase

4.1.1 Les données sur l'environnement

Les données qui servent à reproduire l'environnement naturel et culturel de la région d'étude dans le SIG proviennent de plusieurs sources, mais les deux plus importantes sont les cartes « papier » du Service hydrographique du Canada (SHC) et certains fichiers de la Banque numérique de données topographiques (BNDT). Le Tableau 6 ci-dessous indique les sources et le type d'informations qui en ont été retenus.

Les cartes du SHC ont été numérisées à partir d'une tablette SummaGraphics et du logiciel MapInfo 7. Pour toutes les données topographiques, l'uniformisation des systèmes de projection ou celle des formats de fichiers ou encore l'intégration des échelles n'a posé aucun problème notable. Nous avons retenu le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM, Zone 19N) pour permettre les calculs géométriques en mètre.

Tableau 6: Liste des cartes numérisées et des éléments topographiques retenus

Carte	Région	Source	Édition	Datum	Projection	Échelle	Format	Titre
1202	Québec	SHC	10-09-1999	Nad 83	Mercator	1 : 37500	Papier	Cap Éternité à Saint Fulgence
1203	Québec	SHC	16-11-2001	Nad 83	Mercator	1 : 37500	Papier	Tadoussac au Cap Éternité
1234	Québec	SHC	25-05-2001	Nad 83	Mercator	1 : 80000	Papier	Cap de la Tête au Chien au Cap aux Oies
1235	Québec	SHC	31-03-2000	Nad 83	Mercator	1 : 80000	Papier	Pointe au Boisvert au Cap de la Tête au Chien
1236	Québec	SHC	01-01-2000	Nad 83	Mercator	1 : 200000	Papier	Pointe des Monts aux Escoumins
021M	Québec	BNDT	13-11-2001	Nad 83	UTM	1 : 250000	MID/ MIF	BAIE-SAINT-PAUL
021N	Québec	BNDT	13-11-2001	Nad 83	UTM	1 : 250000	MID/ MIF	EDMUNDSTON

022C	Québec	BDNT	13-11-2001	Nad 83	UTM	1 : 250000	MID/ MIF	RIMOUSKI
022D	Québec	BDNT	14-11-2001	Nad 83	UTM	1 : 250000	MID /MIF	CHICOUTIMI
Éléments topographiques retenus								
Aire de battures					Quais d'embarcation			
Ligne des hautes marées					Villes côtières			
Ligne des basses marées					Refuges d'oiseaux			
Points de sondage bathymétrique					Refuges de pinnipèdes			
Lignes des contours marins					Îles et îlots			
Signalisation maritime (bouées, phares, hauts-fonds, chenaux, rades)					Toponymes côtiers (récifs, bancs, caps, baies, anses, pointes)			
Lignes des contours terrestres					Routes des traversiers			
Sites culturels					Sites naturels			
Toponymes divers								

Afin de compléter ces données et d'en vérifier la bonne toponymie, nous avons aussi consulté quelques autres sources. Par exemple, le plan directeur du PMSSL de 1995 offre un descriptif de l'environnement physique qui nous a permis d'identifier les refuges fauniques et les sites culturels les plus importants. On a aussi consulté le système SIGHAP²⁰ du MPO pour ajouter d'autres refuges fauniques et les sites naturels représentatifs du paysage de la région. Pour les sites situés le long du fjord, une carte touristique du Parc provincial du Saguenay (au territoire exclusivement terrestre celui-ci) a permis d'associer à certains toponymes côtiers des lieux pouvant devenir une attraction touristique.

4.1.2 Les blocs d'observation instantanée des suivis

Les données avec lesquelles les excursions et les activités d'observation ont été construites proviennent exclusivement des suivis; ce sont les blocs d'observation instantanée (les BOI, présentés dans la Partie 2.3.2). L'objectif ici est de décrire la structure informatique des tables et les types de données qui ont été enregistrés lors des suivis et d'expliquer certaines des transformations qu'elles ont dû subir pour être adaptées au modèle de données que nous avons élaboré.

²⁰ Disponible en ligne sur <http://sighap-fhamis.qc.dfo-mpo.gc.ca/cartes/sighap2-1/ie/francais/sighap.asp?R=C>.

Les coordonnées textuelles (longitude/latitude issues du GPS) de chaque BOI sont interpolées en des points géoréférencés associés à un fichier « Shape » (*.shp). Ce fichier est un fichier de données spatiales, créé au moyen du SIG ArcView d'ESRI²¹, qui regroupe tous les BOI enregistrés pendant une année : ainsi chaque fichier « shape » correspond à une année de données. Nous avons eu à notre disposition un jeu de quatre années de suivis de 2000 à 2003. Les données de 2003 ont été mises de côté car elles n'étaient pas d'un format assez proche de celui des autres fichiers fournis. Toutes les données ont été réunies dans un seul fichier « shape » afin d'éviter de répéter les transformations. Un examen du contenu de ce fichier unique (Tables 2000 à 2002) montre que 29 bateaux uniques sont suivis et 3 quais différents sont utilisés. Il contient 4859 BOI répartis sur 341 excursions. Le Tableau 7 donne la répartition des BOI selon l'activité qu'il représente (mutuellement exclusif) et l'espèce observée (plusieurs espèces peuvent être observées).

Tableau 7: Répartition des ITP selon l'activité et l'espèce

Nombre d'ITP liés à l'une des activités prédéfinies			
Obs. de cétacé	Recherche	Obs. Oiseau et pinni.	Autres activités
2131	2107	27	594
Nombre d'ITP liés à l'une des espèces spécifiques			
Petit rorqual	Rorqual commun	Rorqual bleu	Rorqual à bosse
1243	833	321	329
Béluga	Marsouin commun	Phoque du Groenland	Non identifiée #1 (ESP_09)
205	107	18	14
Non identifiée #2 (ESP_10)	Non identifiée #3 (ESP_12)		
218	317		

Les tables d'origine contiennent une série d'attributs à l'utilité et au but inconnu; certains apparaissent redondants ou obsolètes ou ont été créés juste pour l'analyse de l'évolution des AOM produites dans les rapports annuel du GREMM. Ainsi, 21 attributs ont été exclus de la base de données, en nous assurant que nous ne mettions pas de côté de

²¹ Ce logiciel est le prédécesseur de celui que nous utilisons (ArcGIS 9) et un fichier « shape » est lisible par les deux.

l'information pertinente. L'annexe B présente une vue d'ensemble des attributs des tables des BOI qui ont été retenus, modifiés, ou mis de côté.

Dans les tables d'origine, la grande majorité des attributs n'avaient pas le type nécessaire pour un traitement efficace, ou du moins exploitant au mieux les capacités de traitement du SIG. Pour les attributs retenus, les noms et les types de données ont été changés, afin d'en faciliter la reconnaissance et par l'utilisateur et par le SIG. En général, les attributs servant de référence à d'autres classes (les clés étrangères), à des sous-types potentiels (Vitesse_GRM, Activité_GRM, Rang_ACT) de même que les attributs dont les valeurs ne seraient par nature jamais décimales, sont devenus des entiers. Ceux qui contenaient un caractère textuel sont devenus du texte. Comme il y a avait plusieurs attributs temporels, nous avons seulement retenu et reformaté l'heure, la date et le jour de la semaine. Les deux premiers seront associés en Heure-Date plus tard (hh:mm:ss JJ/MM/AAAA). Les coordonnées X et Y sont de nature décimale, les BOI d'origine étant associés à un système de coordonnées NAD 83 sans projection. Ils ont subi une conversion à ce niveau et contiennent maintenant des coordonnées aux mesures métriques propres à la projection UTM.

Les BOI servent à peupler la classe des ITP. Nous allons montrer plus loin quelles autres informations sont ajoutées à la table des ITP pour que ceux-ci puissent correspondre aux trajets ponctuels des excursions et des activités. La partie 4.3 décrit en détails les étapes de construction des différents trajets.

4.1.3 Les données de permis

Les permis constituent une autre source d'information importante. Le Parc a mis à notre disposition un fichier contenant l'information reliée aux permis octroyés depuis la mise en place du règlement, en 2002. Le fichier date de cette même année. Le Tableau 8 ci-dessous décrit les informations que contient chaque type de permis.

Tableau 8: Les types de permis et leurs attributs descriptifs²²

		Types de permis					
		« 10 jours et plus » (Entreprises d'excursions en mer)	« 10 jours et moins » (Croisières régionales et internationales)	Compagnies de kayaks	Organismes de recherche	Navettes / Traversiers	Activités spéciales / Événements
A T T R I B U T S	Nom du détenteur	✓	✓	✓	✓	×	✓
	Compagnie du détenteur	✓	✓	✓	✓	✓	×
	Nom du bateau	✓	✓	×	×	✓	×
	Nombre de permis	✓	×	✓	✓	✓	×
	Numéro de permis	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Date d'émission	✓	×	✓	×	✓	×
	Date d'entrée en vigueur	✓	×	✓	✓	×	✓
	Date d'expiration	✓	×	✓	✓	×	✓
	Plus de 20 sorties ?	✓	×	×	×	×	×
	Jours de sortie pour chaque mois	×	✓	×	×	×	×
	Nom de l'événement	×	×	×	×	×	✓

Nous avons décidé de garder uniquement les informations liées aux bateaux d'excursions commerciales qui réalisent chaque saison un nombre de *sorties* supérieur à 10 dans les eaux du Parc. Cinquante-neuf permis d'entreprise d'excursions en mer ont été délivrés en 2002. Mais comme seuls 21 bateaux ont été suivis cette année-là (sur 29 au total pour les trois années), nous n'avons donc retenu que 21 permis. Grâce aux informations associées aux permis, il nous a été possible de trouver des informations supplémentaires sur les bateaux (leurs caractéristiques physiques, etc.) via leur numéro d'immatriculation²³ et sur les entreprises (contact, horaire, etc.), en recherchant leur nom sur Internet.

²² Le « X » indique que l'attribut n'est pas présent.

²³ Ce dernier permet la recherche rapide du bateau dans les systèmes d'information du ministère fédéral Transports Canada et de l'Agence des transports du Canada, respectivement accessibles aux adresses Internet suivantes : www.tg.gc.ca/shipregistry/ et <http://forms.cta-otc.gc.ca/CVIS/>.

Les principales sources de données que nous venons de décrire servent à peupler les classes de la Geodatabase. Toutes les données que génèrent ces sources sont donc centralisées et homogénéisées en une base de données unique. Cette étape de peuplement répond au premier besoin exprimé par les futurs utilisateurs.

4.2 Cartographie de l'environnement

4.2.1 La région d'étude

La région géographique de notre étude est représentée sur la carte ci-dessous (Figure 12), créée dans ArcMap avec les objets de la Geodatabase. Elle est centrée sur l'embouchure de la rivière Saguenay, située en amont de la partie marine (dans l'estuaire) du Fleuve Saint-Laurent, dans la province du Québec, au Canada.

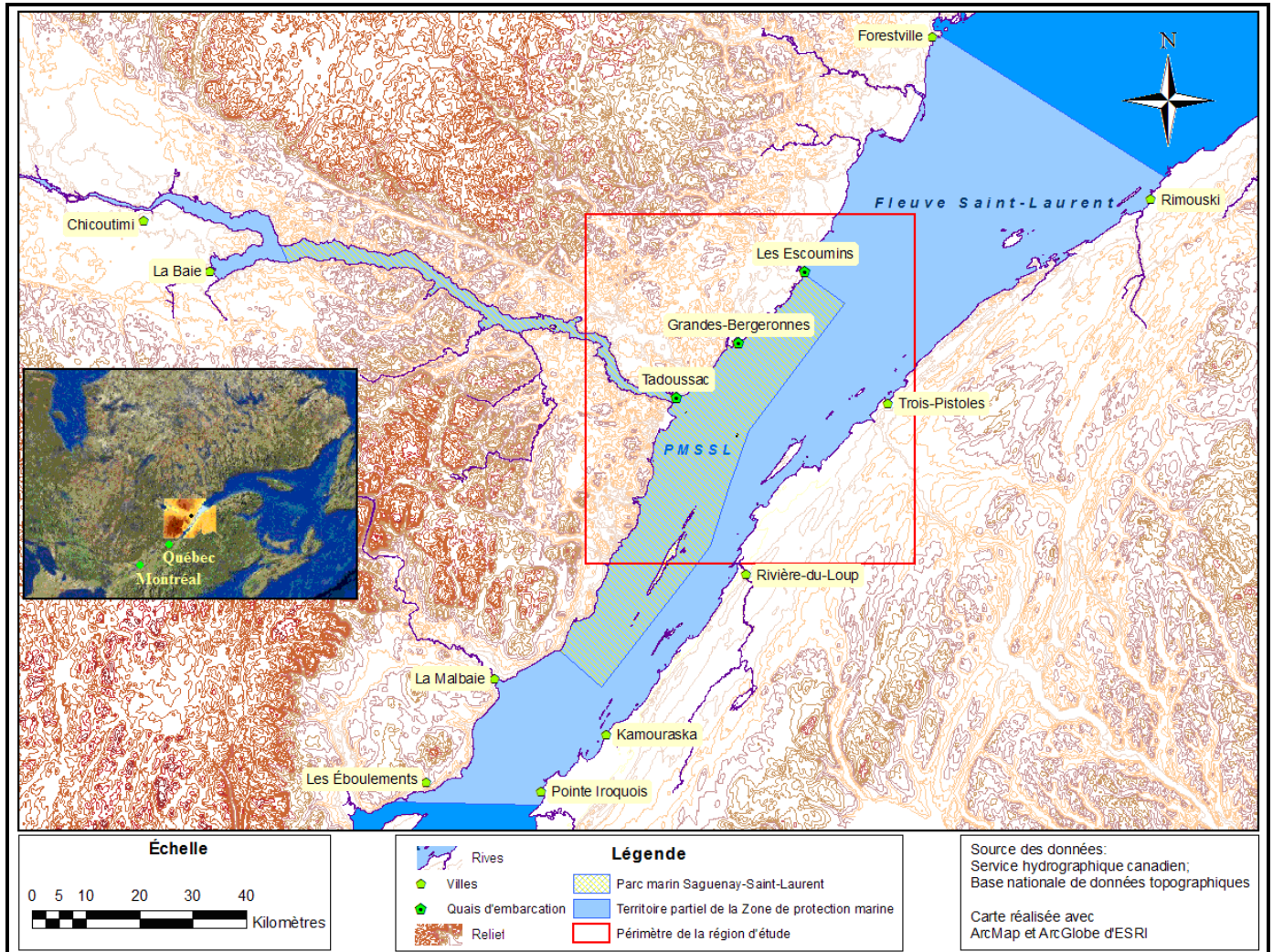


Figure 12: Région d'étude

La « grande » région d'étude couvre la section de la rivière Saguenay située en aval de la ville de Chicoutimi, s'étend, le long du fleuve Saint-Laurent, au Nord, jusqu'à la route de passage du traversier entre Forestville et Rimouski et, au Sud, s'arrête à la hauteur du Cap Saint-Joseph (Les Éboulements) et de la Pointe Iroquois (Kamouraska). Le territoire de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent reproduit est, naturellement, marin et couvre une superficie de près de 4900 km² (territoire bleu clair). Cette grande région comprend le territoire du Parc marin (1138 km², hachures jaunes) et l'aire de coordination du Parc

(Dionne, 2001)²⁴. Elle couvre aussi la très grande partie du territoire de la Zone de protection marine (ZPM) « Estuaire Saint-Laurent » prévue par le Ministère de Pêches et Océans (6000 km²)²⁵.

Pour la démonstration, nous avons délimité dans cette grande région une plus petite région d'étude dont les limites sont en rouge sur la carte. Cette petite région couvre une surface à peine plus grande que l'étendue spatiale des excursions pour lesquelles nous possédons des données. Son utilisation allège le traitement cartographique en ne retenant que les objets géographiques situés dans cette zone. Cette région comprend les trois villes portuaires (Tadoussac, Grandes-Bergeronnes, Les Escoumins) d'où partent les excursions pour lesquelles nous avons des données. Elle correspond en soi à l'étendue spatiale du cube spatiotemporel de toutes les trajectoires spatiotemporelles que nous allons créer.

La Geodatabase contient les données sur l'environnement de la région d'étude tirées des sources mentionnées à la partie 4.1.1 (p. 61). Avec les nombreux éléments du « dataset » Environnement, il est possible aux gestionnaires de produire des cartes spécialisées par exemple sur le relief sous-marin et côtier ou encore sur les attractions.

4.2.2 Les attractions

En ce qui concerne les attractions, nous avons déjà mentionné que la grande majorité des éléments du paysage peuvent faire l'objet d'une activité d'observation. Pour identifier une attraction, la logique veut qu'elle le soit lorsqu'un trajet de bateau passe à proximité d'une entité géographique fixe et que les comportements de déplacement liés au trajet sont propres à l'observation (par exemple : un ralentissement, du surplace). Dans la Geodatabase, nous avons recréé à l'aide des données présentées dans le Tableau 6 (p. 61), les attractions fixes pouvant être considérées comme les plus populaires.

²⁴ Le territoire que couvre cette aire de coordination est décrit en ligne sur <http://www.pc.gc.ca/fra/amnc-nmca/qc/saguenay/plan.aspx>.

²⁵ Projet consultable en ligne sur <http://www.qc.dfo.ca/ZPMEstuaire/fr/proj.asp>.

Après avoir numérisé la totalité des entités côtières, en retenant leur toponyme, nous les avons classées sous différentes catégories d'attractions. Par exemple, la carte SHC comprenant la Pointe à la Cariole ne mentionnait pas, naturellement, que celle-ci était une attraction régulièrement observée : nous avons pu la classer comme un site naturel grâce aux informations contenues dans le Plan directeur du Parc. La Figure 13 montre les principales attractions situées aux alentours de Tadoussac.

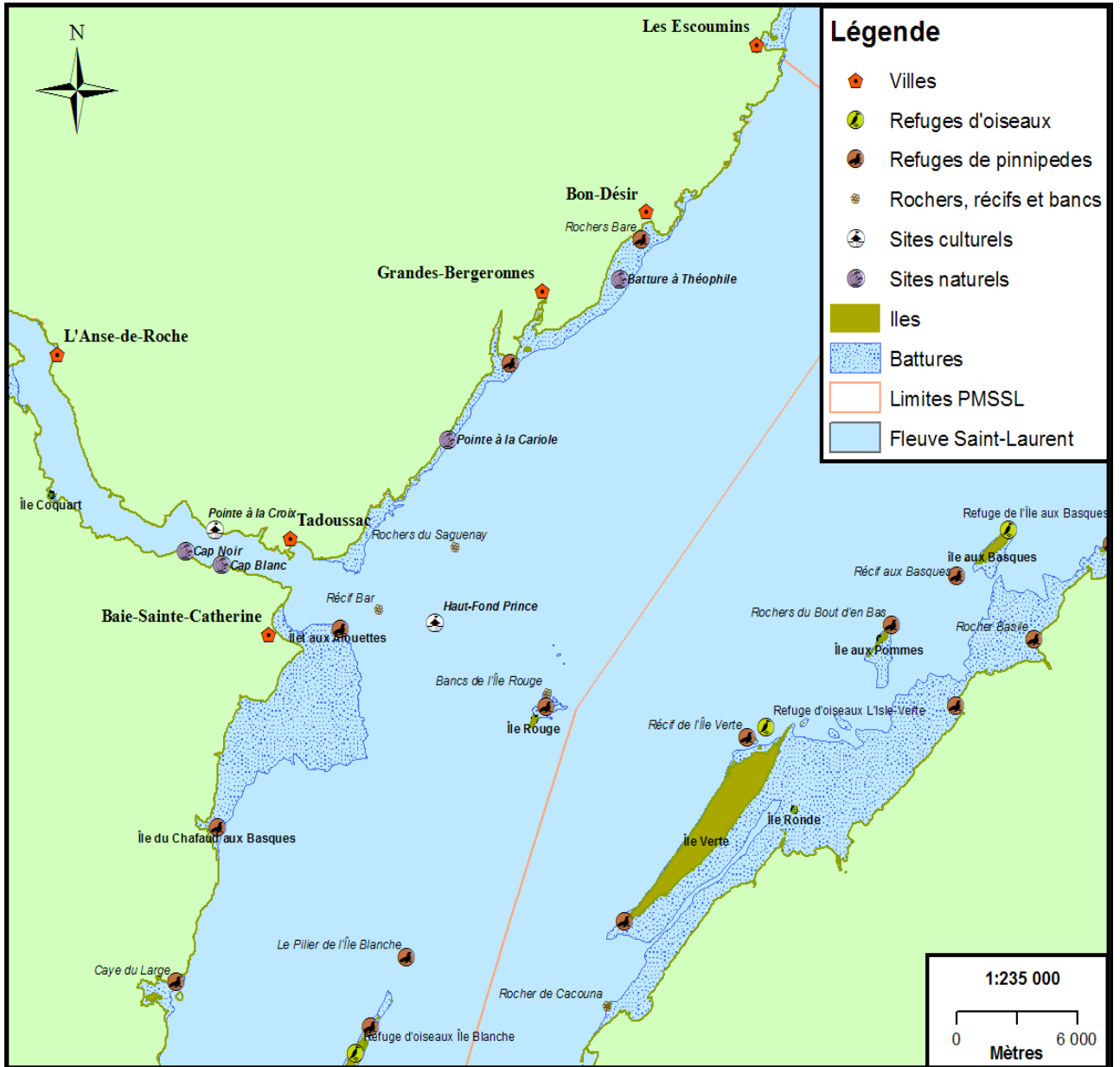


Figure 13: Les attractions fixes aux alentours de Tadoussac

À la vue des différentes cartes que l'on peut produire à partir du « dataset » Environnement, notre modèle de données peut offrir aux futurs utilisateurs un jeu de données topographiques thématiques adaptés au Besoin 7 (*'Réutiliser les données des suivis'*, Tableau 1, p. 9).

4.3 Création des trajets des excursions et des activités

4.3.1 Création des trajets ponctuels

Initialement, les données des suivis n'ont pas été prévues pour la reproduction sous forme de trajets des excursions ou des activités, bien que la méthodologie de leur échantillonnage combine l'utilisation d'un *GPS* avec la logique de l'enquête OD. Nous souhaitons montrer ici comment ces données peuvent être utilisées pour peupler d'objets les classes Excursion et Activité.

La première étape est la création des ITP. La table de données qui regroupe les BOI des trois années de suivis (2000, 2001, 2002) a été copiée pour peupler la classe ITP. L'ITP reprend une bonne partie de l'information du BOI, même si l'on en change le type et la désignation (voir annexe B). Lors de leur insertion dans la table de la classe ITP, pour que ces derniers puissent servir à la création des trajets, on doit non seulement respecter l'ordre temporel du tracking (le rang), mais aussi associer à chaque ITP une référence (la clé étrangère EXCID) pour le lier à une instance de la classe Excursion à laquelle il appartient. La logique de notre modèle permet donc de lire une table des ITP qui les range selon l'excursion et l'ordre temporel de leur enregistrement par le GPS.

La série des ITP, ordonnée temporellement, qui appartient à une même excursion, représente le trajet ponctuel de l'excursion. Issu directement des BOI, ce trajet ponctuel n'est pourtant pas complet : il faut ajouter un ITP au début de la série pour représenter le départ de l'excursion et un autre à la fin pour l'arrivée. Nous avons inséré 682 ITP supplémentaires dans la classe ITP pour représenter les points de départ et d'arrivée des 341 excursions suivies.²⁶ Cette manipulation a pour résultat la création du trajet ponctuel de chaque excursion.

²⁶ Nous savons que les excursions avaient des trajets en boucle, donc nous avons donné à ces deux points les mêmes coordonnées géographiques. Pour les heures, il fallait soustraire ou ajouter 10 minutes aux premiers et derniers points d'origine.

Les ITP héritent des BOI la référence à leur excursion grâce à l'identifiant EXCID, mais ils ne possèdent pas automatiquement l'identifiant de l'activité à laquelle ils appartiennent aussi. Lors de l'enregistrement de chaque BOI, l'observateur sur le bateau juge de l'activité en cours et assigne au BOI un code qui caractérise l'activité du bateau ('1 - Observation', '2 - Recherche', '3 - Oiseaux et Pinnipèdes', et '4 - Autres Activités'). Chaque activité inscrite au niveau d'un BOI est notée indépendamment de celle qui l'a précédée et il n'y a pas d'heure de début ni de fin délimitant l'activité. Comme nous devons utiliser les BOI pour reproduire les trajets, nous avons utilisé les types d'activité notés au cours de l'excursion pour créer des trajets ponctuels des différentes activités. La logique est donc de considérer que les ITP d'une même excursion, qui se suivent dans le temps et qui ont le même type d'activité, font partie d'un trajet d'activité unique (Figure 14). Les premiers et derniers ITP de ces trajets au sein de l'excursion représentent le début et la fin de l'activité.

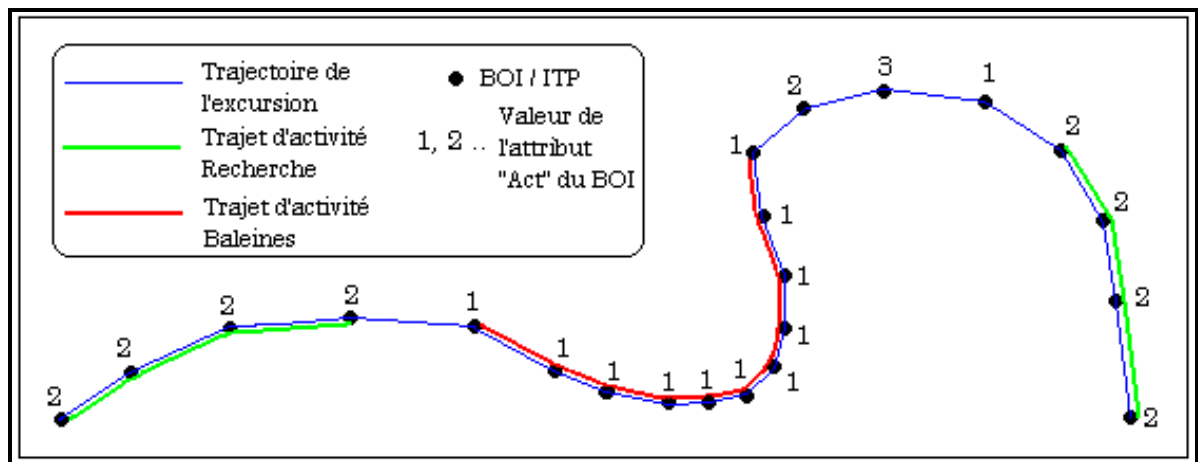


Figure 14: Logique de la création des trajets ponctuels des activités

Comme pour l'identifiant EXCID contenu dans les ITP, il faut s'assurer que les ITP possèdent une référence à un trajet d'activité. Nous utilisons donc le champ ACTID de la classe ITP pour y insérer les valeurs des identifiants uniques correspondant aux trajets des activités. En assurant l'ordre parfaitement correct des ITP dans le temps pour chaque excursion, un identifiant unique à un trajet d'activité est créé et inséré dans le champ ACTID chaque fois que change la valeur de l'attribut Activité_GRM caractérisant l'activité

en cours (pour l'un des quatre types)²⁷. Parallèlement à l'insertion des identifiants, lorsqu'un nouveau trajet ponctuel d'activité est identifié, on associe dans la table des ITP une valeur à l'attribut Rang_ACT pour préciser l'ordre temporel des activités réalisées au cours de l'excursion. Cette démarche est illustrée au Tableau 9.

Tableau 9: Insertion des identifiants des trajets d'activités

ITPID	EXCID	Rang_IPT	Heure	Date	Activité	GRM	ACTID	Rang_Act
766	2001046	0	13:25	1/09/2001		0	319	
767	2001046	1	13:35	1/09/2001		1	320	1
768	2001046	2	13:45	1/09/2001		2	321	2
769	2001046	3	13:55	1/09/2001		2	321	2
770	2001046	4	14:05	1/09/2001		1	322	3
771	2001046	5	14:15	1/09/2001		1	322	3
772	2001046	6	14:25	1/09/2001		1	322	3
773	2001046	7	14:35	1/09/2001		1	322	3
774	2001046	8	14:45	1/09/2001		1	322	3
775	2001046	9	14:55	1/09/2001		2	323	4
776	2001046	10	15:05	1/09/2001		4	324	5
777	2001046	11	15:15	1/09/2001		2	325	6
778	2001046	12	15:25	1/09/2001		2	325	6
779	2001046	13	15:35	1/09/2001		4	326	7
780	2001046	14	15:45	1/09/2001		4	326	7
781	2001046	15	15:55	1/09/2001		2	327	8
782	2001046	16	16:05	1/09/2001		9	328	

Il est possible d'utiliser la même logique en créant des identifiants pour des trajets représentant l'observation d'une espèce en particulier. Chaque fois que le champ N_CodeEspèce (nombre d'individu d'une espèce présente lors de la prise du BOI) n'est pas nul, on associe dans un champ connexe CodeEspèce_T_ID (identifiant du trajet d'observation d'espèce spécifique) un identifiant unique. Si plusieurs ITP avec une valeur

²⁷ Ce procédé, solution *ad hoc* liée à la nature des BOI, va créer en fait deux types de trajets d'activité. Il y a les activités représentées par plusieurs ITP et celles qui ne le sont que par un seul ITP. Les activités avec un ITP posent plusieurs problèmes, le principal étant qu'une activité dans notre modèle est un objet linéaire et a obligatoirement une durée et une longueur. Cela implique que lors de l'interpolation linéaire des points en ligne (voir plus loin), les activités possédant un seul ITP ne sont pas prises en compte. La conséquence est donc une perte d'information sur les activités du bateau au cours de l'excursion. Pour remédier à ce problème lié à la nature de l'échantillonnage des BOI, nous avons dû créer une classe d'activités à part qui n'était pas prévue dans le modèle de données.

pour N_CodeEspèce se suivent, on leur assigne le même identifiant d'activité pour créer le trajet ponctuel de l'observation d'une espèce spécifique.

Au niveau des trajets d'observation d'espèce spécifique, la logique du rang ne fonctionne pas : le rang sert à établir le programme de l'excursion et n'est pertinent que lorsque les activités sont mutuellement exclusives dans le temps. En effet, il se peut que plusieurs espèces différentes soient observées pendant l'enregistrement d'un BOI, ce qui se traduit dans la base de données par des trajets se superposant (car ils utilisent les mêmes ITP).

Après avoir identifié individuellement chaque trajet ponctuel des excursions et chaque trajet ponctuel des activités, on peut maintenant interpoler ces séries de points en des trajets linéaires.

4.3.2 Interpolation linéaire des trajets

Les trajets linéaires des excursions et des activités sont construits à partir des identifiants de chaque trajet ponctuel, contenus dans la classe des ITP. Le nouvel objet linéaire hérite de cet identifiant sur lequel l'association entre les points et la ligne est basée.

Pour les excursions, les ITP ayant un même identifiant EXCID sont affichés dans ArcMap. La classe des excursions, vide, est ajoutée à la couche (« layer ») de travail et une session d'édition est ouverte pour créer une nouvelle instance d'excursion : les ITP sont rejoints selon leur ordre temporel (le rang qui correspond au numéro ordinal de L'ITP dans la série), allant de 0 au point d'arrivée. Pour illustrer le procédé d'interpolation linéaire, prenons comme point de départ les ITP liés à l'excursion 2001046 (la 46^e excursion suivie en 2001) réalisée par le bateau 'Grand Fleuve' de grande taille (Taille_Bat '3'), le samedi 1^{er} septembre 2001, au départ de Tadoussac à 13h 25.

Que l'interpolation des points en ligne soit manuelle, ou automatisée, elle doit obligatoirement utiliser l'attribut d'ordonnement (le NO_ITP, ou l'heure) et respecter l'identifiant unique du trajet. Le résultat de cette opération d'interpolation est une ligne qui

représente le trajet linéaire de l'excursion 2001046 (Figure 15), pour laquelle encore aucun attribut, à part la longueur et l'identifiant, n'est documenté.

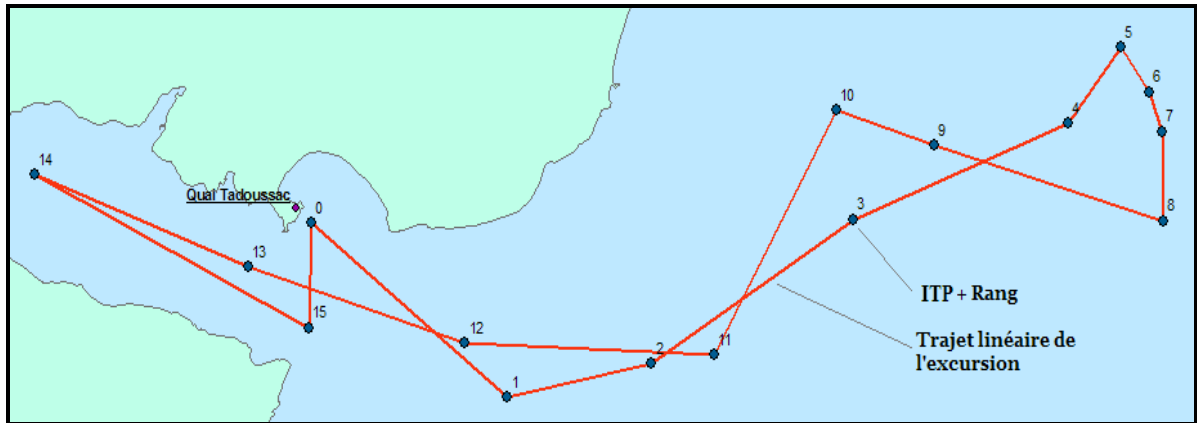


Figure 15: Interpolation des ITP\BOI en un trajet linéaire d'excursion

Pour les trajets linéaires des activités, l'interpolation suit la même logique mais se base cette fois-ci sur les identifiants des activités contenus dans les ITP. La Figure 16 montre les activités associées aux différents ITP (avec une couleur par type d'activité) et le rang de l'ITP, les deux éléments nécessaires pour l'interpolation.

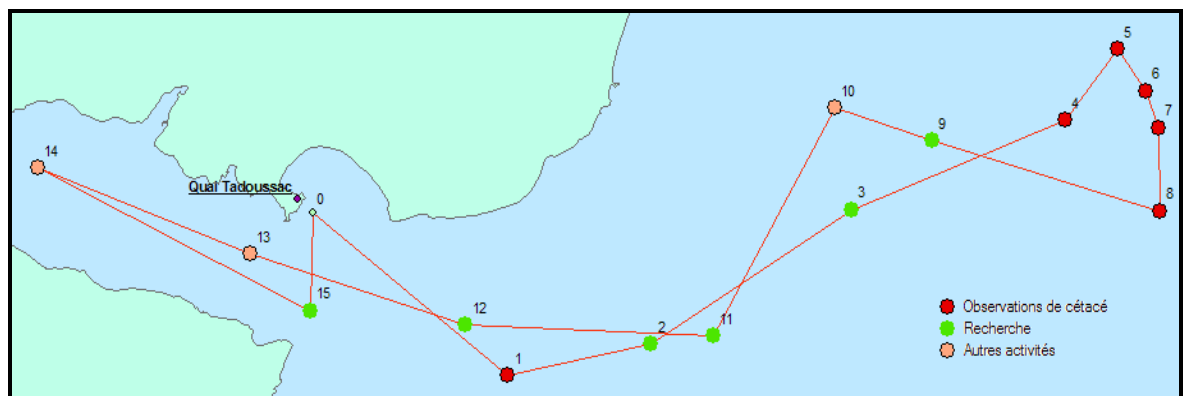


Figure 16: Les activités liées aux ITP

Les ITP de rang 4 à 8, par exemple, ont la même activité et forment le trajet ponctuel de l'activité d'observation à l'ACTID 322. L'interpolation réalisée pour les activités de l'excursion 2001046 donne quatre trajets linéaires, comme l'illustre la Figure 17.

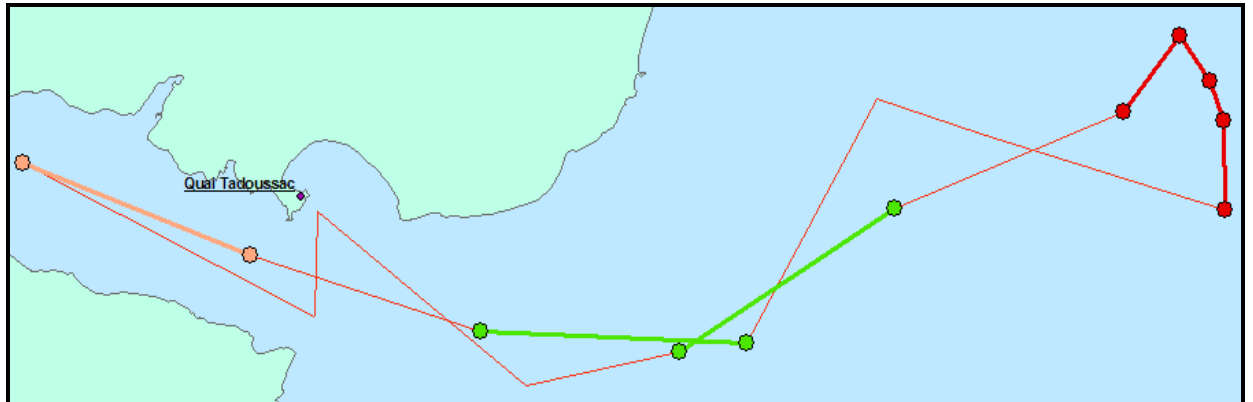


Figure 17: Trajets ponctuel et linéaire des activités

Dans la Figure 17, nous montrons seulement les trajets linéaires des activités et de l'excursion. Les activités ponctuelles (voir les ITP de rang 1, 9, 10, 15 dans la Figure 16) ne peuvent pas être représentées par une ligne. Il existe une autre méthode pour créer les trajets d'activité à partir des données des suivis qui ne donne pas d'activités ponctuelles. Cette méthode utilise les segments entre chaque ITP plutôt que les ITP eux-mêmes. Elle est illustrée à la Figure 18. La numérotation des segments indique le rang d'une activité dans l'excursion : elle permet de recréer l'enchaînement des activités.

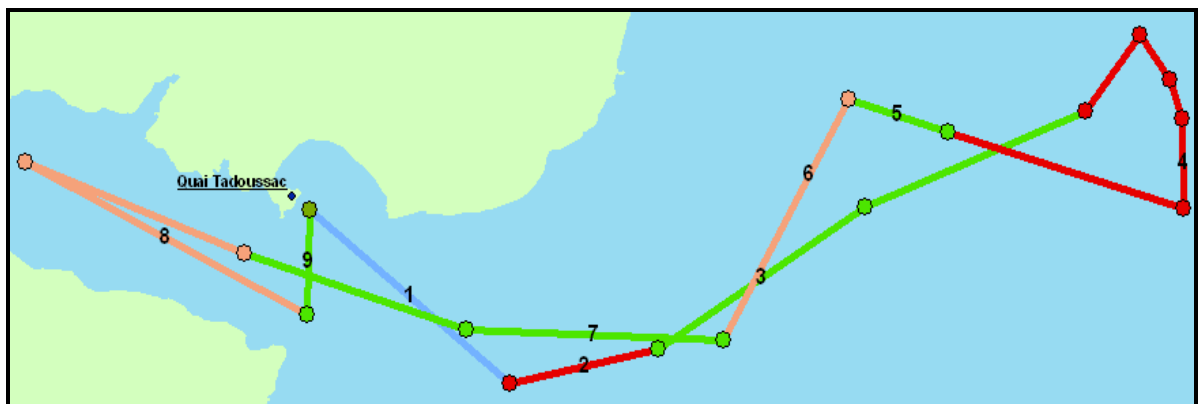


Figure 18: Interpolation des activités à l'aide de segments

Cependant, cette deuxième méthode nécessite des manipulations supplémentaires qui peuvent créer des erreurs. Elle ne permet pas non plus d'obtenir toute l'information dont on aura besoin pour analyser les comportements de déplacements.

Les activités ponctuelles sont un artifice qui émerge de la nature de BOI, plus précisément de la cadence d'enregistrement de ces derniers. Une révision mineure dans la méthodologie d'échantillonnage réglerait ce problème, en combinant les avantages des deux méthodes d'interpolation présentées plus haut. Le compromis est donc pour l'instant la création d'une classe Activités ponctuelles supplémentaire, non prévue dans le modèle de données, qui pourra tout de même être utilisée pour certaines analyses.

L'étape d'interpolation linéaire complète le peuplement de la base de données. Le Tableau 10 compile le nombre des instances des classes créées (nous donnons aussi le total des instances des activités ponctuelles).

Tableau 10: Nombre d'instances des classes liées aux trajets

Classes		19/06 au 29/09 2000	26/06 au 27/09 2001	25/06 au 30/09 2002	Total
Excursions		75	133	133	341
Activités d'observation de cétacés (Type '1')	Act. L	96	211	179	486
	Act. P	36	111	124	271
Activités de recherche (Type '2')	Act. L	146	204	217	567
	Act. P	54	149	152	355
Activités d'observation d'oiseaux et de pinnipèdes (Type '3')	Act. L	0	1	4	5
	Act. P	1	7	9	17
Autres activités (Type '4')	Act. L	53	47	57	157
	Act. P	15	44	44	103
ITP		1252	2148	2141	5541

4.3.3 Ajout d'information par agrégation

Les trajets linéaires que nous venons de créer ne possèdent pas toute l'information que nous avons prévue dans le modèle, essentiellement celle qui caractérise le comportement de déplacement. Ainsi, parallèlement à l'interpolation, nous devons faire des opérations d'agrégation arithmétique sur les attributs des ITP. Nous allons utiliser différents outils du SIG pour remplir ces champs laissés vides.

Lors de la conceptualisation (Partie 2.2.3), nous avons identifié plusieurs variables qui caractérisent le comportement de déplacement et la plupart des informations utiles à cette analyse ne se retrouvent pas initialement dans les BOI d'origine. Il nous faut donc ajouter les informations suivantes aux ITP : la vitesse, la direction, la distance de pas et l'angle de déviation. Ces données ne peuvent être calculées que si les ITP possèdent déjà un identifiant pour les trajets.

Pour les trois derniers attributs, on utilise une extension pour ArcMap développée par Beyer (2004) qui se sert de la série des ITP du trajet ponctuel des activités. Une fonction de ce module (« Calculate Movement Parameters ») permet en effet de calculer les valeurs des paramètres de déplacement pour chaque point du trajet ponctuel : elle utilise alors l'identifiant des trajets, contenu dans les ITP, pour ordonner ces derniers dans le temps, et au moyen d'algorithmes de calculs géométriques, produit les valeurs de ces paramètres pour chaque ITP de la série. Pour calculer l'attribut 'Vitesse', qui ne l'est pas automatiquement, nous avons simplement divisé la distance de pas par la cadence.

Ces attributs vont être utilisés pour caractériser le comportement de déplacement de l'excursion et de l'activité sous leur forme linéaire. La fonction que nous utilisons dans ArcMap pour cela est « Summary Statistics ». Cette fonction, pour toute série de points ayant le même identifiant de trajet, va permettre de calculer ou de retenir, pour l'attribut spécifié, les informations suivantes : sa moyenne, l'écart-type, la somme, ses valeurs maximale et minimale, de début et de fin (de série).

Dans les deux tableaux ci-dessous, nous précisons les calculs d'agrégation réalisés pour compléter les informations sur l'excursion (Tableau 11) et sur les activités (Tableau 12).

Tableau 11: Agrégations réalisées pour l'excursion

Excursion						
Paramètres ponctuels	Type d'agrégation					
	Valeur Max.	μ	σ	Σ	Première valeur	Dernière valeur
Vitesse	Oui	Oui				
Distance du pas				Oui		
Direction						
Heure-date					Oui	Oui
Bateaux rencontrés	Oui	Oui				
Animaux rencontrés	Oui	Oui				

Tableau 12: Agrégations réalisées pour l'activité

Activité						
Paramètres ponctuels	Type d'agrégation					
	Valeur Max.	μ	σ	Σ	Première valeur	Dernière valeur
Vitesse	Oui	Oui	Oui		Oui	Oui
Angle de déviation	Oui	Oui	Oui			
Distance du pas		Oui	Oui	Oui		
Direction					Oui	Oui
Heure-date					Oui	Oui
Bateaux rencontrés	Oui	Oui			Oui	Oui
Animaux rencontrés	Oui	Oui				
Belugas rencontrés	Oui	Oui				

Pour les trajets d'activité, nous devons ajouter quatre autres attributs qui sont nécessaires pour examiner les comportements de déplacement : le coefficient de variation de la vitesse, le coefficient de variation de la direction, la différence entre la direction du début du trajet et celle de fin de trajet et finalement la sinuosité métrique (possible grâce à l'outil de Beyer). L'ajout d'information par agrégation complète le processus de peuplement de la base de données. Nous montrons dans la prochaine partie comment les attributs que nous venons de calculer serviront à cet égard.

4.4 Visualisation et analyse des trajets

Les classes de la Geodatabase étant maintenant peuplées, nous allons pouvoir sonder et visualiser leur contenu à l'aide du SIG. Dans cette partie-ci, nous ferons la démonstration du principe des *requêtes* appliquées à la base de données pour la sélection, la visualisation et l'analyse statistique des trajets des excursions et des activités. L'un des besoins exprimés par les futurs utilisateurs est de pouvoir étudier ces trajets. L'affichage, la lecture et l'extraction des trajets à partir du SIG devront permettre de produire des informations supplémentaires sur les AOM qui complètent l'analyse des suivis et contribuent à l'étude des déplacements dans le cadre de la réglementation.

4.4.1 Exploration de l'excursion et de ses activités

Lors de la conceptualisation, nous nous sommes basé sur le concept de la trajectoire spatiotemporelle pour comprendre et modéliser l'excursion et la chaîne d'activités qu'elle présente. En affichant les excursions dans le module ArcMap d'ArcGIS, on peut utiliser l'outil d'identification qui, grâce aux associations entre les objets, permet de consulter chaque excursion et les objets qui lui sont attachés (Figure 19).

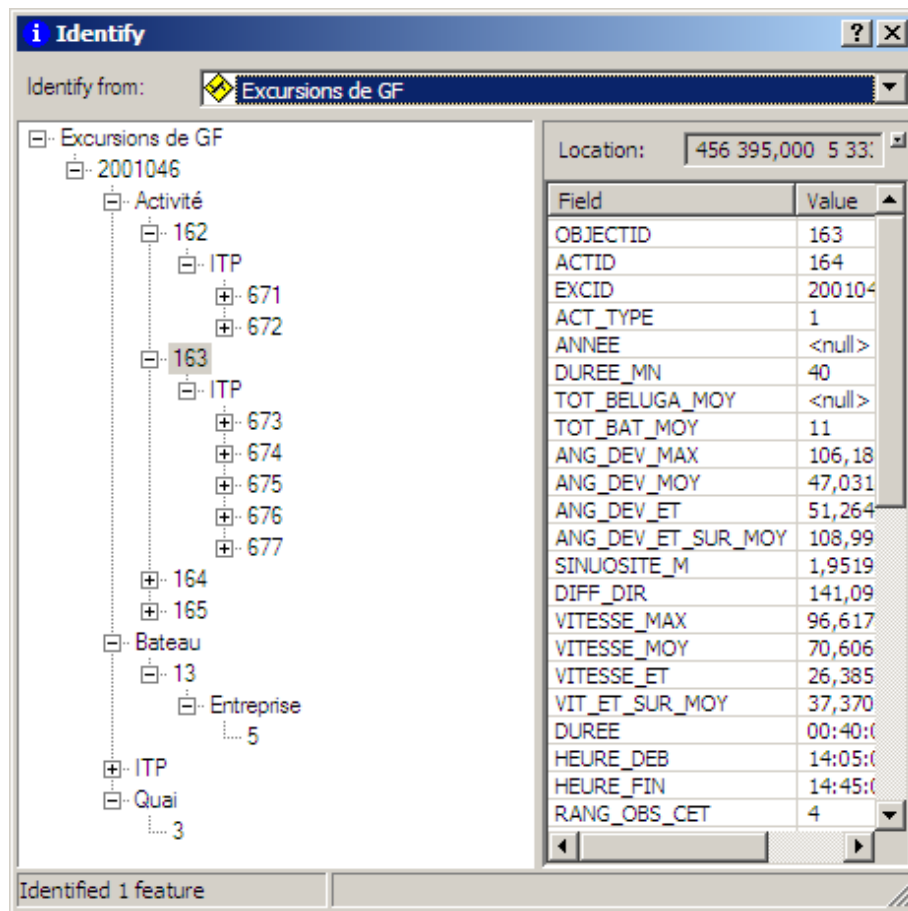


Figure 19: L’outil d’identification exploitant les associations du modèle

Avec l’outil d’identification, on peut naviguer entre les objets associés et consulter les données des tables d’objets. Comme le montre la Figure 19, l’outil donne accès à partir d’une excursion sélectionnée à ses activités individuelles et à leurs ITP : permet de naviguer jusqu’au quai et d’accéder aux données de l’entreprise ou à celles des autres excursions d’un même bateau.

Quelques manipulations simples d’affichage sont nécessaires pour ne montrer dans l’interface graphique que la seule excursion qui est examinée. Dans la Figure 20 est montrée une excursion en tant que trajectoire spatiotemporelle : sont ainsi affichés le trajet linéaire de l’excursion et des activités et les activités ponctuelles. Le rang permet de lire l’ordre temporel de l’exécution des activités.

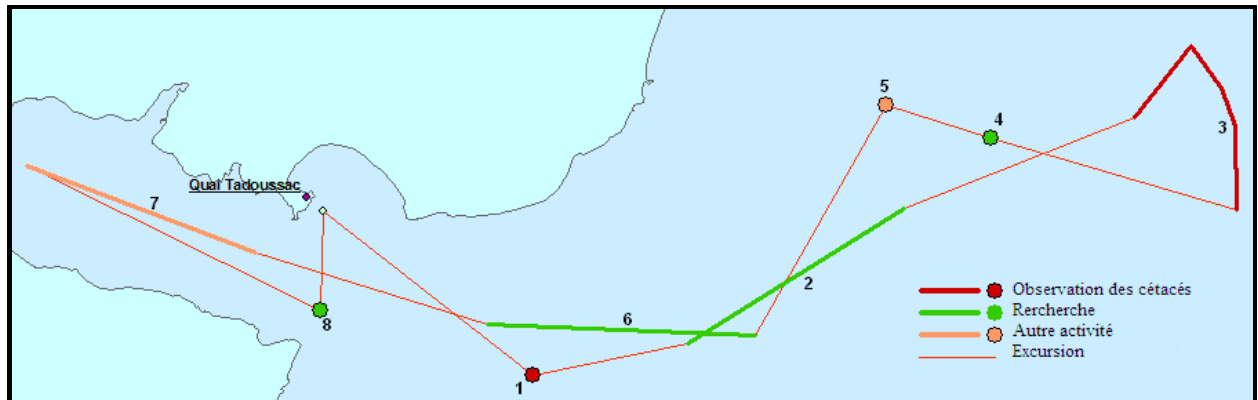


Figure 20: Représentation graphique d'une excursion et ses activités dans le SIG

Les objets affichés dans la Figure 20 forment l'ensemble des données qui sert à l'analyse des excursions et des activités au sein de celle-ci. Ces données pourront servir à représenter en trois dimensions l'excursion telle que la conceptualise la géographie temporelle. La représentation en 3D des trajets linéaires de l'excursion et des activités est possible, mais reste problématique. Elle demande en effet des compétences avancées en programmation. Les travaux de Shaw et Yu (2008) montrent que ArcGIS est capable de reproduire en trois dimensions des trajectoires spatiotemporelles sous forme de ligne. Les deux chercheurs utilisent la logique du référencement linéaire, en appliquant une segmentation dynamique à la trajectoire. Le référencement et la segmentation ne se font pas sur la dimension spatiale mais bien sur le temps que prend le déplacement²⁸. Néanmoins, la visualisation, la recherche d'information et l'analyse des trajectoires dans un plan tridimensionnel ne fait pas partie actuellement des besoins des gestionnaires du Parc et plusieurs essais qui tentaient de reproduire la manipulation de Shaw et Yu ne nous ont pas donné satisfaction²⁹ dans le contexte de notre travail.

²⁸ Utilisation de la fonction « *msegmentation* » sur l'attribut temporel, considéré comme la mesure *M*, dans ArcGIS.

²⁹ Nous avons utilisé leur outil disponible en ligne sur <http://web.utk.edu/~sshaw/NSF-Project-Website/download.htm>.

4.4.2 Sélection et analyse multicritères des excursions

L'inspection d'une excursion individuelle peut être utile dans certains cas, mais l'analyse des AOM est très souvent portée sur un groupe d'objets. Les groupes sont en fait des résultats de sélections d'objets, créés grâce à l'utilisation d'une « requête ». Les requêtes peuvent être de nature thématique, temporelle ou spatiale ou une combinaison de celles-ci; elles sont envoyées au SIG en utilisant le langage SQL.

Pour les sélections thématiques, par exemple, le point de départ est principalement l'acteur, c'est-à-dire l'entreprise ou le bateau. Pour les sélections temporelles, on peut vouloir afficher les excursions d'une année seulement, ou bien celles des fins de saison. Pour les sélections spatiales, on peut utiliser le quai de départ pour ne voir que les excursions qui lui sont rattachées, ou bien on peut choisir une entité géographique telle une attraction fixe et ne retenir que les excursions (ou les activités) dont le trajet passe à moins d'une certaine distance de cette entité. Bref, les requêtes peuvent être basées sur une grande variété de combinaison d'attributs et d'association. À titre d'exemple, la Figure 21 ci-dessous présente des résultats d'une requête de sélection des excursions qui tient compte de la taille des bateaux et du quai d'embarcation.

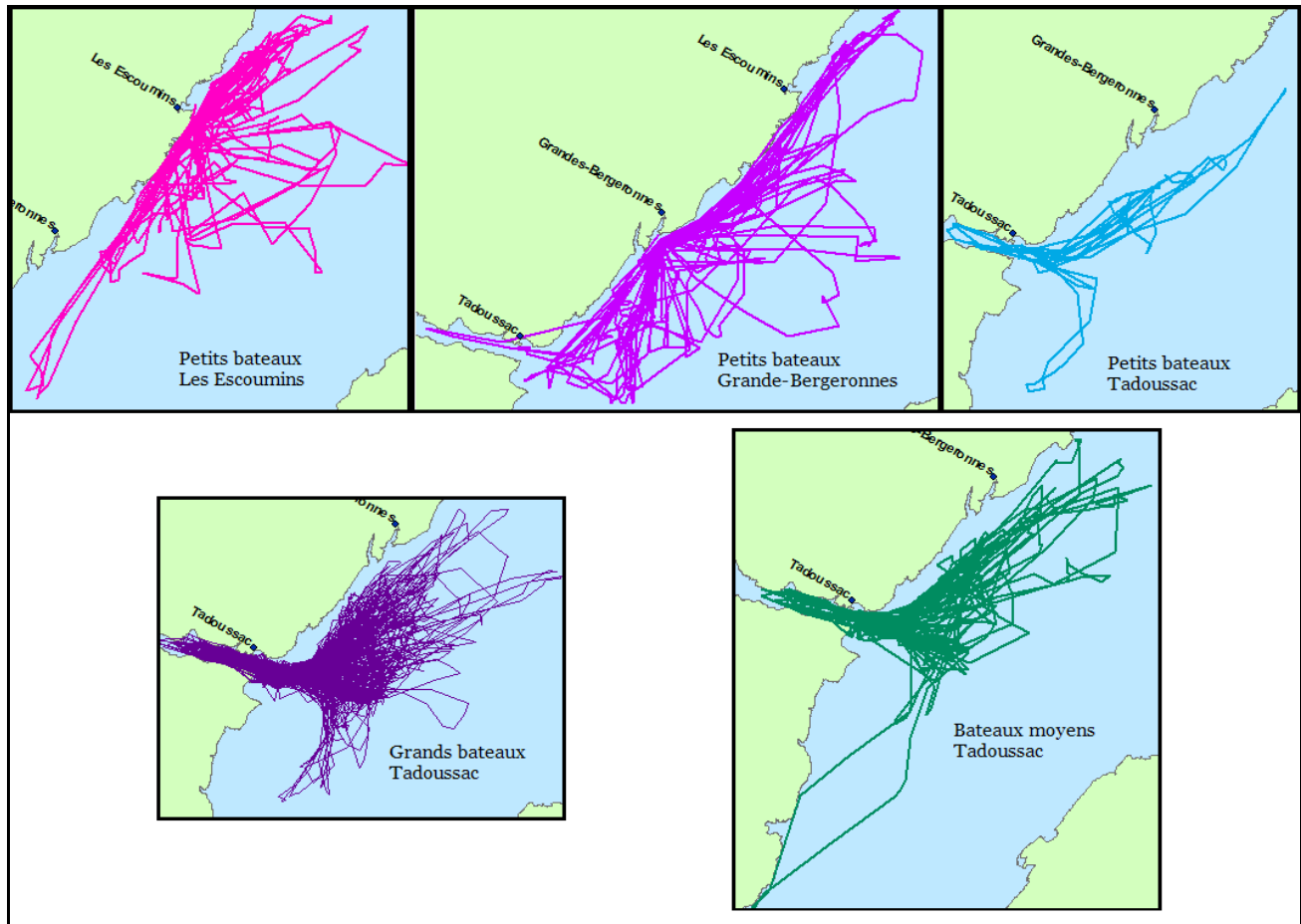


Figure 21: Les excursions selon la taille des bateaux et le quai d'embarcation (captures d'écran)

Le but d'une requête est l'accès direct aux informations des tables de données des objets sélectionnés. La requête illustrée par les planches de la Figure 21 permet par exemple de compiler des bilans : dans le Tableau 13, pour chaque année, les excursions sont comptées en fonction de la taille des bateaux et le quai de départ.

Tableau 13: Bateaux actifs et leurs excursions selon le quai l'année et leur taille

Quai ▼	Année ►	Taille	2000		2001		2002	
			Nb Exc	Nb Bat	Nb Exc	Nb Bat	Nb Exc	Nb Bat
Tadoussac		Grand	75	3	66	3	66	3
		Moyen	-	-	9	3	14	3
		Petit	-	-	18	5	8	3
Grandes-Bergeronnes		Grand	-	-	-	-	-	-
		Moyen	-	-	-	-	-	-
		Petit	-	-	19	4	22	3
Les Escoumins		Grand	-	-	-	-	-	-
		Moyen	-	-	-	-	-	-
		Petit	-	-	21	5	23	6

À partir de cette sélection, il est possible de calculer quelques données statistiques sur les attributs des excursions. Le Tableau 14 ci-dessous présente les statistiques de base des données propres aux trajets linéaires des excursions, issues des agrégations (voir Tableau 11).

Tableau 14: Comparaison de données sur les excursions de grands et petits bateaux

Données de l'excursion	Grands bateaux	Petits bateaux
Durée moyenne (minutes)	157	134
Longueur moyenne du trajet (km)	32,25	31,52
Vitesse moyenne en mètres\minute ³⁰ (et en nœuds)	197,46 (6,4)	227,05 (7,36)
Moyenne de la vitesse maximale en m\min et noeuds	414,84 (13,44)	650,46 (21,08)
Nombre moyen de cétacés rencontrés	2,58	1,5
Moyenne du nombre maximal de cétacés rencontrés	4,52	2,23
Nombre moyen de bateaux rencontrés	4,87	3,52
Moyenne du nombre maximal de bateaux rencontrés	10,5	7,25

³⁰ L'unité des mètres par minute nous semble plus concrète pour caractériser la vitesse d'un bateau. Un nœud correspond à 1,85 km/h ou 30,86 m/min.

Ces données sont compilées pour les excursions des trois années. On note que les excursions des petits bateaux durent moins longtemps que celles des grands bateaux. La vitesse moyenne entre les deux types de bateaux est négligeable, mais les petits bateaux atteignent en moyenne des vitesses maximales nettement plus élevées que les grands bateaux. Ces derniers par contre rencontrent plus de cétacés et de bateaux que les petits bateaux. On serait tenté de conclure par exemple qu'un touriste a plus de chance de voir des animaux s'il monte sur un grand bateau que sur un petit, et que son expérience ne souffrira pas trop du nombre de bateaux rencontrés par rapport à ceux rencontrés à bord d'un petit bateau. Mais vu la distribution de l'échantillonnage des excursions (Tableau 13) dans le temps et dans l'espace (le secteur de Tadoussac est nettement plus achalandé par des bateaux que le secteur des Escoumins), on ne peut tirer des conclusions définitives sur la base des données du Tableau 14 concernant la nature des excursions pour les deux types de bateaux. C'est le principe de comparaison de cette analyse que nous souhaitons mettre en relief ici.

Le règlement de 2002 sur les activités d'observation dans le PMSSL, dont nous présentons le contenu à l'annexe C, prescrit des codes de conduite qui sont applicables à l'excursion. Par exemple, le pilote d'un bateau ne peut conduire à une vitesse supérieure à 25 nœuds (770 m/min) dans le parc. De plus, quand une espèce en voie de disparition, comme le béluga, est rencontrée par un bateau d'observation, le pilote de ce dernier doit respecter des codes spécifiques.

Dans les données des suivis mises à notre disposition, aucune excursion n'a une vitesse moyenne qui dépasse 25 nœuds, mais plusieurs (24 sur 341 excursions) montrent qu'à certains moments la vitesse atteinte dépassait la limite. Toutes ces excursions à haute vitesse ont été réalisées par des bateaux de petites tailles (style zodiac), en partance de Grandes-bergeronnes ou des Escoumins. Parmi ces 24 excursions, six ont rencontré un ou plusieurs bélugas et quatre de ces excursions ont été conduites par des pilotes d'une même entreprise. La Figure 22 ci-dessous illustre cette situation.

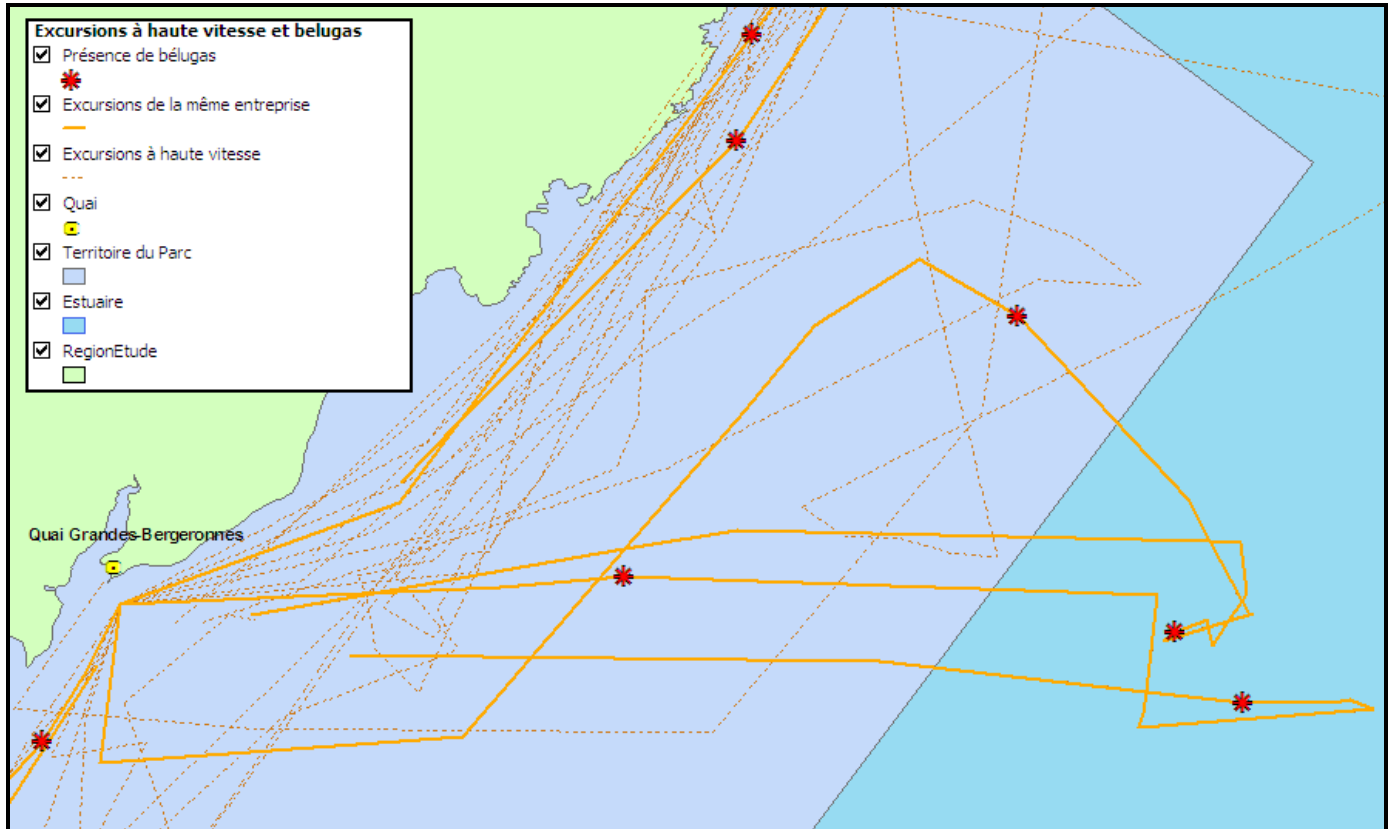


Figure 22: Sélection d’excursions à haute vitesse et présence de bélugas (capture d’écran)

Cette exploration des excursions est un exemple concret de la pertinence du concept de trajectoire spatiotemporelle, traduit dans notre modèle par des associations qui permettent de sélectionner, visualiser et analyser les éléments de la *chaîne d’activités*.

4.4.3 Sélection et analyse multicritères des activités

Les AOM étant au centre des préoccupations des futurs utilisateurs, nous allons donner ici des exemples de sélections et d’analyses un peu plus complexes que pour les excursions.

4.4.3.1 Bilan des trajets d’activités

Les analyses des suivis que fait le GREMM chaque année sont des bilans très complets. Ces derniers sont des compilations de totaux des objets analysés chaque fois selon un thème précis. Dans les rapports d’analyse, les bilans permettent par exemple de

tracer l'évolution du nombre des activités de différents types. Comme ces analyses se basent sur les BOI (des données ponctuelles), nous montrons ici un bilan similaire, mais pour les trajets d'activités (Tableau 15).

Tableau 15: Les trajets d'activités selon leur type et la taille des bateaux (2001 et 2002)

Activité	Nombre de trajets par taille de bateau			
	Petit	Moyen	Grand	Total
2001				
Observation de cétacés	95	25	90	211
Recherche	68	20	116	204
Oiseaux/Pinnipèdes	1	-	-	1
Autres activités	8	2	37	47
Petit rorqual	25	5	64	94
Rorqual commun	35	3	37	75
Rorqual bleu	33	7	11	51
Rorqual à bosse	20	4	11	35
Béluga	2	1	4	7
Marsouin commun	2	-	1	3
Phoque du Groenland	-	-	-	-
Espèce inconnue 1	-	-	-	-
Espèce inconnue 2	3	-	4	7
Espèce inconnue 3	3	-	17	20
2002				
Observation de cétacés	68	20	91	179
Recherche	82	29	106	217
Oiseaux/Pinnipèdes	2	-	2	4
Autres activités	7	2	48	57
Petit rorqual	19	15	106	140
Rorqual commun	14	12	29	55
Rorqual bleu	23	1	2	26
Rorqual à bosse	14	6	21	41
Béluga	3	-	5	8
Marsouin commun	2	-	-	2
Phoque du Groenland	-	-	3	3
Espèce inconnue 1	-	-	1	1
Espèce inconnue 2	2	-	20	22
Espèce inconnue 3	3	-	17	20

Présenté à simple titre d'exemple, le bilan des trajets d'activité peut compléter des rapports d'analyses sur l'évolution des AOM dans le Parc.

4.4.3.2 Exploration visuelle des trajets d'activité

Pour cet exemple-ci, nous avons considéré les trajets d'activité d'un unique bateau ('GF'). On pourrait comparer les trajets des petits bateaux à ceux des grands, mais la logique de la trajectoire spatiotemporelle (et celle du règlement) nous pousse à privilégier plutôt une analyse basée sur l'individu.

Le choix du bateau n'est pas fait au hasard : d'une part, c'est celui pour lequel nous avons le plus d'excursions et, d'autre part, c'est un bateau de grande taille, pouvant transporter 600 passagers. L'intérêt ici est que ce type grand bateau, selon notre enquête sur le terrain, est généralement conduit par le même pilote professionnel, contrairement aux zodiacs. Les trajets de ce bateau sont visibles sur la Figure 23 ci-dessous.

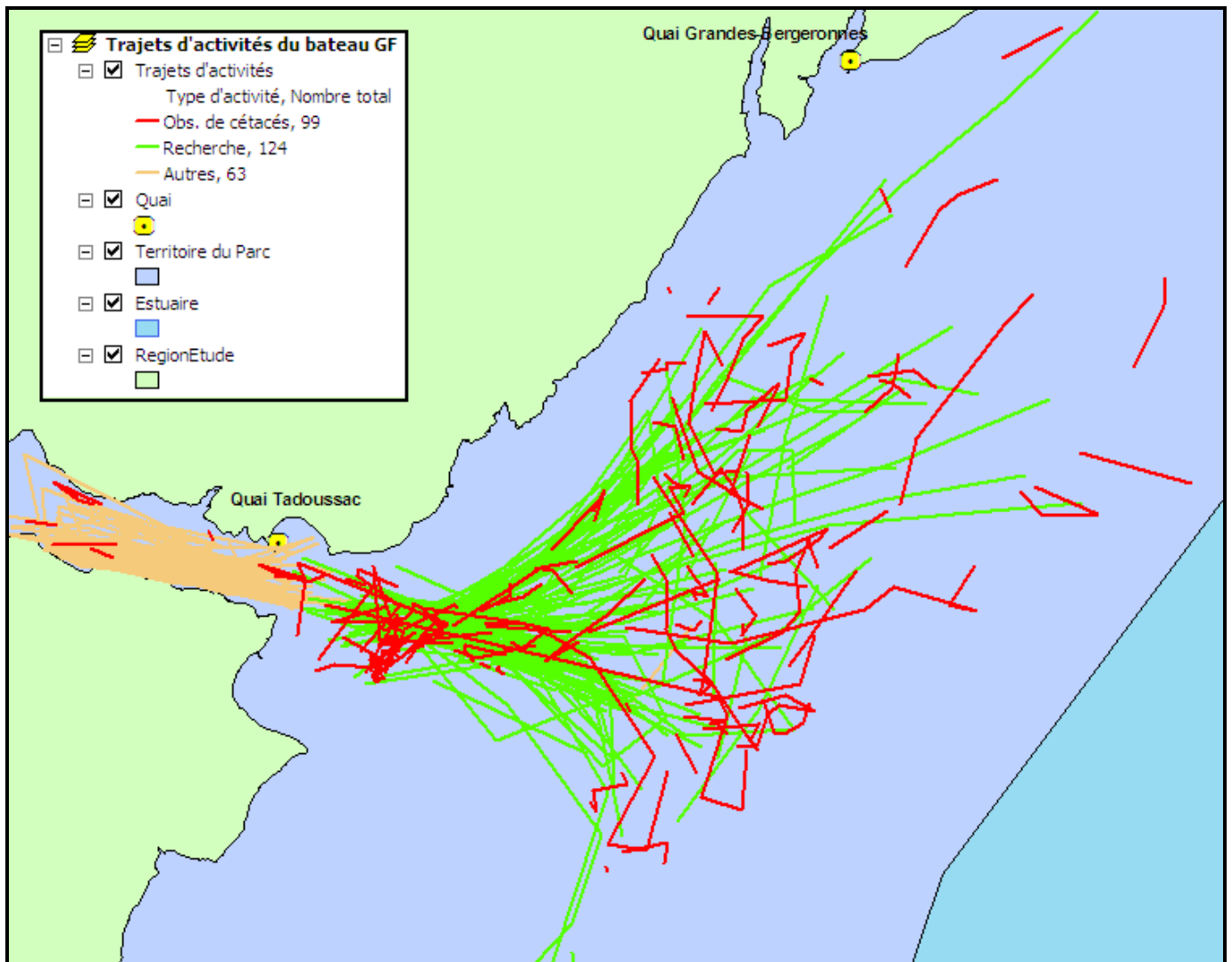


Figure 23: Les trajets d'activités du bateau 'GF' (capture d'écran)

Nous utilisons pour l'exemple les types d'activité que le GREMM utilise. Le type 1 « Observations de cétacés » confond toutes les espèces. Le principe de l'outil d'identification est aussi applicable dans le cas des activités : en sélectionnant un trajet, on accède à ses données et aux objets lui étant liés.

Pour terminer les exemples de visualisation des trajets, la prochaine planche (Figure 24) montre le résultat d'une sélection basée sur certains des codes de conduite prescrits par le règlement. Ce dernier impose une limite sur la durée des observations : elles ne peuvent durer plus d'une heure. Ainsi, pour l'exemple, nous montrons parmi les observations de

plus de 60 minutes (qui contreviennent au règlement), celles où le plus grand nombre de bélugas a été rencontré.

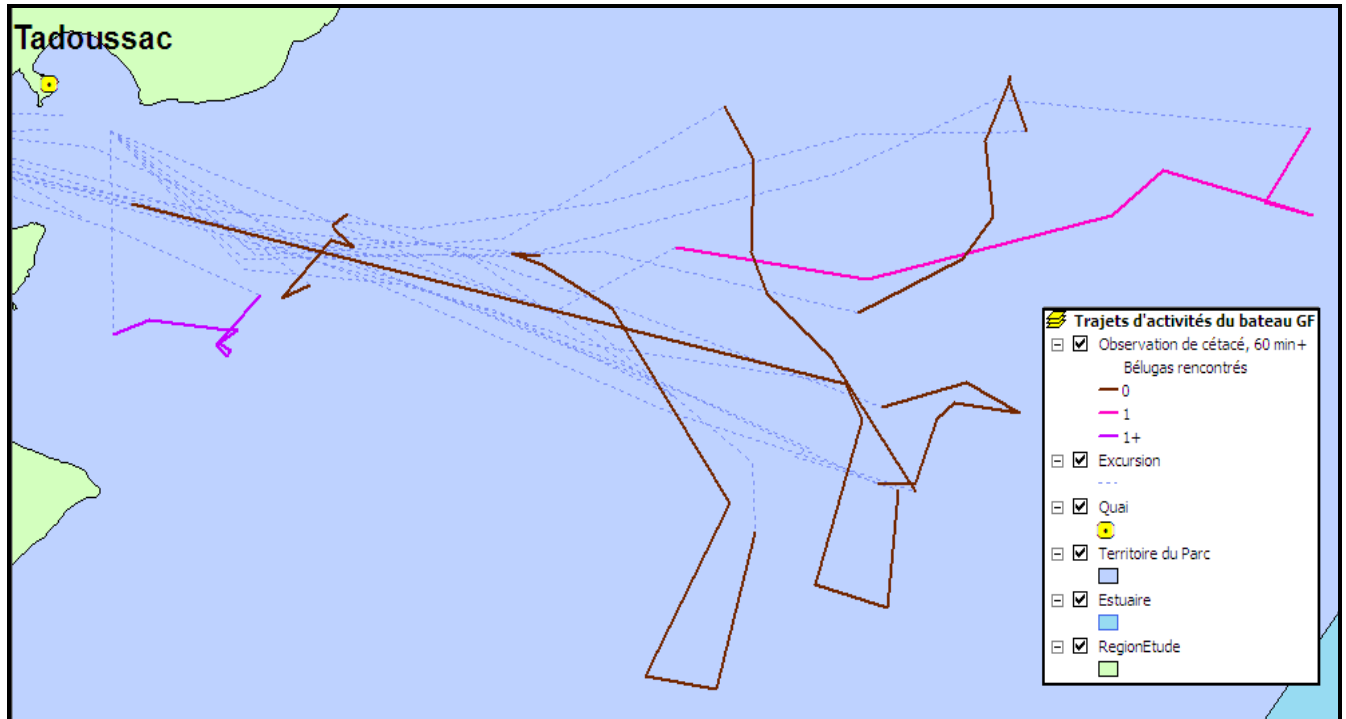


Figure 24: Les observations de cétacés de plus de 60 min pour le bateau 'GF' (capture d'écran)

4.4.3.3 Examen des trajets d'activité dans le cadre de la réglementation

Pour terminer la démonstration, nous faisons une comparaison du comportement de conduite des activités dont les critères sont les principaux codes prescrits par le règlement. L'idée ici est de pouvoir compiler des bilans sur des données qui sont propres aux lignes des trajets pour compléter ceux des rapports. L'annexe C fournit une description détaillée du règlement et le Tableau 16 donne la liste des principaux critères auxquels nous pensons pouvoir répondre avec les données de la base : ils correspondent aux comportements de conduite respectueux des codes.

Tableau 16: Critères retenus pour l'analyse des codes de conduite

Critères		Attributs à considérer
1	Durée de moins de 60 min	Durée
2	Vitesse inférieure à 10 nœuds en tout temps	Vitesse maximale
3	Vitesse tendant vers la vitesse de nage des animaux observés	Vitesse moyenne
4	Changement de vitesse faible	Écart-type de la vitesse, coefficient de variation de la vitesse
5	Changement de direction faible	Moyenne, Écart-type et coefficient de variation de l'ADA
6	Présence de béluga	Nombre de bélugas rencontrés
7	Présence de bateaux	Nombre moyen de bateaux rencontrés

La durée d'une observation ne doit pas dépasser 60 minutes. La vitesse ne doit pas dépasser 10 nœuds (308 m/min); elle doit rester constante et tendre vers une valeur similaire à la vitesse de nage des animaux. La direction générale du déplacement du bateau est celle de l'animal et ne doit pas montrer de trop fortes déviations. Le nombre de bateaux aux alentours impose des règles différentes s'il est supérieur à quatre. La présence de béluga, une espèce en voie de disparition, impose elle aussi des règles de conduites différentes.

Notre comparaison porte sur la durée, la vitesse et la déviation des trajets d'activité d'observation de cétacés. Nous retenons les trajets des deux bateaux les plus suivis sur les trois années, 'GF' et 'FD' (76 et 70 excursions respectivement).

La durée

Le règlement exige le respect de deux types de durée, dépendante de la situation du bateau par rapport à l'animal observé. D'abord, tout trajet d'observation ne doit pas durer plus d'une heure : le bateau ne peut rester en mode d'observation (c'est-à-dire à moins de 400 mètres d'un animal n'étant pas en danger de disparition) pendant plus de 60 minutes. Ensuite, le bateau ne peut rester entre 200 et 100 m d'un animal plus d'une demi-heure par observation.

Pour une durée traduite en nombre de minutes, nous appliquons une requête qui distingue trois catégories de durée : moins de trente minutes, entre 30 et 50 minutes, entre 50 et 70 minutes et plus de 70 minutes. Grâce à la sélection appliquée sur les tables de 'GF' et 'FD', nous avons pu compiler le Tableau 17 ci-dessous en calculant la part des trajets (%) pour chacune des catégories. Pour enrichir la comparaison, nous avons aussi considéré les durées des activités de recherche.

Tableau 17: Distribution des trajets selon leur durée

Durée D en minutes	Bateau 'GF'			Bateau 'FD'		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
% Observation de cétacés						
D < 30	47	47	55	46	50	55
30 <= D < 50	25	42	29	27	33	24
50 <= D < 70	22	11	16	9	17	15
D >= 70	6	0	0	18	0	6
% Recherche						
D < 30	69	67	67	82	55	81
30 <= D < 50	23	26	30	14	33	16
50 <= D < 70	6	7	3	4	7	33
D >= 70	2	0	0	0	5	0

De manière générale, autour de 50 % des observations de cétacés durent moins de trente minutes et environ 30 % durent entre 30 et 50 minutes. Le reste des observations, autour de 20 %, durent entre 50 et 70 minutes. Les observations de plus de 70 minutes montrent une grande variation d'année en année, mais restent très peu fréquentes.

La distribution des durées des activités de recherche suit le même patron, mais ces dernières sont plus nombreuses à être brèves. Rarement, la recherche dure plus de 50 minutes (en moyenne moins de 10 % des recherches).

Le bateau 'FD' montre une plus grande variation dans la durée des activités par rapport à 'GF', mais pour les deux bateaux, on peut conclure très superficiellement qu'autour de 80% de leurs activités durent moins d'une heure. Néanmoins, on peut noter que les observations durent légèrement plus longtemps que les activités de recherche (autour d'une dizaine de minutes de plus), ce qui est peut-être expliqué par le plus grand nombre de trajets de recherche que d'observations. Enfin, bien qu'il nous faille davantage

de données pour parler de tendances ou d'habitudes, il semble dans les faits que les pilotes respectent généralement bien les durées prescrites pour les observations (rappelons que le règlement n'a été mis en place qu'en 2002).

La vitesse

Le règlement fait mention de plusieurs exigences relatives à la vitesse du bateau. D'abord, le pilote doit conduire en tout temps, au cours de l'excursion, à une vitesse inférieure à 25 nœuds. De plus, si le bateau se trouve dans une zone ou un secteur d'observation, il ne doit pas se déplacer à plus de 10 nœuds. Enfin, lorsqu'il est en mode d'observation, il lui faut se déplacer à la vitesse la plus basse possible permettant quand même le maniement du bateau. Sur ce point, la vitesse minimale dépend essentiellement du type de moteur du bateau mais aussi de la vitesse de déplacement de l'animal, de la force du courant et du vent.

En fonction de l'espèce du cétacé, de sa taille et de sa stratégie de chasse, la vitesse de déplacement de ces animaux varie généralement entre 0,5 km/h et 15 km/h, soit au plus 25 mètres par minute (Jahoda et al., 2003). Pour les rorquals, la vitesse de nage moyenne est généralement inférieure à 5 km/h, soit 124 m/min (Michaud et Giard, 1998). Pour la vitesse minimale du bateau, nous considérons, pour la démonstration que celle-ci doit être inférieure à 4 nœuds (7,4 km/h). Un autre aspect de la vitesse est réglementé : les arrêts et les départs. Il ne nous a pas été possible de conceptualiser cet élément en tant que tel, mais nous l'avons compris comme un changement important de vitesse : une décélération et une accélération. L'idée d'arrêt ou de départ laisse entendre aussi un bruit accru de démarrage à éviter (Erbe, 2002). Néanmoins, nous nous limitons simplement à considérer les arrêts et les départs à répétition comme un changement de vitesse à répétition.

Nous regroupons (Tableau 18) la distribution des vitesses des trajets en fonction de trois catégories : l'une donne la proportion de trajets dont la vitesse dépasse 10 nœuds (309 m/min), l'autre celle des trajets dont la vitesse se trouve entre 4 et 10 nœuds, et une autre encore qui précise celle des trajets dont la vitesse est inférieure à 4 nœuds (124 m/min).

Tableau 18: Distribution des trajets selon la vitesse

Vitesse moyenne V en m/min	Bateau 'GF'			Bateau 'FD'		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
% Observation de cétacé						
>=309	0	0	0	3	0	3
124 <= V < 309	31	8	6	15	27	21
<124	69	92	94	82	73	76
% Recherche						
>=309	48	49	30	88	88	86
124 <= V < 309	52	51	67	10	12	11
<124	0	0	3	2	0	3

Pour le bateau 'GF', la vitesse moyenne des observations ne dépasse jamais 10 nœuds. En 2000, un tiers des observations avait une vitesse moyenne entre 10 et 4 nœuds, mais cette proportion baisse à moins de 10 % pour les années qui suivent. Cette baisse est compensée alors par une augmentation du nombre de trajets dont la vitesse est inférieure à 4 nœuds. Au niveau des activités de recherche, on remarque une distribution inverse : près de 50 % des recherches ont une vitesse moyenne supérieure à 10 nœuds, et le reste des recherches se fait à une vitesse entre 4 et 10 nœuds. La recherche est caractérisée par des vitesses qui ne sont presque jamais inférieures à 4 nœuds.

Pour le bateau 'FD', les tendances sont généralement similaires à celui de 'GF'. On note cependant une fréquence légèrement plus importante des observations rapides à 10 nœuds et plus, et des recherches lentes de moins de 4 nœuds. De plus, les observations de 'FD' sont réparties plus également entre les deux catégories de vitesses les plus basses, mais les recherches ont nettement tendance à être plus rapide que 10 nœuds.

À l'aide du Tableau 18 on note que 'FD' a tendance à varier plus grandement sa vitesse entre les activités que 'GF'. Pour les deux bateaux cependant, les recherches se font très régulièrement à plus de 10 nœuds, une vitesse à ne pas dépasser dans une zone d'observation. Comme l'activité est jugée par l'observateur, il se pourrait donc très bien que ces deux bateaux dépassent la vitesse prescrite alors qu'ils se trouvent dans un secteur d'observation (voir annexe C). En effet, les durées souvent très brèves des activités des deux types laissent entendre que l'observateur note un changement de comportement de

conduite alors que les bateaux se trouvent probablement encore à proximité d'un animal ou, du moins, dans un secteur d'observation.

Les Figures 25 et 26 montrent la distribution des vitesses moyennes et maximale des trajets d'observation, des trois années confondues, pour les bateaux 'GF' et 'FD' respectivement.

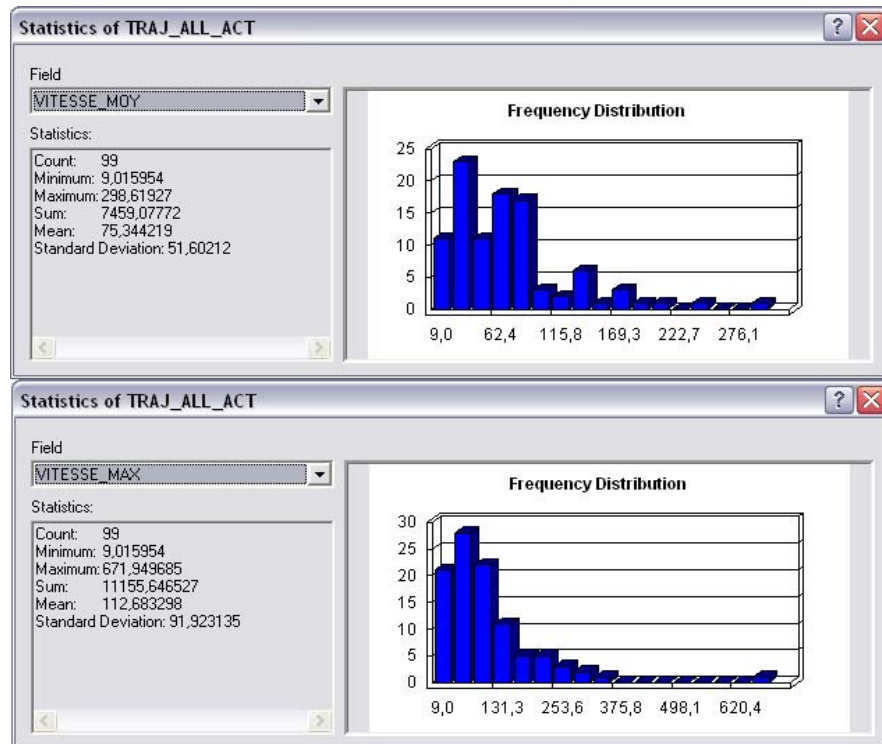


Figure 25: Vitesses moyennes et maximales des observations pour 'GF'

Le bateau 'GF' réalise ses observations (au nombre de 99 pour les trois années) à une vitesse moyenne de 75 m/min, avec un écart-type de 52 m/min. La moyenne des vitesses maximales atteintes lors des observations est très basse : 113 m/min, avec un écart-type important de 92 m/min (donc inférieure à 4 nœuds); comme le montre le graphique de distribution, une exception a été une vitesse maximale proche de 22 nœuds.

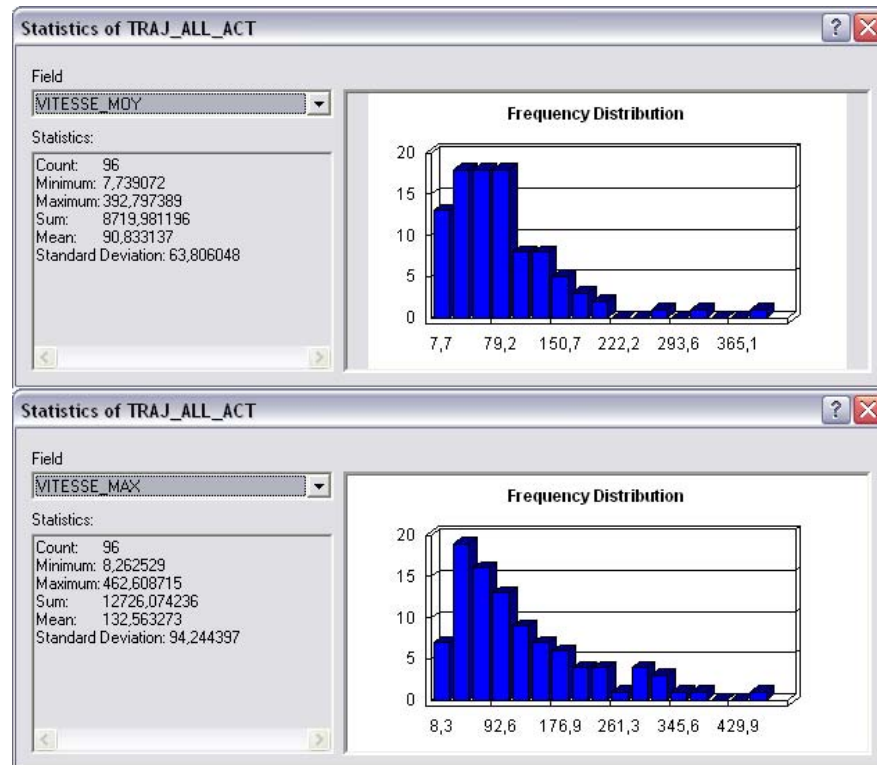


Figure 26: Vitesses moyennes et maximales des observations pour 'FD'

Pour le bateau 'FD', les vitesses moyennes et maximales pour l'entièreté de ses trajets d'observation (96 au total) sont plus élevées que 'GF'. En moyenne, la vitesse des observations est de 91 m/min avec un écart-type de 64 m/min. Quant aux vitesses maximales atteintes, leur moyenne est de 133 m/min avec un écart-type de 94 m/min.

L'écart-type des moyennes des vitesses moyennes et maximales donne une idée des changements de vitesse d'observation en observation. L'écart-type représente autour de 70 % de la vitesse moyenne des deux bateaux; cette proportion à notre avis dénote une très grande variabilité des vitesses au cours du déplacement des bateaux. Cette mesure est le coefficient de variation de la vitesse et nous montrons sa distribution pour les deux bateaux dans les Figures 27 et 28.

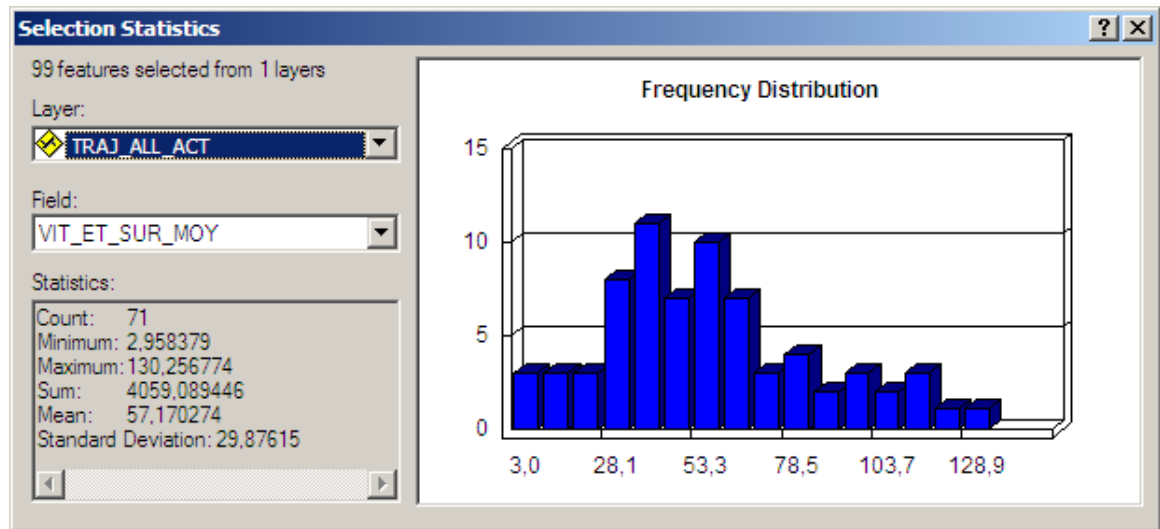


Figure 27: Coefficient de variation de la vitesse des observations de ‘GF’

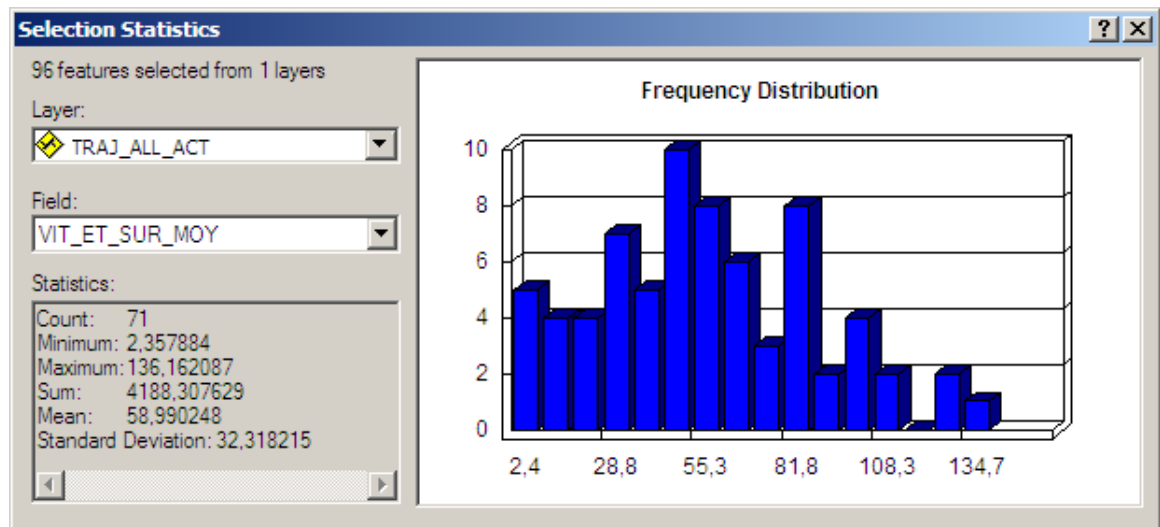


Figure 28: Coefficient de variation de la vitesse des observations de ‘FD’

Dix-neuf des trajets d’observation de cétacés du bateau ‘GF’ ont un coefficient de variation de la vitesse supérieure à 70 %. Pour le bateau ‘FD’, ils sont au nombre de 24.

Le changement de direction

Cette dimension du comportement de déplacement est pour nous la plus difficile à quantifier. Le règlement exige du pilote qu’il ne réalise pas de changement brusque de direction. Cela signifie qu’il ne peut changer de direction alors qu’il est à haute vitesse. Dans le cadre de la démonstration, nous traduirons cet événement *fautif* par l’analyse d’une

combinaison de données qui ne se trouve non pas dans la table de trajets linéaires d'observations, mais dans les ITP qui composent ce trajet.

Évidemment, comme pour la vitesse, il nous serait possible ici de compiler les mêmes tableaux et de montrer les distributions des paramètres qui caractérisent la direction, tels la moyenne des angles de déviation du trajet, ses valeurs maximales, les écart-types et le coefficient de variation. Pour ne pas alourdir le travail par des répétitions qui ne servent pas à une analyse en tant que telle des comportements de conduite, nous allons simplement examiner les ITP des trajets d'activité. Nous allons nous concentrer sur ceux qui présentent un angle de déviation très élevé (proche de 180 degrés) combiné avec une haute vitesse ponctuelle (plus de 200 m/min) : ce qui représente une déviation importante par rapport à la direction précédente, déviation qui se fait en accélérant (la vitesse ponctuelle donne en fait la vitesse au milieu du segment qui commence au point choisi).

Dans le cas du bateau 'GF' par exemple, seuls trois ITP liés chacun à une observation différente montrent un angle de déviation de plus de 160 degrés combiné avec une vitesse de plus de 200 m/min. En affichant ces points et les trajets auxquels ils appartiennent, on constate qu'ils représentent la fin de l'observation : le pilote a donc quitté la zone d'observation en exécutant un changement brusque de direction. La situation est capturée sur la planche de la Figure 29.

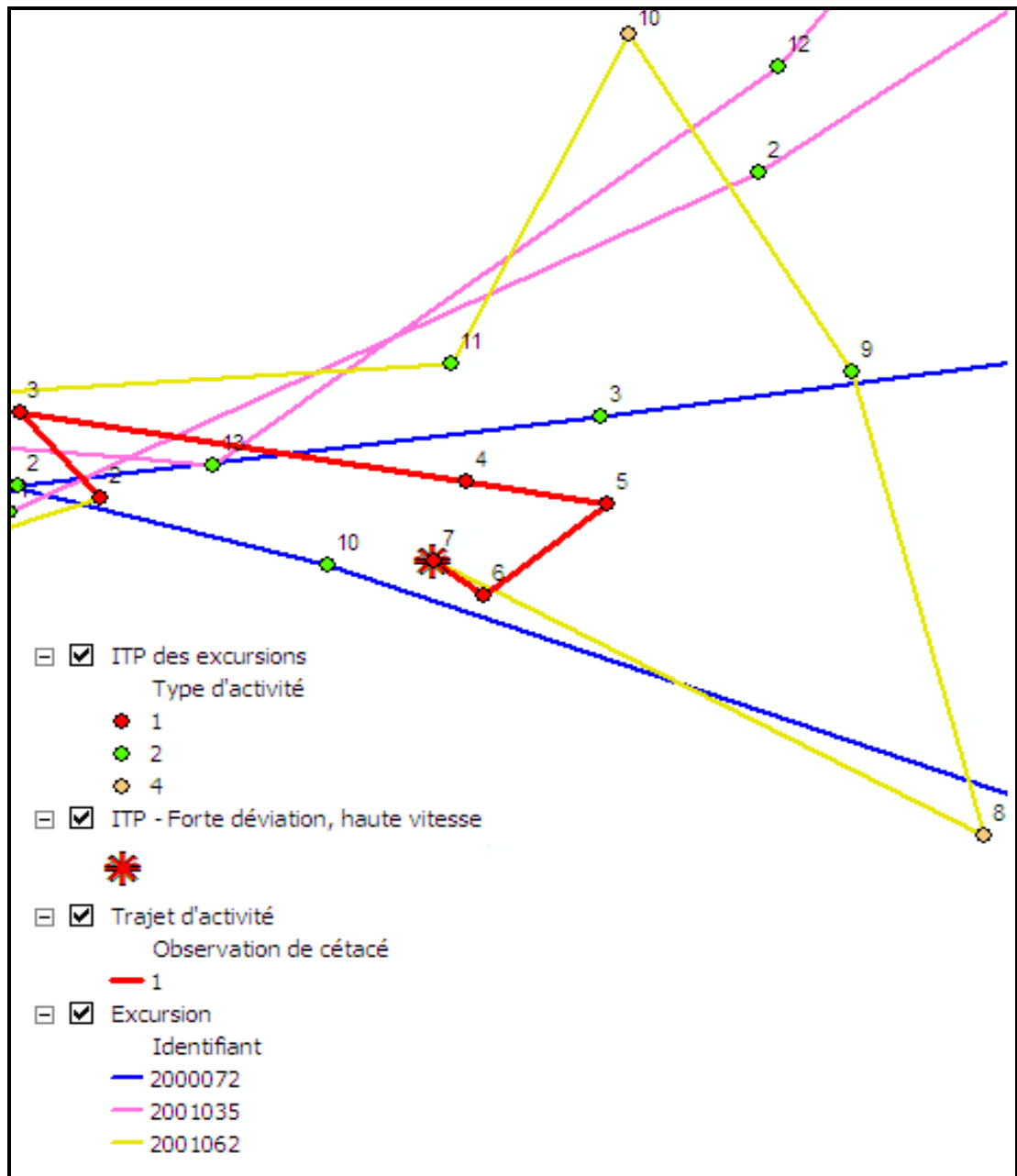


Figure 29: Un changement brusque de direction (capture d'écran)

Dans cette dernière planche, en examinant l'excursion 2001062, on note pour terminer, une autre enfreinte au règlement³¹ : le pilote est retourné dans la zone de sa

³¹ Enfreinte hypothétique car le règlement n'est entré en vigueur qu'en 2002.

dernière observation moins d'une heure après la fin de celle-ci, alors que le règlement demande au pilote d'attendre au moins une heure avant de retourner dans ces zones.

Finalement, avec cette dernière situation illustrée, nous terminons la démonstration des capacités du SIG à exploiter notre modèle et les données des suivis qu'il réutilise sous forme de trajet d'excursion et d'activité. Nous avons pu montrer que les données des suivis, réutilisées dans notre modèle, ont la capacité de répondre à certaines des préoccupations des gestionnaires au niveau de la conduite des pilotes lors des observations.

5. Discussion et conclusion

Le modèle de données qui a été élaboré et implanté dans ArcGIS se révèle être une réponse adaptée aux sept besoins exprimés par les responsables de la gestion des activités d'observation de mammifères marins dans le Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent (Tableau 1, p. 9).

En effet, notre modèle regroupe sous forme de classes d'objets inter-reliées toutes les entités du système AOM, permettant ainsi de centraliser dans une base unique des données et des informations qui étaient auparavant dispersées (Besoin 1). La structure des classes et la logique des associations établies dans le modèle offrent, à des SGDB tels ArcCatalog ou Access, la capacité de produire des bilans et tracer des profils d'activité qui remontent jusqu'aux acteurs principaux du système AOM (Besoin 2), tout comme pour un SIG, tel ArcMap, de permettre la création des trajets des excursions et des activités sous forme de ligne (Besoin 3) et la production de cartes sur les attractions fixes (Besoin 6). Représentées telles des trajectoires spatiotemporelles, les excursions peuvent être examinées individuellement, permettant la lecture de la séquence et de la nature des activités réalisées au cours de celles-ci (Besoin 4). De plus, la considération des trajets ponctuels rend possible non seulement l'interpolation linéaire mais aussi l'ajout et le calcul par agrégation des paramètres qui caractérisent le comportement de déplacement d'un objet mobile (Besoin 5). Enfin, les données des suivis se sont révélées être adaptées à nos objectifs et ont pu servir, nonobstant certaines modifications, à la création des trajets des excursions et des activités (Besoin 7).

La création du modèle et de la base de données et l'utilisation des informations des suivis nous amènent à faire plusieurs observations. Premièrement, le cadre théorique de l'étude du comportement de déplacement basé sur l'activité et, plus particulièrement, les concepts de trajectoire spatiotemporelle et d'objet mobile, nous ont permis d'élaborer un modèle conceptuel capable d'appréhender la complexité du système des activités d'observation dans le Parc. En effet, les concepts du cadre théorique ont pu être adaptés au cas des AOM en gardant toute leur richesse sémantique. En se concentrant sur l'individu et son activité, l'approche « désagrégée » que propose la géographie temporelle nous a offert

la possibilité de modéliser chaque excursion de chaque pilote, permettant ainsi d'examiner individuellement les activités et leur déplacement. Cela ouvre des voies nouvelles pour l'analyse des AOM : on peut maintenant lire le programme d'activité d'une excursion, tenir compte des contraintes au déplacement pour expliquer certains choix pris par le pilote, ou encore, regrouper ces trajets individuels pour extraire leur patron de déplacement ou identifier des habitudes de conduites. La partie de notre modèle couvrant les données sur l'environnement devrait servir à approfondir les analyses en replaçant dans un contexte géographique la réalisation des activités. Ce point n'ayant pas été la priorité du travail, il resterait à développer dans le futur, notamment au niveau de la proximité d'autres attractions lors de la réalisation d'une observation de cétacés. Les requêtes, dont nous avons illustré certains résultats, pourraient elles aussi profiter d'un calibrage plus pointu et en combinaison avec des données sur l'environnement liées plus étroitement au modèle des excursions et des activités, servir à l'étude des déplacements des bateaux et de leurs impacts.

L'application du concept de la trajectoire spatiotemporelle à un cas comme les AOM se trouve très peu documentée dans la littérature scientifique. Prévue pour l'étude du transport en milieu urbain telle qu'utilisée par Frihida et al. (2002), la TST a été imaginée en tenant compte d'un réseau routier et de lieux d'activités spatialement figés. Or un bateau, lors d'une excursion, est toujours en mouvement (tout comme le lieu des observations). Le concept de la TST est valable dans le cas des AOM, mais c'est au niveau pratique de la représentation informatique que la particularité des AOM se fait sentir. En effet, alors que la vision classique de l'activité dans une TST considère le lieu (fixe) visité comme l'élément qui définit le type de l'activité, l'utilisation du concept de TST dans le cas des AOM exige une méthodologie nouvelle pour identifier les différents types d'activités réalisées au cours du déplacement. Avec les AOM comme cas d'étude, c'est le mouvement lors d'une activité que l'on souhaite représenter, mouvement qui n'est pas pris en compte dans la représentation classique de la TST. Cela nous a donc demandé de comprendre comment il était possible d'extraire des données AOM les informations permettant de distinguer le déplacement lié à une activité en particulier du reste du déplacement du

bateau. Sans vouloir nous étendre sur le sujet, nous voulons simplement souligner ici que la recherche en géomatique, avec les concepts d'objet et de zones mobiles, semble pouvoir offrir une réponse au problème de la représentation informatique que pose l'étude d'une activité *en mouvement*. Dans notre étude, nous avons donc créé une base de données qui d'une part enregistre les trajectoires ponctuelles (issues d'un GPS) de l'objet mobile et qui d'autre part associe un programme d'activités (issu du « journal » d'activités noté par l'observateur à bord) à chacune de ces trajectoires, ce qui permet d'étudier le mouvement lors des différentes activités. Nous pensons avoir avec les AOM un cas pratique et intéressant pour enrichir la recherche dans le domaine de l'étude de *l'activité d'un objet mobile* (en pesant nos mots), qui fait le pont entre la richesse sémantique de la géographie temporelle et les capacités de représentation en géomatique.

Notre deuxième observation porte sur l'importance qu'a jouée l'approche orientée-objet au niveau de la modélisation. D'une part, le paradigme orienté-objet offre à la modélisation les concepts nécessaires pour capturer toute la complexité du phénomène de l'activité d'observation : l'idée d'unicité de l'excursion, notre trajectoire spatiotemporelle, du pilote qui l'exécute ou du bateau utilisé comme moyen de transport, a pu être reproduite en adoptant la notion d'objet. L'approche orientée-objet donne la possibilité de modéliser des notions comme l'appartenance, la composition, l'héritage ou la spécialisation, enrichissant la définition des liens entre les objets modélisés, permettant, lors de la « lecture » du modèle une compréhension du système AOM proche de l'intuition. La logique de la modélisation basée sur l'objet semble donc bien adaptée pour traduire le point de vue de l'individu que propose la géographie temporelle. D'autre part, cette méthodologie de modélisation nous a permis de passer d'un modèle conceptuel, proche de la réalité, à un modèle physique de base de données, compréhensible par l'outil informatique. Le SIG ArcGIS offre pour cela un avantage indéniable car il permet justement d'intégrer le modèle conceptuel orienté objet, sans trop de perte sémantique³².

³² L'héritage des associations n'est pas possible dans ArcGIS, car l'archivage des données reste relationnel : ArcGIS est un système de gestion de base de données objet-relationnel.

Une dernière observation porte sur les données recueillies au moyen de l'échantillonnage instantané par balayage que pratiquent les observateurs du GREMM quand ils suivent une excursion. Les tables des BOI ont servi de « bassin » de données duquel nous avons puisé des attributs pour définir les classes d'objets de notre modèle. Les BOI se sont avérées être une source très riche en information, capable de servir à la création des activités et de leur trajets. En effet, la méthodologie de leur échantillonnage est proche de celle de l'enquête origine-destination. Combinant l'utilisation d'un GPS et une logique similaire au journal d'activité, les BOI contiennent une grande partie des informations nécessaires pour créer et documenter les trajectoires spatiotemporelles.

Néanmoins, n'étant pas prévue pour l'analyse des déplacements liés aux activités, leur utilisation dans notre cas a imposé des compromis. Au niveau du modèle conceptuel, par exemple, comme nous n'avions pas de données sur le pilote qui conduit le bateau, il a fallu considérer ces deux entités comme un seul objet (relation *one-to-one*). Au niveau physique de la base de données, de nombreux ajouts et modifications ont été nécessaires. Les BOI ne contiennent par exemple aucune référence aux trajets des activités : nous avons dû insérer des identifiants pour cela et choisir des heures de début et de fin pour les activités ne reflétant pas correctement la réalité (comme les activités ponctuelles).

Sur ce dernier point, les gestionnaires du Parc responsables des AOM, en demandant de réutiliser les données des suivis, voulaient justement savoir à quel point les données des suivis étaient adaptées pour reproduire les excursions individuelles et analyser le comportement de déplacements des pilotes. Notre travail a su montrer le potentiel des suivis dans ce nouveau contexte d'analyse des AOM, mais aussi leur limite. Mais, pour juger de l'utilité des données des suivis, qui servent déjà entièrement les besoins des rapports annuels sur l'évolution des AOM dans le Parc, nous devons préciser davantage ce nouveau contexte d'analyse. En fait, depuis l'entrée en vigueur du règlement sur les AOM, les gestionnaires du Parc n'ont pas les moyens de savoir si les pilotes adoptent ou non les codes de conduite prescrits. Ils ne peuvent savoir si les efforts de sensibilisation portent fruit et à quel niveau la conduite des pilotes présente des lacunes. Notre travail n'était pas

de faire une évaluation de la mise en pratique des codes, ni une évaluation de la pertinence du règlement lui-même (protège-t-il réellement les animaux ?), mais de montrer le rôle que peuvent jouer les suivis dans ces analyses. À notre avis, c'est finalement sur ce point que repose toute la pertinence de notre travail. En adoptant les concepts de la géographie temporelle, nous avons pu créer un modèle conceptuel des données qui pose de bonnes bases pour ces évaluations, et en l'adaptant aux données des suivis il nous est possible de mieux saisir le potentiel des suivis dans ce nouveau contexte d'analyse.

Nous pouvons d'ores et déjà proposer quelques recommandations sur l'éventuelle révision de la méthodologie d'échantillonnage des suivis pour qu'elle soit mieux adaptée à l'analyse des déplacements liés aux activités. Il faudrait par exemple imposer aux détenteurs des permis l'utilisation d'un « trackeur » GPS qui enregistrerait la trajectoire ponctuelle de toutes les excursions de leurs bateaux³³. Ou bien, identifier le pilote qui conduit le bateau et le suivre plus régulièrement sur la journée et pendant la saison. Ou encore, permettre à l'observateur du GREMM de bien identifier la distance qui sépare le bateau des animaux observés. Cette distance est au centre de la logique des codes; en y associant une donnée temporelle, elle permettrait de créer des trajets d'activité comme l'entend le règlement.

Notre étude a su répondre aux objectifs prévus. La géographie temporelle s'est révélée être un cadre conceptuel adaptable au cas des AOM qui a permis d'élaborer un modèle de données reflétant la réalité des AOM. Grâce à une modélisation orientée-objet que pouvait comprendre le SIG, notre modèle a servi à construire une base de données dans laquelle les informations des suivis ont pu être récupérées et exploitées. Au niveau des résultats et de la démonstration, nous avons montré que notre modèle peut répondre aux besoins des futurs utilisateurs, le personnel du parc responsable de la gestion des AOM. Enfin, le travail que présente ce mémoire offre à nos yeux des avenues de recherches très intéressantes. D'une part, à un niveau utilitaire, le SIG, pour devenir un véritable outil d'aide à la décision, pourrait bénéficier du développement d'une *interface utilisateur* qui

³³ Le Parc souhaite exiger l'installation d'un trackeur sur les bateaux touristiques à partir de 2010.

donnerait accès de manière intuitive à des résultats de requêtes ou qui permettrait de réaliser automatiquement certaines manipulations de création d'objets. Outre cela, avec le raffinement des requêtes et des liens entre les objets mobiles et les objets de l'environnement, nous pensons que le SIG pourrait servir à étudier des cas similaires dans d'autres aires de protection marine, ou encore, sur terre ferme, à comprendre et surveiller la circulation liée aux safaris. D'autre part, nous pensons que notre recherche touche à un domaine scientifique encore peu développé. Selon nous, le cas des AOM est idéal pour approfondir l'étude de *l'activité en mouvement* et concrétiser la relation sémantique entre la trajectoire spatiotemporelle de la géographie temporelle et l'objet mobile de la géomatique.

Références

- Abraham, T. et Roddick, J. F. (1999). Survey of Spatio-Temporal Databases. *GeoInformatica*, 3, 61-99.
- Anwar, Sk. M., A., Jeanneret, C. A., Parrott, L. et Marceau, D. J. (2007). Conceptualization and implementation of a multi-agent model to simulate whale-watching tours in the St. Lawrence Estuary in Quebec, Canada. *Environmental Modelling and Software*, 22(12), 1775-1787.
- Axhausen, K.W. et Gärlin, T. (1992). Activity based approaches to travel analysis: Conceptual frameworks, models and research problems. *Transport Reviews*, 12(4), 323-341.
- Axhausen, K. W. (2000). Activity-based modelling: Research directions and Possibilities. Dans D. Simmonds et J. J. Bates (Éds.), *New Look at Multi-Modal Modelling, report for the Department of Environment, Transport and the Regions*. Disponible en ligne sur <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:24387/eth-24387-01.pdf>.
- Bédard, C. et Michaud, R. (1995). *Études des activités d'observation en mer des cétacés de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Rapport final*, Tadoussac, Québec, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins.
- Beyer, H. L. (2004). *Hawth's Analysis Tools for ArcGIS*. Disponible en ligne sur <http://www.spataleecology.com/htools>.
- Bian, L. (2001). Object-oriented representation for modelling mobile objects in an aquatic environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(7), 603-623
- Brown, D. W. (2001) *An Introduction to Object-Oriented Analysis, Objects and UML in Plain English*, (2^{ème} éd.). Wiley
- Buliung, R. N. et Kanaroglou, P. S. (2004). On design and implementation of an object-relational spatial database for activity/travel behaviour research. *Journal of Geographical Systems*, 6, 237-262.

- Buliung, R. N. (2005). *Approaches and Findings with Identification of Research Themes and Emerging Methods*. McMaster University, Canada. Centre for Spatial Analysis - Working Paper Series. Disponible en ligne sur <http://www.science.mcmaster.ca/cspa/papers/CSpA%20WP%20008.pdf>
- Burrough, P.A. et McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographic Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics*. New York, Oxford University Press Inc.
- Constantine, R. (1999). *Effects of tourism on marine mammals in New Zealand*. Department of Conservation, Wellington, Nouvelle-Zélande. Disponible en ligne sur <http://www.doc.govt.nz/upload/documents/science-and-technical/sfc106.pdf>.
- Direction des systèmes d'information (2002). *Conduite de projet*. Centre national de la recherche scientifique, France. Tiré de la page Internet <http://www.dsi.cnrs.fr/conduite-projet/phasedeveloppement/technique/etude-prealable/expression-besoin/Default1.htm>
- Date, C. J. (1995). *An Introduction to Database Systems* (6ème édition), Reading, MA, Addison-Wesley.
- Date, C. J. et Darwen, H. (1998). *Foundation for object/relational databases: the third manifesto: a detailed study of the impact of objects and type theory on the relational model of data including a comprehensive proposal for type inheritance* (1ère éd.), Reading, MA, Addison-Wesley.
- Dionne, S. (Sous la direction de) (2001). *Plan de conservation des écosystèmes du parc marin du Saguenay – Saint-Laurent*. Parcs Canada, Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent.
- Du Mouza, C. et Rigaux, P. (2000). Bases de Données Spatio-Temporelles'. Dans Cépaduès (Éd.), *Documents et Evolution*, École thématique du GDR I3.
- Egenhofer, M. et Frank, A. (1992). Object-Oriented Modeling for GIS. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 4(2), 3-19.

- Erbe, C. (2002). Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. *Marine Mammal Science* 18(2), 394-418.
- Frihida, A., Marceau, D. J. et Thériault, M. (2002). Spatio-temporal Object-Oriented Data Model for Disaggregate Travel Behaviour. *Transaction in GIS*, 6(3), 277-294.
- Gouvernement du Canada (2002). Règlement sur les activités en mer dans le Parc marin Saguney-Saint-Laurent. *Gazette du Canada*, Partie II, Vol.136, #6, DORS/2002-76.
- Gouvernement du Québec (1995). *Carrefour de vie, source d'échange et de richesse. Le Plan directeur, Le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent*. Ministère de l'Environnement et de la faune, Approvisionnement et Services Canada, 70p.
- GREMM (1993). *Les activités d'observations en mer des baleines dans l'estuaire du Saint-Laurent : Situation actuelle et problématique, Rapport final*. Tadoussac, Québec : Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins.
- Guting, R.H., Bohlen, M. H., Erwig, M., Jensen, C. S., Lorentzos, N. A., Schneider, M. et Vazirgiannis, M. (2000). A Foundation for Representing and Querying Moving Objects. *ACM Transactions on Database Systems*, 25(1), 1-42.
- Hoyt, E. (1995). *The Worldwide Value and Extend of Whale Watching : 1995*. Whale and Dolphin Conservation Society, Bath, Royaume-Uni.
- Hoyt, E. (2001). *Whale Watching 2001: Worldwide tourism numbers, expenditures, and expanding socioeconomic benefit*. International Fund for Animal Welfare, Yarmouth Port, États-Unis.
- Jahoda, M., Lafortuna, C.L., Biassoni, N., Almirante, C., Azzellino, A., Panigada, S. et al. (2003). Mediterranean fin whale's (*Balaenoptera physalus*) response to small vessel and biopsy sampling assessed through passive tracking and timing of respiration. *Marine Mammal Science*, 19(1), 96-110.
- Kuhn, W. (2001). Ontologies in support of activities in geographical space. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(7), 613-631.

- Kunstler, J. H. (1993). *The geography of nowhere : the rise and decline of America's man-made landscape*. New York : Simon & Schuster.
- Kwan, M.-P. (2000). Interactive geovisualization of activity-travel patterns using three-dimensional geographical information systems: A methodological exploration with a large data set. *Transportation Research C*, 8, 185-203.
- Kwan, M.-P. et Lee, J. (2004). Geovisualization of human activity patterns using 3D GIS: A time-geographic approach. Dans M. F. Goodchild and D. G. Janelle (Éds.), *Spatially Integrated Social Science*, New York: Oxford University Press, 48-66.
- Lien, J., (2001). The Conservation Basis for the Regulation of Whale Watching in Canada by the Department of Fisheries and Oceans: A Precautionary Approach. *Journal Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques*, 2363: vi + 38p.
- Lusseau, D. (2003). Effects of tour boats on the behavior of bottlenose dolphins: Using Markov chains to model anthropogenic impacts. *Conservation Biology* 17(6), 1785-1793.
- Lusseau, D. (2004). The hidden cost of tourism: detecting long-term effects of tourism using behavioral information. *Ecology and Society*, 9(1):2. Disponible en ligne sur <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art2/>.
- Makin, J., Healey, H. G. et Dowers, S. (1997). Simulation modelling with object-oriented GIS: A prototype application to time geography of shopping behaviour. *Geographical Systems*, 4(4), 397-429.
- McNally, M. G.(1997). *The Potential for Integrating GIS in Activity-Based Forecasting Models*. UC Irvine: Center for Activity Systems Analysis. Disponible en ligne sur <http://escholarship.org/uc/item/2js9554x>
- McNally, M. G. (2000a). *The Four Step Model*. UC Irvine: Center for Activity Systems Analysis. Disponible en ligne sur <http://escholarship.org/uc/item/7j0003j0>.
- McNally, M. G.(2000b). *The Activity-Based Approach*. UC Irvine: Center for Activity Systems Analysis. Disponible en ligne sur <http://escholarship.org/uc/item/5sv5v9qt>.

- Miller, H. J. et Wentz, E. A. (2003). Representation and spatial analysis in geographic information systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(3), 574-594.
- Miller, H. J. (2004). Activities in space and time. Dans P. Stopher, K. Button, K. Haynes et D. Hensher (Éds.), *Handbook of Transport 5: Transport Geography and Spatial Systems*, Pergamon/Elsevier Science.
- Miller, H. J. (2005a). A measurement theory for time geography. *Geographical Analysis*, 37, 17-45.
- Miller, H. J. (2005b). What about people in geographic information science? Dans P. Fisher et D. Unwin (Éds.), *Re-Presenting Geographic Information Systems*, John Wiley, 215-242.
- Michaud, R., Bédard, C., Mingelbier, M., et Gilbert, M.-C. (1997). *Les activités d'observation en mer des cétacés dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent 1985-1996: Une étude de la répartition spatiale des activités et des facteurs favorisant la concentration des bateaux sur les sites d'observation. Rapport final*. Tadoussac, Québec, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins. 58p.
- Michaud, R. et J. Giard (1998). *Les rorquals communs et les activités d'observation en mer dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent entre 1994 et 1996 : 2. Évaluation de l'impact des activités d'observation en mer sur le comportement des rorquals commun*. Tadoussac, Québec : Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins.
- Michaud, R., de la Chenelière, V., Moisan, M. et Gilbert, M.-C. (1999). *Les activités d'observation en mer des cétacés dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent : Suivi annuel 1998. Rapport final*. Tadoussac, Québec, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins. VI + 9p + 4 cartes.
- Michaud, R., de la Chenelière, V. et Moisan, M. (2000). *Les activités d'observation en mer des cétacés dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent: Suivi annuel 1999. Rapport final*. Tadoussac, Québec, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins. VI + 9p + 4 cartes.

- Michaud, R., Moisan, M. et de la Chenelière, V. (2001). *Les activités d'observation en mer des cétacés dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent: Suivi annuel 2000. Rapport final*. Tadoussac, Québec, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins. VI + 9p + 4 cartes.
- Muller, R. J. (1999). *Database Design for Smarties: Using UML for Data Modeling*. San Francisco, CA, USA, Morgan Kaufmann.
- Nams, V.O. (1996). The VFracal: a new estimator for fractal dimension of animal movement paths. *Landscape Ecology* 11, 289-297.
- Parcs Canada et Ministère de l'Environnement et de la Faune (1995). *Le parc marin du Saguenay – Saint-Laurent, Carrefour de vie, source d'échanges et de richesses, Plan directeur*. Ottawa, Canada, Ministère du Patrimoine canadien.
- Parcs Canada (2007). *Rapport sur l'état du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent 2007*. disponible sur <http://www.parcmarin.qc.ca/web/document/U110/Rapport-etatduparcmarin.pdf>
- Parent, C., Spaccapietra, S. et Zimányi, E. (1999, Novembre). *Spatio-Temporal Conceptual Models: Data Structures + Space + Time*. Kansas City, Missouri, États-Unis. 7^{ème} Symposium international ACM sur les avancements en Systèmes d'information géographique, 26-33.
- Pred, A. (1977). The choreography of existence: comments on Hagerstrand's time geography and its usefulness. *Economic Geography*, 53, 207-221.
- Raper, J., Dykes, J., Wood, J., Mountain, D., Krause, A. et Rhind, D. (2002). A Framework for Evaluating Geographical Information. *Journal of Information Science*, 28(1), 39-50.
- Simmonds, M. P. (2005). *Whale Watching and Monitoring: Some Considerations*. Rapport no. SC/57/WW5, soumis au Comité Scientifique de la Commission Baleinière Internationale, Cambridge, Royaume-Uni.
- Shaw, S.-L. et Wang, D. (2000). Handling Disaggregate Spatiotemporal Travel Data in GIS. *GeoInformatica*, 4(2), 161-178.

- Socha, R. et Zemek, R. (2003). Wing morph-related differences in the walking pattern and dispersal in a flightless bug, *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera). *Oikos*, 100, 35-42.
- Wang, D. G. et Cheng, T. (2001). A spatio-temporal data model for activity-based transport demand modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(6), 561-585.
- Wu, Y.-H., Miller, H. J. et Hung, M.-C. (2001). A GIS-based decision support system for dynamic network congestion analysis and routing. *Journal of Geographical Systems*, 3, 3-24.
- Yanagisawa, Y., Akahani, J. et Satoh, T. (2003). Shape-based Similarity Query for Trajectory of Mobile Objects.' Dans M.-S. Chen, P. K. Chysanthis, M. Sloman, and A. Zaslavsky (Éds.), *Mobile Data Management*, Berlin: Springer, 63–77.
- Yu, H. and Shaw, S.-L. (2004). *Representing and visualizing travel diary data: a spatio-temporal GIS approach*. Proceedings de la Conférence International des utilisateurs d'ESRI. Disponible en ligne sur <http://www.esri.com/library/userconf/archive.html>.
- Yu, H. (2006). Spatial-temporal GIS design for exploring interactions of human activities. *Cartography and Geographic Information Science*, 33(1), 3-19.
- Zeiler. M. (1999). *Modelling Our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands, Californie : ESRI Press.

Annexe A : Les AOM dans la région du PMSSL

Tableau A.1 : Évolution du nombre de bateaux et d'excursions touristiques dans le PMSSL depuis 1984 (Selon Dionne 2001)

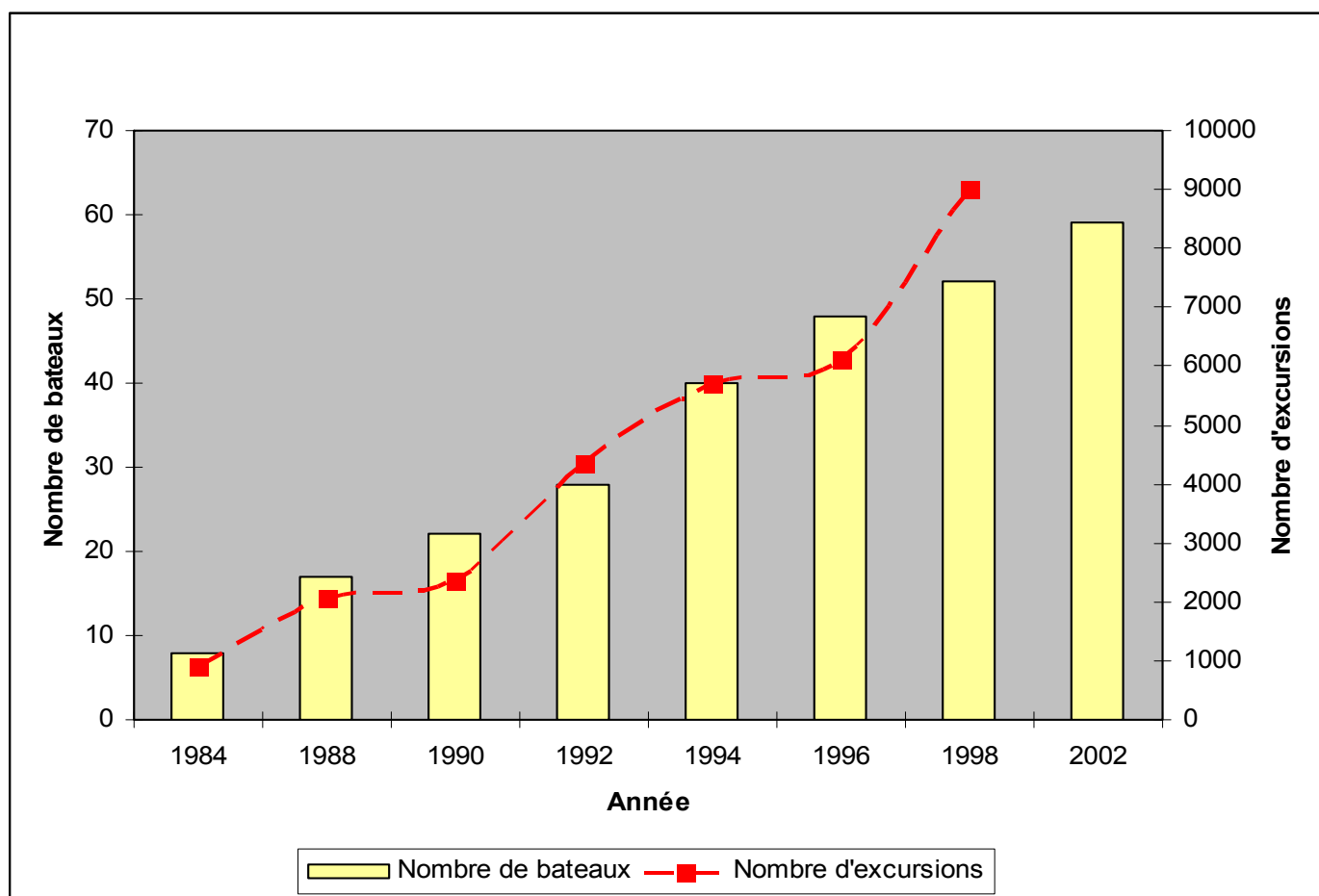


Tableau A.2 : Les espèces de mammifères marins qui fréquentent le territoire du PMSSL (selon Dionne 2001)

	Espèces		Présence
	Nom français	Nom latin	
Pinnipèdes	Phoque commun	<i>Phoca Vitulina</i>	Résidant
	Phoque du Groenland	<i>Phoca Groenlandica</i>	Saisonnier
	Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i>	Saisonnier
Cétacés	Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	Saisonnier
	Dauphin à nez blanc	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Exceptionnel
	Dauphin à flancs blancs	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Exceptionnel
	Béluga	<i>Delphinapterus leucas</i>	Résidant
	Globicéphale noir	<i>Globicephata melaena</i>	Exceptionnel
	Épaulard	<i>Orcinus orca</i>	Exceptionnel
	Baleine à bec commune	<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Exceptionnel
	Cachalot macrocéphale	<i>Physeter macrocephalus</i>	Occasionnel
	Petit rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Saisonnier
	Rorqual commun	<i>Balaenoptera physalus</i>	Saisonnier
	Rorqual bleu	<i>Balaenoptera musculus</i>	Saisonnier
	Rorqual à bosse	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Occasionnel

Tableau A.3 : Profil de l'industrie des AOM au Canada (selon Hoyt 2001)

Régions	Communautés	Opérateurs	Observateurs sur bateau	Observateurs sur terre	Espèces communément observées
Maritimes	3 (N.-B.) ; 11 (N.-É.)	57	140,000	1,000	Rorqual à bosse / Baleine franche / Globicéphale noir / Rorqual commun / Petit rorqual / Dauphin à flancs blancs de l'atlantique / Dauphin à nez blanc / Marsouin commun
Terre-Neuve	37	48	122,604	15,000	Rorqual à bosse / Petit rorqual / Rorqual commun / Globicéphale noir / Dauphin à flancs blancs de l'atlantique / Dauphin à nez blanc / Marsouin commun
Québec	12	75	440,000	65,000	Rorqual bleu / Rorqual commun / Rorqual à bosse / Beluga / Petit rorqual / Dauphin à flancs blancs de l'atlantique / Dauphin à nez blanc / Marsouin commun
Arctique	4	10	6,200	500	Béluga / Narval
Colombie-Britannique	11	47	215,000	70,000	Orque épaulard / Marsouin de Dall / Dauphin à flancs blancs du pacifique / Petit Rorqual / Baleine grise
Canada	78	237	923,804	151,500	17 espèces

Annexe B : Les modifications apportées à la table des blocs d'observation instantanée

Tableau B.1 : Modifications apportées à la table des BOI

Nom d'origine	Type d'origine	Nouveau Nom	Nouveau Type	Même Info?
NO_LIGNE	Double	BOIID	Integer	non
DATE_CARTO	Double	Date	Date	oui
ANNEE	Double	Exclu		
JOUR	Double	Jour	Text	oui
FIN_DE_SEM	Double	Exclu		
PERIODE	Double	Exclu		
NO_EXC	Double	EXCID	Integer	oui
NO_BOI	Double	Rang	Integer	oui
NO_DS	Text	Exclu		
H_DEP	Integer	Exclu *		
H_OBS	Integer	Heure	Date	oui
EXC_MIDI	Integer	Exclu		
H_PIC	Integer	Exclu		
H_03	Integer	Exclu		
PROT_	Integer	Exclu		
DME2	Text	Exclu		
BAT_ID	Text	BATID	Integer	non
BAT_ID_	Double	Exclu		
BAT_TYPE	Double	Taille_Bat	Integer	oui
BAT_TYPE_G	Double	Exclu		
PORT_	Double	QUAID	Integer	non
LAT_DEC	Double	Latitude	Double	oui
LONG_DEC	Double	Longitude	Double	oui
SECT_AMAV	Double	Exclu		
QUAD1X1	Double	Exclu		
QUAD3X3	Double	Exclu		
IN_PMSSL	Double	Exclu		
ZUI	Double	ZUI	Integer	oui
ACT	Double	Activité_GRM	Integer	oui
VIT	Double	Vitesse_GRM	Integer	oui
* H_DEP indique l'heure de départ au quai. Nous avons calculé cette donnée autrement				

Nom d'origine	Type d'origine	Nouveau Nom	Nouveau Type	Même Info?
BAT_GR	Double	N_Bat_Grands	Integer	oui
BAT_M	Text	N_Bat_Moyens	Integer	oui
BAT_PE	Double	N_Bat_Petits	Integer	oui
BAT_MPE	Double	N_Bat_M_et_P	Integer	oui
BAT_PL	Double	N_Bat_Plaisanciers	Integer	oui
BAT_C	Text	N_Bat_Commerciaux	Integer	oui
BAT_A	Text	N_Bat_Autre	Integer	oui
A_ID	Text	Type_Bat_Autre	Text	oui
TOT_BAT	Double	Total_Bateaux	Integer	oui
TOT_BSP	Double	Total_Baleines	Integer	oui
BA_GP	Text	BA_Troupeau	Text	oui
BA_TOT	Double	N_BA	Integer	oui
BP_GP	Text	BP_Troupeau	Text	oui
BP_TOT	Double	N_BP	Integer	oui
BP_TOT_W_O	Double	Exclu		
BM_GP	Double	BM_Troupeau	Text	oui
BM_TOT	Text	N_BM	Integer	oui
DL_CODE	Double	N_DL	Integer	oui
MN_GP	Double	MN_Troupeau	Text	oui
MN_TOT	Text	N_MN	Integer	oui
PM_GP	Double	PM_Troupeau	Text	oui
PM_TOT	Text	N_PM	Integer	oui
A_SSP	Double	Exclu		
A_SSP_	Double	Esp_Autre_Type	Integer	oui
A_SSP_GP	Text	EAT_Troupeau	Text	oui
A_SSP_TOT	Double	Exclu		
NB_A	Text	N_EspAutreType	Integer	oui
SP_CIBLE_	Double	Esp_Cible	Integer	oui
VISI	Double	Visibilité	Integer	oui
VAG	Text	Vagues	Integer	oui
VISI_0_1	Double	Exclu		
VAG_0_1	Double	Exclu		
COND_0_1	Double	Valide	Integer	oui

Annexe C : Le règlement sur les activités en mer dans le PMSSL

Le Règlement définit les comportements à suivre en présence de mammifères marins. Ceux-ci s'adressent aux opérateurs de toutes les embarcations motorisées et non motorisées, ainsi qu'aux plongeurs et aux nageurs présents dans le Parc³⁴. Les comportements à suivre diffèrent légèrement si l'espèce observée est en danger de disparition³⁵.

Les entreprises d'excursions en mer doivent se procurer un permis et identifier leurs bateaux à l'aide de pavillons. Les pilotes des bateaux doivent adopter une éthique respectueuse du bien-être des animaux marins. On apprend aussi que la vitesse maximale autorisée à l'intérieur du Parc est de 25 nœuds (46,3 kilomètre à l'heure). En présence de mammifères marins, cette vitesse doit être impérativement réduite. Si un accident impliquant un cétacé a lieu, il doit immédiatement être indiqué aux autorités. Enfin, on précise que le survol du Parc doit se faire à plus de 610 mètres d'altitude.

Le Tableau C.1, tiré du dépliant officiel, résume les dispositions du Règlement concernant les codes de conduite³⁶. Il faut noter, en premier lieu, l'importance accordée aux conditions météorologiques qui influencent les déplacements. L'intensité des vagues, la force et la direction des vents et courants marins sont des facteurs cruciaux à considérer lors de la navigation. Un second élément notable est la distance qui sépare le bateau d'un animal.

Tableau C.1 : Comportements prescrits par la réglementation (Source : Parcs Canada)

³⁴ Un paragraphe de la réglementation est aussi destiné aux aéronefs.

³⁵ 'En danger de disparition' comprend les *espèces en voie de disparition* ou *menacées* inscrites sur la 'Liste des espèces en péril au Canada', publiée par le COSEPAC.

³⁶ Disponible au site www.pc.gc.ca. Ou baleine en direct.

Comportements à adopter en présence de mammifères marins. En tout temps, les opérateurs doivent maintenir le contrôle de leur embarcation en tenant compte des vents, des vagues et des courants.		
ESPÈCE	DISTANCE	COMPORTEMENT
Béluga et autres espèces en voie de disparition	A 400 m	<ul style="list-style-type: none"> Aucune approche. En cas de rencontre fortuite, s'éloigner à la vitesse minimale requise pour manoeuvrer et attendre d'être à plus de 400 m avant de reprendre sa vitesse de croisière.
Baleines autres que les espèces en voie de disparition	A moins de 1 mille marin d'une ou de plusieurs embarcations en observation (zone d'observation)	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse maximale de 10 nœuds. La durée maximale dans la zone d'observation est de 1 heure et il y a un délai de 1 heure avant de pouvoir y revenir.
	A partir de 400 mètres d'un animal lorsque vous êtes le seul bateau en observation	<ul style="list-style-type: none"> Une zone d'observation de 1 mille marin se crée autour de votre embarcation. La durée maximale dans la zone d'observation est de 1 heure et il y a un délai de 1 heure avant de pouvoir y revenir.
	De 400 m à 200 m	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse minimale requise pour manoeuvrer. Tout changement de vitesse et de direction à répétition est interdit. Il est interdit de placer son embarcation devant le chemin d'une baleine de manière à ce que l'animal passe à moins de 200 m.
	A 200 m	<ul style="list-style-type: none"> Aucune approche, excepté pour les détenteurs de permis d'excursion en mer, qui peuvent s'approcher à 100 m dans certains cas.
	Si une baleine s'approche à moins de 200 m de votre embarcation, ou à moins de 100 m pour les détenteurs de permis	<ul style="list-style-type: none"> Maintenir l'embarcation stationnaire jusqu'à ce que l'animal se soit éloigné à plus de 200 m (100 m pour les détenteurs de permis) ou qu'il ait plongé vers le fond.

Personne n'est autorisé à rester en deçà d'une distance de 400 mètres d'un cétacé considéré comme étant en danger de disparition (le béluga, notamment). Pour les autres animaux, cette distance est réduite à 200 mètres, ou 100 mètres pour les bateaux avec permis. Ces distances correspondent en soi aux rayons de différentes zones – la zone d'approche à vitesse réduite et la zone de déplacement interdit - centrées sur l'animal (ou le troupeau) dans lesquelles le pilote d'un bateau se doit de conserver en tout temps la vitesse minimale requise pour manoeuvrer le bateau et rester en dehors du chemin du cétacé.

De plus, un autre type de zone est aussi à considérer : la zone d'observation. Cette dernière est établie lorsqu'un premier bateau se place à moins de 400 mètres d'un animal pour l'observer. Cette zone, centrée sur le bateau, a un rayon de 1 mille marin. Dans cette zone, la vitesse est limitée à 10 nœuds. Si d'autres bateaux décident d'entrer dans la zone d'observation d'un autre bateau, ils doivent aussi respecter la vitesse d'approche. Enfin, une troisième condition est précisée, portant sur la durée d'une observation. Une fois dans la zone d'observation, le bateau peut y rester pendant une période d'une heure au maximum. Après une heure, il doit quitter cette zone et ne peut y retourner qu'une heure plus tard. La Figure C.1 ci-dessous, elle aussi tirée du dépliant officiel, met en scène une activité d'observation réglementée.

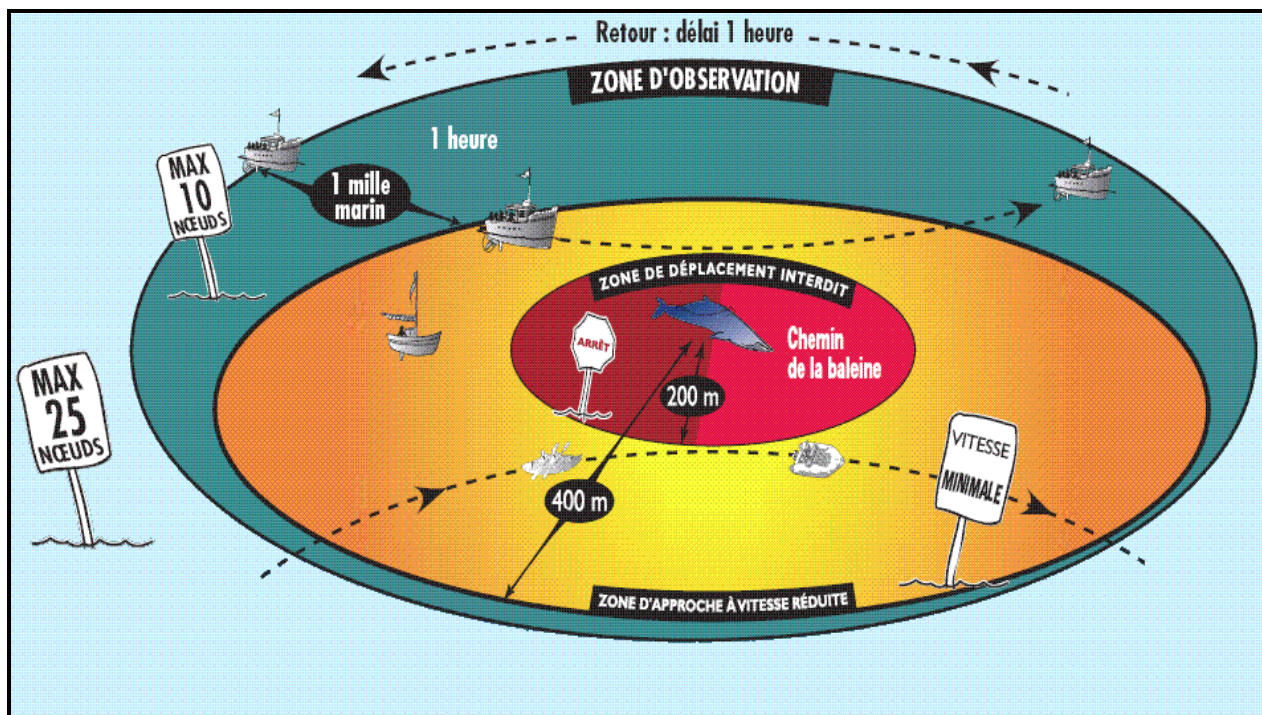


Figure C.1 : Schéma mettant en scène une activité d'observation réglementée (Parcs Canada)

Il nous a fallu plusieurs lectures pour bien saisir toutes les facettes des comportements réglementés. Officiellement, les comportements prescrits sont catégorisés selon trois thèmes : les distances à respecter, les vitesses maximales permises et les zones et secteurs d'observation. Le Tableau C.2 propose la description complète des paragraphes du règlement relatifs aux codes de comportements³⁷.

³⁷ Nous avons mis de côté les paragraphes qui ne touchaient pas directement les activités liées aux bateaux (natation, aéronefs, etc.)

Tableau C.2 : Texte légal sur les comportements interdits et les activités contrôlées³⁸

Distances	Vitesses	Zones et secteurs d'observation
<p align="center">Règle D-1</p> <p>Il est interdit au pilote d'un bateau de permettre que son bateau s'approche, notamment au moyen de la force motrice de celui-ci ou sous l'action du vent, des vagues ou du courant, à moins de 200 m d'un cétacé, ou, s'il s'agit d'un bateau commercial visé par un permis d'entreprises d'excursions en mer², à moins de 100 m d'un cétacé.</p> <p align="center">Règle D-2</p> <p>Il est interdit au pilote de mettre son bateau sur le chemin d'un cétacé de manière à ce que celui-ci passe à moins de 200 m du bateau, ou, pour un bateau [avec permis], à moins de 100 m du bateau.</p> <p align="center">Règle D-3</p> <p>Dans le cas où un cétacé s'approche à moins de 200 m de son bateau, ou à moins de 100 m pour un bateau [avec permis], le pilote garde le bateau stationnaire jusqu'à ce que le cétacé se soit éloigné à plus de 200 m ou 100 m, selon le cas, ou ait plongé vers le fond.</p> <p align="center">Règle D-4</p> <p>Le pilote d'un bateau garde son bateau à une distance d'au moins 400 m d'un mammifère marin en voie de disparition.</p> <p align="center">Règle D-5</p> <p>Il est interdit au pilote d'un bateau [avec permis] de permettre que le bateau s'approche à moins de 200 m d'un cétacé lorsque plus de quatre bateaux se trouvent dans un rayon de 400 m de ce bateau.</p>	<p align="center">Règle V-1</p> <p>Il est interdit de naviguer dans le parc à une vitesse supérieure à 25 nœuds.</p> <p align="center">Règle V-2</p> <p>Il est interdit au pilote d'un bateau, à l'exception d'un navire de charge, de naviguer à une vitesse supérieure à 10 nœuds pendant que le bateau se trouve dans la zone d'observation d'un autre bateau ou dans un secteur d'observation.</p> <p align="center">Règle V-3</p> <p>Il est interdit au pilote dont le bateau se trouve à une distance d'entre 200 m et 400 m d'un cétacé, ou d'entre 100 et 400 m d'un cétacé s'il s'agit d'un bateau [avec permis] :</p> <p>a) de naviguer à une vitesse supérieure à la vitesse minimale requise pour manœuvrer le bateau;</p> <p>b) d'effectuer des arrêts, des départs ou des changements de direction à répétition.</p> <p align="center">Règle V-4</p> <p>Le pilote d'un bateau qui aperçoit soudain un mammifère marin en voie de disparition à moins de 400 m du bateau réduit la vitesse de celui-ci de manière à ce qu'elle ne dépasse pas la vitesse minimale requise pour le manœuvrer.</p>	<p align="center">Règle Z-1</p> <p>Il est interdit au pilote d'un bateau [avec permis] de permettre que le bateau s'approche à une distance de 100 m et 200 m d'un cétacé :</p> <p>a) pendant plus de deux périodes d'une durée maximale de trente minutes chacune durant une excursion;</p> <p>b) plus d'une fois dans la même zone d'observation ou dans le même secteur d'observation durant une excursion.</p> <p align="center">Règle Z-2</p> <p>Le pilote d'un bateau [avec permis] qui place celui-ci en mode d'observation en informe par radio, ou par un autre moyen indiqué, le cas échéant, dans le permis visant le bateau, tous les bateaux commerciaux se trouvant aux alentours.</p> <p align="center">Règle Z-3</p> <p>Il est interdit au pilote d'un bateau de garder celui-ci en mode d'observation pendant plus d'une heure ou de naviguer pendant plus d'une heure dans la zone d'observation d'un autre bateau ou dans un secteur d'observation.</p> <p align="center">Règle Z-4</p> <p>Il est interdit au pilote d'un bateau de permettre que le bateau pénètre de nouveau dans la zone d'observation d'un autre bateau ou dans un secteur d'observation moins d'une heure après avoir quitté la zone ou le secteur, selon le cas.</p>

De toute évidence, il n'existe pas une seule façon d'expliquer les codes de conduite, mais un élément est évident : le Règlement indique clairement que c'est le pilote du bateau qui doit adopter et appliquer les codes. Il en découle que l'évaluation de la mise en pratique des codes doit se faire d'abord au niveau individuel de chacune des excursions réalisées par un pilote. Mais comment fonctionnent ces codes?

³⁸ Les tableaux et les figures qui suivent ont été compilés et dessinés par l'auteur.

Il y a deux manières d'expliquer les codes de conduite. La première est d'adopter le point de vue des zones pour en offrir une explication du point de vue spatial. Pour comprendre les zones, il faut s'imaginer une sorte d'*aire tampon* (type radar) qui couvre une région circulaire autour des entités qui circulent dans Parc (bateau ou animal) dont la taille dépend de la distance prescrite selon la situation. C'est à l'intérieur de celles-ci que sont imposés au pilote du bateau les comportements de déplacement appropriés. La seconde manière d'expliquer les codes est de retracer littéralement le déroulement d'une excursion au cours de laquelle les codes sont pris en compte, offrant une explication du point de vue temporel. Cela ressemblera à une sorte de portrait-robot de l'excursion idéale, réalisée par un automate.

Deux types de zones sont identifiés: les zones centrées sur le cétacé et celles centrées sur le bateau. Les zones sont circulaires et possèdent un rayon qui correspond aux différentes distances prescrites³⁹. La Figure C.2 illustre les différentes zones et les interprétations possibles.

Pour les zones centrées sur le cétacé, il faut d'abord considérer les zones dans lesquelles la circulation est interdite; nous les nommerons « zones interdites » ou « ZI ». Tout cétacé possède une ZI de 100 m de rayon autour de lui (ZI-100). Si le bateau qui observe un cétacé a plus de 4 autres embarcations autour de lui, la ZI du cétacé prend un rayon de 200 m (ZI-200). Pour un cétacé d'une espèce en voie de disparition, la ZI prend un rayon de 400 m (ZI-400). Si par mégarde un bateau se trouve dans une de ces ZI, il doit faire du surplace tant que l'animal reste à une distance inférieure au rayon de la ZI appropriée à la situation.

Un autre type de zone, centrée sur le cétacé, est celui des « zones d'approche », ou « ZA ». À l'intérieur d'une ZA, le bateau doit se déplacer obligatoirement à la vitesse la plus faible requise pour manœuvrer. Il doit se déplacer parallèlement à l'animal pour ne pas bloquer le chemin prévisible de l'animal. Dans toute ZA, le bateau doit prendre en

³⁹ Dans les paragraphes qui suivent nous nous concentrerons sur les codes destinés aux bateaux avec permis. Ainsi, quand on parlera d'un 'bateau', cela désignera un bateau commercial visé par un permis d'entreprise d'excursion en mer. Toute autre embarcation sera nommée autrement, ou avec un adjectif qualificatif.

considération et éviter la ZI autour de l'animal. En fait, la ZA ressemble à un pneu, vu de profil. La ZA « standard » (ZA-300) a donc une aire équivalente à celle d'un disque de 400 m de rayon duquel est soustraite une aire équivalente au disque de la ZI de 100 m de rayon. Logiquement, l'aire de la zone d'approche est réduite quand il y a plus de 4 autres embarcations autour du bateau (ZA-200) et il n'existe pas de ZA quand l'animal est considéré comme étant en voie de disparition.

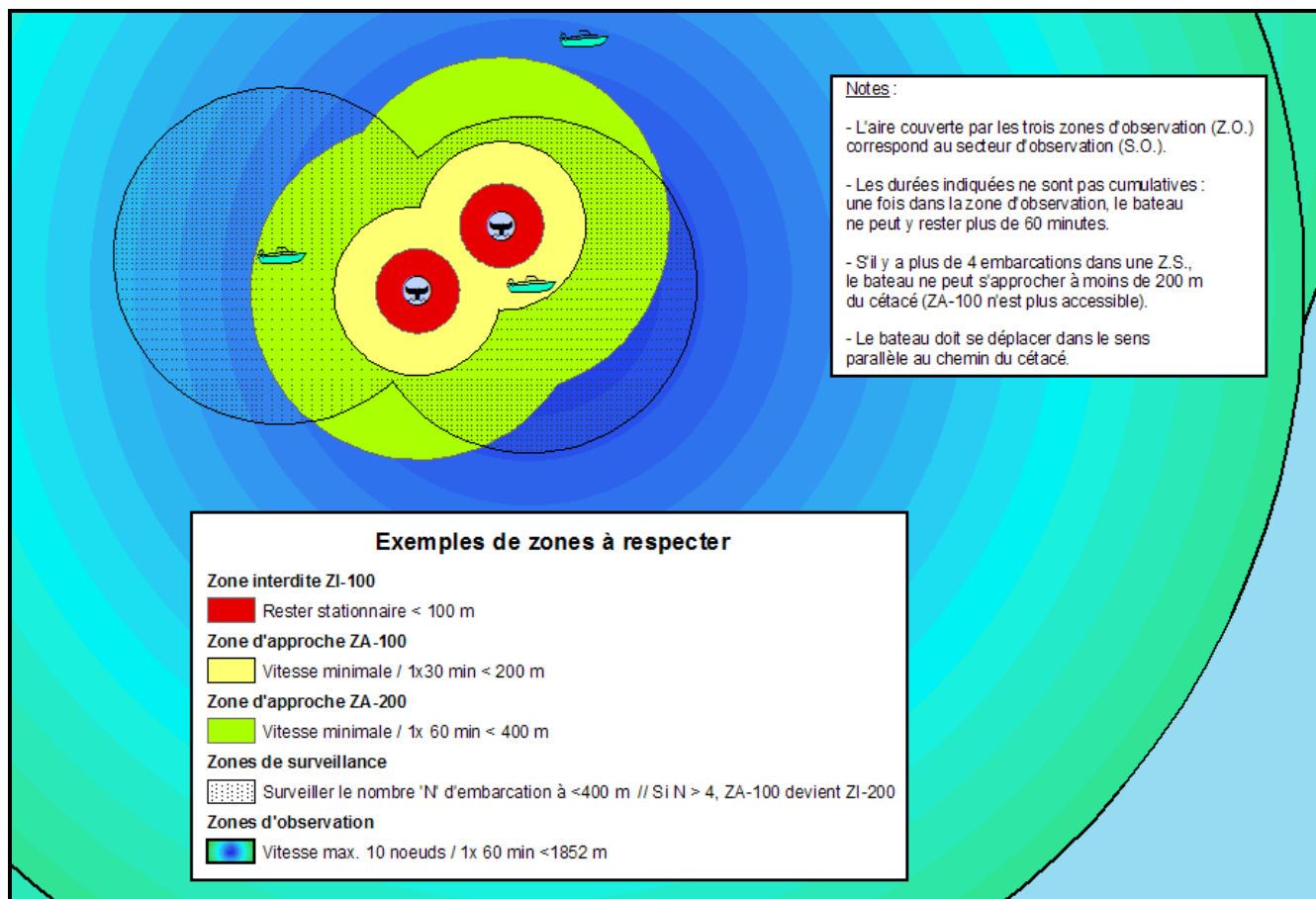


Figure C.2 : Illustration des différents types de zones réglementées

Dans le cas où le rayon de la ZI est de 100 m, il existe une autre ZA qui commence à 200 m de l'animal et se termine à 100 m de celui-ci (ZA-100). Le bateau ne peut rester plus d'une demi-heure dans une ZA-100, il ne peut pas visiter plus d'une fois la ZA-100 du même animal (dans la même zone d'observation, voir plus loin) et il ne peut pas visiter plus que deux ZA-100 par excursion (il ne peut donc pas s'approcher plus que deux fois par excursion à moins de 200 m d'un animal et plus d'une fois du même animal).

Les zones centrées sur le bateau sont au nombre de deux. Chaque bateau se doit d'être en constante surveillance du nombre d'embarcations circulant autour de lui, dans un rayon de 400 m. Ainsi, chaque bateau possède une zone circulaire d'un rayon de 400 m dans laquelle est compté le nombre d'embarcations (soit la zone de surveillance « ZS », ou « ZS-400 »). Si ce nombre dépasse 4 embarcations, le bateau ne peut s'approcher à moins de 200 m du cétacé qu'il veut observer (établissement d'une ZI-200).

Une autre zone centrée sur le bateau est la zone d'observation, la « ZO ». Selon le règlement, la ZO est établie lorsque le bateau est en « mode d'observation » : ce mode correspond à celui dans lequel le bateau se trouve « lorsque le pilote lui permet d'approcher à une distance de moins de 400 m d'un cétacé afin de l'observer ». En d'autres mots, lorsque le bateau entre dans la ZA-300 du cétacé qu'il souhaite observer, une ZO s'établit autour du bateau en question. Cette zone d'observation possède un rayon de 1 mille marin, correspondant à 1852 m. Toute autre embarcation à vocation touristique qui circule dans cette zone ne doit pas dépasser une vitesse de plus de dix nœuds. S'il y a plusieurs bateaux dans la ZA-300, chacun a une zone d'observation autour de lui et l'aire couverte par toutes les ZO forme un secteur d'observation. Un bateau ne peut rester plus d'une heure dans la même ZO que ce soit la sienne ou celle d'un autre bateau. S'il souhaite retourner dans cette ZO, il doit d'abord la quitter et attendre une heure avant d'y pénétrer à nouveau. Le Tableau C.3 récapitule les caractéristiques de toutes les zones mentionnées.

Tableau C.3 : Récapitulatif des conditions associées aux différentes zones

Zones	Nom	Nom abrégé	Rayon (mètres)	Conditions						
Centrées sur l'animal	Zones interdites	ZI-100	100	Moins de 5 autres bateaux dans ZS				A éviter obligatoirement	Rester stationnaire jusqu'à ce que l'animal quitte la ZI ou plonge	
		ZI-200	200	Plus de 4 autres bateaux dans ZS						
		ZI-400	400	Espèce en voie de disparition						
	Zones d'approche	ZA-100	100	Moins de 5 autres bateaux dans ZS	Visitable une fois par ZO par excursion	Visitable deux fois en tout par excursion	Présence limitée à 30 minutes par fois	Mode d'observation déclenché	Vitesse minimale constatée	Déplacement parallèle à celui de l'animal
ZA-200	200	Plus de 4 autres bateaux dans ZS			Présence limitée à 60 minutes au maximum					
ZA-300	300	Moins de 5 autres bateaux dans ZS								
Centrées sur le bateau	Zone de surveillance	ZS	400	En vigueur tant que le bateau se trouve dans une ZA				Estimation du nombre d'autres bateaux		
	Zone d'observation	ZO	1852	Établit par le premier bateau dans une ZA	Attendre 60 minutes après l'avoir quittée pour y retourner	Vitesse maximale de 10 noeuds	Présence limitée à 60 minutes au maximum	Les ZO se superposant établissent un secteur d'observation (SO)		

Donc, il y a plusieurs zones à considérer pour bien comprendre les codes de conduite : deux types de zones sont centrés sur l'animal, pour lesquelles le rayon varie en fonction du nombre de bateaux se trouvant autour de celui en observation, et deux zones sont centrées sur le bateau, chaque zone ayant ses propres codes (vitesse, durée et nombre de bateaux, types de mammifères).

La deuxième manière permettant d'expliquer les codes, à savoir, la description du déroulement d'une excursion est résumée dans le Tableau C.4 ci-après.

Tableau C.4 : Déroulement d'une excursion pendant laquelle les codes sont appliqués

<p>1 - Le pilote quitte le quai d'embarcation</p> <p>2 - Il parcourt le parc à la recherche d'un animal à observer</p> <p>3a - Il ne trouve aucun animal</p> <p>> Il continue de parcourir le parc jusqu'à ce qu'il doive retourner au port pour son prochain départ.</p> <p>3b - Il aperçoit un animal qui n'est pas en voie de disparition</p> <p><u>> À plus de 400 m :</u></p> <p>> Il se dirige le plus rapidement possible vers l'animal (max 25 n), et à 400 m de l'animal, établit une ZO, et se met en mode d'observation.</p> <p><u>> À plus de 400 m dans un SO ou une ZO :</u></p> <p>> Il se dirige à une vitesse maximum de 10 noeuds vers l'animal, et à 400 m de l'animal, établit une ZO, et se met en mode d'observation.</p> <p><u>> Dans une ZI :</u></p> <p>> Il établit une ZO, se met en mode d'observation, et reste stationnaire jusqu'à ce que l'animal s'éloigne à plus de 100 ou 200 m du bateau et ensuite le suit.</p> <p><u>> Dans une ZA :</u></p> <p>> Il établit une ZO et se met en mode d'observation.</p> <p>4 - Une première fois à moins 400 m d'un animal (ZA)</p> <p>> Il entre en mode d'observation. Une ZO (1852 m de rayon) se forme autour de son bateau. Une ZS (400 m) se forme autour de son bateau :</p> <p>4a > Il y a moins de 5 autres bateaux dans la ZS</p> <p>> Il navigue à la vitesse la plus faible lui permettant de s'approcher d'un des côtés de l'animal jusqu'à une distance de 100 m, et le suit en gardant une direction parallèle à celle de l'animal sans se trouver devant lui (ZA-300),</p> <p>> Si l'animal s'approche à moins de 100 m, il doit garder le bateau stationnaire tant que l'animal reste à une distance de moins de 100 m (ZI-100), et quand l'animal s'éloigne, il peut continuer à le suivre et l'observer entre 100 m et 400 m,</p> <p>> Il suit l'animal pendant une demi-heure entre 100 m et 200 m en gardant une direction parallèle à celle de l'animal (ZA-100).</p> <p>4b > Il y a plus de 4 autres bateaux dans la ZS</p> <p>> Il navigue à la vitesse la plus faible lui permettant de s'approcher d'un des côtés de l'animal jusqu'à une distance de 200 m, et le suit en gardant une direction parallèle à celle de l'animal sans se trouver devant lui (ZA-200),</p> <p>> Si l'animal s'approche à moins de 200 m, il doit garder le bateau stationnaire tant que l'animal reste à une distance de moins de 200 m (ZI-200), et quand l'animal s'éloigne, il peut continuer à le suivre et l'observer entre 200 m et 400 m,</p> <p>> Après une heure à moins 400 m de l'animal, il doit quitter la ZO en se rappelant l'emplacement de celle-ci.</p>	<p>3c - Il aperçoit un animal en voie de disparition</p> <p><u>> À plus de 400 m :</u></p> <p>> Il se dirige le plus rapidement possible vers l'animal (max 25 n), et à 401 m de l'animal, établit une ZO, et se met en mode d'observation.</p> <p><u>> À plus de 400 m dans un SO ou une ZO :</u></p> <p>> Il se dirige à une vitesse maximum de 10 noeuds vers l'animal, et à 401 m de l'animal, établit une ZO, et se met en mode d'observation.</p> <p><u>> Dans une ZI-400 :</u></p> <p>> Il reste stationnaire jusqu'à ce que l'animal s'éloigne à plus de 400 m du bateau et ensuite le suit.</p> <p>4c - Il observe un animal en voie de disparition</p> <p>> Il s'approche d'un des côtés de l'animal jusqu'à une distance de 400 m, sans se trouver devant lui et établit une ZO.</p> <p>> Si l'animal s'approche à moins de 400 m, il doit garder le bateau stationnaire tant que l'animal reste à une distance de moins de 400 m (ZI-400), et quand l'animal s'éloigne, il peut continuer à le suivre et l'observer à plus de 400 m.</p> <p>> Après une heure d'observation, il doit quitter la ZO.</p> <p>5 - Les observations subséquentes</p> <p><u>> Il retourne dans une zone déjà visitée :</u></p> <p>> Il a attendu une heure depuis sa dernière visite dans cette zone</p> <p><u>> Si la situation 4a s'est produite une fois :</u></p> <p>> Il peut observer encore une fois seulement un animal à moins 200 m pendant une demi-heure.</p> <p><u>> Si la situation 4a s'est produite deux fois :</u></p> <p>> Il ne peut observer un animal qu'à une distance de 200 m et plus.</p> <p>6 - Il retourne au quai d'embarcation pour terminer l'excursion.</p>
--	--

Comme on peut le voir, les codes en tant que tels ne sont pas facilement expliqués et il faut se résoudre à utiliser plusieurs approches pour les décrire. Cette difficulté vient du fait que les codes de conduite sont destinés au pilote lorsqu'il conduit un bateau, ce qui leur

confère une dimension *dynamique* (moments donnés) et *conditionnelle* (lieux donnés). Comme nous l'indique le Tableau C.4, les codes à respecter dépendent des situations spatiales et temporelles dans lesquelles se trouve le bateau. Pour respecter le règlement, le pilote doit donc vérifier constamment les distances entre l'animal et lui, la vitesse du bateau et le temps écoulé, et cela en tenant compte du type de mammifère marin observé, du nombre d'embarcations aux alentours et du nombre d'observations qu'il a réalisées et des lieux visités au cours de son excursion.