

The national nature reserve of Saint-Brieuc Bay, located in the north of Brittany, is a site of international importance for wintering birds. The nature reserve (1,140ha) borders a sandy foreshore of 2,900ha. The diversity and abundance of birds present in intertidal coastal ecosystems are closely related to the type, density and the accessibility of prey, and the sediment characteristics. The macrofauna and sediment characteristics were studied in Oct 2010 and Mar 2011, using a regular sampling network of 131 stations 500m apart and covering the whole of the 2,900 ha intertidal area. A study of the distribution and activity of six wader species took place during the winters of 2010/11 and 2011/12. For each flock of birds, we determined the proportion of roosting and feeding birds. The position of the flocks was determined with laser range-finder binoculars which measures distance and viewing angle. The position of the observer was obtained with a GPS unit, and the position of the birds was calculated using trigonometry. It was then possible to map the usage of the foreshore by birds in time and space. In order to further understand the predator-prey system, we mapped both the main feeding areas of the birds and their benthic food resources. For example, we showed a very close relationship between the distribution of Eurasian Oystercatchers *Haematopus ostralegus* at low tide and Cockles *Cerastoderma edule* whose size exceeds 20 mm, and between Red Knots *Calidris canutus* and Thin Tills *Tellina tenuis*. This study allows managers to determine areas that are important to major bird conservation issues. By comparing the potential foraging habitats with habitats that are currently exploited by birds, it also evaluates the impact of disturbances and development projects on the use of the area by birds. These information are used to improve our understanding about the compatibility of the complex benthic resources/birds/human activities system.

Localisée sur la côte nord de la Bretagne, la Réserve naturelle nationale de la Baie de Saint-Brieuc est un site d'importance internationale pour l'hivernage des oiseaux. La réserve naturelle (1140ha) se situe sur un estran sableux de 2900ha. La diversité et l'abondance de l'avifaune présente sur l'espace intertidal est étroitement liée au type, à la densité et à l'accessibilité des proies, ainsi qu'aux caractéristiques du sédiment. La macrofaune benthique et les caractéristiques du sédiment ont été étudiées en octobre 2010 et mars 2011, selon un plan d'échantillonnage de 131 stations espacées de 500 mètres et couvrant l'ensemble des 2900ha d'estran. Une étude de la distribution et de l'activité de six espèces de limicoles a été conduite durant les hivers 2010/11 et 2011/12. Pour chaque groupe d'oiseaux, les oiseaux au repos et en activité étaient comptés. La position des groupes d'oiseaux était déterminée avec un télémètre laser mesurant la distance et l'angle d'observation. La position de l'observateur est obtenue à l'aide d'un GPS, et la position des oiseaux est ensuite calculée en utilisant les règles de trigonométrie. Il devient donc possible de cartographier l'utilisation spatiale et temporelle de l'estran par les oiseaux. Dans le but d'améliorer la compréhension du système prédateur-proie, les zones d'alimentation des oiseaux ont été confrontées à la cartographie de leurs ressources alimentaires. Nous avons par exemple mis en évidence une relation étroite entre l'utilisation de l'estran à marée basse par l'Huitrier pie *Haematopus ostralegus* et les Coques *Cerastoderma edule* d'une taille supérieure à 20mm, et entre le Bécasseau maubèche *Calidris canutus* et la Telline papillon *Tellina tenuis*. Cette étude permet aux gestionnaires d'identifier les zones d'importance pour la conservation des oiseaux. Elle permet également d'évaluer l'impact du dérangement ou d'aménagement sur l'utilisation de zones identifiées comme favorables pour les oiseaux en comparant les habitats potentiels et les habitats réellement utilisés par l'avifaune. Ces éléments permettent de terme d'améliorer la compréhension du système ressources benthiques/avifaune/activités humaines.

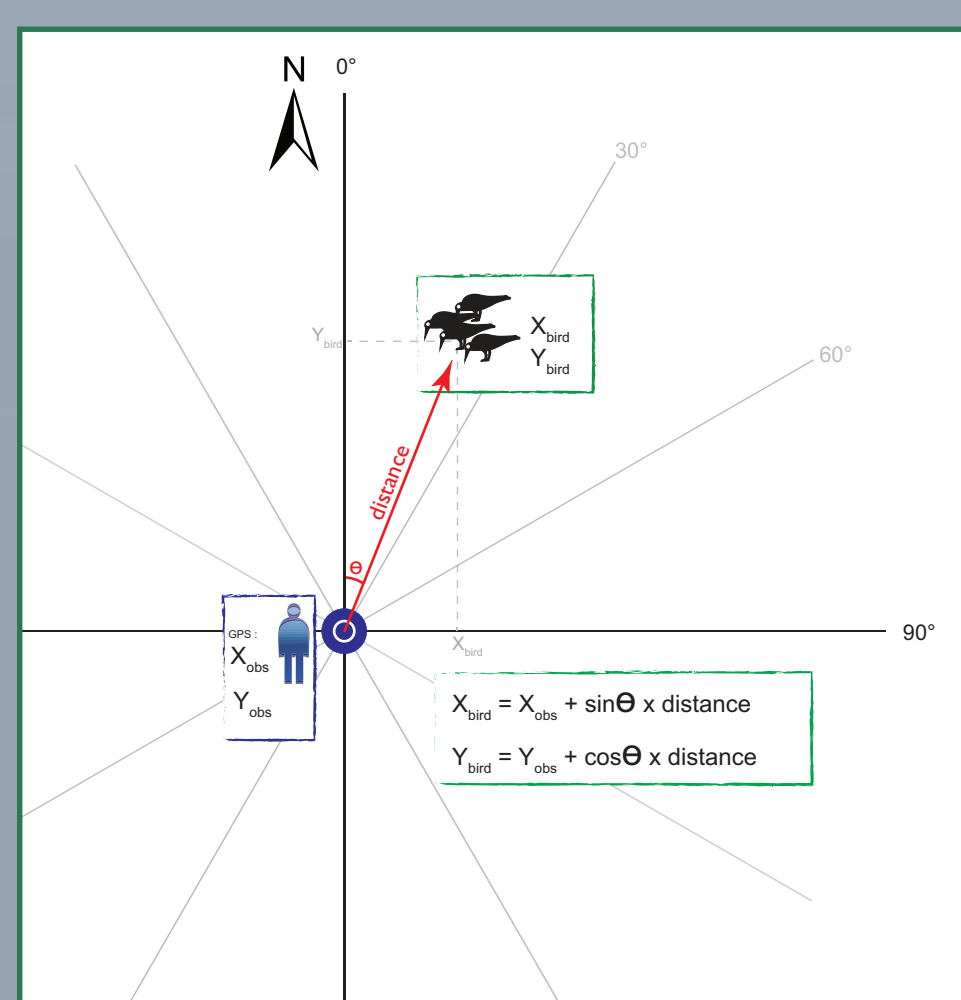
Macrobenthos is an essential element for the functioning of estuarine or intertidal ecosystems. Many authors have highlighted the predominant function of macrobenthos in benthic and pelagic foodwebs, in particular its nutritional importance for birds. The spatial distribution of waders is strongly connected with the location of food, and consequently depends on benthic assemblages characterized by important species composition and strong biomass. The knowledge and the cartography of these assemblages and of the main foraging areas allow managers of marine protected areas to identify functional zones with strong conservation issues for preservation of birds.



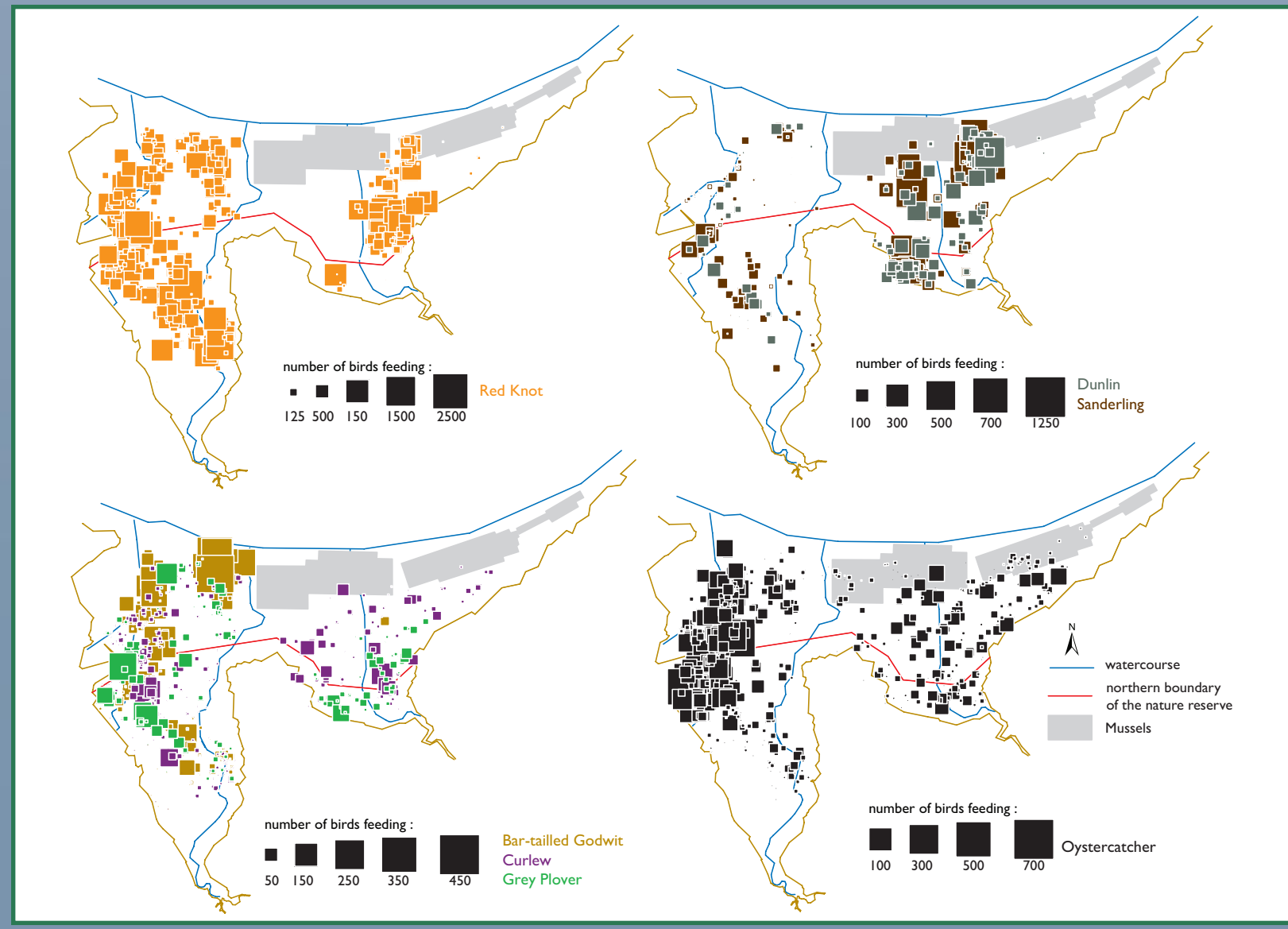
Le macrobenthos est un élément clef du fonctionnement des écosystèmes estuariens ou intertidaux. De nombreux auteurs ont mis en évidence le rôle prépondérant du macrobenthos dans les réseaux trophiques benthiques et pélagiques, et en particulier son importance nutritionnelle pour l'avifaune. La répartition spatiale des limicoles est fortement liée à celle de leur nourriture et dépend par conséquent de la présence de peuplements benthiques riches en terme de composition spécifique et de biomasse. La connaissance et la cartographie précise de ces peuplements et des principales zones d'alimentation des oiseaux permettent aux gestionnaires d'aires marines protégées d'identifier des zones fonctionnelles à forts enjeux de conservation pour la préservation de l'avifaune.

Identification of the foraging areas:

Six of the most abundant wader species were studied during the winters of 2010/11 and 2011/12: Eurasian Oystercatcher *Haematopus ostralegus*, Eurasian curlew *Numenius arquata*, Bar-tailed godwit *Limosa lapponica*, Red knot *Calidris canutus*, Sanderling *Calidris alpina*, Dunlin *Calidris alpina*. Unpredictable movements of birds and viewing distance do not allow to follow fixed points of observation. So, it consists of following birds after movements. For each group of birds, we noted the total number of individuals and the number of birds which were feeding in order to determine the proportion of feeding birds. Counting birds is realised with a telescope. The position of the groups is determined with a laser range-finder binocular which provides the distance and viewing angle from North. The position of the observer is obtained with a Global Positioning System, and the position of birds is calculated using trigonometry. The laser range-finder binocular takes effective measures up to 700m which limits disturbance of birds. Time is also noted to replace the observation in relation to tide conditions.

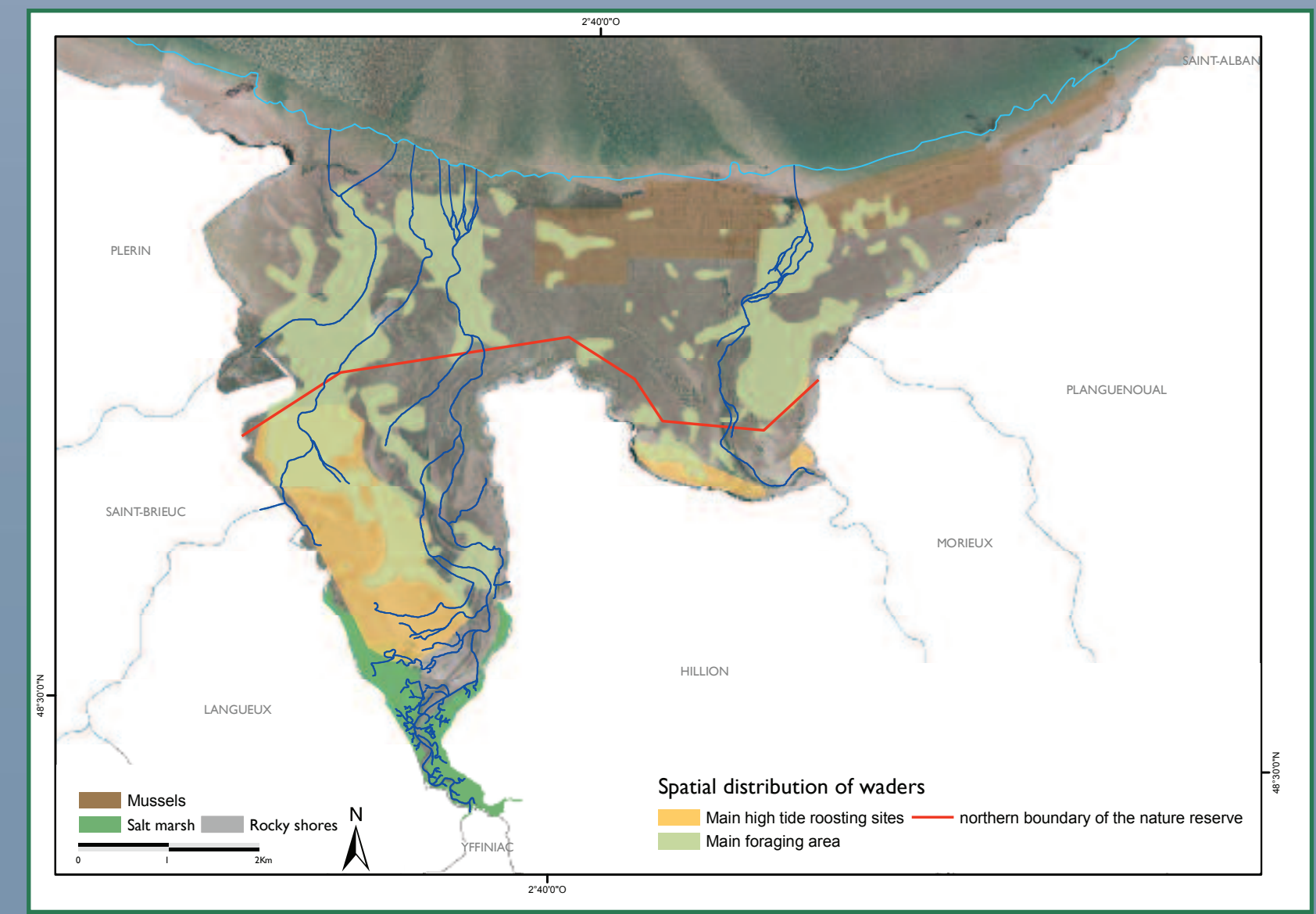


Six espèces de limicoles, parmi les plus abondantes ont été étudiées durant les hivers 2010/11 et 2011/12 : Huitrier Pie *Haematopus ostralegus*, Courlis cendré *Numenius arquata*, Barge rousse *Limosa lapponica*, Bécasseau maubèche *Calidris canutus*, Bécasseau sanderling *Calidris alpina*, Bécasseau variable *Calidris alpina*. Le déplacement imprévisible des oiseaux et la distance d'observation ne permettent pas d'utiliser des points d'observations fixes. Le principe consiste donc à suivre les oiseaux au fur et à mesure de leurs déplacements. Pour chaque groupe d'oiseaux observés, les nombres d'oiseaux au total et en alimentation sont comptés, afin de déterminer la proportion en alimentation. Le comptage des oiseaux est effectué à l'aide d'une longue-vue. La position du groupe est déterminée grâce à un télémètre à faisceau laser donnant la distance et l'angle du groupe par rapport au nord. La position de l'observateur est déterminée par le GPS, et la position du groupe est calculée selon les règles trigonométriques d'usage. Le télémètre permet d'effectuer des mesures efficaces jusqu'à 700m en limitant ainsi au maximum le dérangement des oiseaux. L'heure est également notée pour situer l'observation par rapport aux conditions de marée.



The study of the spatial distribution of waders highlights a different use depending on their activity. For the majority of birds, roosting sites are localized on high part of the intertidal area and used during high tide. The distribution of feeding birds is not homogeneous. Some foraging areas represent major importance for one or more species of birds. However, other areas are poorly frequented such as mussel beds or compacted sediments.

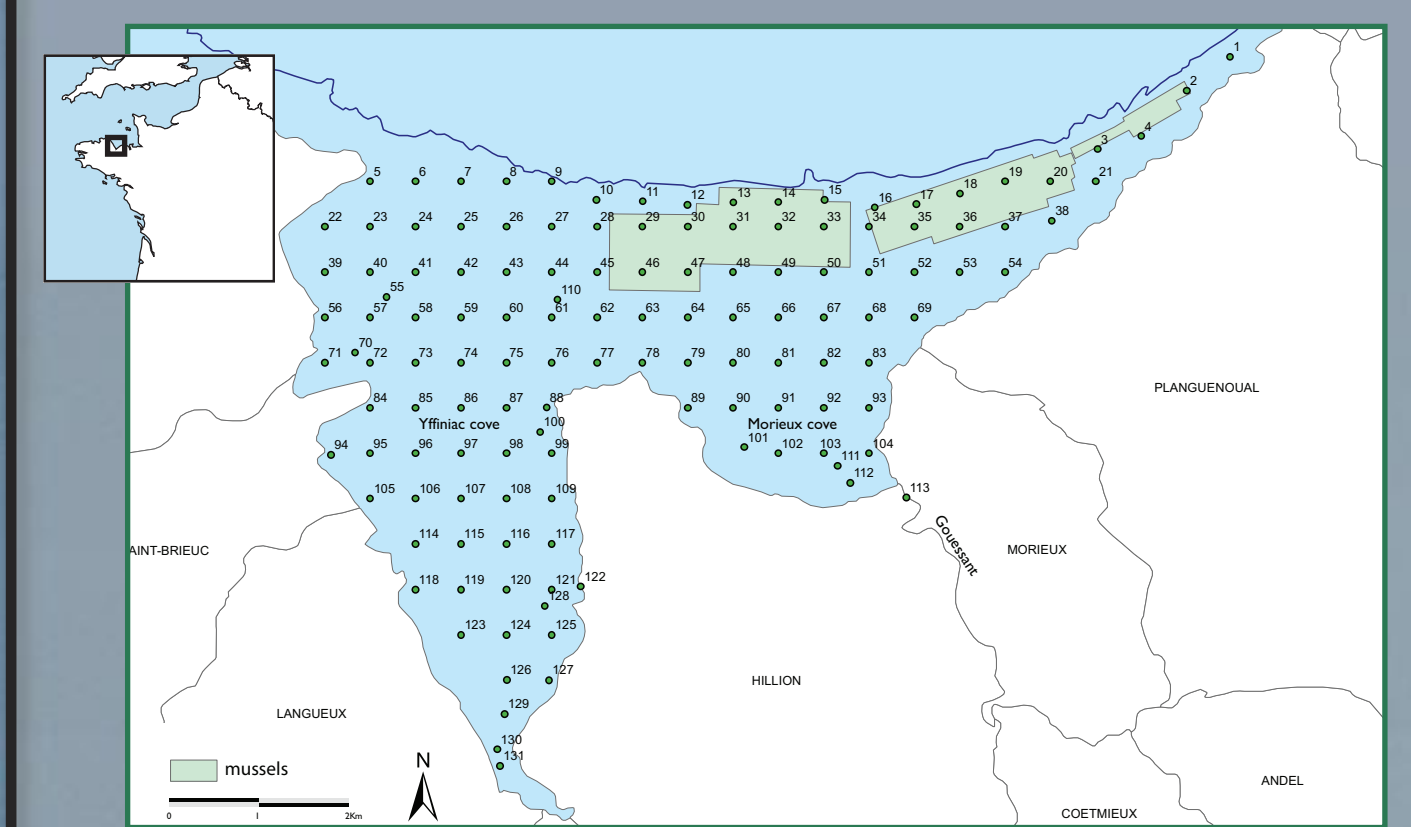
L'étude de la répartition spatiale des limicoles permet de mettre en évidence une utilisation différente de l'espace en fonction de leurs activités. Pour la majorité des espèces, les roisoirs se limitent aux parties supérieures de l'estran et sont utilisés à marée haute. La distribution des oiseaux en phase d'alimentation n'est pas homogène. Certains secteurs apparaissent ainsi comme d'importance majeure pour l'alimentation d'une ou plusieurs espèces. D'autres sont en revanche très peu fréquentés comme les bouchots ou les zones où le sédiment est fortement compacté.



One third of the foreshore is classified as a national nature reserve. If the nature reserve provides a strong protection of all of the high tide roosting sites, the main feeding area are localized outside of the perimeter.

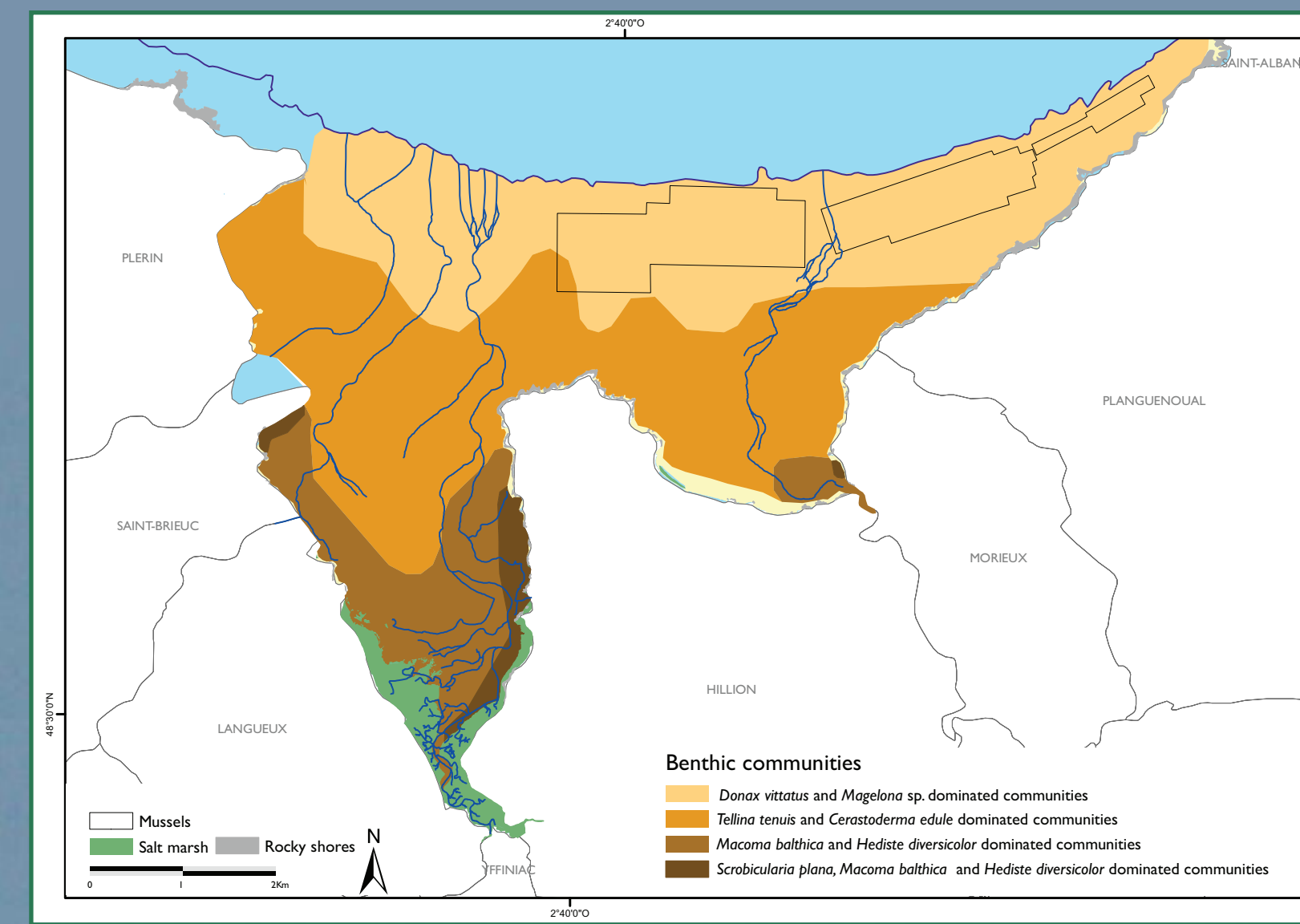
Un tiers de l'estran est classé en réserve naturelle nationale. Si la réserve naturelle protège efficacement la totalité des roisoirs de haute de mer du fond de baie, les principales zones d'alimentation des oiseaux sont en dehors du périmètre.

Cartography of benthic communities and sediment facies:

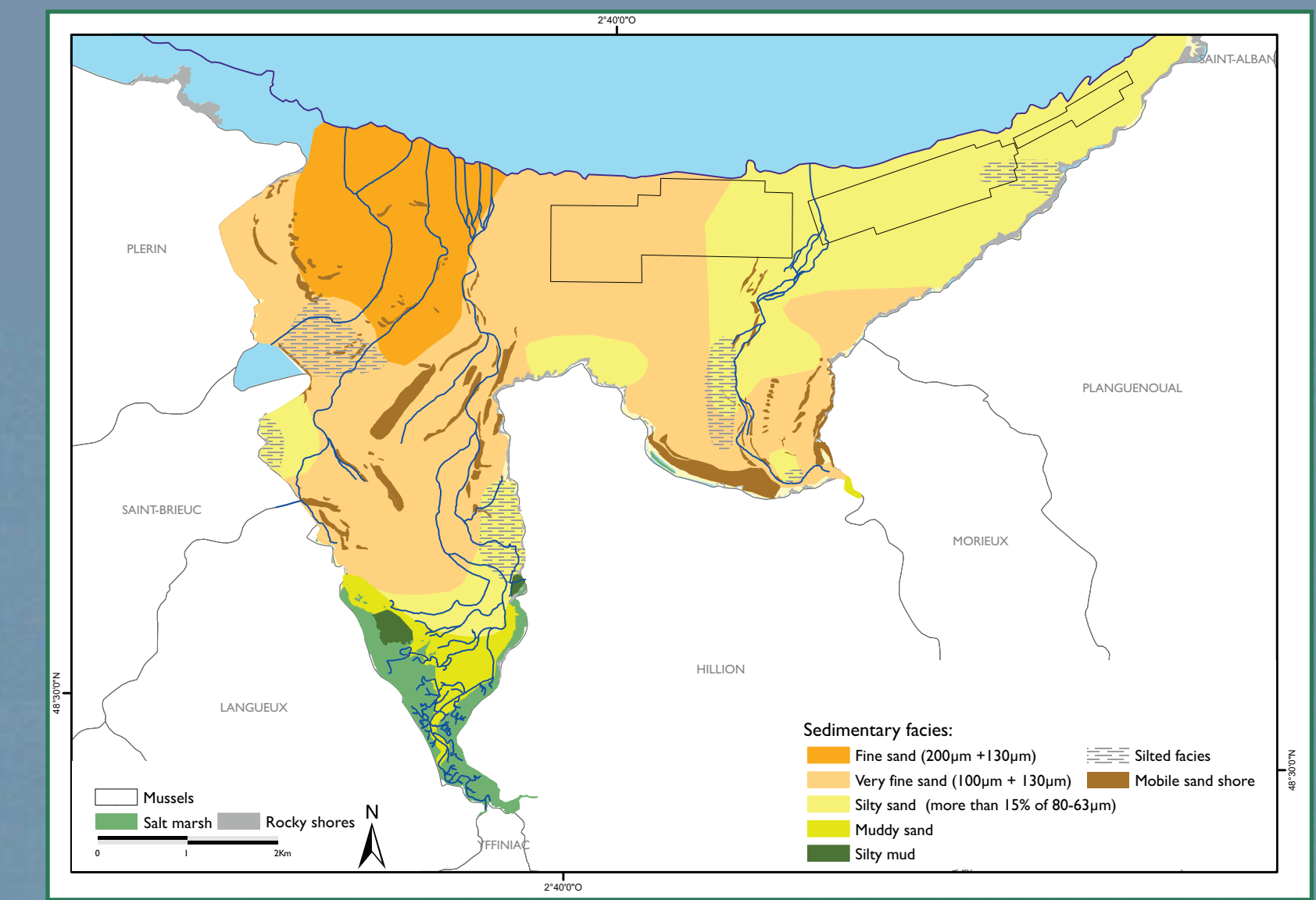


The cartography of benthic communities and sedimentary facies took place in October 2010 and March 2011, using a regular sampling network of 131 stations 500m apart and covering the whole of the 2,900ha intertidal area. On each station we realised, three samples of benthic macrofauna, two samples of sediment and a measure of the cohesion of the sediment. All samples are analysed in laboratory. Sedimentary figures have been studied in 2012 (Meyniel, 2012).

La cartographie des communautés benthiques et des faciès sédimentaires a eu lieu en octobre 2010 et mars 2011. Le plan d'échantillonnage comprend 131 stations espacées de 500m et couvrant l'ensemble des 2900ha d'estran. Sur chaque station, trois prélèvements de la macrofaune benthique, deux prélèvements de sédiment et une mesure de la cohésion du sédiment ont été réalisés. Les prélèvements ont ensuite été analysés en laboratoire. Les figures sédimentaires ont été cartographiées en 2012 (Meyniel, 2012).



Three main benthic communities have been identified at the bottom of the bay:
- *Donax vittatus* and *Magelano* sp. dominated communities in low level littoral sand
- *Tellina tenuis* and *Cerastoderma edule* dominated communities in littoral sand
- *Macoma balthica* and *Hediste diversicolor* dominated communities in littoral muddy sand
- *Scrobicularia plana*, *Macoma balthica* and *Hediste diversicolor* dominated communities in littoral silty mud

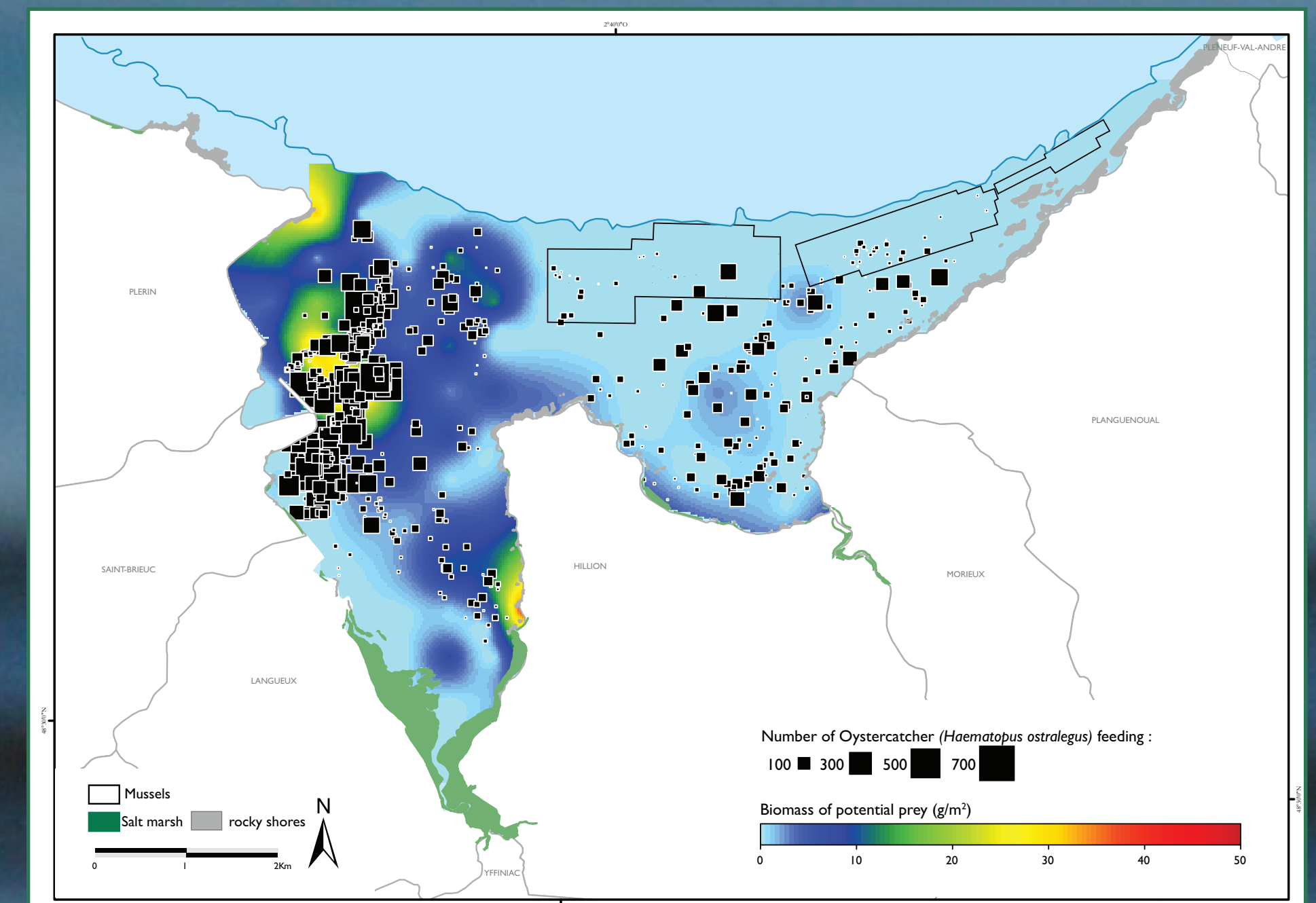
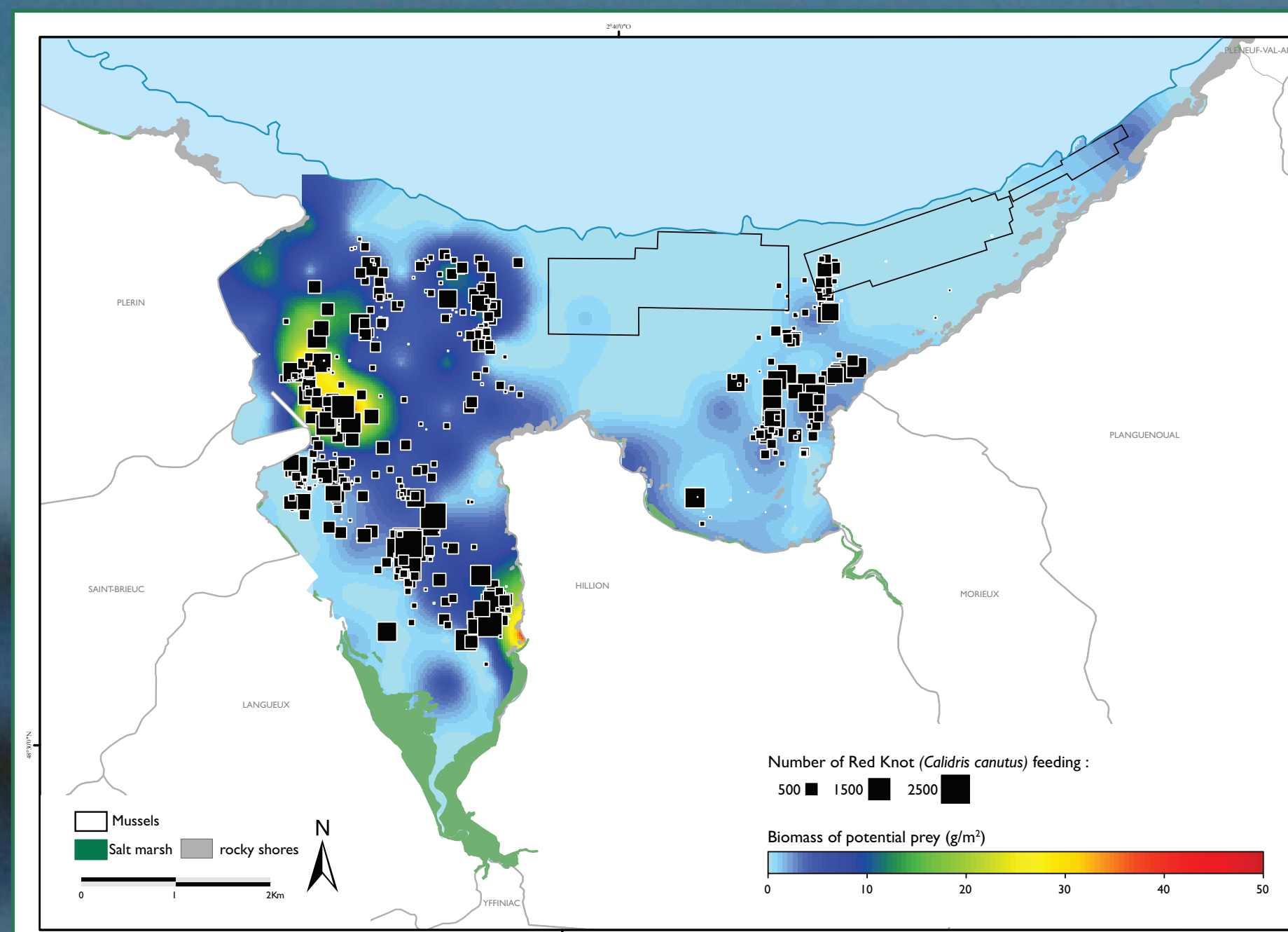


Sediment facies are dominated by littoral fine sand. Muddy sand are present in the cove of Yffiniac and in the estuary of Gouessant. These works update datas collected in previous mapping program (1987, 2001) and show a relative stability for over 20 years. The data set allows to draw up maps of benthic macrofauna, especially for the main species consumed by waders.

Benthos- birds connections:

The bibliography provides an inventory of main waders preys. The connection between distribution of birds and macrofauna data using multiple linear regression shows some interesting relations. For example, we highlighted a very close relationship between Oystercatcher at low tide and Cockle, and Red knot with Cockle and *Macoma balthica*. These results confirm the observations made on maps of the distributions of birds and benthic resources. However, the presence at the same time of a predator and a potential prey does not necessarily mean consumption by the predator. So, it seems important to take account of local particularities and a diet study is essential for some species. Dunlins and Sanderlings do not feed on areas which has strongest biomass. These species feed on the surface of the sediment or in shallow shoreline. So it's possible that our protocol for sampling is not adapted for these preys. It is also possible that there are interspecific competition or human disturbances on other foraging areas.

La bibliographie permet d'identifier les principaux taxons consommés par les limicoles. Le couplage de données de macrofaune et de répartition des oiseaux par régression linéaire multiple permet de mettre en évidence certaines relations intéressantes. Un lien étroit apparaît ainsi entre l'Huitrier pie et la Coque. De même le Bécasseau maubèche présente des relations étroites avec la Coque et la Telline de la Baltique. Ces résultats confirment les observations réalisées sur les cartes de répartition des oiseaux et des ressources benthiques. Cependant, la présence simultanée d'un prédateur et d'une source d'alimentation n'induit pas obligatoirement consommation par le prédateur. Il est donc important de prendre en compte les particularités du site, et pour certaines espèces l'étude du régime alimentaire s'avère indispensable. Les Bécasseaux variable et sanderling ne s'alimentent en revanche pas sur les secteurs caractérisés par la plus forte biomasse. Ces derniers s'alimentent à la surface du sédiment ou dans la lame d'eau, il est possible que notre mode d'échantillonnage de la faune benthique ne permette pas de capturer leur proie. Il est par ailleurs possible que la compétition interspécifique ou le dérangement lié à des activités humaines sur les autres zones d'alimentation les cantonne sur ce secteur.



The use of the foreshore by birds depends on the type, density and the accessibility of prey, the sediment characteristics, and the presence of events which can cause a disturbance. This data set obtained within the framework of these projects allows the study of potential feeding habitat compared with currently exploited habitat, and to analyse, in a second time, the compatibility of a complex benthic resources/birds/human activities system. It provides also very important information to determine the relevance of the perimeter of the nature reserve. This approach focused on the functioning of ecosystems can be easily adapted in other bays or estuaries to determine in advance the perimeter of a project of marine protected area.

L'utilisation de l'espace intertidal par l'avifaune est fonction du type et de la densité de proies, de leur accessibilité, de la nature du sédiment, et de la présence ou non d'événements susceptibles d'occasionner un dérangement. Le jeu de données constitué dans le cadre de ces différents projets permet de comparer les habitats d'alimentation potentiels aux habitats réalisés pour analyser dans un second temps la compatibilité d'un système complexe ressources benthiques/avifaune/activités humaines. Il permet également d'apporter des éléments incontournables pour juger de la pertinence du périmètre de la réserve naturelle. Cette approche centrée sur la fonctionnalité des écosystèmes peut facilement s'adapter à d'autres baies ou estuaires pour déterminer en amont un périmètre pertinent pour un projet d'aire marine protégée.

