

Validation de simulations de la dynamique de nutriments par un modèle 3D pour trois archipels de la Baltique

par

Lionel Launois

Ecole National du Genie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg, B.P. 61039 Strasbourg, France.

Contribution du projet BEVIS un système commun de soutien aux décisions pour la mise en place de mesures de protection de la qualité de l'eau pour trois archipels de la Baltique

Pour le bon déroulement de ce stage, je tiens à remercier en particulier :

Mr Anders ENGQVIST, Philosophiae Doctor (Ph.D.) ès « Océanographie », chercheur au « Department of Systems Ecology » de l'Université de Stockholm et maître de stage

Mr Lars GUSTAFSSON, informaticien au « Department of Systems Ecology »

Mr Elmgren RAGNAR, directeur du « Department of Systems Ecology », professeur et Ph.D., responsable du service « Marine and Brackish Water Ecology »

Mme Siw HEDIN-OLSSON, administrateur en chef du « Department of Systems Ecology »

ainsi que toutes les autres personnes qui ont rendu intéressant et chaleureux ce stage de découverte des métiers.

SOMMAIRE :

Introduction	3
A. Présentation du « Department of Systems Ecology » et de son environnement	3
1. L'environnement	3
2. L'Université de Stockholm et le « Department of Systems Ecology »	5
B. Présentation du projet « BEVIS », une décision conjointe pour la mise en place de mesures de protection de la Baltique	7
1. Interreg III A : une initiative communautaire	7
2. INTERREG IIIA Skängården (FIN-S)	8
3. Le projet « BEVIS » en détails	9
C. Descriptif du projet « BEVIS », création d'un modèle informatique de validation de données	10
1. Description générale	10
2. Description détaillée de certaines parties du programme Matlab	12
3. Résultats et conclusions	14
D. Un projet multinational : un programme informatique basé sur des relations finno-suédoises	15
1. L'aspect coopératif et relationnel du projet	15
2. Le volet technique : un programme informatique optimisé	16
Conclusion	17
Bibliographie :	18
Annexes :	19



Introduction

Mon stage pratique de l'ingénierie s'est déroulé au sein du « Department of Systems Ecology » de l'Université de Stockholm (Suède), entre le 5 juin et le 11 août 2006. Durant cette période j'ai intégré le service « Marine Ecology ». Comme ce projet s'inscrit dans le contexte de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, j'ai pu également constater la collaboration étroite entre les partenaires suédois et finlandais.

J'ai découvert les différents aspects d'une équipe de recherche internationale : l'organisation, les activités relationnelles, les moyens mis en œuvre pour parvenir à la réalisation de plans effectifs de protection, afin d'atteindre d'ici 2015 un bon état général des eaux côtières européennes, comme le stipule la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

A. Présentation du « Department of Systems Ecology » et de son environnement

1. L'environnement

Présentation du pays d'accueil : la Suède



Drapeau de la Suède

D'une superficie de près de 450 000 km² (ce qui en fait le 4^{ème} plus grand pays d'Europe), elle s'étend du nord au sud sur environ 1600 km et d'est en ouest sur 500 km. Le pays compte 96 000 lacs. Le nord-ouest est montagneux (plus haut sommet : le Kebnekaise

à 2 111 m). A l'est, un long plateau s'infléchit progressivement vers une plaine côtière, le long du golfe de Botnie. Au sud, on trouve une région de plaines et de lacs, dont les deux plus étendus sont le lac Vänern et le lac Vättern. De nombreux fleuves prennent leur source dans les montagnes du nord-ouest et se jettent dans le golfe de Botnie. Ils présentent un potentiel hydroélectrique important. La Suède, qui s'étend depuis la latitude de Moscou jusqu'au-delà du cercle polaire, est un pays contrasté présentant une grande diversité de paysages. La forêt de plus en plus dense vers le Nord, recouvre 59 % du territoire (*voir annexe 1*).

Située dans la partie orientale de la péninsule scandinave, la Suède est le plus grand des cinq pays nordiques. Elle est bordée au nord et à l'ouest par la Norvège, au nord-est par la Finlande, et à l'est par le golfe de Botnie et la mer Baltique.



✚ Présentation de la ville d'accueil : Stockholm

Capitale politique et principal centre économique et culturel du pays, elle compte 736 000 habitants (1,6 million pour l'ensemble de l'agglomération). Important port maritime situé sur la côte est du pays, au confluent du lac Mälaren et de la mer Baltique, qui subit la glaciation hivernale. Elle s'étend à la fois sur le continent et sur 14 îles reliées par des ponts. Son eau est tellement pure que l'on peut se baigner et pêcher au cœur de la ville. Ses activités industrielles sont très diversifiées, mais les activités administratives et le tourisme tiennent une place prépondérante dans l'économie de la ville. Stockholm abrite une université et de nombreuses institutions culturelles dont la célèbre Fondation Nobel (*voir annexe 1*).

2. L'Université de Stockholm et le « Department of Systems Ecology »

✚ L'université de Stockholm

L'Université de Stockholm est une université de grande métropole qui cultive des liens étroits et multiples tant avec la société environnante qu'avec la communauté internationale. Elle est le centre régional d'enseignement supérieur et de la recherche dans les domaines des lettres, du droit, des sciences humaines et des sciences exactes.

Avec environ 37 000 étudiants, l'Université de Stockholm est l'un des plus grands établissements d'enseignement du pays. Ses étudiants peuvent choisir entre 1200 cours et 45 filières de formation supérieure. L'Université de Stockholm représente un des plus gros employeurs de la région de Stockholm avec un effectif de 6000 personnes. La recherche, qui est orientée vers la recherche fondamentale, concerne autant les disciplines scientifiques que les lettres et les sciences humaines.

Le « Department of Systems Ecology »

La recherche et l'enseignement dispensés au « Department of Systems Ecology » s'attachent tout particulièrement à l'étude des écosystèmes et à l'utilisation durable des ressources naturelles.

Ce département s'applique à étudier à la fois des problèmes écologiques élémentaires et appliqués, et vise à mettre l'accent sur les écosystèmes côtiers et marins, ainsi que sur les systèmes socio-écologiques. Il comprend trois services : le service « Ecotoxicology », le service « Natural Resource Management » et le service « Marine Ecology ».

Concernant la recherche, ce département a une longue histoire de recherche basée sur la mer Baltique et ses bassins versants. Ce département s'est engagé dans le développement de champs interdisciplinaires dans le domaine des économies écologiques, et exerce ses recherches dans de nombreux pays développés. Le « Department of Systems Ecology » considère aussi l'humanité comme faisant partie des écosystèmes. Il tient compte dans ses analyses de l'exploitation ou de la surexploitation par l'Homme et des interactions entre le développement social d'un côté et la protection de l'environnement de l'autre. Le département offre un environnement de recherche dynamique en étroite collaboration avec le « Centre for Transdisciplinary Environmental Research (CTM) » et le « Beijer International Institute of Ecological Economics » à la « Royal Swedish Academy of Sciences ».

Concernant l'enseignement, le département dispense des programmes de troisième cycle universitaire (« Ph.D. programs ») en écologie marine, écotoxicologie marine et gestion de la ressource naturelle. Ce département offre aussi la possibilité de mener des projets d'études dans ces domaines de recherche.

Pour de ce qui est des infrastructures, le département dispose de laboratoires équipés pour des analyses chimiques d'eau naturelle ou de sédiments, pour la recherche sur le plancton, les organismes benthiques, les poissons ou encore pour des études écotoxicologiques. Le « Department of Systems Ecology » a aussi plusieurs grandes bases de données environnementales dans l'aire géographique de la mer Baltique. Celles-ci sont utilisées dans le but de développer des modèles écologiques et des méthodes d'analyses numériques basées sur l'utilisation d'internet. Le « Stockholm Marine Research Centre » dispose également d'un accès à un laboratoire sur la côte Baltique, « the Askö Laboratory » et organise des sorties en haute mer à des fins de recherches.

Le service « Marine Ecology »

Il s'agit du service où j'ai passé les deux mois et demi de mon stage pratique de l'ingénierie (*voir annexe 1*).

Son principal objectif est l'analyse des écosystèmes de la mer Baltique, depuis les nutriments jusqu'aux poissons et aux oiseaux, en passant par les communautés pélagiques et benthiques. Les questions de recherche concernent aussi bien des domaines élémentaires qu'appliqués, incluant les cycles biogéochimiques des nutriments, tout comme les processus contrôlant la production biologique dans la mer.

Les campagnes de sondages et de mesures sur le terrain, sont combinées avec des expériences en laboratoire et sont analysées à l'aide de modèles écologiques.

Ce service « Marine Ecology » étudie les dynamiques des populations de poissons de la Baltique, et les moyens pour prévenir leur surexploitation. Les recherches sur l'eutrophisation des eaux côtières et marines de la Baltique sont menées dans des programmes interdisciplinaires, en étroite collaboration avec des équipes de recherches suédoises ou de pays riverains de la Baltique.

Les modèles écologiques sont utilisés afin de tester et de générer des hypothèses, ainsi que d'élaborer des décisions support pour des systèmes intégrant à la fois des connaissances physiques, chimiques et biologiques, permettant elles mêmes d'aider à une gestion adaptée des eaux de la Baltique.

D'un point de vue organisationnel le service « Marine Ecology » comprend 41 personnes, dont 27 chercheurs Ph.D. ou ingénieurs en recherche. Le directeur du département est Mr. Elmgren Ragnar,

aussi directeur du « Department of Systems Ecology », docteur ès « écologie animale » et chercheur à l'Université de Stockholm.

B. Présentation du projet « BEVIS », une décision conjointe pour la mise en place de mesures de protection de la Baltique

Le projet « BEVIS », dans lequel mon stage pratique de l'ingénierie s'est inscrit, correspond à un système commun de soutien aux décisions pour la protection des eaux marines des archipels de Turku, Åland et de Stockholm. Ce projet « BEVIS » s'inscrit dans un programme d'initiative communautaire au sein de l'Union Européenne, et appelé : INTERREG IIIA Skärgården (FIN-S) [1].

1. Interreg III A : une initiative communautaire

Interreg est un programme d'initiative communautaire, se déroulant sur une période programmée de 2000 à 2006, et renforçant la cohésion économique et sociale au sein de l'Union Européenne par la promotion de la coopération transfrontalière, transnationale et interrégionale, ainsi que par la promotion d'un développement équilibré du territoire [1]. Interreg III est divisé en trois composantes :

- *Interreg IIIA* : coopération entre des régions frontalières,
- *Interreg IIIB* : coopération transnationale,
- *Interreg IIIC* : coopération interrégionale.

Le programme Interreg est cofinancé par l'Union Européenne et le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER). Dans ce cadre, plusieurs dispositions réglementaires s'appliquent lors de la mise en œuvre d'un projet Interreg (*voir annexe 2*). La Suède s'est ainsi vue allouer environ 1,4 milliard de SEK (soit 163,7 millions d'EUR) pour ce programme Interreg. Les pays participants subventionnent eux aussi les projets, au minimum à la hauteur des financements Interreg, et ce sous la forme d'aides publiques nationales ou de financements privés.

Je vais vous préciser la teneur du programme Interreg IIIA.

D'une façon générale, l'objectif d'Interreg IIIA est d'encourager la coopération entre des régions frontalières. Dans ce cadre, le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) permet de cofinancer des projets régionaux entre partenaires, séparés par une frontière, mais unis par des intérêts communs. Les actions prioritaires visent à :

- favoriser une coopération transfrontalière au service du citoyen,
- promouvoir un développement territorial équilibré,
- promouvoir une région attractive et accueillante.

Cette coopération a aussi pour but de développer des centres d'intérêts sociaux et économiques communs dans ces régions transfrontalières, à travers des stratégies de développement commun aboutissant, elles-mêmes, au développement durable de ces régions. Cette coopération prévoit également de favoriser les questions communes de planification spatiale.

Interreg IIIA en Suède recouvre à nouveau les mêmes zones frontalières que celles du programme précédent, Interreg IIA. Cinq programmes Interreg IIIA concernent la Suède : Öresund, Suède-Norvège, Kvarken-MittSkandia, North et celui qui m'intéresse, Skärgården (Islands).

L'Union Européenne alloue un total d'environ 1,2 milliard de SEK (soit 142 millions d'EUR) pour l'ensemble des programmes Interreg IIIA en Suède. La Suède quant à elle contribue à hauteur de 776 millions de SEK (soit 91,3 millions d'EUR), par le biais des Fonds Européens Suédois pour le programme Interreg, à l'ensemble de ses programmes Interreg IIIA.



Logos du projet

2. INTERREG IIIA Skärgården (FIN-S)

La Commission Européenne a décidé de participer activement au développement de la coopération transfrontalière entre la Finlande et la Suède en cofinçant, pour la période 2000-2006, le programme Interreg IIIA pour les îles Skärgården. La participation des fonds structurels (FEDER) s'élève à 8,6 millions d'euros sur un budget global de 18,4 millions d'euros.

Priorités d'action

Le programme s'articule autour de trois axes prioritaires.

➤ *Priorité 1 : Développement économique*

L'objectif de cet axe prioritaire vise à développer l'économie et à compenser les handicaps géographiques par la promotion du label qualité pour les produits locaux, les services de base et le secteur touristique. La plus forte valeur ajoutée du label concerne : les produits agroalimentaires, artisanaux, culturels et touristiques ; la production et la distribution ; la création de réseaux d'entreprises. Le développement économique passe aussi par le développement des compétences informatiques dans les entreprises et les administrations, en particulier pour les femmes et l'accès aux nouvelles technologies. La valorisation du patrimoine culturel permet également aux îles centrales de bénéficier de la croissance.

➤ *Priorité 2 : Environnement et société*

L'environnement est un élément indispensable au développement régional. Ainsi des efforts doivent être faits pour inverser la tendance actuelle des émissions nocives émanant des transports, de l'industrie, de la pisciculture, de l'agriculture, du développement urbain et des déchets domestiques. Les objectifs visés sont de diminuer la teneur en phosphore et en azote dans les eaux, préserver l'héritage naturel et le développement de mesures communes pour ne plus solliciter l'environnement des archipels.

➤ *Priorité 3 : Assistance technique*

Des mesures sont également prévues pour la gestion, l'information, le suivi, le contrôle et l'évaluation du programme.

Description de la zone éligible (voir annexe 3)

La zone transfrontalière de « Skärgården » est une constellation de dizaines de milliers d'îles constituée par l'archipel des trois Län de Södermanland, Stockholm, et Uppsala en Suède ; l'archipel d'Åland (région semi autonome rattachée à la Finlande) et l'archipel de Turun ja Porin Iääni et Uudenmaan Iääni en Finlande. Les trois archipels connaissent les mêmes défis liés à leur situation géographique unique ainsi que les mêmes évolutions socio-économiques formant un ensemble relativement homogène.

La population s'élève à 71 000 personnes (14 000 dans l'archipel suédois, 25 000 sur Åland et 31 000 dans l'archipel finlandais), mais connaît de fortes variations saisonnières avec une population

annuelle de trois millions de personnes. Il y a une proportion élevée de personnes âgées. La population active se limite à 28 000 personnes.

Sur les vingt dernières années, l'évolution démographique est positive sur l'ensemble de la zone mais elle ne se répartit pas de façon homogène. Les îles disposant de bons moyens de transport avec le continent se sont développées beaucoup plus vite que celles moins bien desservies. On constate également que les femmes et les jeunes ne quittent plus la région transfrontalière rétablissant ainsi la parité homme - femme dans la population.

L'économie interrégionale se caractérise par de profonds changements structurels depuis les années 1980. L'agriculture et l'industrie ont vu leurs activités diminuer de moitié alors que le secteur tertiaire fait un bond spectaculaire principalement dans les domaines des nouvelles technologies et du tourisme.

Gestion et contact (voir annexe 4)

Le Conseil exécutif de Åland est l'autorité de gestion du programme Interreg IIIA Skärgården. Il assure la coordination de tous les acteurs impliqués dans la mise en œuvre du programme. Le Comité de suivi est sous l'autorité des gouvernements suédois et finlandais.

La conduite des programmes est réalisée par un groupe de travail (Beslutsgruppen) comprenant les représentants des partenaires locaux et socio-économiques des trois régions désignés par l'autorité de gestion.

3. Le projet « BEVIS » en détails

Le projet « BEVIS » correspond à un système commun de soutien aux décisions pour la mise en place de mesures de protection de la qualité de l'eau, concernant les archipels de Turku, d'Åland et de Stockholm [2].

La mise en place de plans de protection effectifs est nécessaire pour parvenir au bon état écologique des eaux européennes d'ici 2015, comme le stipule la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. De plus, des préoccupations écologiques récentes sur l'état actuel de la qualité de la mer Baltique demandent impérativement des mesures nouvelles et plus efficaces afin de stopper la dégradation des eaux de la Baltique. Les derniers résultats de recherche montrent que les émissions de nutriments d'origine anthropogénique et que des accumulations internes de sédiments anoxiques ont eu des conséquences désastreuses sur les écosystèmes de la mer Baltique et ce, malgré une réduction significative des rejets de nutriments durant ces dernières décennies. L'objectif majeur de ce projet est donc de prévoir les conséquences de diverses mesures locales de protection des eaux et de les classer selon leur niveau de rentabilité.

La méthode proposée pour parvenir à ce but, a été de délimiter l'aire géographique couvrant les trois archipels sous la forme d'une « grille modèle », délimitée par les latitudes 59°50' et 60°46' avec une résolution d'un quart de mile nautique. Un inventaire des différentes sources de nutriments à l'intérieur de cette aire a été fait et elles ont été organisées en une base de données des émissions. Cette base contient les estimations des rejets en nutriments pour les fermes piscicoles, les usines de traitement des eaux usées et les fleuves. Ces données mises en commun avec d'autres données moins précises - diffusion de nutriments d'origine atmosphérique, relargage de nutriments contenus dans les sédiments au fond de la mer ou rejets de nutriments dans l'aire en provenance des côtes suédoises et finlandaises - sont soumises aux processus de diffusion et de advection décrits dans les modèles de circulation [3].

Deux modèles tridimensionnels différents seront employés simultanément ; leur capacité à simuler les particularités océanographiques de l'aire sera validée au vu des séries de données couvrant un cycle annuel complet, à partir du printemps 2004. Ces deux modèles utilisent le même repère, fourni par un modèle 3 D de l'ensemble de la Baltique avec une origine située à Kattegat. Dans ce projet « BEVIS » des études détaillées de zones spécifiques dans l'archipel intérieur de l'île d'Åland

ont été effectuées, notamment : mesures d'écoulements hydrauliques, études de sédiments et du périphyton ...

Le but de ce projet est de promouvoir un soutien aux décisions par :

- Un modèle de suivi de la qualité écologique de l'eau afin de mieux estimer l'efficacité de différentes mesures de protection des eaux.
- Des propositions pour des actions rentables afin d'atteindre un bon état écologique des eaux côtières, qui aideront à remplir les critères fixés par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.



C. Descriptif du projet « BEVIS », création d'un modèle informatique de validation de données

1. Description générale

L'objectif majeur est de comparer les données issues de campagnes de mesures dans l'archipel d'Åland en 2004 avec les données simulées par programme informatique pour la même période. Les méthodes de comparaison seront effectuées en utilisant le logiciel de calcul numérique Matlab (version 7.0.1) [2].

Ce programme Matlab résume donc un an de collectes et d'évaluations de données concernant les nutriments et décrivant l'environnement de la mer Baltique. Ces mesures ont été prises dans 211 sites représentatifs de l'aire géographique pendant les 12 mois de l'année 2004. Ces mesures ont été collectées dans une aire localisée entre un point sud-ouest dont les coordonnées sont 59°50' (latitude), 17°19' (longitude) et un point nord-est dont les coordonnées sont 60°46' (latitude), 22°59' (longitude) (*voir annexe 5*). Cette aire géographique correspond à la « meso-scale grid » et inclut les côtes suédoises et finlandaises, ainsi que les îles Åland. Les mesures de nutriments concernent deux nutriments principaux : l'azote et le phosphore. Chacune de ces mesures est divisée en une mesure inorganique dissoute et une mesure totale (en µg/l). Les sources de ces deux nutriments sont elles-mêmes divisées en neuf catégories : « initialization », « border », « river », « fish farming », « industries », « sewage treatment plant », « diffusion », « air » et « bottom ». Ces mesures de nutriments incluent également des renseignements sur la profondeur, les dates et les coordonnées géographiques des échantillonnages.

Les données mesurées sont listées dans un fichier Excel, nommé « BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls » (*voir annexe 6*). Ce fichier est constitué de neuf feuilles fournissant diverses informations : chronologie des ajouts d'informations concernant les différentes sources de nutriments, tableaux avec les données mesurées pour les industries, la diffusion, les

rivières, les fermes piscicoles, les usines de traitement des eaux usées et le tableau des concentrations totales pour chaque sorte de nutriment et pour chaque site. C'est d'ailleurs cette dernière feuille que j'ai exclusivement utilisée afin d'y lire les informations nécessaires au fonctionnement de mon programme et que je vais détailler.

Cette feuille, appelée « Monitoring », est composée de 3564 lignes correspondant chacune à un site de mesure précis. Plusieurs lignes peuvent correspondre au même site. Ce tableau est aussi formé de 19 colonnes apportant diverses informations. Dans l'ordre :

- le nom du site de mesure (colonne SITE),
- les données sur la latitude et la longitude, en degrés et minutes, avec comme origine respectivement l'équateur et le méridien de Greenwich (LAT & LON),
- les valeurs de la profondeur de la mesure (SDEPTH, en m),
- les valeurs de la profondeur maximal à l'endroit de la mesure (WDEPTH, en m),
- le jour, le mois, l'année de l'échantillonnage (on ne prendra en compte que les données de l'année 2004).

Ce tableau fournit aussi les valeurs de concentrations mesurées pour divers nutriments à savoir :

- les concentrations totales en azote (TN) et en phosphore (TP) (en $\mu\text{g/l}$),
- les concentrations en azote inorganique dissout (DIN) et en phosphore inorganique dissout (DIP) (en $\mu\text{g/l}$).

Sont aussi présentes dans le tableau, mais non utilisées par mon programme, des colonnes fournissant :

- la salinité (en PSU),
- la température (en °Celsius),
- la concentration en oxygène dissout (en mg/l),
- la concentration en chlorophylle (en $\mu\text{g/l}$),
- la valeur de la biomasse (en g de matière sèche par m^3),
- les sources des données et les commentaires éventuels.

La validation de ces mesures est présentée dans un programme Matlab [4], [5].

Ce programme Matlab est divisé en trois parties :

- la première partie génère une matrice « C » qui contient toutes les informations pertinentes extraites de la feuille « Monitoring » du fichier Excel « BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b », ainsi que des cartes de la « meso-scale grid » avec l'emplacement des points mesurés.
- la deuxième partie est chargée d'extraire les données enregistrées dans des fichiers « .fld » et correspondant aux points calculés par l'ordinateur central, situés dans la « meso-scale grid ». D'autre part ce deuxième programme permet aussi de générer des matrices pour chaque mois, remplies avec diverses informations, à savoir : la localisation, la date, la profondeur et les concentrations pour chaque catégorie de nutriment. Ceci à la fois pour les points mesurés et les points calculés. La particularité des lignes de chaque matrice mensuelle est de n'afficher que des points en tout point identiques (date, localisation, niveau de profondeur et type de nutriment comparé). Les deux points identiques doivent appartenir, pour l'un aux points mesurés, pour l'autre aux points calculés.
- la troisième partie consiste en une comparaison entre mesures prises sur le terrain et simulations informatiques. Cette comparaison qui s'appuie sur une analyse statistique des données permet de faire apparaître une régression linéaire du type concentrations mesurées en fonction des concentrations calculées, et ce pour un type de nutriment précis. D'autres renseignements relatifs à cette régression tels la pente de la droite, le coefficient de corrélation, sont aussi fournis par ce programme.

Pour terminer, l'ensemble de ce travail a été rédigé sous la forme d'un chapitre intitulé « Validation of nutrient measurements » dans un rapport technique destiné à une publication internationale.

2. Description détaillée de certaines parties du programme Matlab

✚ **Partie 1 : Création de la matrice « C » et de cartes (voir annexe 8)**

La première étape consiste en l'extraction des données depuis la feuille Excel. Pour ce faire, j'utilise la fonction Matlab « xlsread ». J'importe en premier lieu les données des latitudes et des longitudes converties uniquement en minutes. Ensuite, je transforme ces données afin d'obtenir les coordonnées dans la « meso-scale grid ». Cette grille a en effet comme point origine le point de coordonnées 53°48' (latitude), 9°27' (longitude) et a une taille de 225 unités en ordonnées (latitude) et de 681 unités en abscisses (longitude) (*voir annexe 7*). La matrice donnant désormais les points dans le format de la « meso-scale grid » se nomme MSCoord. Cependant, certains points ont des coordonnées qui excèdent les dimensions de la « meso-scale grid ». Le programme à ce niveau vérifie quels sont les points effectivement à l'intérieur de la grille et les enregistre dans une nouvelle matrice « A ». Cette matrice contient aussi les points dont les coordonnées excèdent les dimensions de la grille, mais remplace alors la coordonnée en dehors des limites par zéro. Cette matrice « A », qui désormais contient deux colonnes et 3654 lignes, se voit rajouter alors plusieurs colonnes de données, à savoir : le numéro du site de mesure, le jour, le mois, l'année de l'échantillonnage, la profondeur de la mesure et les indices de début et de fin du repère orthogonal.

Concernant la profondeur de la mesure, cette colonne ne fournit pas de profondeur en mètres, mais un nombre compris entre 1 et 39. Ces nombres font référence à un niveau de profondeur et non à une profondeur précise. Ainsi un « 1 » dans la colonne des profondeurs fait référence à un point dont la mesure a été prise entre la surface et 2,5 m de profondeur. Un « 2 » signifie que la mesure a été prise entre 2,5 et 7,5 m (2ème niveau) et ainsi de suite jusqu'à « 39 », qui correspond au dernier niveau compris entre 252,5 et 282,5 m. Cette façon de procéder permet en réalité de faciliter la comparaison de la matrice générée par ce programme avec les matrices extraites des fichiers « .fld », car celles-ci ont aussi comme « profondeur » des niveaux de profondeur.

On arrive ainsi à la construction de la matrice appelée MSCoordfinal. Cette matrice va à son tour être agrandie avec l'ajout de nouvelles colonnes, celles remplies avec les concentrations des divers types de nutriments, ce qui donne dans l'ordre : Total N (TN), Total P (TP), DIN et DIP.

Finalement on obtient une matrice MSCoordfinalnutrient4 dont on doit encore retirer les points dont les coordonnées excèdent les dimensions de la grille et les points pour lesquels on a aucune concentration d'azote ou de phosphore.

Bilan : La matrice finale s'appelle matrice « C ». Elle comporte 3377 lignes et 15 colonnes et fournit l'ensemble des points mesurés situés dans la « meso-scale grid », ainsi que les informations pertinentes pour la suite du programme.

Pour faire une vérification de ce premier programme, on peut tracer une carte de la « meso-scale grid » sur laquelle on voit apparaître des points, correspondant chacun à un site de mesure différent. On s'aperçoit que tous les points sont situés dans la mer et non sur terre. La création de cartes avec des points colorés selon la valeur de la concentration en nutriment voulu ne se fera qu'à la fin du deuxième programme.

✚ **Partie 2 : Extraction de données des fichiers « .fld » et création de matrices mensuelles [4] (voir annexe 9)**

Le but principal de ce deuxième programme est de regarder à l'intérieur du dossier « E:\Arx_results\ » et de trouver le fichier associé à une date précise. Ensuite ce programme décompose les données et extrait l'information correspondant à la catégorie de nutriment voulu, c'est-à-dire TN, TP, DIN ou DIP. Ceci est fait pour les neuf sources de nutriments. Enfin, le programme somme ces diverses contributions.

Cette deuxième partie est basée sur l'existence de boucles répétitives et récursives. Au total il y a 6 boucles principales. La première, qui concerne la catégorie de nutriment, regarde successivement les colonnes 12 à 15 de la matrice finale « C », correspondant aux colonnes TN, TP, DIN et DIP. En

réalité pour les colonnes 12 et 14, la variable pour la catégorie de nutriment, 'k', renvoie comme « nom1 » la lettre 'N'. De même, pour les colonnes 13 et 15, 'k' renvoie 'P' comme « nom1 ».

Ensuite, il y a une condition sur l'année, mais en fait je ne travaille qu'avec les données de l'année 2004, donc je fixe cette variable 'year' à '4' pour 2004.

Le programme se poursuit par deux boucles 'for', une sur les mois, l'autre pour les heures. Cette dernière correspondant donc au jour du mois analysé, selon la règle 1er jour du mois = 24, 2ème jour = 48, et ainsi de suite jusqu'au dernier jour du mois concerné (28, 30 ou 31).

J'ai aussi placé dans ce programme une boucle 'for' permettant de faire varier le niveau de profondeur lu, de 1 à 39.

Le programme s'engage alors dans une nouvelle boucle 'for', à savoir celle faisant varier 'row' de 1 à 9 si le nutriment est l'azote, de 1 à 8 si c'est le phosphore. Selon la valeur de 'row' on associe à « nom2 » et « nom3 » des catégories différentes. Cas particulier de la catégorie 'Air', en effet il est physiquement et théoriquement impossible d'obtenir des concentrations pour le phosphore dans l'atmosphère.

Après avoir lu toutes ces informations et après les avoir sauvegardées temporairement à l'intérieur de variables, ce deuxième programme regarde maintenant dans le dossier « E:\Arx_results\ » afin de trouver le fichier correspondant exactement à la date précise (année, mois, heure), au type de nutriment précis et à la source de nutriment précise. Ces données extraites du « bon » fichier « .fld », sont stockées dans la variable « filename2 » et sont analysées avec une fonction Matlab particulière, nommée « textread ». Celle-ci est capable d'extraire les diverses informations contenues dans la seule variable « filename2 ».

L'étape suivante consiste à lire ces informations extraites. Pour cela j'utilise un programme Matlab déjà créé pour les besoins du projet « BEVIS » et intitulé « Calc_2b.mat ». Ce programme est capable de lire toutes les informations extraites des fichiers « .fld », sauvegardées dans le dossier « E:\Arx_results\ ». Ce programme « Calc_2b.mat » s'achève en donnant deux matrices : « X » et « Y ». La matrice « X » est remplie avec les concentrations des nutriments dissous inorganiques (DIN ou DIP, selon le type de nutriment lu), alors que la matrice « Y » est remplie avec les concentrations des nutriments totaux (TN ou TP).

Le programme 2 lance ensuite une représentation graphique de la matrice « NL ». Elle correspond à une matrice existante pour les besoins du projet et fournit un fond de carte avec les limites des terres (côtes et îles).

Le programme se poursuit avec la création d'une matrice appelée « Grille », qui reçoit pour une localisation spatiale et temporelle précise une valeur de concentration. Cette matrice dépend du type de nutriment (TN, TP, DIN ou DIP).

Il y a aussi une seconde matrice qui est créée. Cette matrice appelée « compar », est remplie avec les mêmes informations que la matrice « Grille », mais au lieu des valeurs de concentrations « mesurées », elle affiche des valeurs de concentrations « calculées ». La valeur de ces dernières est en fait la somme des huit ou neuf catégories de nutriments.

Bilan : L'étape finale de ce programme 2 consiste à faire apparaître une nouvelle matrice appelée « table [mois] k [numéro du nutriment analysé, de 12 à 15] ». Cette matrice donne des informations relatives à la localisation spatiale (coordonnées tridimensionnelles) et temporelle. Les colonnes suivantes sont remplies avec les concentrations mesurées en nutriments pour ce point, ainsi que les concentrations calculées extraites des fichiers « .fld ». Enfin, la matrice inclut aussi les colonnes donnant les concentrations du type de nutriment voulu pour chaque source prise individuellement. On a alors un moyen de vérification des concentrations totales calculées car normalement correspondant à la somme des concentrations des huit ou neuf catégories de nutriments.

D'autre part ce programme 2 permet aussi d'avoir une représentation cartographique des points mesurés associés à la valeur de concentration. Cette carte appelée « Nutrientmaps » fait apparaître non seulement les côtes suédoises et finlandaises et l'archipel d'Åland, mais aussi les sites de mesure, ceci pour une date, une profondeur et un type de nutriment précis.

Partie 3 : Comparaison entre valeurs mesurées et calculées, par analyse statistique (voir annexe 10)

Ce troisième programme vise à comparer les mesures aux simulations informatiques et ce pour chaque mois et chaque profondeur. Cette comparaison, s'articulant autour d'une analyse statistique permet de voir comment varient les données simulées dans le temps et l'espace, par rapport aux valeurs mesurées.

Je commence donc cette troisième partie en chargeant toutes les données fournies et sauvegardées à partir des deux programmes précédents. J'utilise pour cela la fonction Matlab « load ». Puis, je construis une fonction permettant d'obtenir un graphique traçant les valeurs calculées en fonction des valeurs mesurées. Je commence par demander à l'utilisateur pour quel nutriment on tracera le graphique, mais également pour quelle profondeur. De manière facultative, je peux demander au programme de restreindre l'étude sur un mois que l'utilisateur précise. A partir de là, je peux rassembler les données utiles pour traiter ces choix, en une matrice "table".

Cette analyse statistique fait intervenir une nouvelle matrice appelée « values ». Celle-ci comporte deux lignes : dans la première, je fais la liste des valeurs mesurées pour les points étudiés. Il peut donc y avoir deux colonnes avec la même valeur mesurée. Dans la deuxième ligne, est associée la valeur calculée pour chacune de ces valeurs mesurées.

Je commence alors la représentation graphique en traçant la deuxième ligne de "values" en fonction de la première. Ensuite, je calcule la droite passant par le plus de points possibles. En connaissant sa pente, j'en déduis sa représentation graphique, que j'affiche, ainsi que son coefficient de corrélation. Enfin, je surimpose à ces données la droite de pente 1, c'est-à-dire la droite qui représente la répartition parfaite des points, si la valeur calculée et la valeur mesurée coïncidaient pour toutes les valeurs.

Grâce à ce graphique, j'obtiens ainsi une lecture directe de la valeur du modèle de diffusion utilisé. En effet, plus la régression obtenue pour nos données est proche de la droite parfaite, plus le modèle est juste. Mon programme permet ainsi d'étudier la valeur du modèle pour chaque couche de profondeur, pour les différentes plages de concentration, et ce, pour chaque mois.

Bilan : *On obtient ainsi un graphique montrant une régression linéaire. Celle-ci donne les valeurs des concentrations mesurées en fonction de celles calculées, et ce en fonction de la profondeur demandée par l'utilisateur. Ce programme donne aussi le coefficient de la pente de la droite, afin de vérifier l'exactitude des résultats.*

3. Résultats et conclusions

Après avoir lancé les trois programmes précédents, on obtient un graphique montrant une régression linéaire. Comme on l'a vu précédemment, il est possible, en faisant tourner la partie 3 du programme Matlab, d'affiner la régression obtenue. Je me contenterai ici de présenter brièvement deux simulations (*voir annexe 11*).

En effet, ceci est dû à plusieurs raisons, dont la principale est que ces résultats sont désormais envoyés à des biologistes et experts en matière de nutriments, afin qu'ils puissent fournir une interprétation détaillée et complète de ces résultats. Ils sont effectivement les seuls à disposer de tous les paramètres et de toutes les données nécessaires à l'interprétation exacte de ces régressions. Mon travail consiste donc à fournir des représentations statistiques utilisables par la suite, pour valider l'ensemble du travail mené au cours de ce projet « BEVIS ». Cependant des outils sont à ma disposition pour interpréter de façon globale mes résultats.

Ainsi, le coefficient de corrélation linéaire (ρ , $\rho_{\hat{\theta}}$) entre les valeurs mesurées (en abscisses) et les valeurs calculées (en ordonnées) constitue un de ces outils. Il est compris entre -1 et 1, et est affecté du signe « + » ou « - » selon que la pente de la droite de corrélation est positive ou négative. Ce coefficient de corrélation entre les valeurs mesurées et les « prédictions » par la simulation informatique permet d'apporter des renseignements sur la qualité de l'ajustement. Plus il est élevé, plus la dépendance entre les points mesurés et les points calculés est importante. Par ailleurs, plus il est grand, plus le modèle donne des « prédictions » justes, en fonction des valeurs mesurées.

Le coefficient de détermination est aussi un outil très important. Ce coefficient correspond au carré du coefficient de corrélation. Il représente la fraction de la variance de la variable dépendante

(valeurs calculées) qui est « expliquée » par la variance de la variable indépendante (valeurs mesurées). Je vais maintenant interpréter ces deux ensembles de résultats.

Le premier correspond à une simulation pour l'azote total, pour tous les points d'un mois déterminé. J'affiche l'ensemble de ces douze mois, afin de pouvoir suivre l'évolution des divers coefficients de corrélation au cours de l'année. On peut remarquer que pour le mois de mai, par exemple, avec un coefficient de corrélation de « 0,84 », plus de 70% des variations des valeurs calculées peuvent être expliquées par les valeurs mesurées. Ce résultat est très bon d'un point de vue purement géométrique puisque la relation entre valeurs mesurées et valeurs calculées est très étroite. D'un point de vue biologique, ceci est tout simplement exceptionnel. D'autre part si l'on regarde les autres mois, on peut, hormis le début de l'année, s'apercevoir pour l'azote total, que les résultats obtenus par le modèle informatique sont raisonnablement validés par les résultats mesurés. Pour le début de l'année, diverses interprétations pourraient justifier ce manque de précision, à savoir : l'incapacité d'obtenir des mesures précises et en grand nombre, dûe à la présence de la banquise, à une prise en compte des mécanismes de nitrification et de dénitrification moindre par rapport aux autres mois... . En ce qui concerne les derniers mois de l'année, deux « branches de régression » semblent apparaître. On pourrait affiner ce champ d'investigation en traçant des régressions pour l'azote total non seulement en fonction d'un mois donné, mais aussi en fonction d'une profondeur précise.

Le deuxième ensemble de résultats correspond au phosphore total, pour tous les points d'un mois choisi. On retrouve exactement les mêmes représentations que pour l'azote total. Cependant, cette fois les coefficients de corrélation, tout en restant acceptables, sont moindres que pour ceux de l'azote total. La dépendance entre les deux séries de valeurs est donc moindre. De même la différence de pente entre la droite de régression idéale et celle existante est aussi plus importante, ce qui traduit un écart entre le modèle et la réalité. Une explication est la divergence de corrélation observée entre résultats calculés et mesurés aux faibles valeurs de concentrations calculées. Toutefois des investigations plus poussées, demandant l'accès à des données complémentaires, pourront expliquer cette différence ainsi que valider ou non la concordance entre valeurs calculées et mesurées.

D. Un projet multinational : un programme informatique basé sur des relations finno-suédoises

1. L'aspect coopératif et relationnel du projet

Les pays situés autour du Golfe de Finlande développent de plus en plus une coopération multidimensionnelle basée sur la politique, la recherche, la technique et l'économie, afin d'améliorer l'état de la Baltique. De nombreux projets importants, comme le projet « BEVIS », sont financés par des institutions internationales et par l'Union Européenne. Des coopérations entre chercheurs russes, estoniens, suédois et finlandais se développent pour renforcer l'acquisition de données venant en aide aux divers travaux.

Dans ce projet « BEVIS » en particulier, des relations importantes existent entre le service « Marine Ecology » de l'Université de Stockholm (Suède) et « Åbo Akademi University » (Finlande) où sont basés le chef et le coordinateur du projet « BEVIS ». Cependant, même si cette collaboration est majeure pour le projet, elle ne demeure pas la seule existante. Ainsi le service où j'ai passé deux mois et demi de stage, développe aussi des liens plus ou moins étroits avec d'autres partenaires du projet « BEVIS », à savoir : « Svealands Kustvattenvårdsförbund », « Southwest Finland Regional Environment Centre » et « Åland landskapsregering ». D'autres organismes interviennent aussi dans le projet mais seulement en tant que collaborateurs. Il s'agit du « Finnish Environment Institute, SKYE », de « EIA Ltd. (YVA Oy) », du « The Finnish Institute of Marine Research » et du « Länsstyrelsen i Stockholms län ».

En tout 10 personnes forment l'équipe dirigeante, responsable du projet. Toutes ces personnes communiquent entre elles pour fournir des données, suivre l'avancement des travaux, apporter des rectifications ou des compléments au projet, etc. Le travail autour de ce projet « BEVIS » est donc un réel « travail d'équipe » et ce malgré l'éloignement géographique de ses membres. Ce dernier point

s'explique tout simplement par l'étendue de la zone de recherche et de l'existence de stations de mesures sur les deux côtés de la Baltique.

Ces différents partenaires toutefois se rencontrent lors de réunions qui se déroulent le plus souvent sur l'île d'Åland, où se trouve l'autorité de gestion du programme Interreg IIIA Skärgården. Il y a donc un volet relationnel et coopératif extrêmement important autour de ce programme « BEVIS » et d'autant plus renforcé par l'existence de technologies de communication particulièrement développées dans ces pays nordiques.

Bilan : *Un des aspects du programme européen « Interreg IIIA » qui vise à promouvoir une coopération transfrontalière est parfaitement rempli. En effet, ce programme « BEVIS » participe :*

- à l'encouragement au partage des ressources humaines, des équipements de recherche et de développement, de l'enseignement, de la culture et de la communication,
- au soutien à la protection de l'environnement,
- à l'amélioration des réseaux et des services d'information et de communication, des systèmes hydriques et énergétiques.
- à l'accroissement des potentiels humains et institutionnels relatifs à la coopération transfrontalière.



Partenaires du projet « BEVIS »

2. Le volet technique : un programme informatique optimisé

Après avoir vu les relations régissant ce travail d'équipe, voici maintenant l'analyse de mon programme informatique. En effet, j'ai dû veiller à créer un programme, qui compte tenu de cette multiplicité des membres de l'équipe, de l'éloignement géographique et des différences de langues, soit compréhensible et utilisable par tous.

La première idée a été de choisir dans le programme des variables universelles, ainsi que l'anglais comme langue pour les explications et commentaires éventuels. En effet, s'agissant d'un travail d'équipe, il faut dans ce projet tenir compte de toutes ces composantes afin d'être certain de bien se faire comprendre par tous. Ceci non seulement dans une volonté de « bien faire », mais aussi et surtout, pour que les personnes qui ont besoin de ce programme puissent l'utiliser de façon tout à fait autonome et sans difficulté de compréhension.

Le deuxième point du volet technique a été d'optimiser ce programme, mais du point de vue des performances du système d'exploitation cette fois. Car, plus un programme est long et fait intervenir un nombre important d'opérations calculatoires, plus le système informatique est mis à contribution. Ainsi, pour soulager la consommation de mémoire vive, optimiser les vitesses de calcul et diminuer le nombre de sources d'erreur, j'ai dû diviser ce programme Matlab en trois parties complémentaires. Les deux premières parties permettent chacune d'arriver à la création de matrices intermédiaires et indispensables à la poursuite du programme. Donc, même si du point de vue technique le matériel à disposition était performant, il ne l'était pas suffisamment pour réaliser des calculs rapides. Après cette première étape de découpe et l'ajout de commandes Matlab au début de chacune des trois parties, le programme a déjà pu être amélioré. D'autre part, le fait de ne sauvegarder que les variables indispensables aux parties suivantes et d'effacer toutes les autres, permet aussi de diminuer les risques d'erreurs. Ceci permet aussi de lancer le programme simultanément sur plusieurs ordinateurs. En effet, le fait d'enregistrer les données fondamentales et d'avoir divisé ce programme en trois morceaux, permet, grâce aux chargements des bonnes variables et de la deuxième partie, de

lancer la création de matrices mensuelles sur trois ou quatre ordinateurs en même temps. L'étape d'acquisition des résultats se trouve donc accélérée.

J'ai aussi automatisé ce programme et notamment la deuxième partie du programme. Pour éviter de se tromper en changeant les variables directement au sein du programme et ce à plusieurs lignes, j'ai créé un automatisme demandant directement à l'utilisateur pour quel mois il voulait générer une matrice. Non seulement cela permet un nouveau gain de temps, mais aussi de diminuer encore le nombre de sources d'erreurs. Il suffit de ne faire attention qu'une seule fois lors de l'automatisation, plutôt qu'à chaque fois que l'on opère des changements au sein du programme. Grâce à la mise en place de cet automatisme, l'intervention humaine est considérablement réduite et surtout permet à tout individu de relancer le programme en suivant les indications apparaissant à l'écran.

Enfin la dernière partie de ce volet technique consiste dans le fait que, lors de la création d'un programme informatique, ce dernier est sans cesse amené à se développer. Il faut donc sans cesse avoir à l'esprit deux choses : mon programme sera-t-il compréhensible et réutilisable par une autre personne ? Et, mon programme permettra-t-il l'intégration de données supplémentaires ?

La première question a été en partie résolue avec ce qui précède, pour la seconde, une optimisation supplémentaire doit être faite.

Le tout consiste à réfléchir à la meilleure méthode reliant efficacité et optimisation actuelles et efficacité future. La réponse consiste en la création de boucles et de conditions non limitées en temps et en espace par des chiffres, mais par l'utilisation de variables. Ces variables elles-mêmes dépendent des données présentes, mais elles peuvent évoluer automatiquement avec l'ajout de données supplémentaires.

***Bilan :** Le volet technique par certains de ses aspects rejoint donc le volet relationnel. En effet, la création d'un programme informatique opérationnelle, optimisée et compatible avec les outils informatiques présents, doit aussi prendre en compte la dimension humaine. Ceci passe par la compréhension, l'utilisation autonome et la possibilité de faire évoluer ce programme par une autre personne membre de l'équipe ou tout simplement par quelqu'un ayant besoin de cet outil informatique.*

Conclusion

Ce séjour au service « Marine Ecology » de l'Université de Stockholm, m'a permis de m'intégrer dans un projet en cours et de découvrir ainsi plusieurs facettes de l'organisation d'une équipe de recherche internationale :

- L'aspect relationnel
- L'aspect technique
- L'organisation d'une équipe de recherche (partenariats et collaborations)
- Une vision globale des différents rôles et domaines d'activités de chaque membre de l'équipe
- La coordination de l'ensemble des moyens mis en œuvre afin d'aboutir à la résolution d'un problème commun.

Je remercie l'ensemble des personnes du service « Marine Ecology » du « Department of Systems Ecology » de l'Université de Stockholm d'avoir bien voulu m'accueillir, et en particulier Mr Engqvist pour le temps et l'attention qu'il m'a consacrés, bien que néophyte dans le domaine de l'océanographie.

En effet une grande liberté m'a été laissée dans mes activités et j'ai pu concevoir un programme informatique selon mon approche personnelle du problème. J'ai aussi pu constater les relations étroites s'affirmant au sein de réseaux de recherche internationaux. Le rôle de tels réseaux environnementaux est effectivement amené à se développer dans les années futures en Europe. L'établissement de partenariats avec les autorités environnementales ou avec des ONG, à tous niveaux (création, mise en œuvre, contrôle, évaluation) sera d'une grande importance surtout pour la mise en place des prochaines étapes de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

L'intérêt du stage aurait cependant pu être accru en effectuant une période plus longue qui m'aurait permis de voir la finalisation de la rédaction de la publication scientifique, ainsi que la préparation de la présentation du projet lors d'un colloque scientifique d'ampleur mondiale.

Bibliographie :

- Eilola K. **Vattenkvalitetsmodellering : Ålands skärgård**. Rapport från Ocean Origo AB. 21 pp.
- [3] Engqvist, A. and Andrejev, O. **Water exchange of the Stockholm archipelago - A cascade framework modeling approach**. J. Sea Res., 2003. 49, 275-294.
- Graham, L.P. **Modelling runoff to the Baltic Sea**. Ambio 28, 1999. pp 328-334.
- [4] Lapresté J.T. **Introduction à MATLAB**. Ellipses, 2002. 223 pp.
- [5] Sokolov A., Andrejev O., Wulff F. and Rodriguez M. Medina: **The Data Assimilation System for Data Analysis in the Baltic Sea**. Systems Ecology Contributions, 3, Stockholm University, 1997. 66 pp.
- Waldh, F. **Water exchange in shallow water systems**. B331 Projektarbete. Earth Science Centre, Göteborg University. ISSN 1400-3821. 50 pp.
- [1] **EUROPA – Le portail de l'Union Européenne**. Page d'accueil [en ligne]. < http://europa.eu/index_fr.htm >.
- [2] **BEVIS**. Page d'accueil [en ligne]. < <http://www.abo.fi/fak/mnf/bio/huso/bevis/english.htm> >.



Annexes :

- *Annexe 1 : Présentation du « Department of Systems Ecology » et de son environnement.*
- *Annexe 2 : Bases légales et réglementaires s'appliquant lors de la mise en œuvre d'un projet Interreg.*
- *Annexe 3 : Interreg IIIA Skårgården : carte de la zone éligible.*
- *Annexe 4 : Interreg IIIA Skårgården : gestion, contact et informations techniques.*
- *Annexe 5 : Programme « BEVIS » : carte de l'aire étudiée.*
- *Annexe 6 : Programme « BEVIS » : détails du fichier Excel « BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls ».*
- *Annexe 7 : Programme « BEVIS » : détails du fichier Excel « Calc3704CoordAX3.xls ».*
- *Annexe 8 : Programme Matlab, partie 1 : détails du script et résultats.*
- *Annexe 9 : Programme Matlab, partie 2 : détails du script et résultats.*
- *Annexe 10 : Programme Matlab, partie 3 : détails du script et résultats.*
- *Annexe 11 : Simulations de régressions linéaires.*

Annexe 1 : Présentation du « Department of Systems Ecology » et de son environnement.

Nom officiel

Royaume de Suède (Konungariket Sverige)

Chef de l'état

Roi Charles XVI Gustave (depuis 1973). Premier ministre : Göran Persson (depuis 1996)

Régime politique

Monarchie constitutionnelle, régime parlementaire, membre de l'Union européenne

Langue officielle

Suédois

Population

9 029 000 hab. (en 2005)

Densité de Pop.

20.07 hab./Km²

Pnb

258,319 Milliard(s) de dollars

Indice de Développement Humain (rang mondial)

0,949 (6) (en 2003)

Fête(s) Nationale(s)

6 juin (élection de Gustave Vasa en 1523 et Constitution de 1809)

« Marine Ecology Centre »



Vue de Stockholm



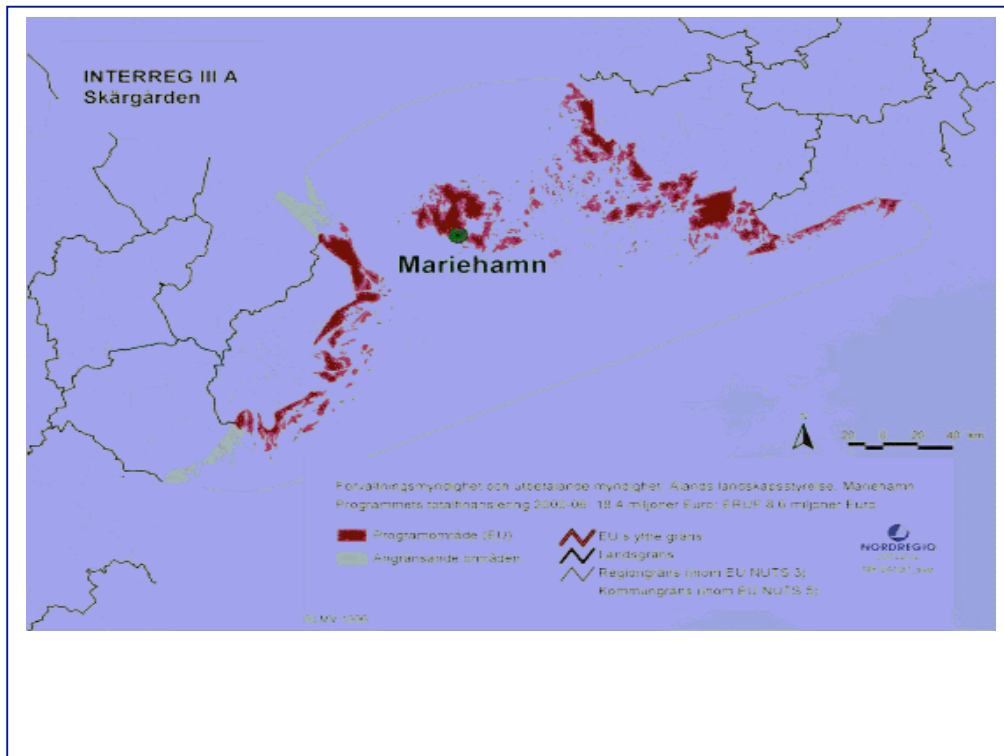
Annexe 2 : Bases légales et réglementaires s'appliquant lors de la mise en œuvre d'un projet Interreg.

Ci-dessous figurent les bases réglementaires les plus souvent utilisées :

- Communication de la Commission aux Etats membres du 28 avril 2000 portant sur l'initiative communautaire Interreg III.
- Règlement portant dispositions générales sur les Fonds structurels (21 juin 1999)
- Règlement relatif au Fonds européen de Développement Régional (FEDER – 12 juillet 1999)
- Règlement relatif aux règles d'information et de publicité (30 mai 2000).

Tous ces textes et règlements sont téléchargeables au format « .pdf » directement sur le site de l'Union Européenne [1].

Annexe 3 : Interreg IIIA Skärgården : carte de la zone éligible.



Annexe 4 : Interreg IIIA Skärgården : gestion, contact et informations techniques.

▪ *Gestion et contact :*

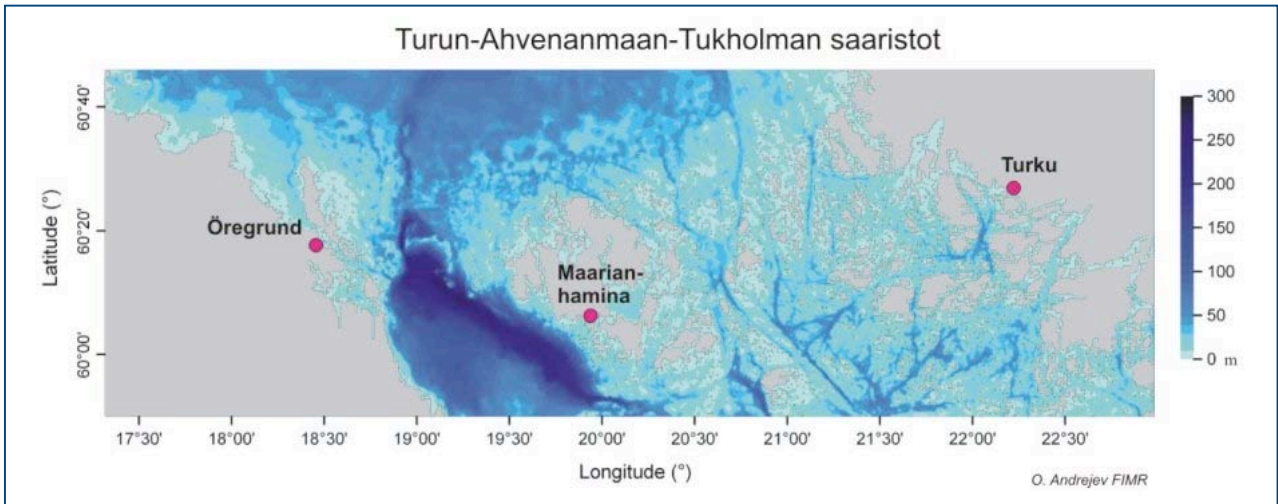
Le Conseil exécutif de Åland est l'autorité de gestion du programme Interreg IIIA Skärgården.

Ålands Landskapsstyrelse – Government of Åland
Projektchef : Beckman, Henrik
PL 60
FIN – 22101 Mariehamn
Tel : +358.18.25000
E-mail : henrik.beckman@ah.aland.fi
Web : Åland

▪ *Informations techniques :*

Titre : INTERREG IIIA - Skärgården (FIN-S)
Type d'intervention : Programme d'initiative communautaire
CCI : 2000RG160PC001
Numéro de décision : C (2004)3079
Date d'approbation finale : 2004 - 08 - 03

Annexe 5 : Programme « BEVIS » : carte de l'aire étudiée.



Annexe 6 : Programme « BEVIS » : détails du fichier Excel « BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls ».

SITE	ID	LAT	LON	SDEPTH	VDEPTH	OBSDATE	TotN	TotP	DIN	DIP	SALIN	TEMP	OXY	CHL	BIOMASS	Data source	Additional informatio
		deg	min	deg	min	[m]	[m]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	PSU	[deg C]	[ml/l]	[ug/l]	(g/m2 vw)	

Microsoft Excel - BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls

BEVIS - MONITORING DATA

SITE	ID	LAT	LON	SDEPTH	VDEPTH	OBSDATE	TotN	TotP	DIN	DIP	SALIN	TEMP	OXY	CHL	BIOMASS	Data source	Additional informatio				
		deg	min	deg	min	[m]	[m]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	PSU	[deg C]	[ml/l]	[ug/l]	(g/m2 vw)					
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	1	20	4	7	19	20040719	-	-	-	-	17,9	-	-	LOSHERTTA	0,4	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	5	20	4	7	19	20040719	-	-	-	-	16,1	-	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	10	20	4	7	19	20040719	-	15	-	-	14,9	-	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	15	20	4	7	19	20040719	-	22	-	-	12,9	6,2	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	23	20	4	7	19	20040719	-	530	-	-	2,6	0,1	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	4	20	4	8	15	20040816	-	22	-	-	-	-	5,1	LOSHERTTA	0,4	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	1	20	4	8	15	20040816	-	-	-	-	19,1	-	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	5	20	4	8	15	20040816	-	-	-	-	19,1	-	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	10	20	4	8	15	20040816	-	20	-	-	19	-	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	15	20	4	8	15	20040816	-	24	-	-	16,1	5,1	-	LOSHERTTA	-	
252 Småholmen po	-	80	14,12	22	2,8592	22	20	4	8	15	20040816	-	550	-	-	3,9	0,1	-	LOSHERTTA	-	
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	1	34	3	12	9	20031209	290	26	46	16	5,88	4	12	-	LOSHERTTA	0,6
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	5	34	3	12	9	20031209	280	26	45	17	5,87	4	12,2	-	LOSHERTTA	-
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	10	34	3	12	9	20031209	300	26	45	18	5,88	4	11	-	LOSHERTTA	-
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	20	34	3	12	9	20031209	280	31	48	20	5,94	4	11,8	-	LOSHERTTA	-
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	32	34	3	12	9	20031209	290	33	51	22	5,96	4	11,9	-	LOSHERTTA	-
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	10	34	4	1	19	20040119	-	-	-	-	-	-	-	LOSHERTTA	0,40	
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	1	34	4	1	19	20040119	360	27	71	20	6,15	6,1	13,3	-	LOSHERTTA	-
Brändö 100 intensivias	-	80	35,706	21	5,6655	3	34	4	1	19	20040119	300	25	67	20	6,15	0,1	13,3	-	LOSHERTTA	-

Annexe 7 : Programme « BEVIS » : détails du fichier Excel « Calc3704CoordAX3.xls ».

	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	Calc3704CoordAX3.xls	040412									
2											
3	<i>Mid-points of gridcells are considered</i>	Latitude		Longitude		tot long	tot lat	3704grid Coord			
4	New coarse grid (2):	deg	min	deg	min	(min)	(min)	i =	j =	Comment	
5	Coarse/Fine resolution = 8x										
6	Grid Start Mid Pnt SE	53	48	9	27	567	3228	1	1		
7	Grid End Mid Pnt NW - mid-pnt eval	65	52	30	27	1827	3952	316	363		
8											
9	Meso-scale grid (0.25' side length)										
10	NE-corner final extended Arch.	60	46	22	59	1379	3646	204	210		
11	SW-corner final extended Arch.	59	50	17	19	1039	3590	119	182		
12	Diff.						340	56			
13	No. bound grid cells in BAS (i & j)								86	29	
14	Formula endpnts in sbr ReadBound1a								681	225	
15	No. Bound. grid cells in ext. ARC3D						681	225	681	225	
16	Numerical effort & No. Cells								6.13	153225	
17	Fine-scale grid (0.05' side length)										
18	NE-corner final extended Arch.	60	10	20	31	1231	3610				
19	SW-corner final extended Arch.	59	58	20	14	1214	3598				
20	Diff.						17	12			
21	No. Bound. grid cells in ext. ARC3D						171	241	171	241	
22	Numerical effort & No. Cells								1.65	41211	
23											

Annexe 8 : Programme Matlab, partie 1 : détails du script et résultats.

```

Editor - C:\Documents and Settings\Lionel\Mes documents\ENGEES\SPI Suède\Lionel\prgm_morceau1bis.m
File Edit Text Desktop Window Help
18 %-----
19 close all; clear all; %clf
20
21 load('NL')
22 %break
23 %=====
24 % Import data from C:\Lionel\BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls
25 % Latitude's data
26 LAT = zeros; %Initialization of the latitude matrix
27 LAT = xlsread ('C:\Lionel\BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls', 8, 'C5:D3568');
28
29 LATf = zeros; % Initialization of the final latitude's matrix
30 LATf = LAT(:,1) * 60 + LAT(:,2); % Data in that matrix are in minutes
31
32 % Longitude's data
33 LON = zeros; %Initialization of the longitude matrix
34 LON = xlsread ('C:\Lionel\BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls', 8, 'E5:F3568');
35
36 LONf = zeros; %Initialization of the final longitude's matrix
37 LONf = LON(:,1)*60 + LON(:,2); % Data in that matrix are in minutes
38
39 % Coordinates Matrix included both Latitude's and Longitude's data
40 % All the data in this matrix are in minutes
41 COORD = zeros; %Initialization of the Coordinates Matrix
42 COORD1 = LONf;
43 COORD2 = LATf;
44 COORD = [COORD1,COORD2]; % The 1st column is filled with the longitudes' data
45 % The 2nd column is filled with the latitudes' data
46 COORD; %Final coordinates matrix with data in minutes
    
```

Extraction des données des latitudes et des longitudes depuis la feuille Excel (lignes 24-37)

```

Editor - C:\Documents and Settings\Lionel\Mes documents\ENGEES\SPI Suède\Lionel\prgm_morceau1bis.m
File Edit Text Desktop Window Help
49 %Transformation of the COORD matrix data into the Meso-scale grid
50 %First I have to define a new origin
51 %The South-West origin point will be the origin of the Meso-Scale grid
52 %SW point : Latitude 59 50'; Longitude 17 19'
53 %SW point coordinates in minutes : Latitude 3590'; Longitude 1039'
54
55 MSCoord = zeros; %Initialization of the Meso-Scale grid matrix
56 MSCoord1 = 1 + (LONf - 567)/4 ; %Transformation of longitudes' coordinates
57 MSCoord2 = 1 + (LATf - 3228)/2 ; %Transformation of latitudes' coordinates
58 MSCoord3 = 8 * (MSCoord1 - 119) + 1; %corres to i
59 MSCoord4 = 8 * (MSCoord2 - 182) + 1; %corres to j
60 MSCoord = [MSCoord3,MSCoord4]; %Final coordinates matrix with data in minutes in the Meso-Scale grid
61 % The 1st column is filled with the latitudes' data
62 % The 2nd column is filled with the longitudes' data
63 MSCoord; %Final coordinates matrix in the Meso-Scale grid
    
```

Création de la matrice « MSCoord » (lignes 49-63)

Rapport de stage pratique de l'ingénierie

```

Editor - C:\Documents and Settings\Lionel\Mes documents\ENGEES\SPI Suede\Lionel\prgm_morceau1bis.m
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
161 %Sampling depth
162 MSCoordfinal = zeros;
163 SD = zeros; % Initialization
164 SD1 = xlsread('C:\Lionel\BEVIS_LoadMoni_SweFin_1b.xls', 8, 'G5:G3568');
165 DL = [0, 2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5, 32.5, 37.5, 42.5, 47.5, 52.5, 57.5,...
166       62.5, 67.5, 72.5, 77.5, 82.5, 87.5, 92.5, 97.5, 102.5, 107.5, 112.5, 117.5,...
167       122.5, 127.5, 132.5, 137.5, 142.5, 147.5, 152.5, 162.5, 172.5, 182.5, 192.5, 202.5,...
168       222.5, 252.5, 282.5];
169 SD=zeros(3564,1);
170 for k=1:39
171     for w=1:3564
172         if (SD1(w)>DL(k) & SD1(w)<=DL(k+1))
173             SD(w,1)=k;
174         end
175     end
176 end
177 SD;
178 MSCoordfinal = [MSCoordfinale, SD];
179 MSCoordfinal;
180

```

Remplissage de la colonne des profondeurs (lignes 161-179)

Fichier	Edition	Format	Affichage	?													
0	454.3	183.8	19	1	4	1	1	681	1	225	360	27	71	20	20040119		
2	454.3	183.8	19	1	4	2	1	681	1	225	300	25	67	20	20040119		
2	454.3	183.8	19	1	4	3	1	681	1	225	310	26	76	20	20040119		
2	454.3	183.8	19	1	4	5	1	681	1	225	340	27	70	21	20040119		
2	454.3	183.8	19	1	4	8	1	681	1	225	330	25	71	21	20040119		
90	557.4	102.3	19	1	4	1	1	681	1	225	530	32	212	24	20040119		
90	557.4	102.3	19	1	4	2	1	681	1	225	490	31	192	25	20040119		
90	557.4	102.3	19	1	4	3	1	681	1	225	440	31	152	25	20040119		
90	557.4	102.3	19	1	4	5	1	681	1	225	500	32	122	27	20040119		
90	557.4	102.3	19	1	4	9	1	681	1	225	540	34	122	27	20040119		
90	557.4	102.3	19	1	4	11	1	681	1	225	390	37	112	27	20040119		
49	490.8	63.6	10	2	4	1	1	681	1	225	290	34	82	29	20040210		
49	490.8	63.6	10	2	4	3	1	681	1	225	290	35	73	29	20040210		
49	490.8	63.6	10	2	4	11	1	681	1	225	330	36	99	30	20040210		
50	522	26	10	2	4	1	1	681	1	225	290	34	112	27	20040210		
50	522	26	10	2	4	3	1	681	1	225	280	33	83	29	20040210		
50	522	26	10	2	4	9	1	681	1	225	290	36	96	29	20040210		
50	522	26	10	2	4	17	1	681	1	225	310	35	102	31	20040210		
106	623.7	116.4	10	2	4	1	1	681	1	225	2000	42	1634	28	20040210		
106	623.7	116.4	10	2	4	3	1	681	1	225	410	32	152	28	20040210		
106	623.7	116.4	10	2	4	9	1	681	1	225	350	36	132	30	20040210		
107	614.3	101.9	10	2	4	1	1	681	1	225	1300	31	1126	19	20040210		
107	614.3	101.9	10	2	4	3	1	681	1	225	350	34	142	27	20040210		
107	614.3	101.9	10	2	4	6	1	681	1	225	330	38	132	29	20040210		
62	436.6	77	11	2	4	1	1	681	1	225	290	37	79	28	20040211		
62	436.6	77	11	2	4	3	1	681	1	225	280	39	81	28	20040211		
62	436.6	77	11	2	4	9	1	681	1	225	280	33	73	28	20040211		

Détail de la matrice finale « C »

Annexe 9 : Programme Matlab, partie 2 : détails du script et résultats.

```

Editor - C:\Documents and Settings\Lionel\Mes documents\ENGEES\SPI Suède\Lionel\prgm_morceau2.m
File Edit Text Desktop Window Help
1 clear all;
2 close all;
3 clf;
4 load('C');
5 [l,c]=size(C);
6 tableaugk12=[]; % <<< jan-<jun
7 ind=zeros(1,3);
8 % index3=0;
9 index2=1;
10 count=0;
11 for k = 12 : 12 % k gives the nutrient, with the following code : column 12 == Tot_N , 13 == Tot_P, 14 == DIN, 15 == DIP
12 Grille = zeros(225, 681); %Grid of points, futur map
13 % compar = zeros(225,681); %Matrix filled with the calculated concentrations for each nutrient
14 % comparfinal=zeros(681,225);
15 if k == 12 | k==14 %Automatization of the reading of filename
16 categories = 9;
17 nom1 = 'N';
18 else
19 categories = 8;
20 nom1 = 'P';
21 end %end if

```

Assignment de la variable « nom1 » en fonction du nutriment analysé (lignes 1-21)

```

Editor - C:\Documents and Settings\Lionel\Mes documents\ENGEES\SPI Suède\Lionel\prgm_morceau2.m
File Edit Text Desktop Window Help
42     for dayinmo = 24 : 24 : nbdlay*24
43         for deep = 1 : 39 %D matrix, which shows all the depth's limits, has 40 values from 0m until 282,5m
44             % comparfinal = zeros(225,681);
45             samedeep = zeros (1, 1); % matrix which will give the same depth for the points which are considered
46             compar = zeros(225,681); % Reinitialization of the compar matrix for each different depth.
47             for line = 1 : l
48                 a = C(line, 7);%SD = sampling depth datas, 7th column
49                 b = C(line, 6);%year
50                 c = C(line, 5);%month
51                 d = C(line, 4);%day
52                 e = d*24;%day in hours
53                 if a==deep & b==year & c==mo & e == dayinmo
54                     samedeep(1, line) = 1;
55                 end %if of the the same depth
56             end %for of the same depth
57             samedeep;
58             % The program uses only the data of points which have the same depth.

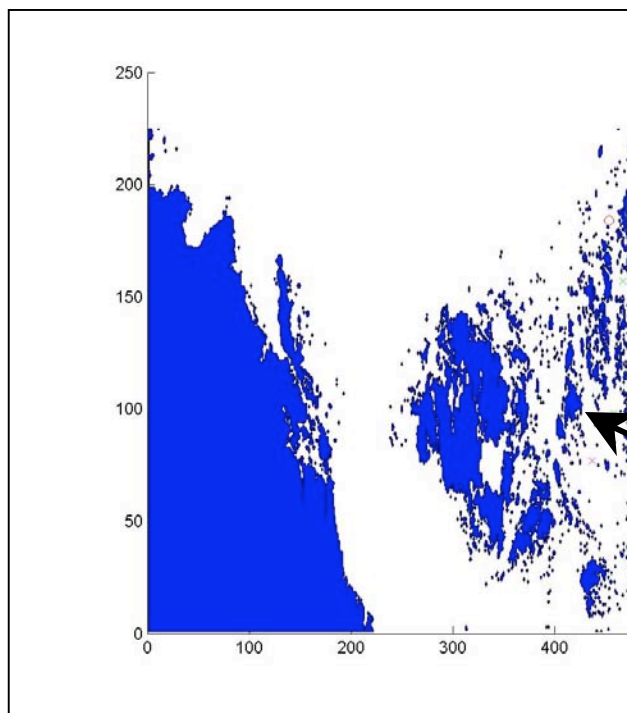
```

Boucles sur les jours (dayinmo) et les niveaux de profondeur (deep) (lignes 42-58)

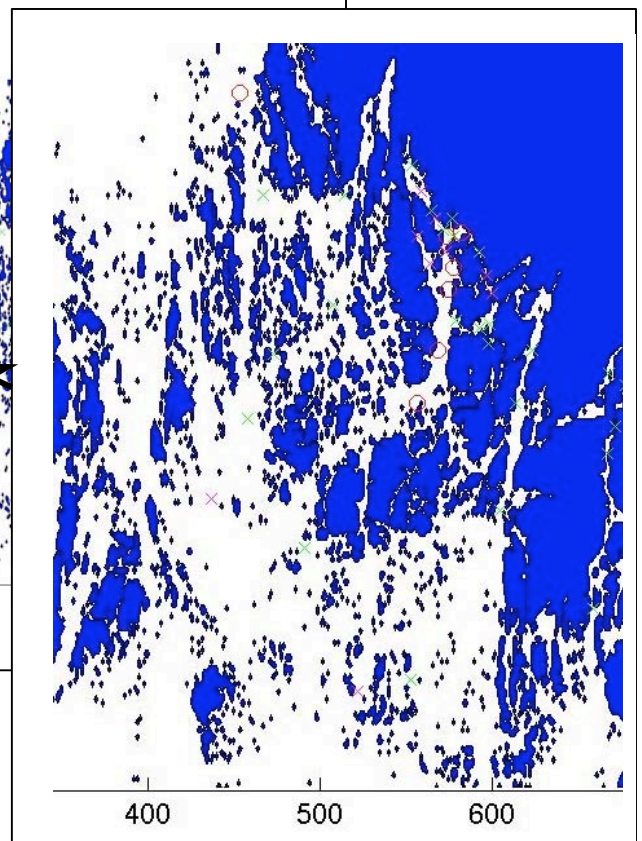
Rapport de stage pratique de l'ingénierie

```
Editor - C:\Documents and Settings\Lionel\Mes documents\ENGEES\SPI_Suede\Lionel\prgm_morceau2.m*
File Edit Text Desktop Window Help
252         if y == J & x == I
253             if C(h,k) < 0
254                 C(h,k)=0;
255             end
256             Grille(x,y)=C(h,k);
257             if k == 13 | k == 15
258                 concentration = X(x, y, deep);
259             else
260                 concentration = Y(x, y, deep);
261             end %end if
262             if concentration < 0
263                 concentration=0;
264             end
265             if compar(x,y)~=0 & row==1
266                 compar(x,y)=0;
267             end
268             compar(x,y) = compar(x,y) + concentration;
269             tableaugk12(index2,14+10*(k-12)+row)=concentration; % <<<
270             tableaugk12(index2,k-1)=concentration+ tableaugk12(index2,k-1); % <<<
271             if row==categories
272                 if tableaugk12(index2,k-1)~=0
273                     tableaugk12(index2,1)=y;
274                     tableaugk12(index2,2)=x;
275                     tableaugk12(index2,3)=deep;
276                     tableaugk12(index2,4)=4;
277                     tableaugk12(index2,5)=mo;
278                     tableaugk12(index2,6)=dayinmo;
279                     tableaugk12(index2,k-5)=Grille(x,y);
280                     index2=index2+1;
281                 else
282                     for abc=1:53
283                         tableaugk12(index2,abc)=0;
284                     end
285                 end
286             end
end
```

Création des matrices « Grille » et « table [mois] k [colonne du nutriment analysé] » (ici août et azote total (=12)) (lignes 252-290)



Carte des points mesurés (Nutrientmaps)

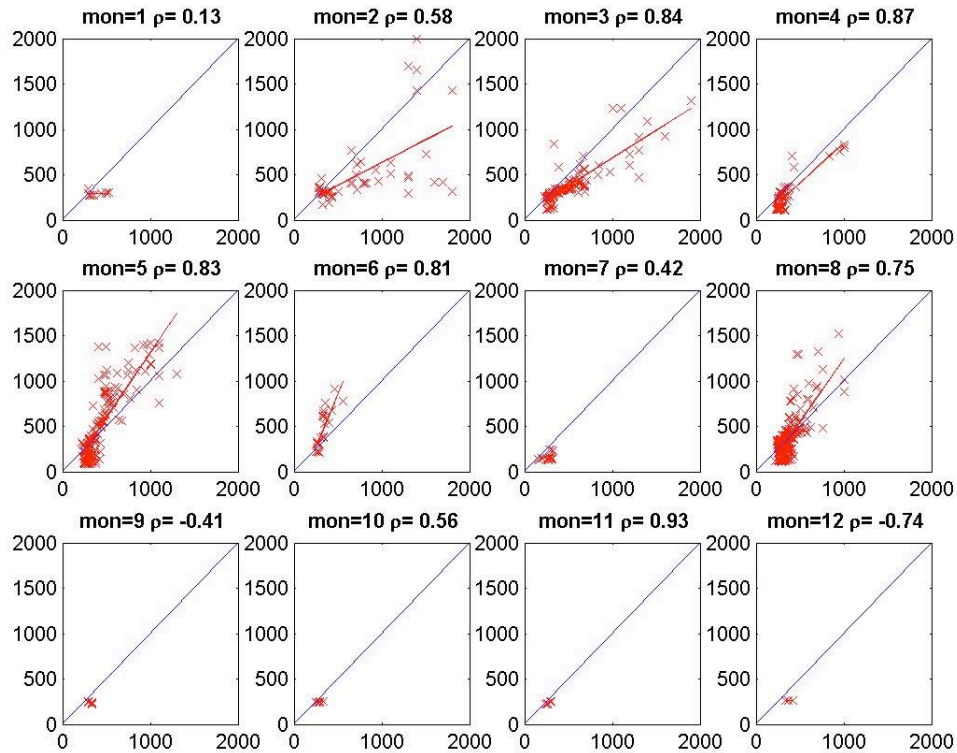


Annexe 10 : Programme Matlab, partie 3 : détails du script et résultats.

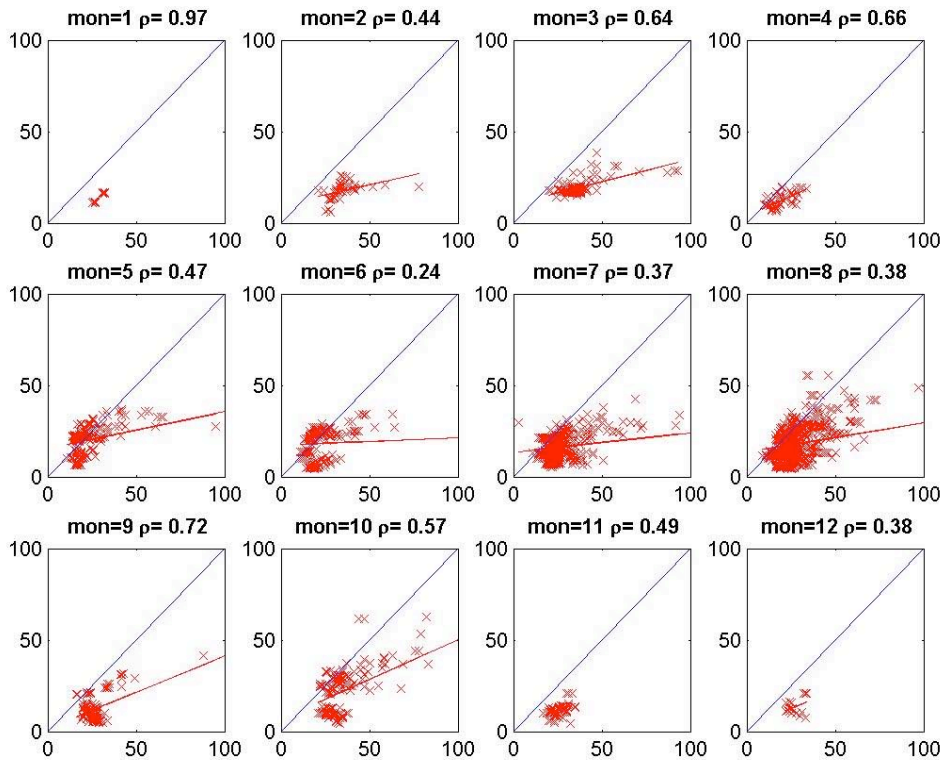
```
17 tablebeg=[tablejank12(:,1:14);feb(:,1:14);tablemark12(:,1:14);tableavr12(:,1:14);tablemaik12
18 [maxl,maxc]=size(tablebeg);
19 in=1;
20 for i=1:maxl
21     if tablebeg(i,6+nut)~=0 & tablebeg(i,10+nut)~=0 & tablebeg(i,5)==month
22         for col=1:14
23             table(in,col)=tablebeg(i,col);
24         end
25         in=in+1;
26     end
27 end
28 calcmax=max(table(:,6+nut));
29 nbpoints=in-1*total nb of points (measured and calculated)
30 if in>1
31     for indice=1:in-1
32         values(1,indice)=table(indice,6+nut);%measured value for this nutrient
33         values(2,indice)=table(indice,10+nut);%calculated value for this nutrient
34     end
```

Création des matrices « tablebeg » et « values » (lignes 17-33)

Annexe 11 : Simulations de régressions linéaires.



Régressions pour Total N et chaque mois



Régressions pour Total P et chaque mois