



Rapport de stage de fin d'études n°1084

## Optimisation du modèle MOTHY pour les opérations de recherche et sauvetage en mer



Denis Coiffier  
Nicolas Guérin

Projet d'application réalisé au sein de la

**Direction de la Production**

**Direction de la Prévision, Division « Marine et Océanographie »**

42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. Tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09

Sous la direction de M. Pierre Daniel,  
du 14 mai au 29 juin 2007

Promotion d'élèves Techniciens Supérieurs Exploitation de la Météorologie 2005/2007

**2007**



## **Remerciements**

Nous tenons à remercier Pierre Daniel pour l'organisation du stage et la liberté qu'il nous a laissée dans la réalisation de notre projet. Nous tenons également à remercier Valérie Ulvoas pour sa disponibilité ainsi que toute l'équipe de Prévimar.



## SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| 1. Résumé.....   | 7  |
| 2. Glossaire.....  | 8  |
| 3. Introduction.....   | 9  |
| 4. Présentation du modèle MOTHY.....   | 10 |
| 4.1. Généralités.....  | 10 |
| 4.2. Limites du modèle.....  | 10 |
| 4.2.1. Force de traînée.....   | 11 |
| 4.2.2. Force de portance.....  | 11 |
| 4.3. Bilan.....  | 11 |
| 5. Présentation du modèle MOTHY-L.....                                       | 12 |
| 5.1. Généralités.....  | 12 |
| 5.2. Principe du Leeway.....   | 12 |
| 6. Exploitation des données.....   | 13 |
| 6.1. Etat de l'art.....  | 13 |
| 6.2. Analyse.....  | 14 |
| 6.2.1. Travail statistique effectué sur les données MOTHY-L.....             | 14 |
| Choix des éléments statistiques calculés.....                                | 14 |
| Détermination d'un centre de recherche.....                                  | 14 |
| 6.2.2. Travail statistique effectué sur les données MOTHY.....               | 15 |
| Choix des éléments statistiques calculés.....                                | 15 |
| Statistiques effectuées sur un nombre limité de conteneurs.....              | 15 |
| 6.3. Conception du système.....  | 17 |
| 6.3.1. Conversion des coordonnées.....                                       | 17 |
| 6.3.2. Choix d'un modèle statistique.....                                    | 17 |
| 6.4. Réalisation.....  | 18 |
| Evaluation des modèles sur des cas réels.....                                | 19 |
| 7.1. Précision sur le vocabulaire utilisé.....                               | 19 |
| 7.2. Etude de cas.....   | 19 |
| 7.2.1. Etude de la dérive d'un radeau au large de l'île de Ré.....           | 19 |
| Présentation du radeau.....  | 19 |
| Conditions météorologiques.....  | 20 |
| Analyse des résultats.....   | 20 |
| Synthèse.....  | 28 |
| 7.2.2. Etude de la dérive d'un cargo vraquier au large de la Bretagne.....   | 30 |
| Présentation du cargo.....   | 30 |
| Conditions météorologiques.....  | 30 |
| Analyse des résultats.....   | 31 |
| 7.2.3. Etude de la dérive d'un porte-conteneurs au large de la Bretagne..... | 34 |
| Présentation du porte-conteneurs.....  | 34 |
| Conditions météorologiques.....  | 34 |
| Analyse des résultats.....   | 35 |
| Synthèse.....  | 36 |
| 7.2.4. Etude de la dérive d'un homme à la mer.....                           | 37 |
| Présentation de l'objet dérivant.....  | 37 |
| Conditions météorologiques.....  | 37 |
| Analyse des résultats.....   | 38 |
| 8. Synthèse.....   | 43 |
| 9. Conclusion.....   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| 10. Pistes pour l'optimisation.....                        | 43 |
| 10.1. Collaboration avec les CROSS .....                   | 43 |
| 10.2. Vérification des objets douteux.....                 | 44 |
| 10.3. Définition de nouveaux objets.....                   | 44 |
| 10.4. Etude de l'impact des forçages.....                  | 44 |
| 10.5. Etude des zones de recherches opérationnelles .....  | 44 |
| Références .....   | 45 |
| Documentation papier .....                                 | 45 |
| Documentation électronique.....                            | 45 |
| Annexe I - Manuel utilisateur.....                         | 49 |
| Collecte des données dans l'environnement Unix .....       | 49 |
| Organisation des données dans l'environnement Windows..... | 49 |
| Utilisation du programme.....                              | 49 |
| Annexe II - Manuel d'exploitation.....                     | 50 |
| Formats des fichiers utilisés .....                        | 50 |
| Comportement du système .....                              | 51 |
| Description du programme.....                              | 52 |
| Capture d'écran .....                                      | 52 |
| Annexe III - Codes sources .....                           | 53 |
| Script Shell 'extraction.sh' .....                         | 53 |
| Macro Excel 'calcul' .....                                 | 54 |
| Annexe IV – Tableau des objets <i>leeway</i> .....         | 73 |

## 1. Résumé

La division Marine et océanographie de Météo-France a développé un modèle de transport de polluants en mer, MOTHY, dont une version permet la modélisation de la dérive d'objets flottants, considérés comme des conteneurs plus ou moins immergés. Une autre version a été développée, MOTHY-L, qui a une approche empirique de l'hydrodynamique des objets flottants, et introduit ainsi une dérive latérale par rapport à la direction du vent. Ces modèles fournissant une prévision d'ensemble, il a été nécessaire de les soumettre à une analyse statistique pour les comparer sur des bases objectives. Des simulations ont été menées sur quatre situations où l'on disposait de trajectoires réelles d'objets. Au vu des résultats, il semble cependant difficile de privilégier un modèle par rapport à un autre. Bien que certains aspects de l'approche empirique soient vérifiés, une meilleure caractérisation hydrodynamique des objets semble être une piste pour l'amélioration du modèle.

## 2. Glossaire

ALADIN : Aire Limitée Adaptation Dynamique développement International Echelle (modèle atmosphérique opérationnel de Météo-France à domaine limité).

ARPEGE : Action Recherche Petite Echelle Grande Echelle (modèle atmosphérique opérationnel de Météo-France).

CEP : Centre Européen de Prévision.

Canopy : tente d'un radeau de sauvetage.

CROSS : Centres Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage.

CWL : Cross Wind Leeway component. Composante de la dérive due au vent normale à la direction du vent.

Drogue : ancre flottante.

DWL : Down Wind Leeway component. Composante de la dérive due au vent parallèle à la direction du vent.

MOTHY : Modèle Océanique de Transport d'Hydrocarbures.

SAR : Search And Rescue (recherche et sauvetage).

### 3. Introduction

Les prévisions de dérive sont réalisées avec le système MOTHY. Il fonctionne dans le monde entier, et peut être mis en œuvre immédiatement, 24 heures sur 24, par le prévisionniste marine du Centre National de Prévision de Météo-France, situé à Toulouse.

Depuis 1998, une version spécifique du modèle MOTHY permet de prévoir la dérive d'objets flottant à la surface de la mer. Développée initialement pour prévoir la dérive des conteneurs, elle est maintenant principalement utilisée lors d'opérations de recherche et sauvetage, à la demande des CROSS, pour la recherche d'embarcations ou d'hommes à la mer. Ce modèle est utilisé de manière opérationnelle à la DP pour des cas réels plus de 300 fois par an. Son utilisation est en pleine croissance.

Une version de MOTHY a été adaptée pour calculer la dérive de tout type d'objet flottant à la surface de la mer. Dans tous les cas, on considère des objets de forme parallélépipédique, plus ou moins immergés, et on calcule leur dérive sous l'effet des forces liées au vent et au courant.

Ces dernières années, des recherches ont été effectuées pour améliorer le système. Elles ont été faites en collaboration avec le service des garde-côtes américains et le service météorologique norvégien. Elles ont abouti à la version «LEEWAY» du modèle MOTHY : MOTHY-L. La dérive est calculée en utilisant des coefficients issus d'expérimentations en mer réalisées par les garde-côtes américains.

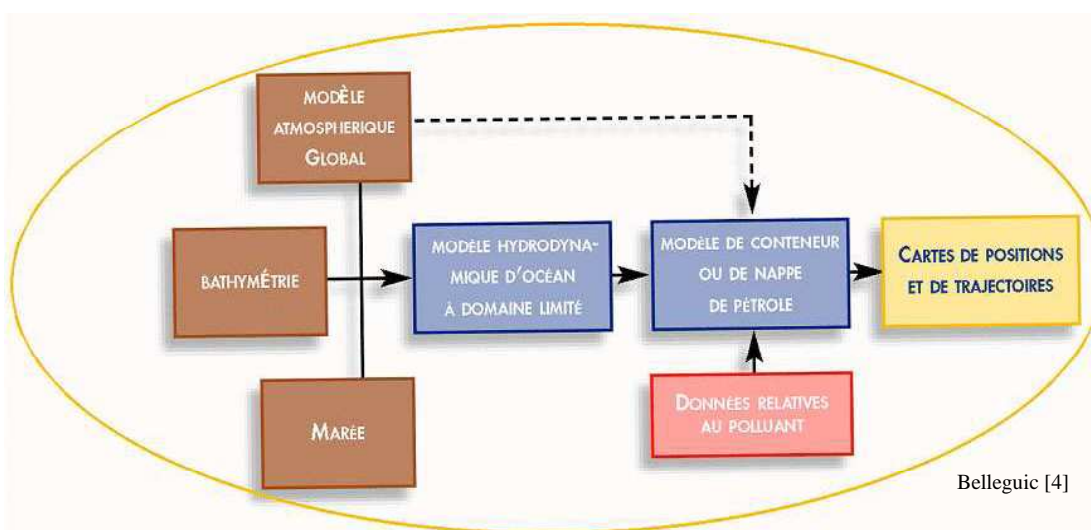
S'inscrivant dans la continuité des travaux de Karine Belleguic utilisant MOTHY et MOTHY-L, l'objectif de ce stage était de comparer ces deux méthodes de calcul sur des cas documentés de dérive et de proposer des solutions pour améliorer ces modèles.

## 4. Présentation du modèle MOTHY

### 4.1. Généralités

La modélisation de dérive d'objets peut être étudiée suivant plusieurs approches. Celle de MOTHY, basée sur une méthode de modélisation de dérive d'icebergs, consiste à calculer les différentes forces s'appliquant à l'objet, et à en déduire ensuite sa vitesse puis sa trajectoire.

Le modèle MOTHY est, au départ, un modèle océanique de transport d'hydrocarbures. Il est constitué d'un modèle d'océan, forcé par le vent à dix mètres et la pression atmosphérique issus d'un modèle atmosphérique et pouvant prendre en compte la marée (dans l'Atlantique) ou les courants permanents (en Méditerranée), et d'un modèle de polluant dans lequel le polluant dérive sous l'action du vent et celle du courant. Le modèle permettant la dérive d'hydrocarbures a été modifié de manière à pouvoir simuler les dérives d'objets en mer.



L'objet considéré dans le modèle est un conteneur. L'équation régissant le mouvement d'un objet à la dérive est obtenue en lui appliquant le principe fondamental de la dynamique dans un référentiel terrestre. Les contributions respectives des forces dues au vent et au courant dépendent des surfaces immergées et émergées, et donc de la hauteur de l'objet et du taux d'immersion qu'on lui applique, les largeurs des surfaces immergées et émergées étant supposées identiques. Ce taux d'immersion est fixé pour chaque objet et est considéré constant tout au long de la simulation. Neuf objets sont considérés pour faire varier le taux d'immersion de 10% à 90% par pas de 10%. Les conteneurs les moins immergés ont une dérive rapide sous l'emprise du vent et les plus immergés une dérive beaucoup plus lente. La zone de recherche définie par les positions des neuf conteneurs est une ligne.

### 4.2. Limites du modèle

Le mouvement de l'objet dérivant dans MOTHY est défini par l'équation simplifiée obtenue après application du principe fondamental de la dynamique à l'objet. Les simplifications réalisées, en particulier le fait de considérer l'objet quel qu'il soit comme un conteneur, empêchent de prendre en compte certains phénomènes.

D'une part, seules les forces de traînée sont conservées et leur expression est simplifiée grâce au choix (arbitraire) de la valeur 1 pour coefficient de traînée dans l'air et dans l'eau. Le fait de ne pas disposer de valeurs plus précises influe sur le calcul de la vitesse de dérive.

D'autre part, les forces de portance, normales à la direction du vent, sont négligées alors qu'elles influent sur la trajectoire de l'objet.

#### **4.2.1. Force de traînée**

L'expression des forces de traînée liées au vent et au courant est grandement simplifiée puisque les coefficients de traînée dans l'air et dans l'eau sont pris égaux à 1 au lieu d'être choisis en fonction du profil de l'objet. Des valeurs de ces coefficients de traînée peuvent être calculés pour différents types d'objets, par exemple :

- des formes géométriques courantes en deux ou trois dimensions
- des corps humains
- des objets flottants, en particuliers les gros bateaux

Les coefficients de traînée ne devraient en principe pas être appliqués à des objets à la limite entre 2 fluides, mais pour un objet entièrement plongé dans un seul fluide. En faisant cette approximation dans MOTHY, l'expression de la vitesse de dérive selon le vent se simplifie et devient indépendante de ce coefficient.

De manière générale, il paraît difficile d'obtenir des valeurs précises pour les paramètres utilisés dans le modèle d'objet de MOTHY (coefficients de traînée dans l'air et dans l'eau, surfaces sur lesquelles s'appliquent les forces) pour tous les types d'objets susceptibles de dériver en mer, et toutes les configurations possibles. De plus, les états de la mer ont une influence qui n'est pas prise en compte.

#### **4.2.2. Force de portance**

La force de portance, normale à la direction du flux, devrait également être considérée. Son expression est similaire à la force de traînée, elle est également fonction de la masse volumique du fluide, de la surface exposée et de la vitesse relative du fluide. Elle est significative pour les longs objets et dépend fortement, par l'intermédiaire du coefficient de portance, de la géométrie de l'objet et de son orientation par rapport à la vitesse du vent.

Les scientifiques américains ont contourné le problème de l'expression de cette force par l'utilisation d'équations utilisant le « leeway » (défini plus loin) qui prend en compte un mouvement dans la direction du vent et un mouvement qui lui est perpendiculaire.

### **4.3. Bilan**

Pour pouvoir appliquer de façon rigoureuse les équations de la mécanique dans le modèle d'objet, il faudrait connaître parfaitement pour chaque type d'objet les coefficients de traînée et de portance dans l'air et dans l'eau de mer, ceci dans des configurations multiples, ce qui représente un travail considérable. Ceci pourrait être réalisé à partir de maquettes dans des bassins ou bien en situation réelle, mais il est difficile d'imaginer toutes les configurations possibles pour un objet. De tels coefficients ont toutefois été mesurés par des conteneurs dans plusieurs positions. Cependant, il arrive fréquemment que les conteneurs à la dérive soient dans des positions d'équilibre très particulières.

Ne disposant pas des valeurs précises, il convient pour le moment de conserver la valeur 1 pour les coefficients de traînée dans l'air et dans l'eau et de négliger la dérive normale au vent due à la force de portance afin de chiffrer afin de chiffrer l'importance des autres paramètres intervenant dans le calcul de la dérive.

## 5. Présentation du modèle MOTHY-L

### 5.1. Généralités

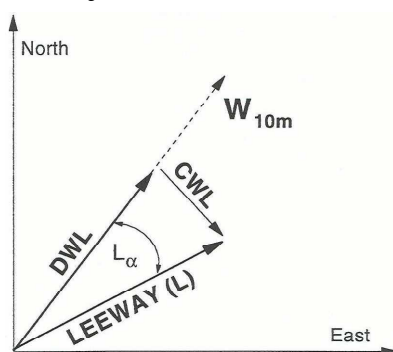
La seconde méthode de modélisation de dérive d'objets en mer possède des bases empiriques. Elle revient à considérer la dérive de l'objet comme une composition d'un mouvement dû au courant de surface, et d'un autre dû au vent et aux vagues, le leeway.

Afin d'étudier conjointement les modélisations issues des deux approches, un nouveau modèle MOTHY-L, utilisant la technique du leeway, a été implémenté. Ses résultats pourront être confrontés à ceux de MOTHY sur des cas concrets.

### 5.2. Principe du Leeway

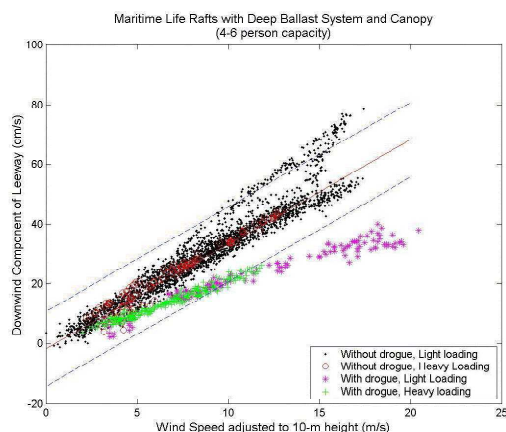
Le leeway est le vecteur vitesse de l'objet SAR généré par le vent (à 10 mètres) et les vagues, défini par rapport au vent lorsque l'objet se déplace par rapport au courant de surface mesuré entre 30 centimètres et 1 mètre de profondeur.

Le Leeway comporte 2 composantes, DWL parallèle au vent, et CWL normal au vent. DWL est toujours positif mais CWL peut indifféremment prendre des valeurs positives ou négatives, selon l'orientation de l'objet au début de la dérive.



Allen & al. [1]

L'expérimentation a montré que CWL et DWL peuvent être considérés comme des fonctions affines de la vitesse du vent. Les coefficients de ces fonctions sont différents selon l'objet considéré.



Allen & al. [1]

**Figure 5-1 : Elaboration empirique d'un objet MOTHY-L**

Les garde-côtes américains ont étudié soixante trois classes d'objets. Ils les ont classifiés selon une norme appelée «leeway taxonomy».

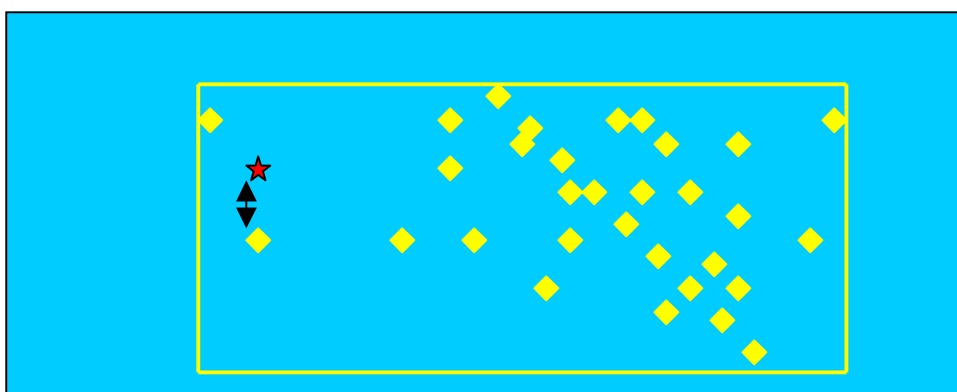
## 6. Exploitation des données

Les programmes MOTHY et MOTHY-L produisent des fichiers de trajectoires en coordonnées terrestres ainsi que des images de ces trajectoires. Si ces images peuvent donner une bonne idée de la manière dont s'effectue la dérive et de la qualité de la simulation, elles ne donnent en revanche aucune donnée quantitative qui permettraient d'évaluer objectivement les simulations.

### 6.1. Etat de l'art

Les précédents travaux sur les simulations de MOTHY-L cherchaient à analyser la qualité des résultats en répondant aux questions :

- à l'échéance finale, la position réelle de l'objet se trouve-t-elle dans le rectangle défini par les points les plus externes des positions simulées par MOTHY-L ?
- à l'échéance finale, quelle est la distance entre la position réelle de l'objet et la position la plus proche parmi le nuage de point simulés par MOTHY-L ?



- ◆ Position simulée par MOTHY-L
- ★ Position réelle
- Rectangle défini par le nuage de points simulés
- ↔ Distance du point réel au point simulé le plus proche

Ces critères ne nous ont pas semblé pertinents pour juger de la qualité du modèle. On peut aisément s'en rendre compte sur le schéma ci-dessus : le point réel est dans le rectangle et la distance du point réel au point simulé le plus proche est petite, et on considère donc que la simulation est de qualité. Or c'est en réalité tout le contraire puisque la majorité des points simulés sont très éloignés du point réel, et nous devrions donc conclure que la simulation est de qualité médiocre. La distance du point réel au point simulé le plus proche est ici minimisée par un point tout à fait marginal. De plus, avec ces critères, plus le nuage de points simulés est dispersé, plus il a de chance d'inclure la position réelle...mais plus il élargit la zone de recherche, et donc ne permet pas de cibler précisément la recherche !

## **6.2. Analyse**

Nous avons choisi de développer un système d'analyse des données s'appuyant sur les statistiques, qui sont mieux adaptées à la prise en compte d'une prévision d'ensemble.

### **6.2.1. Travail statistique effectué sur les données MOTHY-L**

Les données MOTHY-L sont constituées d'un nuage de 800 points, à chaque échéance. 400 points ont un CWL positif et 400, un CWL négatif. Ils représentent donc deux nuages de points, qui sont déportés à droite ou à gauche de la direction du vent.

#### **Choix des éléments statistiques calculés**

Pour chaque groupe de 400 points, il semble judicieux de calculer les moyennes et les écarts-types sur les abscisses et les ordonnées afin de déterminer les centres des amas et le resserrement des points. Le calcul du coefficient de corrélation des points permet de déterminer l'effet de dispersion sous forme d'ellipses.

Pour chaque type d'objet MOTHY-L, on calcule la surface des ellipses et on dresse un tableau de l'évolution de ces surfaces au cours du temps. Ceci donne une appréciation de l'évolution de la dispersion des amas de points. Exprimée sous forme d'une surface, ceci pourra être mis en relation avec une durée de la recherche, si on connaît le nombre de km<sup>2</sup> explorés par heure.

On calcule ensuite, pour chaque type d'objet MOTHY-L, la distance parcourue par les centres des amas de points simulés depuis le lieu du naufrage (distance curviligne). On pourra ainsi comparer les objets MOTHY-L et voir quels sont ceux qui dérivent le plus loin – en moyenne sur les 800 trajectoires simulées par cette prévision d'ensemble. En particulier on pourra comparer cette dérive moyenne, pour des objets proches ne différant que par une caractéristique (profondeur des ballasts, présence d'une ancre flottante, présence d'une tente sur un radeau, etc.). On pourra ainsi mettre en valeur l'effet sur les trajectoires – simulées - d'un de ces accessoires.

On calcule ensuite, pour chaque type d'objet MOTHY-L et pour chaque échéance, la distance entre les centres des amas de points simulés et les points de la trajectoire réelle. Ceci nous donne donc une indication de la performance du modèle MOTHY-L. En effet, plus cette distance est petite, plus les points simulés sont proches, en moyenne, du point réel. Ceci représente un net progrès par rapport aux approches précédentes qui jugeaient la performance du modèle sur la distance du point simulé le plus proche au point réel. On calcule ensuite les écarts-types sur la position (en fait la moyenne de l'écart-type sur l'abscisse et de l'écart-type sur l'ordonnée) afin de caractériser la dispersion.

#### **Détermination d'un centre de recherche**

On définit aussi un «centre des recherches» pour le nuage de points simulés par MOTHY-L : ce centre est le barycentre de l'ensemble des points simulés (donc des 800 points, et non plus d'un sous-groupe de 400 points). En effet, pour des sauveteurs qui désirent aller inspecter deux nuages de points, le plus simple est de se placer au départ entre les deux nuages puis

d'aller inspecter l'un puis l'autre (à moins d'avoir deux équipes de recherche qui iraient inspecter un nuage de points chacune, sans nécessairement passer alors par le milieu).

## 6.2.2. Travail statistique effectué sur les données MOTHY

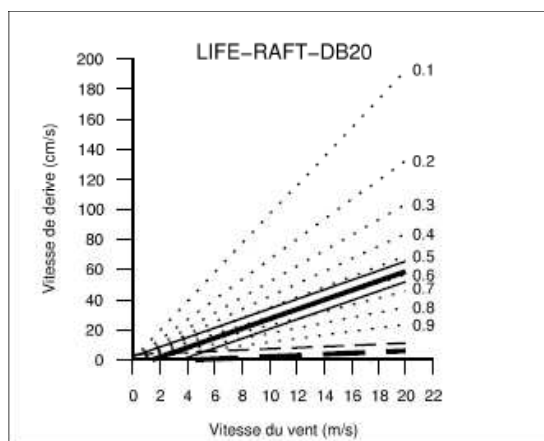
### Choix des éléments statistiques calculés

La trajectoire simulée par MOTHY est exploitée en effectuant des statistiques sur celle-ci, afin de comparer les deux modèles. En effet MOTHY-L génère huit cents trajectoires et MOTHY seulement neuf. Les sorties des modèles ne sont donc pas comparables tel quel. Par contre des variables statistiques basées sur ces résultats peuvent être mises en rapport :

- les coordonnées du barycentre des conteneurs sélectionnés
- la distance totale parcourue par ce centre depuis le lieu du naufrage (distance « curviligne »)
- la distance entre ce centre et le point correspondant de la trajectoire réelle
- un « écart type moyen » qui est en fait la moyenne de l'écart-type sur l'abscisse et de l'écart-type sur l'ordonnée. Cette variable donne une idée de la dispersion des points simulés par MOTHY, et elle est comparable à celle calculée pour MOTHY-L

### Statistiques effectuées sur un nombre limité de conteneurs

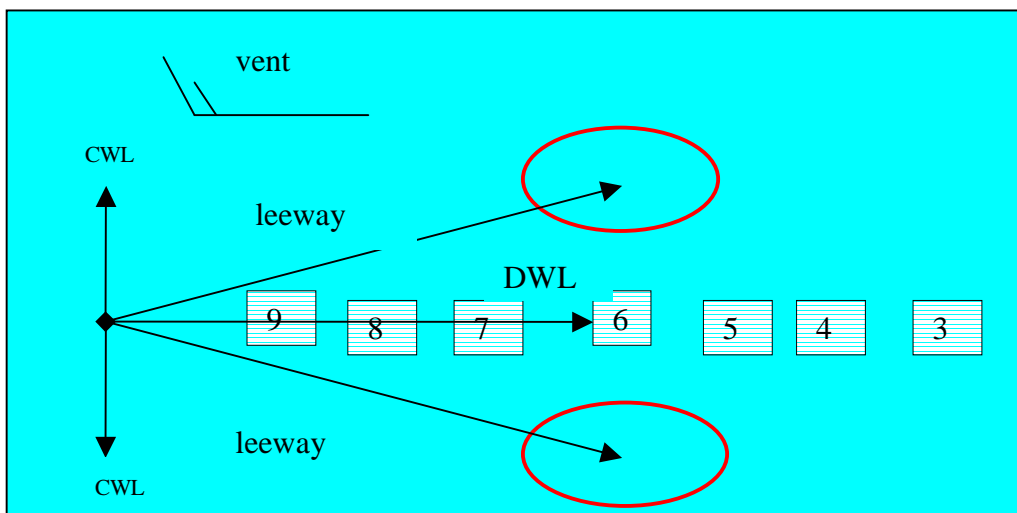
L'expérience ayant montré que sur les neuf conteneurs simulés par MOTHY, seule une partie est réaliste (les conteneurs fortement émergés, en particulier, ont une vitesse de dérive presque toujours trop grande et vont trop loin), nous n'effectuons nos statistiques que sur un sous-ensemble – paramétrable - des neuf conteneurs. Ceci peut nous permettre de travailler uniquement sur des conteneurs ayant une gamme de vitesses de dérive parallèle au vent (DWL) analogue à celle de tel ou tel objet MOTHY-L. La principale différence entre les caractéristiques dynamiques de ces conteneurs MOTHY et de l'objet MOTHY-L sera alors la présence dans MOTHY-L d'une vitesse de dérive normale au vent (CWL)(cf figure X). On pourra alors, par notre comparaison des deux modèles, mettre en valeur le rôle joué par cette composante normale, et donc s'interroger sur la pertinence de l'introduction de cette dérive normale au vent. La dérive réelle est-elle réellement mieux simulée par un logiciel gérant cette dérive normale au vent ? Nous tenterons d'apporter des éléments de réponse à cette question.



*· Comparaison des vitesses de dérive de MOTHY et LEEWAY pour LIFERAFT-DB20 (en pointillés les valeurs pour les différents taux d'immersion dans MOTHY, en traits pleins les plages de valeurs pour DWL et en traits tiretés les plages de valeurs pour la valeur absolue de CLW, le trait le plus gras représentant la valeur centrale de l'intervalle et les traits plus fins l'intervalle à 95% calculé grâce aux paramètres de la régression ).*

Belleguic [4]

Sur la figure précédente, on voit qu'en sélectionnant dans MOTHY les conteneurs ayant des taux d'immersion entre 50 et 70% , la composante parallèle au vent de la vitesse est très semblable à celle des objets MOTHY-L « LIFE-RAFT-DB20 ». Par contre, les deux modèles diffèrent encore par la prise en compte (dans MOTHY-L) ou non (dans MOTHY) d'une composante normale au vent. (voir schéma ci-dessous : les amas de points MOTHY-L arrivent à même hauteur que les conteneurs MOTHY 5 à 7, mais sont décalés sur les cotés)



Position des amas de points MOTHY-L pour un LIFE-RAFT-DB20



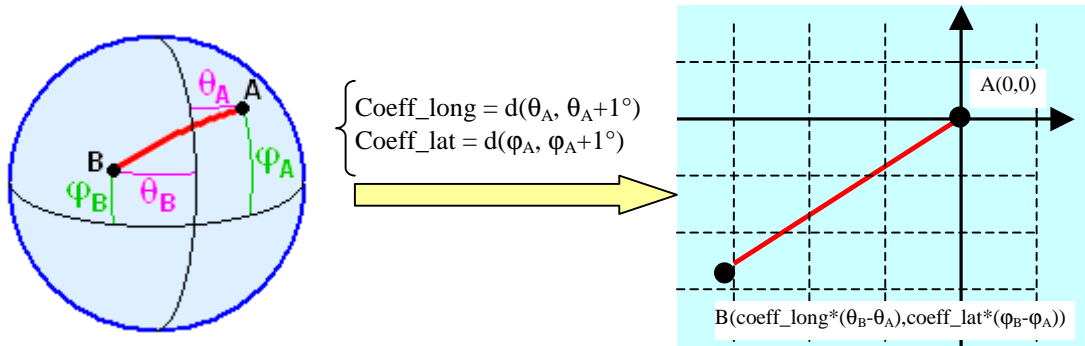
Position du conteneur MOTHY (le n° 5 signifie taux d'immersion de 50%)

## 6.3. Conception du système

### 6.3.1. Conversion des coordonnées

Les points issus des modèles sont exprimés en coordonnées terrestres (longitude, latitude). Avant de commencer notre étude statistique, nous faisons une approximation qui consiste à les exprimer dans un repère orthonormé.

Pour cela, nous prenons comme origine du repère orthonormé le premier point de la trajectoire issu de la simulation. Nous calculons ensuite, à partir de ce point, les distances orthodromiques correspondant à un degré de longitude et à un degré de latitude. Ces distances sont des coefficients de conversion qui permettent alors de déterminer les coordonnées des autres points dans le nouveau repère.



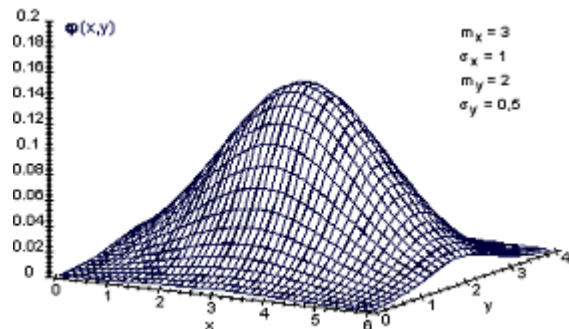
### 6.3.2. Choix d'un modèle statistique

Nous considérons que le nuage de points simulés est représenté par une loi normale à deux dimensions.

La densité de probabilité d'un couple de variables aléatoires gaussiennes dans leur ensemble est donné par :

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}} e^{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)^2 - 2r\frac{(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x\sigma_y}\right]}$$

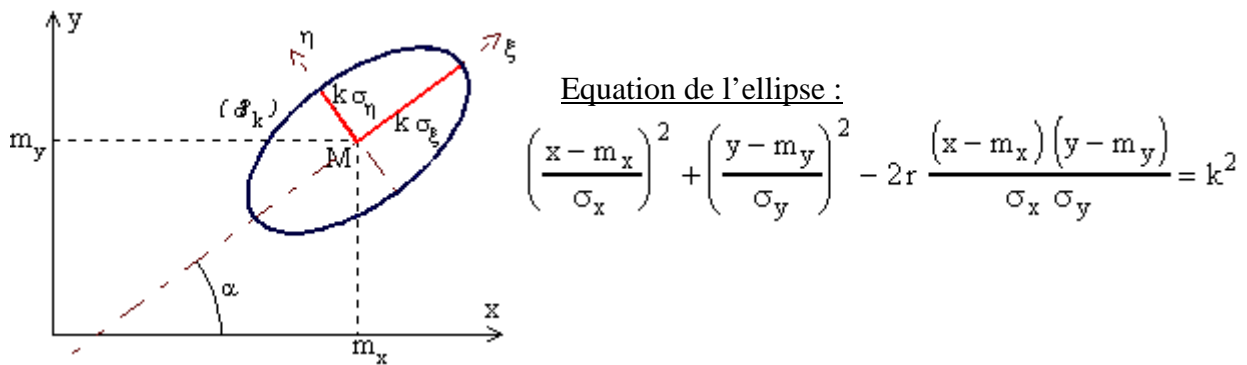
$$\left\{ \begin{array}{l} m_x : \text{moyenne suivant X} \\ \sigma_x : \text{écart type suivant X} \\ m_y : \text{moyenne suivant Y} \\ \sigma_y : \text{écart type suivant Y} \\ r = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x\sigma_y} : \text{coefficient de corrélation} \end{array} \right.$$



Cortial [8]

L'échantillon étudié peut ainsi être caractérisé par une position moyenne (barycentre du nuage de points). Les écarts types sur l'abscisse et l'ordonnée sont des données intéressantes mais peu représentatives de la réalité d'une distribution à 2 dimensions.

La figure qui définit le mieux cette distribution est une ellipse de dispersion ayant les caractéristiques suivantes :



avec

$$\begin{cases} \tan 2\alpha = \frac{2r \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \\ \sigma_\xi = \sqrt{\sigma_x^2 \cos^2 \alpha + r \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \sin^2 \alpha} \\ \sigma_\eta = \sqrt{\sigma_x^2 \sin^2 \alpha - r \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \cos^2 \alpha} \end{cases}$$

La probabilité qu'un point soit situé dans l'ellipse est :  $P\{M \in (E_k)\} = 1 - e^{-\frac{k^2}{2}}$

## 6.4.Réalisation

Nous avons développé un programme en Visual Basic fonctionnant sous Excel qui effectue une analyse statistique sur les données réelles, simulées par MOTHY et par MOTHY-L. Il permet de générer un tableau de synthèse des résultats ainsi qu'une feuille graphique pour chaque objet MOTHY-L où figurent :

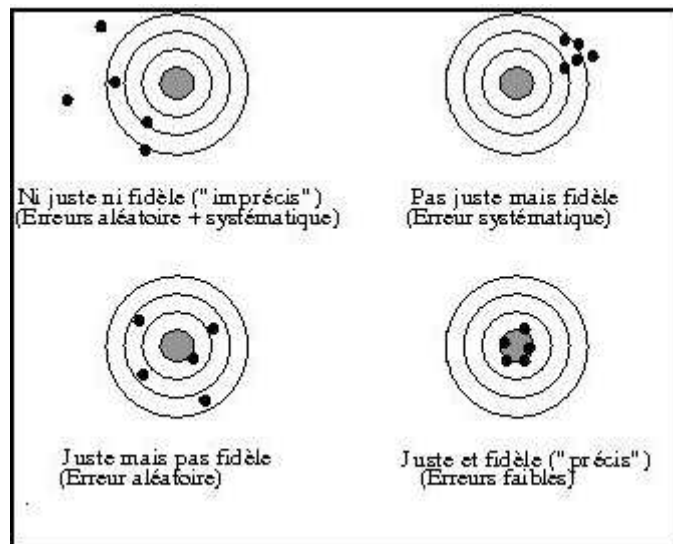
- Une carte de positions des objets MOTHY-L avec ses ellipses de dispersion pour une probabilité et une échéance données.
- Le graphique de l'évolution temporelle de la distance entre la position réelle et le centre des amas.
- Le graphique de l'évolution des surfaces des amas de points.
- Le graphique de la distance parcourue depuis l'origine par les centres des amas.
- Les trajectoires des conteneurs MOTHY à une échéance donnée.

Les manuels utilisateur et d'exploitation du logiciel ainsi que le code source commenté figurent respectivement en annexes I, II et III.

## 7. Evaluation des modèles sur des cas réels

### 7.1. Précision sur le vocabulaire utilisé

Par analogie avec le vocabulaire sur les erreurs de mesure, nous utiliserons les mots *juste* et *fidèle* pour caractériser respectivement l'adéquation modèle/réalité et la dispersion du modèle (cette dispersion est ici voulue par le modèle, il ne s'agit pas d'un bruit parasite). Le modèle de la cible permet de bien comprendre le sens que nous donnons à ces mots :



[11]

### 7.2. Etude de cas

Bien que les modèles de dérive soient utilisés très souvent (presque tous les jours), les retours d'expériences sont rares. En consultant une année d'archives de simulations MOTHY, nous avons pu découvrir quatre cas qui comportaient un retour d'expérience.

#### 7.2.1. Etude de la dérive d'un radeau au large de l'île de Ré

##### Présentation du radeau

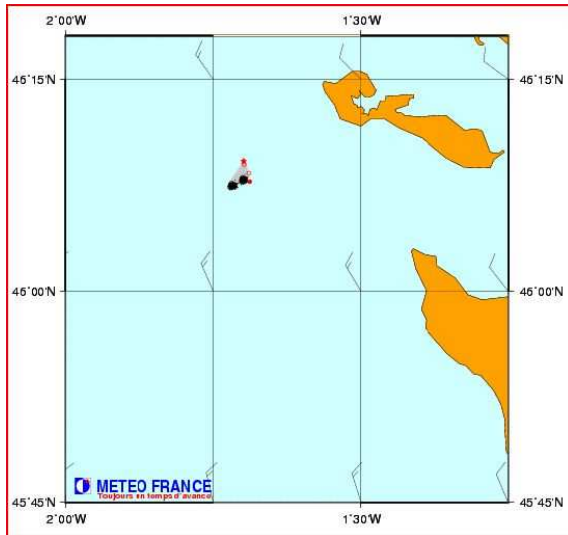
Il s'agit d'un radeau de sauvetage « viking 4 places auto-redressable » équipé d'un GPS, qui a été utilisé à titre d'expérience pour le magazine « voile mag ». Cette expérience a eu lieu le 10 juillet 2006 au large de l'île de Ré. Le radeau et ses équipiers ont dérivé pendant douze heures.



*Figure 7-1*

## Conditions météorologiques

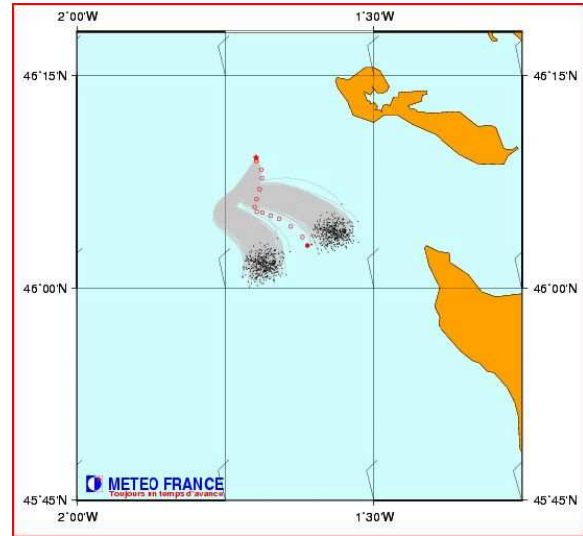
Le vent est faible de nord-nord-ouest, dans l'océan atlantique, à quelques miles des côtes. Ces conditions nous suggèrent que la dérive va être fortement influencée par les courants de marée, mais que les courants permanents sont négligeables (ils ne sont vraiment à prendre en compte qu'en Méditerranée).



Prévision MOTHY-L pour le 10/07/06 à 18h00 UTC

En rouge : le trajet réel

En noir : positions simulées



Prévision MOTHY-L pour le 11/07/06 à 04h00 UTC

En rouge : le trajet réel

En noir : positions simulées

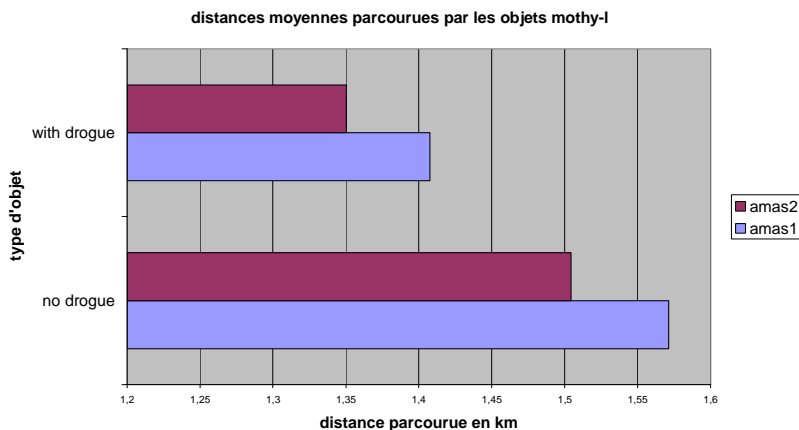
Sur ce cas, nous avons lancé des simulations avec ARPEGE comme modèle de forçage atmosphérique

## Analyse des résultats

Concernant le modèle MOTHY-L, nous avons lancé le modèle avec l'ensemble des objets de la « leeway taxonomy ». Non qu'ils aient forcément un rapport avec le radeau concerné, mais parce que nous désirions lancer une simulation sur tous les types d'objets afin de pouvoir les comparer entre eux. Bien entendu, pour nombre d'entre eux, il ne faudra pas chercher à les confronter à la réalité.

### Éléments de comparaison entre les radeaux avec ancre flottante et sans ancre flottante

*La distance parcourue*



**Figure 7-2**

La distance parcourue est significativement plus courte quand les radeaux sont équipés d'une ancre flottante. L'ancre flottante a donc pour effet de ralentir la dérive des radeaux. En réduisant la vitesse de dérive des radeaux, elle empêche les naufragés de trop s'éloigner du lieu de naufrage.

### La dispersion

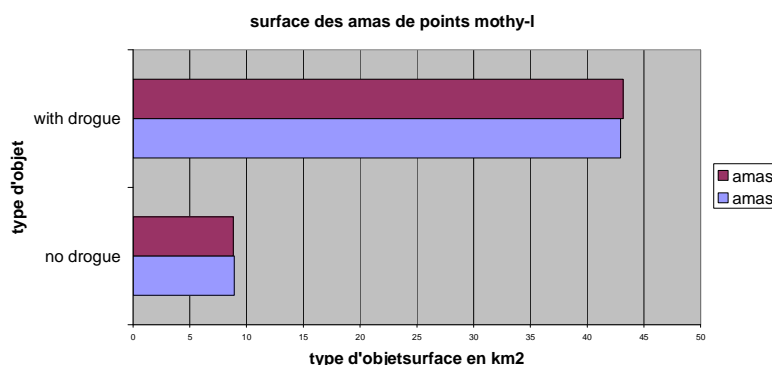


Figure 7-3

La surface des ellipses de concentration des points simulés par MOTHY-L est plus petite en l'absence d'ancre flottante. Ainsi une ancre flottante tend à disperser les trajectoires possibles, résultat d'une dérive certes ralentie, mais plus aléatoire car moins soumise à la poussée en surface.

A ce titre le rôle de l'ancre flottante peut sembler négatif, car il orienterait les sauveteurs vers une zone de recherche plus large, donc des recherches moins ciblées. Mais le rôle de l'ancre flottante est avant tout de bien orienter le radeau face aux vagues afin qu'il coure moins de risque de chavirer.

### Eléments de comparaison entre les radeaux avec tente et sans tente

#### La distance parcourue

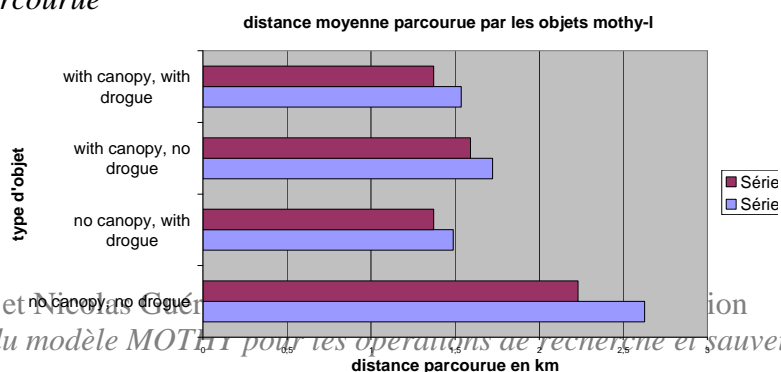


Figure 7-4

On obtient des résultats surprenants. Si le canot à une ancre flottante, l'effet de la tente est de l'accélérer (objets 1 et 3). Sans ancre flottante, la tente freine le radeau (objets 2 et 4). L'effet de la tente serait donc contradictoire. On retrouve cette contradiction dans la vitesse de dérive des objets MOTHY-L sur la figure 7-5. La cohérence du modèle n'est donc pas en cause.

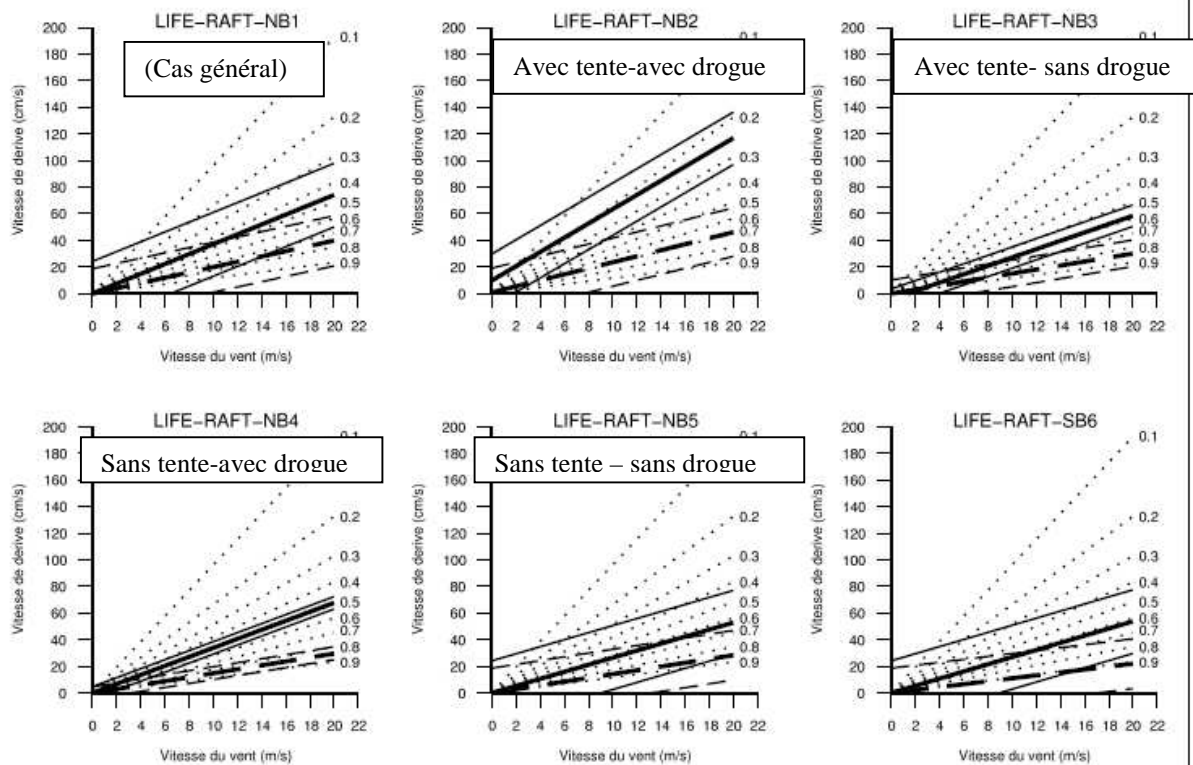


Figure 7-5

Belleguic [4]

L'erreur résiderait plutôt dans la définition des vitesses de dérive dans la *leeway taxonomy*, car rien n'explique pourquoi la tente peut, dans certains cas freiner le radeau, alors que, constituant une prise au vent, elle devrait plutôt accélérer celui-ci.

### La dispersion

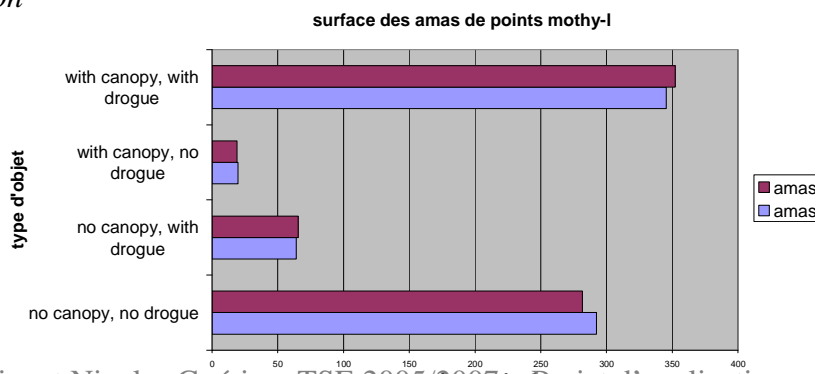
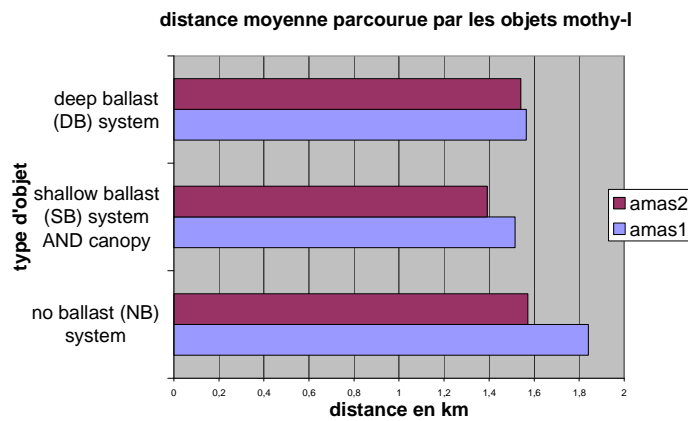


Figure 7-6

Là encore, les résultats sont contradictoires, puisque avec une ancre flottante, la tente tend à disperser les objets, et qu'en l'absence d'ancre flottante, elle tendrait à les resserrer. Au vu de ses résultats, il semble que les objets « life-raft-nb3 » et « life-raft-nb5 » aient été intervertis dans la *leeway taxonomy*.

Eléments de comparaison entre les radeaux sans ballast, avec ballast peu profond et avec ballast profond :

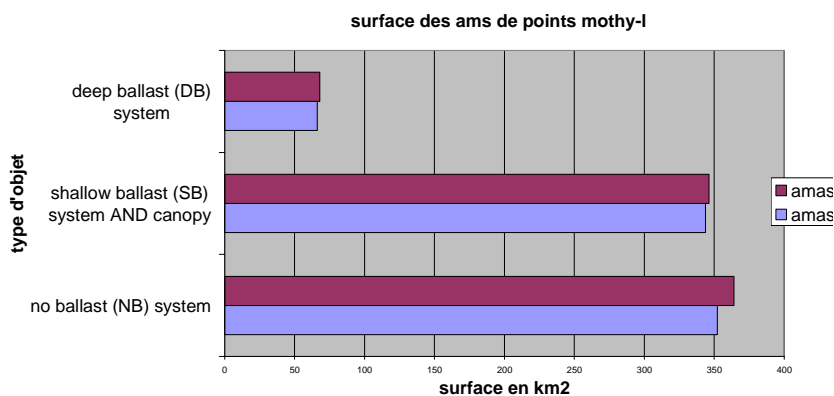
*La distance parcourue*



**Figure 7-7**

Cette distance est plus longue quand les radeaux n'ont pas de ballast. La différence entre navire avec ballast profond et ballast peu profond est peu significative. Au final, il semblerait que la présence d'un ballast a pour effet de freiner la dérive, mais que la taille de celui-ci joue peu.

*La dispersion*

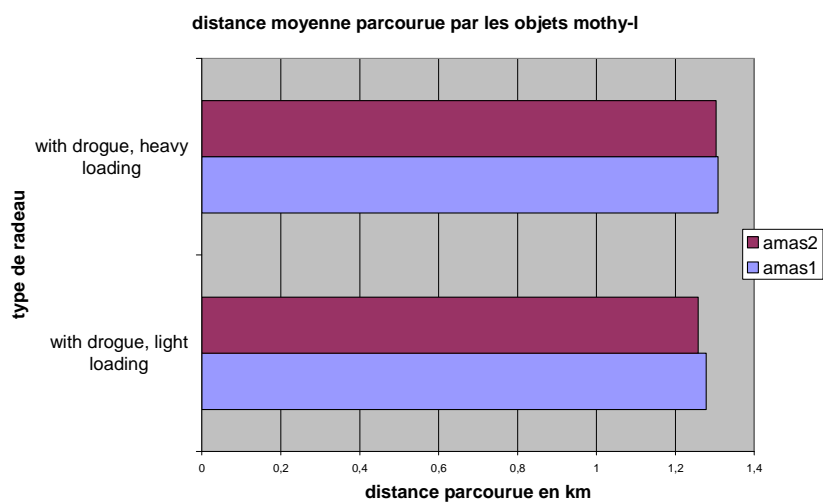


**Figure 7-8**

La surface des ellipses de concentration des points simulés par MOTHY-L, est plus petite en présence de ballast. Ainsi l'absence de ballast tend à disperser les trajectoires possibles. Le ballast a en outre un rôle de stabilisation du radeau, puisqu'il doit l'empêcher de chavirer.

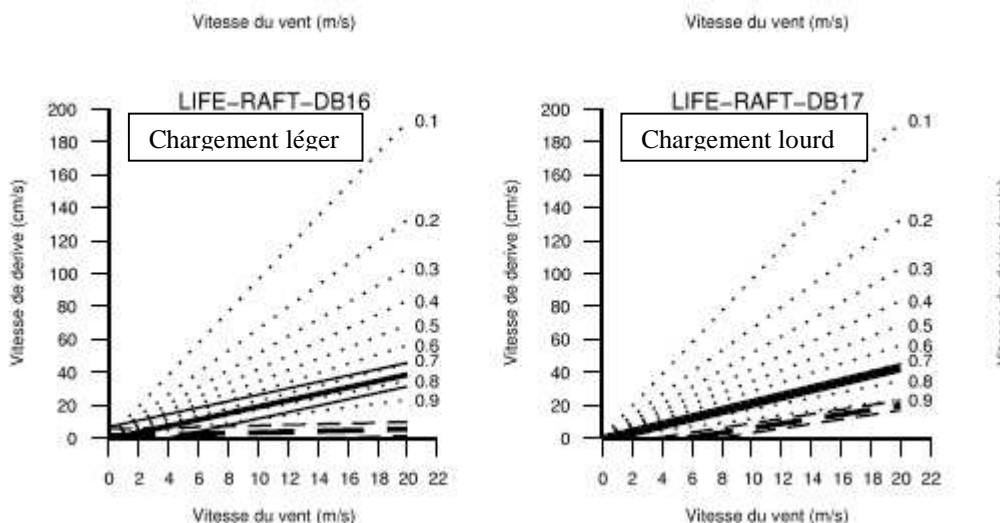
Eléments de comparaison entre les radeaux lourdement chargés et légèrement chargés

*La distance parcourue*



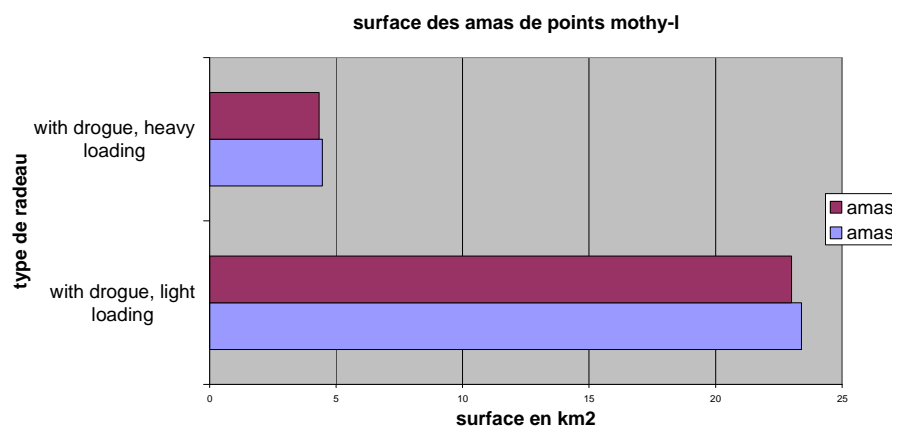
**Figure 7-9**

Cette distance est un peu plus courte quand les radeaux sont peu chargés. Ce résultat est là encore cohérent avec la *leeway taxonomy* (figure 7-10), mais il est surprenant car logiquement un chargement augmente l'inertie du radeau, qui devrait donc se mouvoir moins vite. D'ailleurs, dans la réalité, les expérimentateurs ont noté que le radeau avait accéléré lorsqu'un équipier avait quitté le radeau.



**Figure 7-10**

## La dispersion



**Figure 7-11**

La surface des ellipses de concentration des points simulés par MOTHY-L est plus petite en cas de chargement lourd. Ce résultat paraît assez logique car un radeau plus léger est plus facilement dispersé par les flots du fait de sa faible inertie.

Ces quatre comparaisons entre types de radeaux nous donnent tantôt des résultats logiques, tantôt des résultats surprenants. En conclusion, on peut se demander s'il est légitime de se baser sur une taxinomie aussi pointue quand les caractéristiques dynamiques de certains des objets (obtenues empiriquement) semblent au final être erronées.

## Eléments de comparaison entre la trajectoire réelle et les trajectoires simulées.

Le radeau réel était un radeau pourvu d'une ancre flottante, d'une tente et d'un système de ballast (voir figure 7-1). Il comportait cinq équipiers à bord, mais l'un est descendu en cours de route. Dans la *leeway taxonomy*, le radeau qui semble le mieux correspondre est le LIFE-RAFT-NB17 (4-6 personnes, chargé, avec tente et ancre flottante, ballasts profonds)

### *Justesse des modèles*

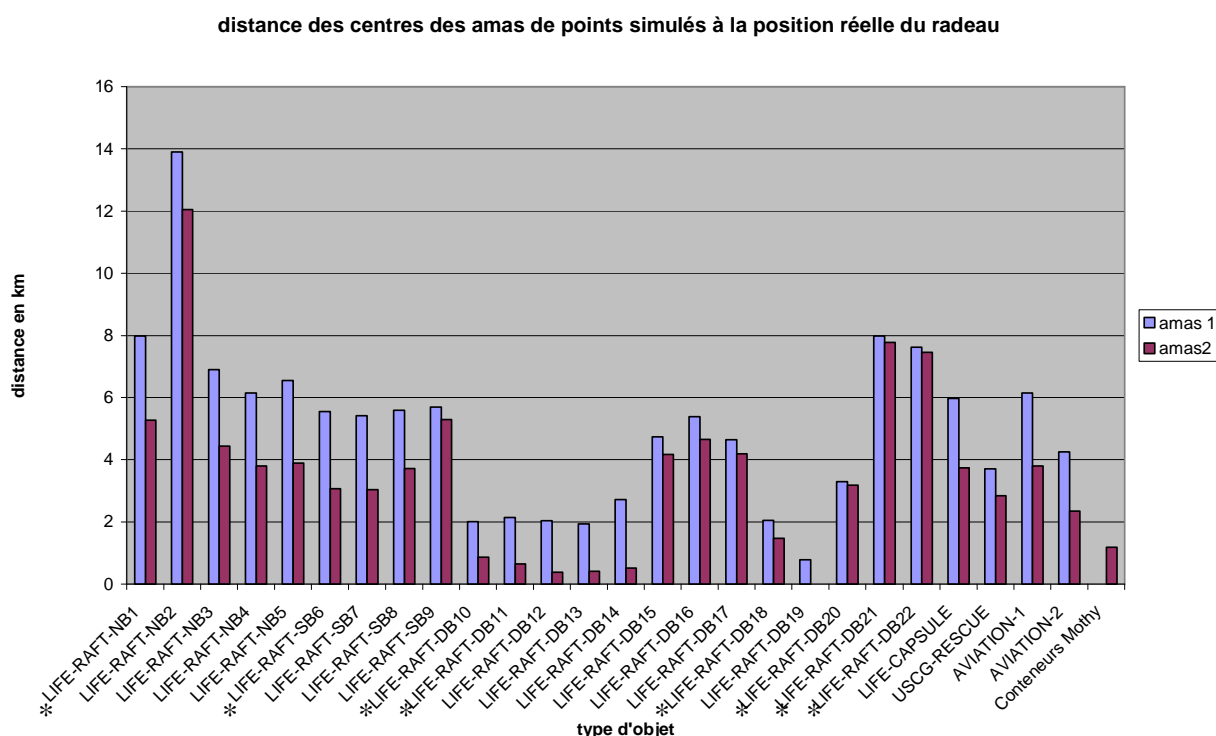


Figure 7-12 : distance des centres des amas simulés à la position réelle

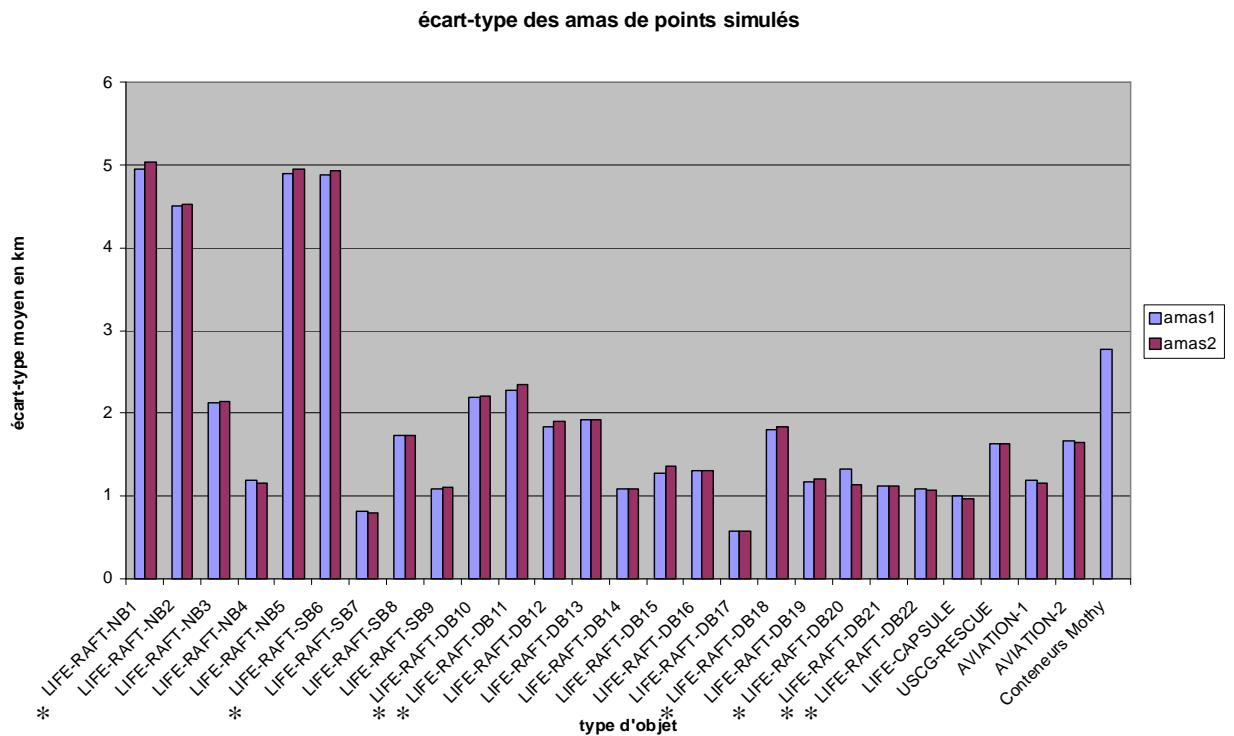
*Les objets repérés par des étoiles (\*) sont des objets « généralistes » dont les caractéristiques sont des moyennes sur plusieurs objets*

Sur la figure 7-12, on remarque que les simulations LIFE-RAFT-NB10, 11, 12, 13, 14, 19 sont très proches de la position réelle (seulement 6 mètres d'écart entre la position réelle et le centre de l'amas2 pour la simulation avec un LIFE-RAFT-DB 19 !). Le problème, c'est que ces radeaux sont soit des radeaux « généralistes » (c'est à dire des moyennes sur plusieurs types de radeaux), soit des radeaux sans ancre flottante. Le rôle de l'ancre flottante aurait peu être été surestimé, puisque notre radeau réel, pourvu d'une ancre flottante, a un comportement qui se rapproche des radeaux théoriques sans ancre flottante. Là encore, on peut douter de l'intérêt d'une taxinomie aussi pointue, puisqu'au final, les objets « généralistes » offrent des simulations plus *justes* que les objets plus détaillés.

Mais ces critiques de détail ne doivent pas occulter le fait que ces simulations donnent dans l'ensemble d'assez bons résultats. Les dérives de conteneurs MOTHY (on a sélectionné uniquement des taux d'immersion de 30 à 90%) sont également *justes*.

On remarque que dans tous les cas, l'objet réel est plus proche d'un des amas que de l'autre. Ceci confirme qu'il y a bien eu un mouvement de dérive latéral, donc une force de portance. Cependant, celle-ci est peut-être un peu surestimée dans MOTHY-L car on peut voir sur les figures 7-15 que le radeau réel passe entre les amas de points simulés (mais pas exactement au milieu, comme l'aurait fait un objet sans portance ou un conteneur MOTHY (voir figure 7-14))

### Dispersion des données



**Figure 7-13 : écarts types des positions simulées.**

**Les objets repérés par des étoiles (\*) sont des objets « généralistes » dont les caractéristiques sont des moyennes sur plusieurs objets**

Les histogrammes de la figure 7-13 présentent les écarts types des nuages de points, tant pour MOTHY que pour tous les radeaux MOTHY-L.

On constate que les écarts-types pour les radeaux « généralistes » de MOTHY-L (LIFE-RAFT-NB10 ou LIFE-RAFT-NB11) sont assez importants (la dispersion est supérieure à celle de MOTHY si on prend en compte les deux amas de points). Par contre, si on regarde des radeaux aux caractéristiques précises (ex les LIFE-RAFT-NB12 à 17), la dispersion des objets est faible, comparable ou inférieure à celle de MOTHY

## Synthèse

Si on avait à priori peu de renseignements sur le radeau à rechercher, on aurait choisi le radeau LIFE-RAFT-NB10 ou LIFE-RAFT-NB11 (radeaux « généralistes »).

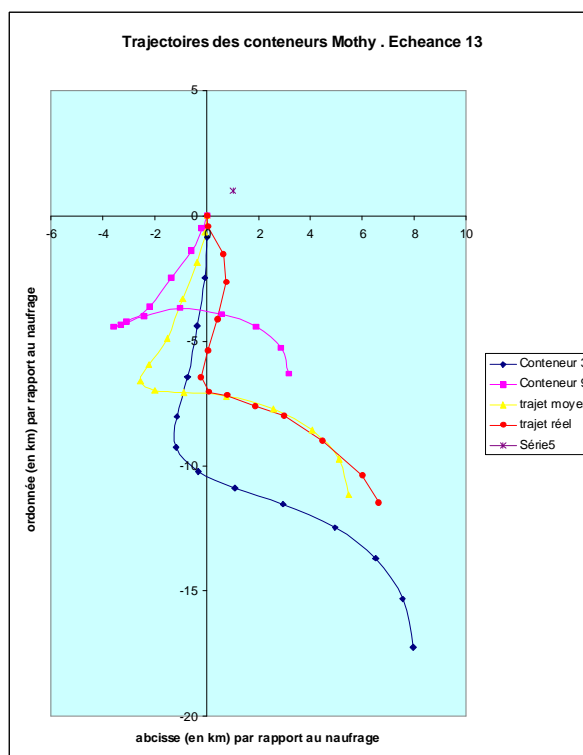
Si on disposait d'une description précise, on aurait choisi le radeau LIFE-RAFT-NB17.

La simulation MOTHY donne des résultats plus *justes* que celle du LIFE-RAFT-NB17, mais moins *justes* que celle des LIFE-RAFT-NB10 ou LIFE-RAFT-NB11, pour lesquelles un des amas de points MOTHY-L est plus proche de la position réelle que les conteneurs MOTHY.

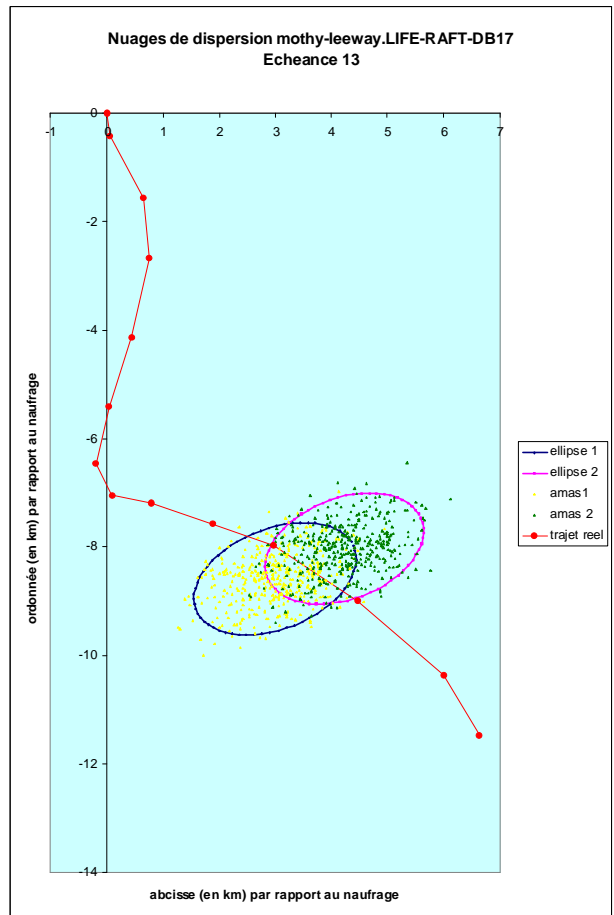
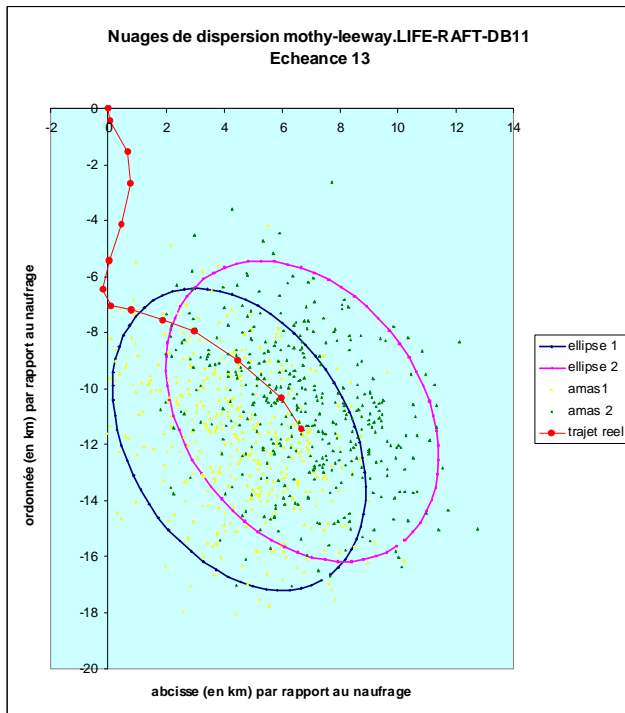
La simulation MOTHY donne des résultats moins *fidèles* que celle du LIFE-RAFT-NB17, mais plus *fidèles* que celle des LIFE-RAFT-NB10 ou LIFE-RAFT-NB11, pour lesquelles la dispersion est importante.

Cette simulation est de qualité relativement bonne pour les deux modèles, mais au vu de ce qui précède, on peut difficilement en privilégier un par rapport à l'autre.

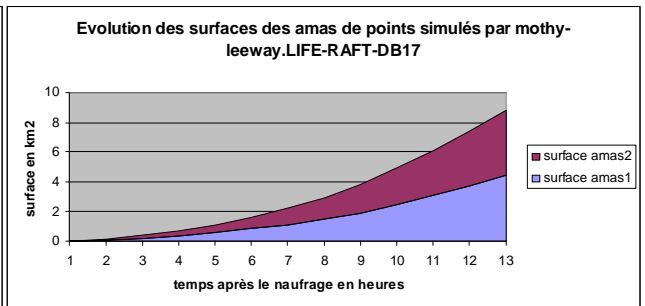
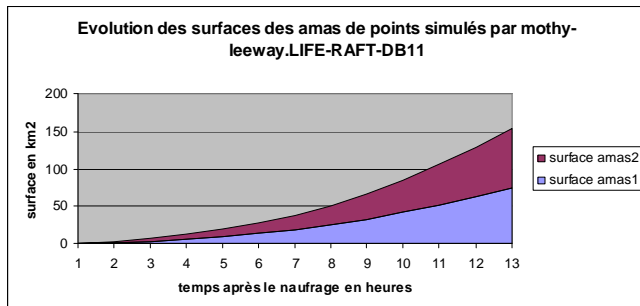
Présentation des résultats issus du programme statistique, correspondant à ces simulations :



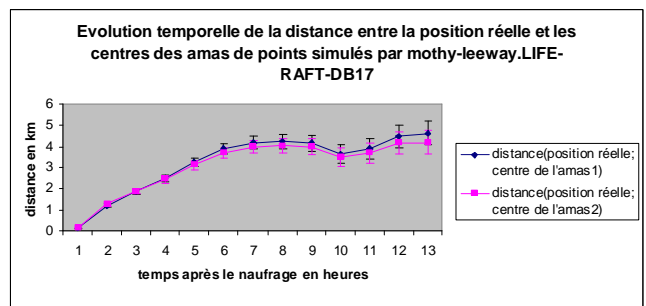
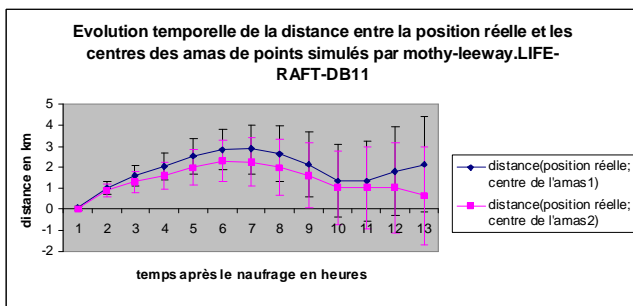
**Figure 7-14 : La simulation MOTHY donne des résultats justes**



**Figure 7-15 Simulations MOTHY-L pour le radeau "généraliste" (n°11) et le radeau ayant les caractéristiques du radeau réel (n°17)**



**Figure 7-16 : La surface des amas du radeau n°11 est dix fois plus grande que celle du radeau n°17. La simulation du radeau « réel » est donc plus fidèle que celle du radeau « généraliste ».**



**Figure 7-17 : La simulation du radeau "généraliste" donne des résultats plus justes que celle du radeau "réel"**

## 7.2.2. Etude de la dérive d'un cargo vraquier au large de la Bretagne

### Présentation du cargo

Il s'agit d'un cargo vraquier (figure 7-18) de 220 m dérivant pendant huit heures (dont 5 après le déclenchement de l'alerte MOTHY) au large des côtes bretonnes. Les dimensions du cargo sont connues. Avec une hauteur de 14 m et un tirant d'eau de 10 m, on déduit que le taux d'immersion est d'environ 70% (10/14). Le bateau a été suivi pendant toute sa dérive par le système de localisation (radar) Sofrelog. On dispose donc de données très précises sur la trajectoire du bateau.



Figure 7-18

### Conditions météorologiques

On est dans l'Atlantique à environ vingt miles des côtes, et le vent d'ouest est modéré environ 15 nœuds. Dans ce cas, il n'y a pas de courant permanent, l'influence des courants de marée est modérée et le vent a une influence assez importante.

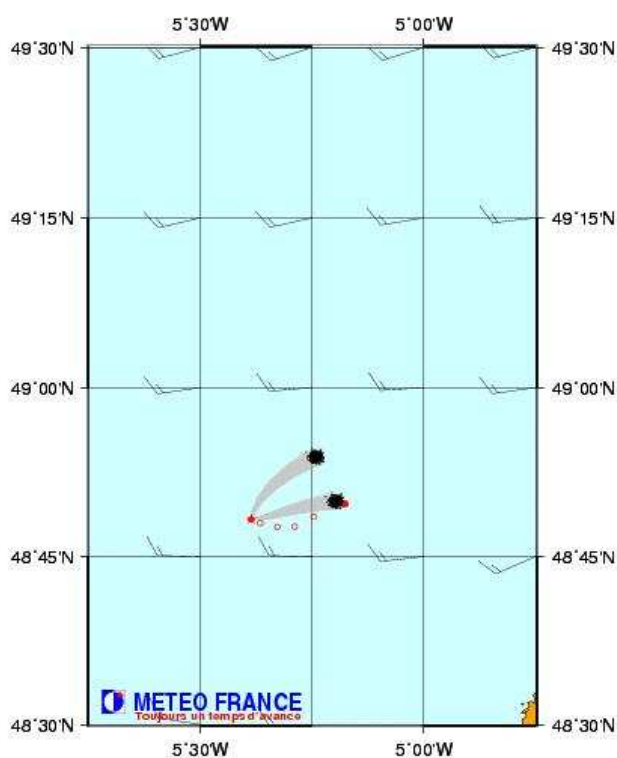


Figure 7-19 :

Carte issue de MOTHY-L

Début de la dérive, le 17/11/06 à 7h30 UTC

Fin, le 17/11/06 à 12h00 UTC

En rouge : le trajet réel

En noir : les amas simulés

## Analyse des résultats

Les simulations MOTHY-L sont lancées avec les objets de type bateau, les plus gros dont on dispose (mais encore assez petits devant la taille réelle d'un cargo). Les simulations MOTHY ont été lancées avec des conteneurs de quatorze mètres de haut et des taux d'immersion entre 50 et 90%)

Sur ce cas, nous avons lancé des simulations avec ALADIN, ARPEGE et CEP comme modèles de forçage atmosphérique. Nous voulions disposer d'une situation avec les trois forçages atmosphériques possibles, afin de les comparer entre eux et de voir si cela influençait beaucoup la simulation.

Avec ces trois types de forçage, nous avons, par exemple, comparé les coordonnées des centres de recherche (barycentres de l'ensemble des points simulés) par les modèles MOTHY et MOTHY-L (cf tableau 7-20)

| Type d'objet      | ALADIN                                      |   | ARPEGE                                      |   | CEP   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | Coordonnée X du centre de recherche (en km) | Coordonnée Y du centre de recherche (en km) | Coordonnée X du centre de recherche (en km) | Coordonnée Y du centre de recherche (en km) | Coordonnée X du centre de recherche (en km) | Coordonnée Y du centre de recherche (en km) |
| SPORT-BOAT        | 1,12191142                                  | 0,29688271                                  | 1,121911418                                 | 0,29688271                                  | 1,255876533                                 | 0,106419148                                 |
| SPORT-FISHER      | 0,9136219                                   | 0,12573267                                  | 0,913621901                                 | 0,12573267                                  | 1,027348721                                 | -0,051317183                                |
| FISHING-VESSEL-1  | 0,19725552                                  | -0,4793871                                  | 0,197255525                                 | -0,47938709                                 | 0,223505625                                 | -0,605286735                                |
| FISHING-VESSEL-2  | 0,32592434                                  | -0,4840624                                  | 0,32592434                                  | -0,48406241                                 | 0,35393584                                  | -0,624822886                                |
| FISHING-VESSEL-3  | 0,37691531                                  | -0,4970309                                  | 0,376915314                                 | -0,49703085                                 | 0,405330769                                 | -0,643746793                                |
| FISHING-VESSEL-4  | 0,24908963                                  | -0,4668639                                  | 0,249089629                                 | -0,46686392                                 | 0,276330229                                 | -0,598496392                                |
| FISHING-VESSEL-5  | 0,05344705                                  | -0,3916692                                  | 0,053447046                                 | -0,39166922                                 | 0,079475184                                 | -0,499535489                                |
| FISHING-VESSEL-6  | 0,39304474                                  | -0,0097402                                  | 0,393044739                                 | -0,00974025                                 | 0,472488766                                 | -0,139424669                                |
| COASTAL-FREIGHTER | 0,01711918                                  | -0,4129308                                  | 0,017119184                                 | -0,41293079                                 | 0,042267014                                 | -0,51717925                                 |
| Conteneurs Mothy  | 4,67839811                                  | 4,66554459                                  | 4,843607398                                 | 3,94180533                                  | 5,216402081                                 | 3,46409912                                  |

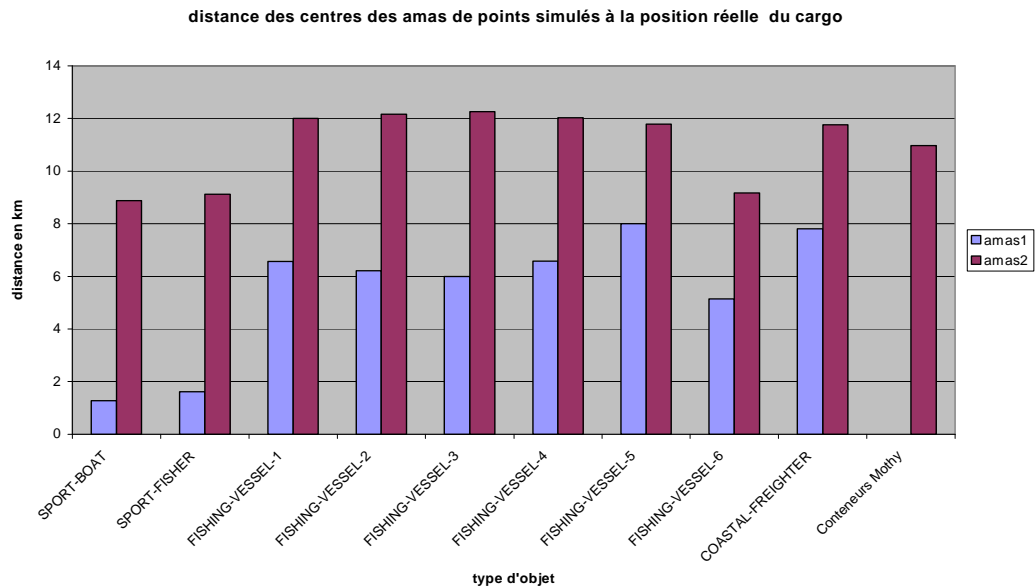
**Tableau 7-20**

Comme on le voit, les différences entre les forçage ARPEGE et ALADIN sont nulles. Ceci n'est pas surprenant car on travaille ici avec des données d'analyse, or ARPEGE et ALADIN partagent la même analyse, à la résolution près. (Si on travaille avec comme forçage des données prévues, on peut voir apparaître de petites différences)

Les forçages ARPEGE et CEP donnent par contre des résultats différents. Les différences sur les positions sont en moyennes de l'ordre de 10%, ce qui est plutôt faible. Cependant, on ne peut pas a priori dire qu'un forçage est meilleur que l'autre, tout dépend de la situation. En opérationnel, on choisira comme forçage le modèle proposé par les directives nationales. Dans la suite de notre étude, nous choisirons de ne présenter les résultats que pour un seul modèle de forçage, afin de ne pas surcharger la présentation par une masse de données toutes assez semblables entre elles.

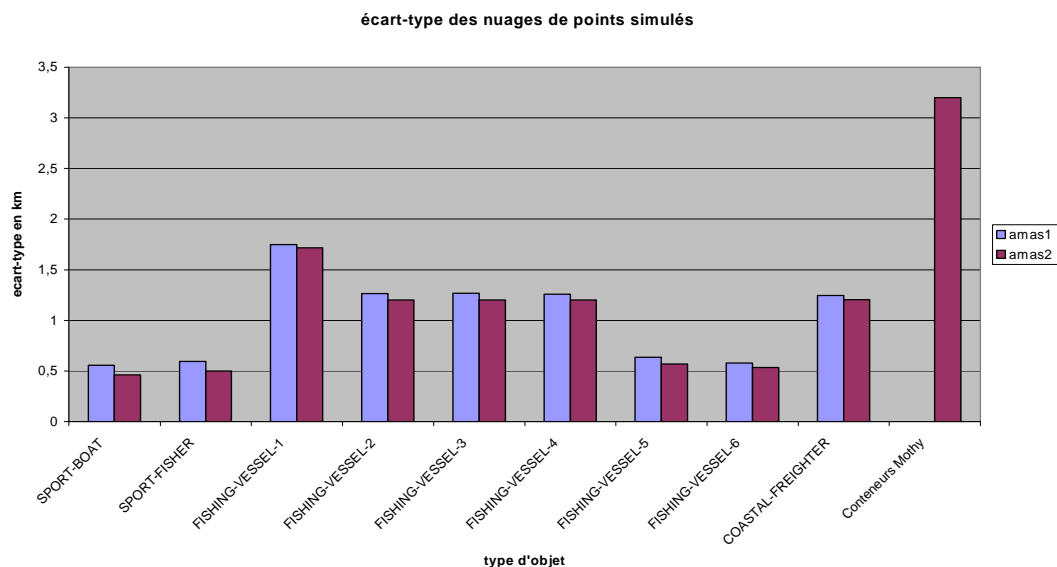
Les figures 7-21 et 7-23 nous montrent que les objets de type sport-boat ou sport-fischer simulent la trajectoire du cargo avec une grande *justesse*. Les bateaux de pêche (fishing vessel) ou le remorqueur (coastal-freighter), qu'on aurait pu *a priori* penser proches du cargo, donnent au contraire des résultats plus médiocres.

La position réelle est proche d'un des nuages de points simulés par MOTHY-L et éloigné de l'autre. Cela plaide pour l'existence d'une force de portance assez importante. Les résultats des conteneurs MOTHY sont eux peu *justes*, d'une part à cause d'une vitesse de dérive trop faible, d'autre part parce que la présence d'une force de portance n'y est pas prise en compte.

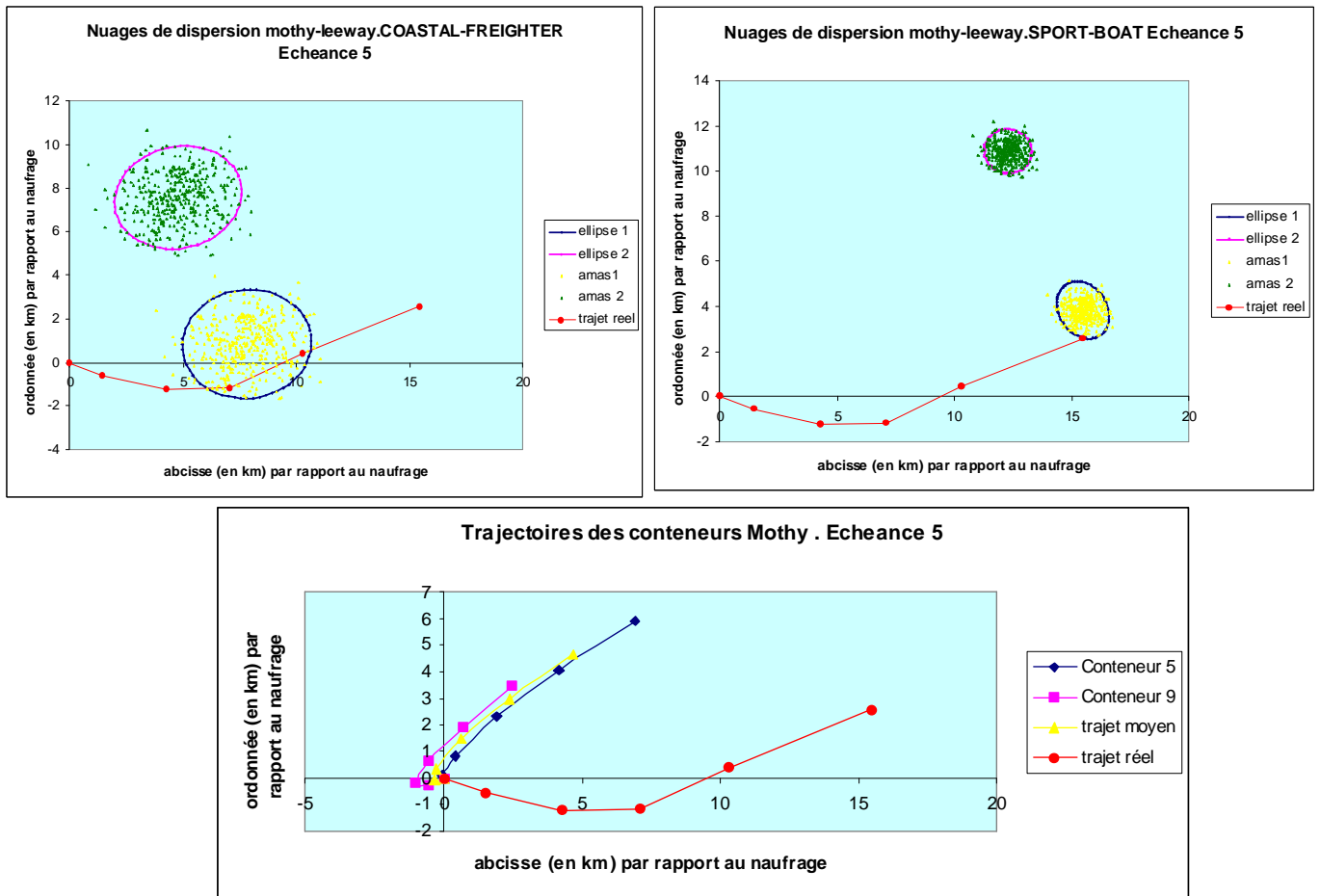


**Figure 7-21**

L'histogramme des écarts-types (figure 7-22) montre que les objets de type sport-boat ou sport-fischer ont également une grande *fidélité*. Les autres objets MOTHY-L ont une *fidélité* bonne à moyenne (on remarque alors une dispersion plus importante, comme pour le « coastal freighter »). Les conteneurs MOTHY ont également une *fidélité* moyenne.



**Figure 7-22**



**Figure 7-23 : cartes des positions simulées par MOTHY-L pour les objets « coastal freighter » et « sport boat » et carte des trajectoires des conteneurs simulées par MOTHY**

### 7.2.3. Etude de la dérive d'un porte-conteneurs au large de la Bretagne

#### Présentation du porte-conteneurs

Il s'agit d'un porte-conteneurs (dimensions inconnues, mais sans doute importantes) qui, suite à une avarie, a dérivé pendant une douzaine d'heures au large d'Ouessant. Le bateau a été suivi pendant toute sa dérive par le système de localisation (radar) Sofrelog. On dispose donc de données très précises sur la trajectoire du bateau



Figure 7-24 : image d'un porte-conteneurs

#### Conditions météorologiques

On est dans l'Océan Atlantique à environ vingt miles des côtes, et le vent d'ouest est modéré (environ 20 nœuds). Dans ce cas, il n'y a pas de courant permanent, l'influence des courants de marée est modérée et le vent a une influence assez importante.

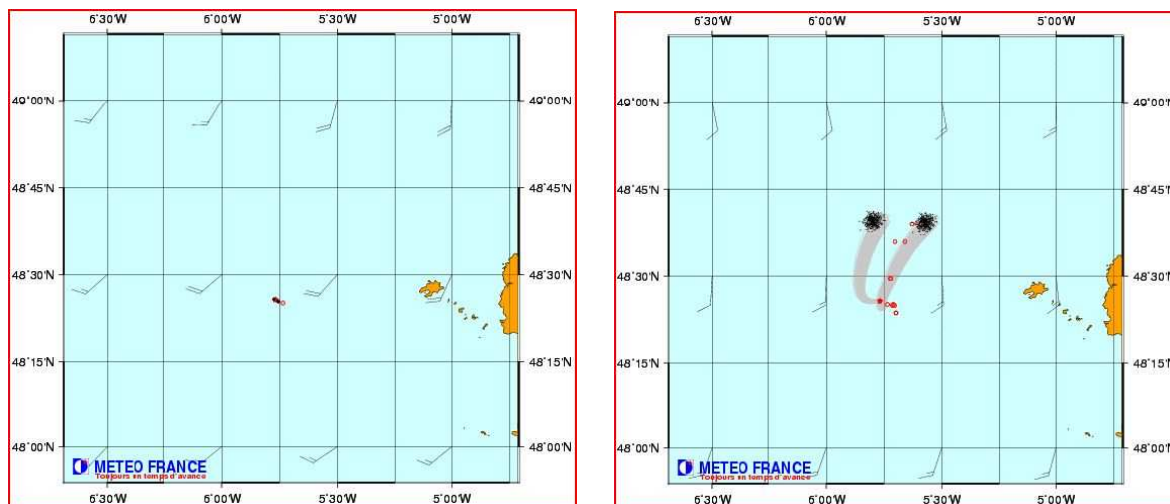


Figure 7-25 Cartes issues de MOTHY-L

Début de la simulation le 14/06/07 à 06h00 UTC

Fin, le 14/06/07 à 18h00 UTC

En rouge le trajet réel

En noir les amas simulés

## Analyse des résultats

Les simulations MOTHY-L sont lancées avec les objets de type bateau, les plus gros dont on dispose (mais encore assez petits devant la taille réelle d'un cargo). Les simulations MOTHY ont été lancées avec des conteneurs de douze mètres de haut et des taux d'immersion entre 50% et 90%)

L'histogramme 7-26 montre que, comme dans le cas précédent, les objets de type sport-boat ou sport-fischer simulent la trajectoire du cargo avec une grande *justesse*. Les bateaux de pêche (fishing vessel) ou le remorqueur (coastal-freighter), qu'on aurait pu *a priori* penser proches du cargo, donnent au contraire des résultats plus médiocres. La position réelle est proche d'un des nuages de points simulés par MOTHY-L et éloignée de l'autre. Cela plaide pour l'existence d'une force de portance assez importante. Les résultats des conteneurs MOTHY sont moins *justes* que ceux de MOTHY-L, d'une part à cause d'une vitesse de dérive trop faible, d'autre part parce que la présence d'une force de portance n'y est pas prise en compte.

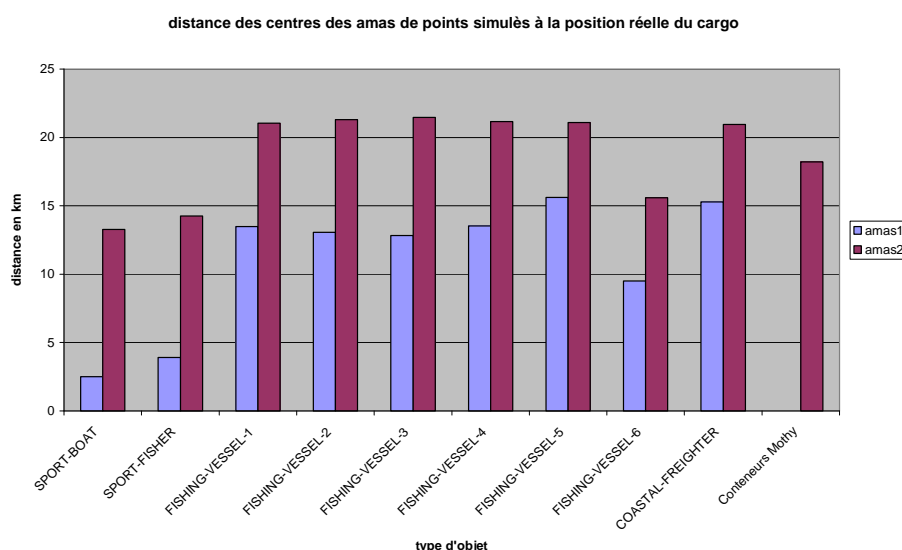


Figure 7-26

L'histogramme des écarts-types montre que les objets de type sport-boat ou sport-fischer ont également une grande *fidélité*. Les autres objets MOTHY-L ont une *fidélité* bonne à moyenne. Les conteneurs MOTHY ont une fidélité assez bonne.

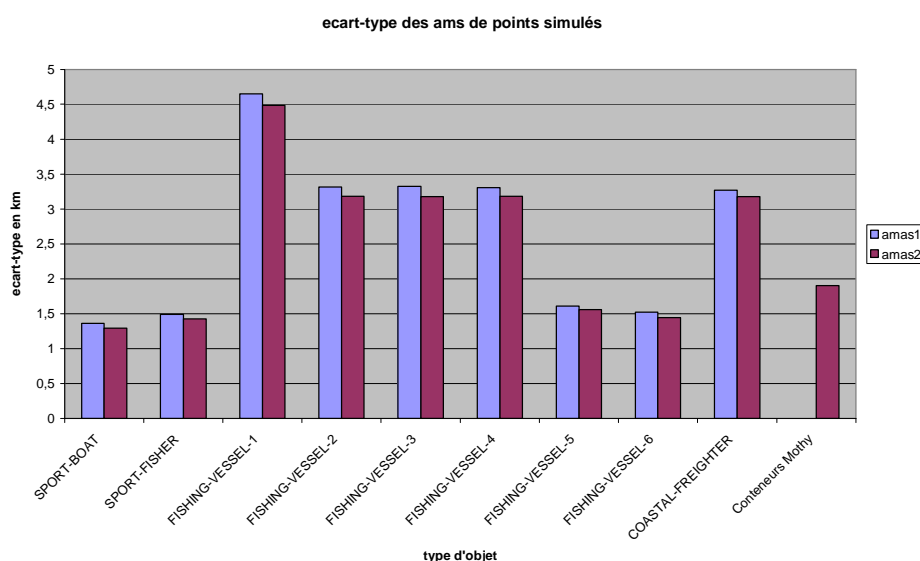
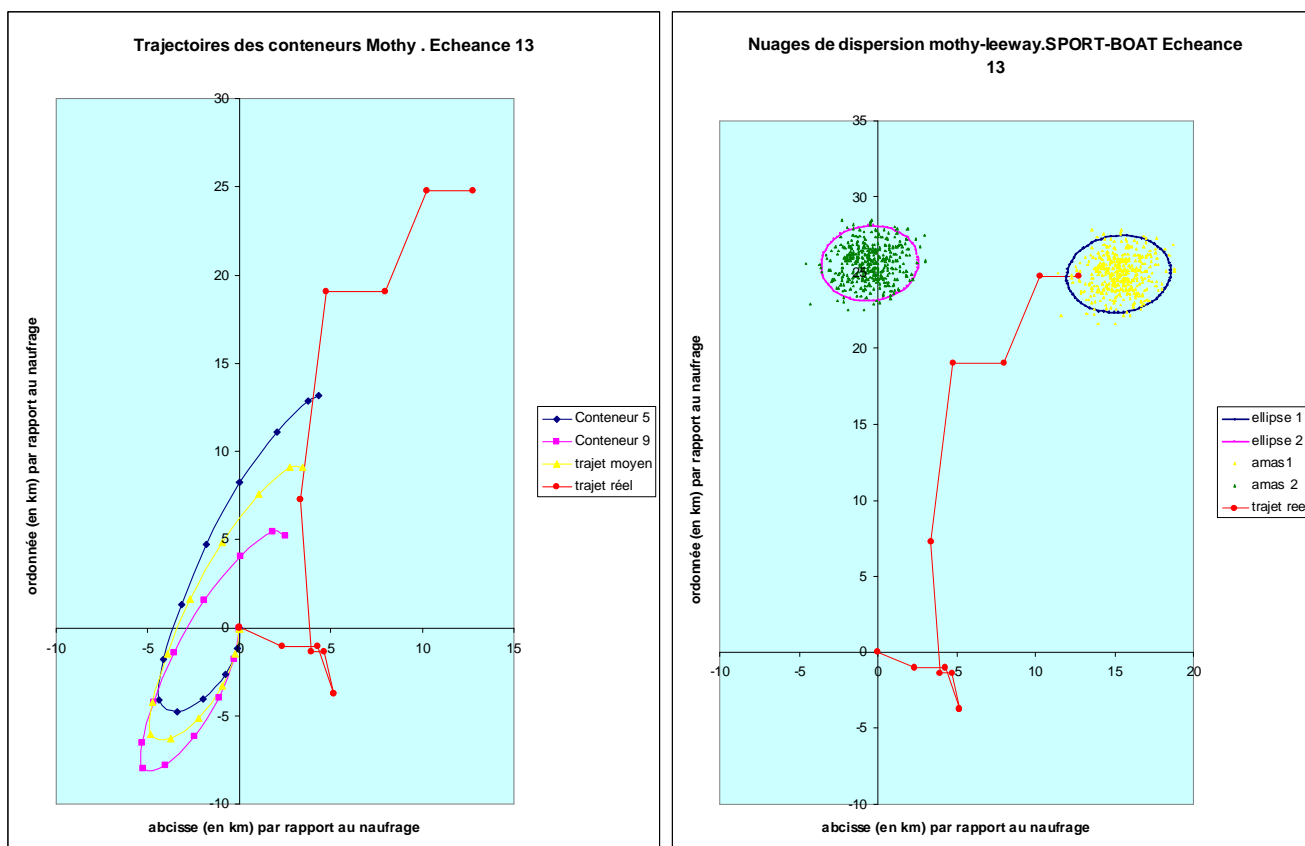


Figure 7-27

Sur les cartes de trajectoires, on peut noter que si les simulations sont plutôt bonnes dans l'ensemble, les trajets réels et simulés divergent néanmoins sur les premières heures de la simulation.



**Figure 7-28**

*Cartes des positions simulées par MOTHY-L pour l'objet « Sport Boat » et carte des trajectoires des conteneurs MOTHY*

### Synthèse

En résumé, cette situation et la précédente, décrivant des dérives de cargo, donnent des résultats assez bons, que ce soit avec MOTHY ou MOTHY-L. Les résultats sont même excellents –tant en *justesse* qu'en *fidélité* – si l'on considère les simulations avec les types d'objets « sport-boat » ou « sport-fischer ». Pour simuler de gros cargos, le choix de ces types d'objets apparaît le plus judicieux (encore qu'on ne dispose que de deux exemples, ce qui ne permet pas de généraliser). Le fait que ces objets MOTHY-L soient soumis à une force de portance générant une dérive latérale (CWL) semble ici améliorer la simulation et constituer un progrès par rapport aux conteneurs MOTHY.

## 7.2.4. Etude de la dérive d'un homme à la mer

### Présentation de l'objet dérivant

Il s'agit d'un tragique accident qui est survenu sur un navire de l'IFREMER au mois de mai 2007, au cours duquel un homme est tombé à la mer. L'homme n'a pas été retrouvé et est toujours porté disparu. Cependant l'accident est survenu au cours d'une campagne de mesures à l'aide de bouées instrumentées. Ces bouées ont été larguées peu avant et peu après la disparition, en des endroits proches, et ont des caractéristiques hydrodynamiques sensées être proches de celles de l'homme à la mer. En effet ces bouées sont principalement mues par le courant de l'eau dans le premier mètre sous la surface. Ces bouées renvoient leur localisation, et on dispose donc de leur trajectoire sur une période de plus d'une semaine. Faute d'avoir la trajectoire de l'homme à la mer, on a celles de bouées se comportant – en principe - de façon assez similaire. D'après l'expérience acquise sur des cas d'homme à la mer, nous savons que le taux d'immersion est important, environ 90%. Nous avons donc restreint nos simulations MOTHY aux conteneurs 80 et 90%.

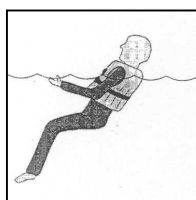


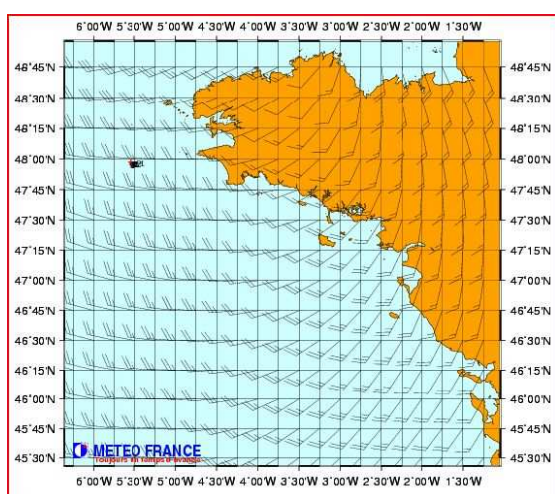
Figure 7-29

Exemple de position d'un homme à la mer suivant la classification MOTHY-L

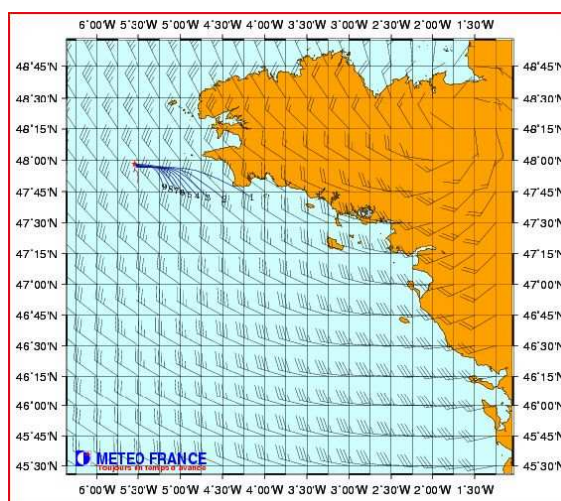
Allen & al.[1]

### Conditions météorologiques

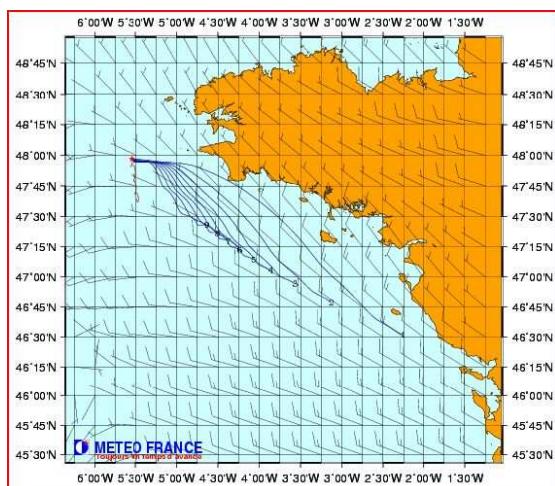
L'accident a eu lieu à une vingtaine de miles au large de la pointe du raz, dans des circonstances très perturbées : passage d'une tempête avec vents forts et des changements importants de direction sur la période. Le vent et les vagues auront une grande influence sur la trajectoire, mais il y a aussi une influence non négligeable des courants de marée. Dans une telle situation, une petite erreur dans la modélisation des vents par le modèle atmosphérique ou dans l'interpolation faite par MOTHY peut aboutir à une forte erreur sur la trajectoire. De plus, la durée particulièrement grande de la simulation (200 heures) accroît fortement l'erreur sur la trajectoire.



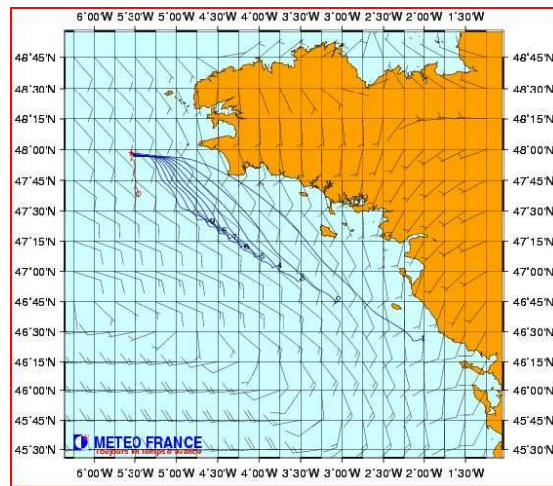
27/05/2007 à 06h00 UTC



27/05/2007 à 18h00 UTC



29/05/2007 à 00h00 UTC



29/05/2007 à 12h00 UTC

**Figure 7-30 Cartes issues de MOthy**

*Début de la simulation le 27/05/2007 à 04h00 UTC*

*En rouge le trajet réel*

*En bleu les trajectoires des conteneurs MOthy*

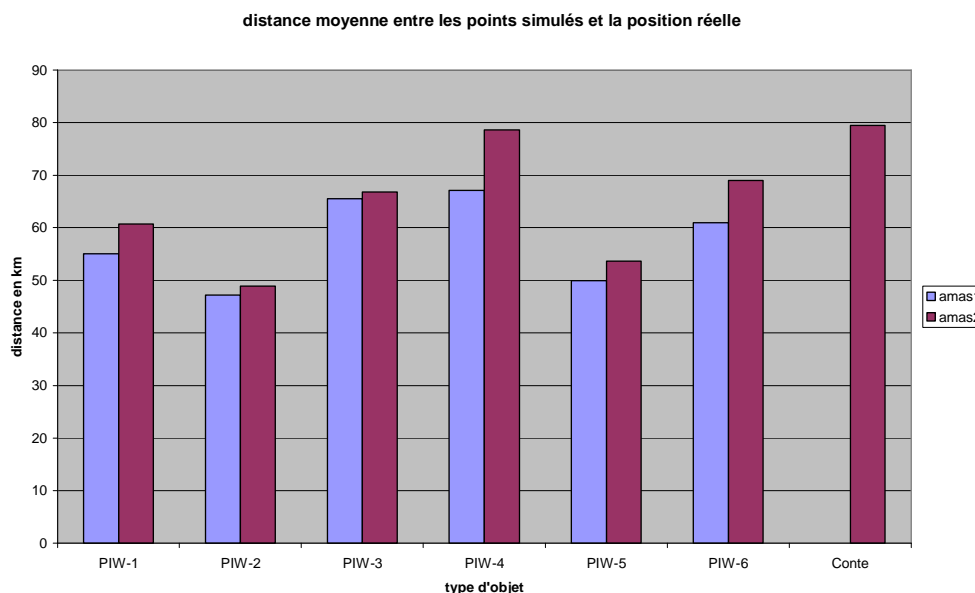
### Analyse des résultats

Finalement, nous avons restreint nos simulations à une soixantaine d'heures, d'une part pour avoir une taille de fichier compatible avec notre logiciel statistique, d'autre part parce qu'on a constaté que la simulation divergeait déjà notablement de la réalité au bout de quelques jours.

Par contre, nous avons lancé deux simulations, débutant à un jour d'intervalle, aux moments où ont été larguées les bouées.

Le tableau suivant récapitule les objets MOthy-L décrivant les hommes à la mer :

|       |                       |            |                     |
|-------|-----------------------|------------|---------------------|
| PIW-1 | Person-in-water (PIW) | unknown    | state (mean values) |
| PIW-2 |                       | vertical   |                     |
| PIW-3 |                       | sitting    |                     |
| PIW-4 |                       | horizontal | survival suit       |
| PIW-5 |                       |            | scuba suit          |
| PIW-6 |                       |            | Deceased            |



**Figure 7-31**

Les figures, 7-31, 7-33, 7-34 et 7-35 montrent que tous les objets MOTHY-L, ainsi que les conteneurs MOTHY, donnent tous des simulations très éloignées de la réalité : pour les meilleurs d'entre eux, on a des écarts à la position réelle d'au minimum 40 km sur 60 heures de simulation. Plutôt que de comparer la *justesse* de simulations de toutes façons très imprécises, nous nous sommes interrogés sur les raisons de cette imprécision.

Premièrement, il y a une situation météorologique très perturbée, où la moindre erreur dans le forçage atmosphérique ou dans l'interpolation des données peut amener de grands écarts de trajectoires. De plus, la mer est très agitée, or l'effet de vagues fortes sur le mouvement d'un objet flottant est difficile à appréhender. Comme souvent en météorologie, ce sont hélas les événements violents qui sont les plus difficile à modéliser alors que ce sont les plus intéressants (puisque c'est pendant les tempêtes qu'il y a le plus de naufrages).

Deuxièmement le problème réside dans les caractéristiques hydrodynamiques des objets. Un homme à la mer se comporte probablement comme un conteneur immergé à 100%. Une nouvelle version de MOTHY intègre la possibilité de simuler des conteneurs totalement immergés, mais nous avons manqué de temps pour la tester. Enfin, la principale cause d'erreur est le fait que la trajectoire « réelle » dont nous disposons n'est pas vraiment celle d'un homme à la mer, mais celle d'une bouée. Or tout montre que cette bouée a un mouvement beaucoup plus lent que les objets de type « homme à la mer ». A défaut d'être un succès, cette simulation nous apprend néanmoins qu'une bouée, de forme lisse et régulière, n'a pas, comme on le croyait, des caractéristiques hydrodynamiques d'homme à la mer : elle dérive beaucoup moins loin.

écart-type des nuages de points simulés

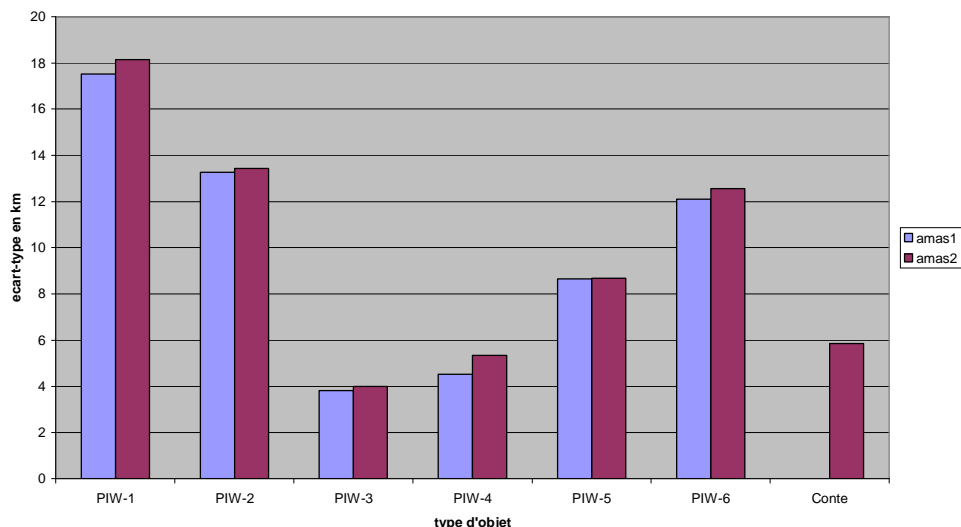


Figure 7-32

L'histogramme 7-32 nous montre que les objets de type homme à la mer ont une dispersion assez importante. En effet, un corps humain a une forme très irrégulière, et ses caractéristiques hydrodynamiques sont entachées d'une grande incertitude, surtout si, comme souvent, on ignore dans quelle position il se trouve (PIW-1). L'analyse de l'évolution temporelle de la dispersion nous montre un effet intéressant : les surfaces des amas de positions croissent d'abord, puis se mettent à décroître. Ceci se produit au moment où le vent tourne franchement, et réagrège ainsi les points précédemment dispersés.

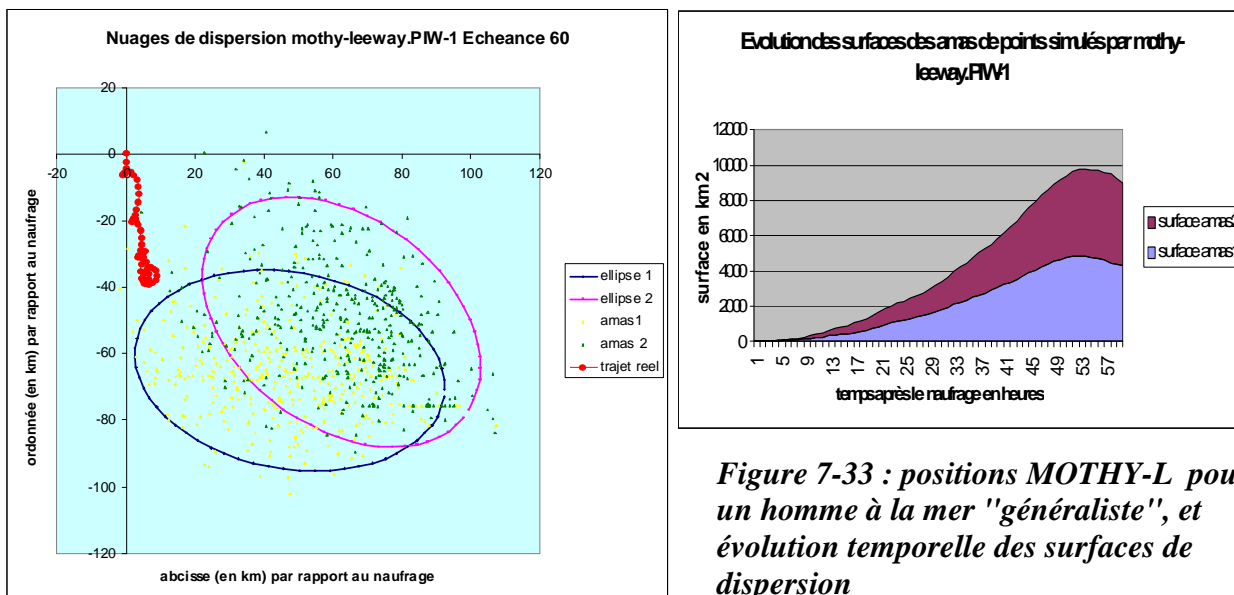


Figure 7-33 : positions MOTHY-L pour un homme à la mer "généraliste", et évolution temporelle des surfaces de dispersion

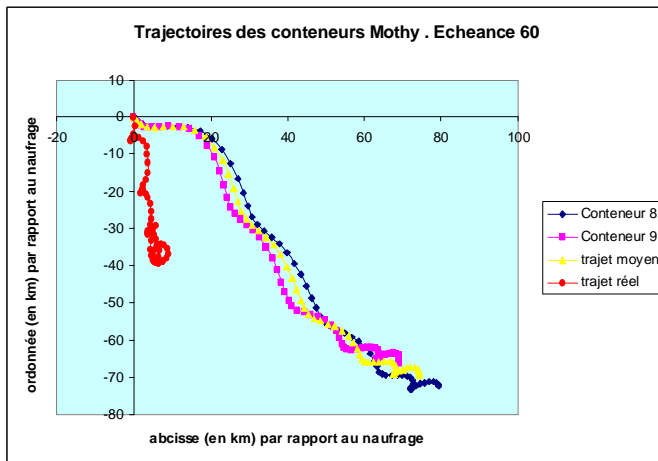


Figure 7-35: trajectoires MOTHY (conteneurs immergés à 80 et 90%)

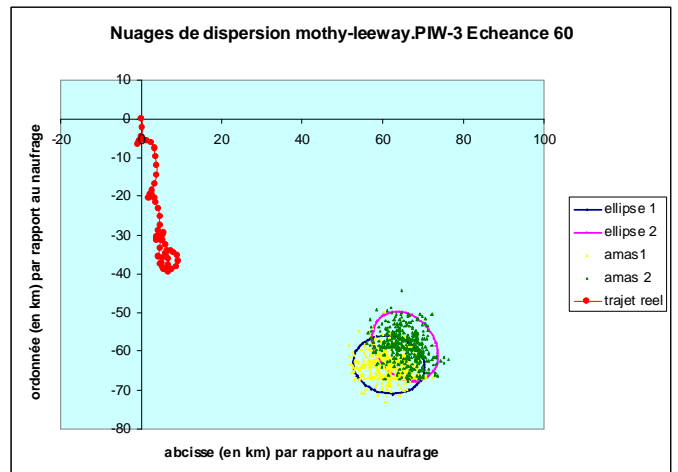


Figure 7-34 : positions MOTHY-L pour un homme à la mer en position assise

Situation débutant le 28/05/2007

Les conclusions que l'on peut tirer de cette situation sont très semblables à celles de la précédente. La *justesse* des simulations est cependant un peu meilleure car l'intensité des vents a décré par rapport à la veille. Malgré cela les simulations restent toutes peu *justes*, (voir figure 7-36) et il ne nous semble pas légitime d'en privilégier une, étant donnée l'imprécision généralisée.

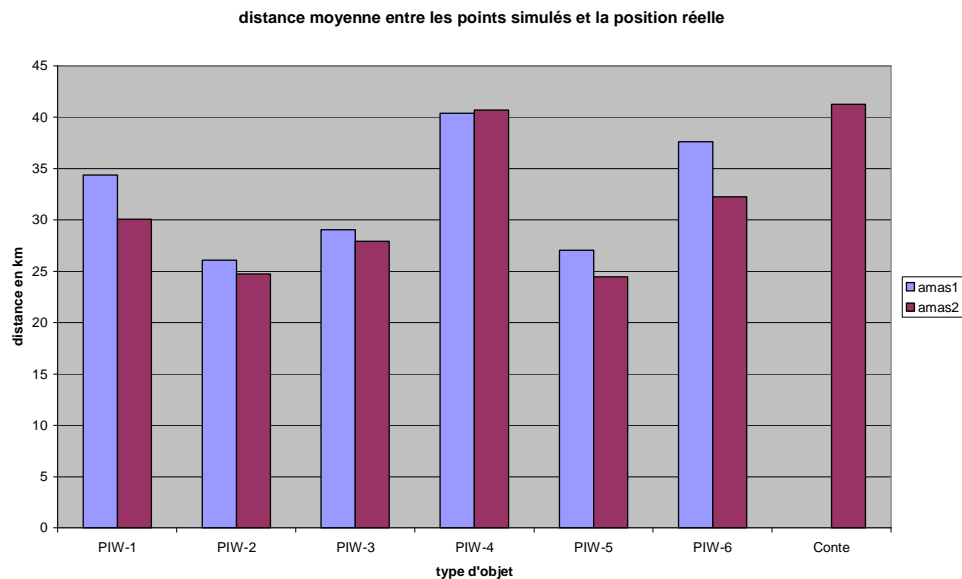


Figure 7-36

Les considérations précédentes sur la dispersion restent valables pour cette simulation. Là encore, on observe une rupture dans la dispersion au moment où le vent tourne (figure 7-38), et on voit bien sur les cartes (7-38 et 7-39) que les agrégats de points, préalablement dispersés sont regroupés par un vent qui a complètement changé de direction.

écart-type des nuages de points simulés

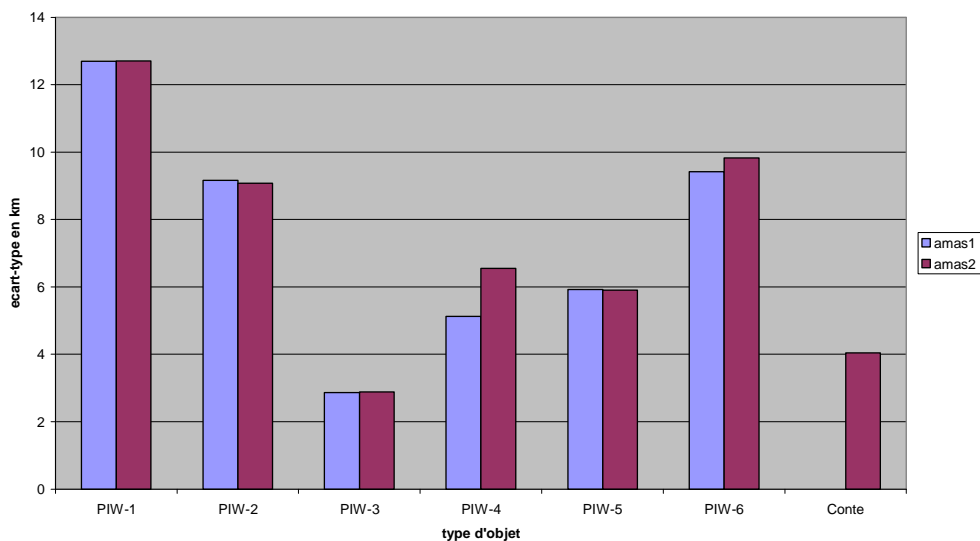


Figure 7-37

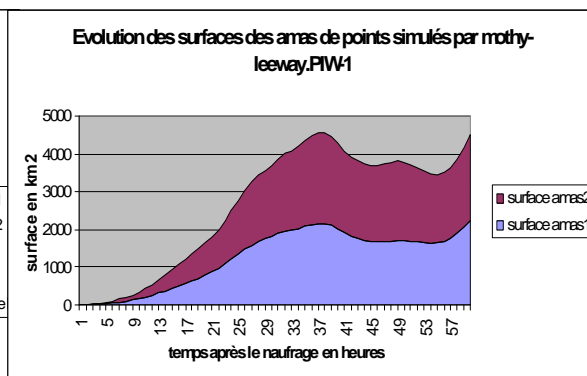
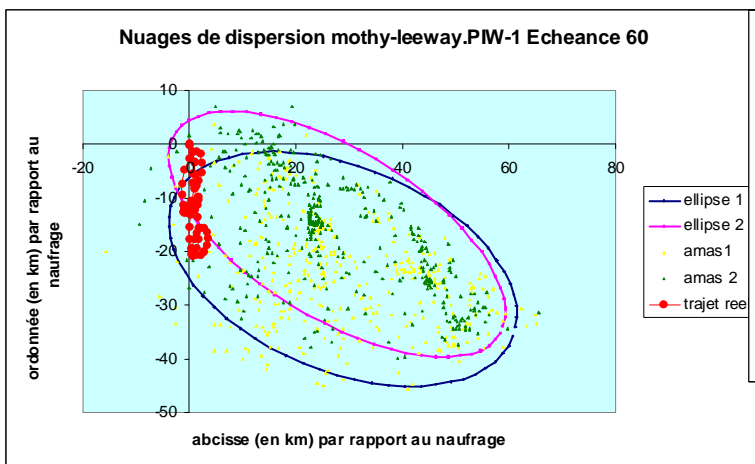


Figure 7-38 : positions MOTHY-L pour un homme à la mer "généraliste", et évolution temporelle des surfaces de dispersion

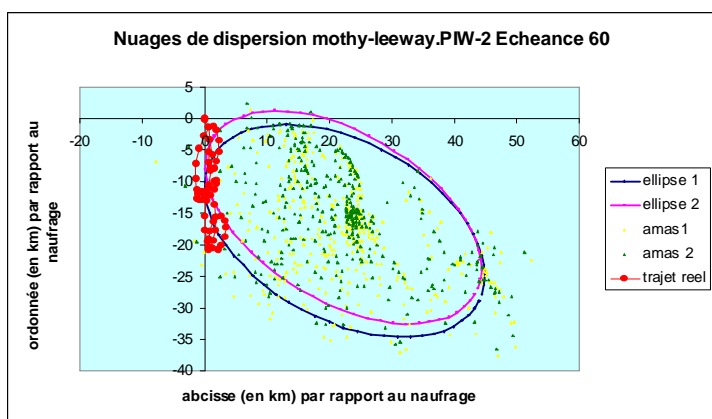


Figure 7-39 : positions MOTHY-L pour un homme à la mer en position assise

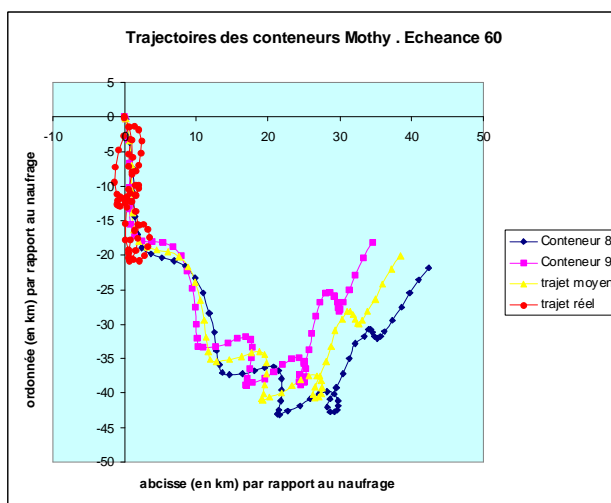


Figure 7-40 : trajectoires MOTHY (conteneurs immergés à 80 et 90%)

## 8. Synthèse

| expérience       | Comportement MOTHY  | Comportement MOTHY-L  | comparaison                                   |
|------------------|---------------------|---|---|
| Radeau           | <i>Assez précis</i> | <i>Assez précis</i><br>(selon choix objet)                        | Pas de modèle privilégié                      |
| Cargo vraquier   | <i>Assez précis</i> | Selon choix objet,<br><i>assez précis</i> à très<br><i>précis</i> | Si objet bien choisi,<br>MOTHY-L est meilleur |
| Porte-conteneurs | <i>Assez précis</i> | Selon choix objet,<br><i>assez précis</i> à très<br><i>précis</i> | Si objet bien choisi,<br>MOTHY-L est meilleur |
| Homme à la mer   | <i>imprécis</i>     | <i>imprécis</i>   | Pas de modèle privilégié                      |

## 9. Conclusion

Les statistiques effectuées sur les sorties des modèles montrent que le modèle est toujours cohérent et que les trajectoires sont bien l'expression des caractéristiques hydrodynamiques des objets flottants (vitesses longitudinales et latérales de dérive en fonction de la vitesse du vent).

L'introduction d'une force de portance générant une dérive latérale, qui est spécifique à MOTHY-L, correspond donc bien à une réalité mais elle paraît difficile à quantifier précisément. En effet, les comparaisons effectuées entre MOTHY et MOTHY-L, portent dans notre étude sur seulement quatre cas et ne sont donc pas assez nombreuses pour privilégier clairement un modèle par rapport à l'autre.

Le système que nous avons développé pourra permettre de poursuivre ultérieurement ces comparaisons.

## 10. Pistes pour l'optimisation

### 10.1. Collaboration avec les CROSS

Au vu des expériences qui précèdent, il nous semble que l'amélioration des modèles de recherche en mer doit passer par une meilleure prise en compte des propriétés hydrodynamiques des objets dont on simule les trajectoires.

Si les caractéristiques des objets sont à la base mal paramétrées, ces erreurs se répercuteront sur les trajectoires simulées. Dans le cas des objets MOTHY-L, ces paramètres ont été fixés empiriquement, et donc leur optimisation nécessiterait de nouvelles expériences, coûteuses et difficiles à mener. Pour éviter ce coût, une collaboration accrue avec les CROSS permettrait d'avoir des retours d'expérience sur les cas réels.

## **10.2. Vérification des objets douteux**

La plupart des caractéristiques hydrodynamiques des objets nous paraissent en adéquation avec la nature de ceux-ci. Cependant, dans quelques cas, la comparaison entre les objets nous a fait suspecter quelques incohérences dans leurs caractéristiques et il faudrait peut-être redéfinir quelques-unes d'entre elles.

## **10.3. Définition de nouveaux objets**

Un autre problème rencontré est la nature des objets proposés dans la *leeway taxonomy* pour MOTHY-L, ou encore, pour MOTHY, le fait qu'on ne puisse simuler que des conteneurs. Or de nombreux objets dérivant sont de nature différente. Il s'avère qu'on peut parfois effectuer des rapprochements (par exemple sur deux des expériences menées ici, un gros cargo semble avoir des caractéristiques proches d'un « sport-boat » dans MOTHY-L, ou, dans MOTHY, celles d'un conteneur ayant la même hauteur et le même taux d'immersion que le navire).

Il est souvent difficile de choisir *a priori* un objet dérivant dont les caractéristiques seront celles de l'objet réel. De nouveaux types d'objets devraient donc être définis, avec toujours ce bémol que cela nécessite des expérimentations coûteuses.

## **10.4. Etude de l'impact des forçages**

Il ne nous appartient pas de critiquer ici la justesse d'ALADIN ou de MERCATOR. Ceci est du ressort des équipes de modélisation atmosphériques ou océanologiques et nous devons faire avec les données qu'ils nous fournissent. Cependant l'interpolation spatiale et temporelle de ces données de vent faite en entrée de MOTHY peut être une source d'erreur qu'il convient d'évaluer.

## **10.5. Etude des zones de recherches opérationnelles**

Il faut bien voir que la modélisation de la dérive n'est qu'une partie du travail de recherche et sauvetage. En aval, l'organisation concrète des recherches à partir des positions supposées constitue un travail complexe et important. La constitution de zones de recherche dépend certes des positions possibles de l'objet recherché, mais également d'autres facteurs, tels la visibilité de l'objet (donc de l'objet lui-même, de la transparence de l'air, de l'état de la mer) et de la disponibilité des moyens de recherche (avions, hélicoptères, vedettes...). D'après la littérature sur le sujet, de nombreuses méthodes différentes de constitution de zones de recherches à partir des positions simulées existent. Partant des nuages de points MOTHY-L, les ellipses de concentration que nous avons tracées peuvent constituer une zone de recherche prioritaire, mais de nombreuses autres approches existent : cercles, rectangles ou secteurs angulaires englobant les positions simulées. Les zones ainsi définies sont parfois très larges, aussi faut-il s'interroger sur la précision de la simulation requise pour la recherche.

## Références

### Documentation papier

- [1] ALLEN, Arthur A. et PLOURDE, Jeffery V.  
*Review of leeway : Field experiments and implementation.*  
Rapport Technique CG-D-08-99, US Coast Guard Research and Development Center, Groton, CT, USA, Avril 1999
- [2] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION  
*IMO Search and Rescue Manual*  
Consolidated Edition, 1993
- [3] DANIEL, P.  
*MOTHY : documentation technique*  
Météo-France, DPREVI/MAR.
- [4] BELLEGUIC, K.  
*Modélisation de dérive d'objets en mer*  
Rapport de stage n°990, réalisé à Météo-France, DPREVI/MAR, 2005

### Documentation électronique

- [5] IFREMER  
*Institut Français pour l'Exploitation de la Mer*  
<http://www.ifremer.fr>
- [6] METEOROLOGISK INSTITUTT  
*met.no.*  
<http://www.met.no>
- [7] PREVI / MAR  
*Intramet*  
<http://glenan.meteo.fr>
- [8] UNIVERSITE DE NANTES  
*Cours de statistique : la loi normale à deux dimensions, CORTIAL, Y.*  
<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/cortial/optim.annexe2.html>
- [9] UNIVERSITE PARIS 13  
*Cours de statistique : Ellipses de concentration, définitions et formules, DURAND, J.*  
<http://comportement.univ-paris13.fr:8080/comp/support/ml-ethologie/statistiques/ellipse-de-concentration.pdf>
- [10] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION  
*Adoption of amendments to the international aeronautical and maritime search and rescue manual*  
[http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data\\_id%3D2561/999.pdf](http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D2561/999.pdf)
- [11] ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE  
*cours : incertitudes de mesure en instrumentation (modèle de la cible)*  
<http://Imis3.epfl.ch/students/Incertitudes.pdf>



# ANNEXES



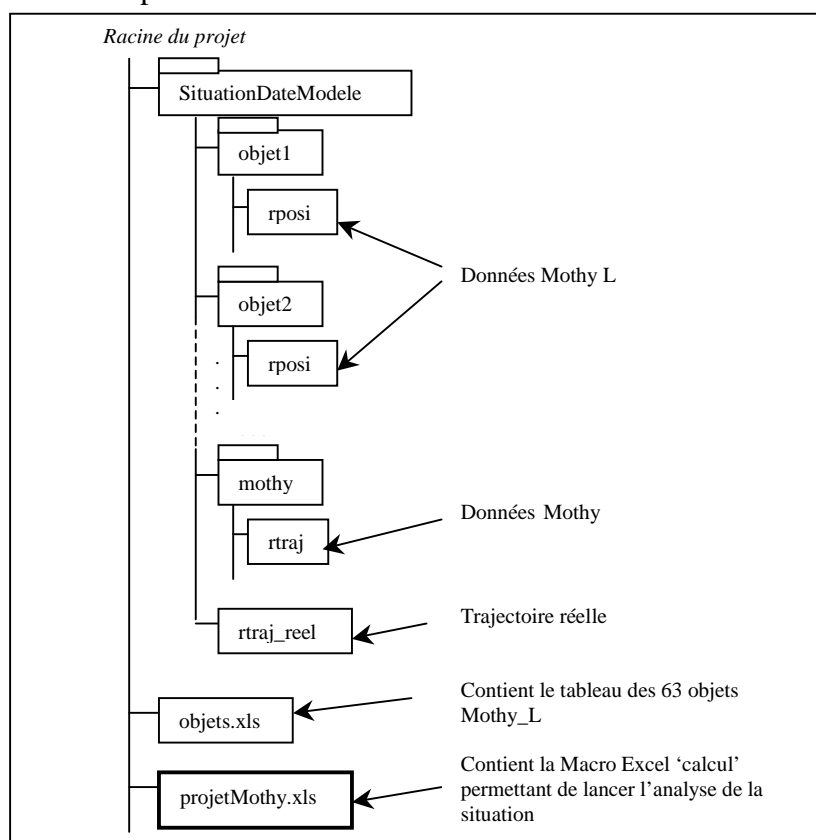
## Annexe I - Manuel utilisateur

### Collecte des données dans l'environnement Unix

- Le script Shell 'extraction.sh' figurant en annexe III permet dans un premier temps de créer les répertoires correspondant aux différents objets Mothy\_L, de lancer l'exécution de Mothy\_L sur ces objets et enfin de copier les données souhaitées (fichiers rposi) dans les répertoires créés.
- Le fichier rtraj renseignant sur le trajet des 9 conteneurs Mothy, généré lors de l'exécution de Mothy doit également être copié.
- Le fichier rtraj\_reel renseignant sur le trajet réel est un fichier créé par l'utilisateur.

### Organisation des données dans l'environnement Windows

Afin que le programme fonctionne correctement, les données doivent être organisées de la façon suivante dans le répertoire courant :



### Utilisation du programme

- Ouvrir le fichier projetMothy.xls.
- S'assurer que le projet ne contient aucune feuille.
- Lancer la Macro Excel 'calcul' et suivre les indications.

#### Attention :

- Afin de ne pas saturer la mémoire, le nombre d'objets Mothy\_L à analyser à la fois ne doit pas excéder 8.
- La limite du nombre de lignes des feuilles Excel impose un nombre maximum d'échéances de 60.

## Annexe II - Manuel d'exploitation

### Formats des fichiers utilisés

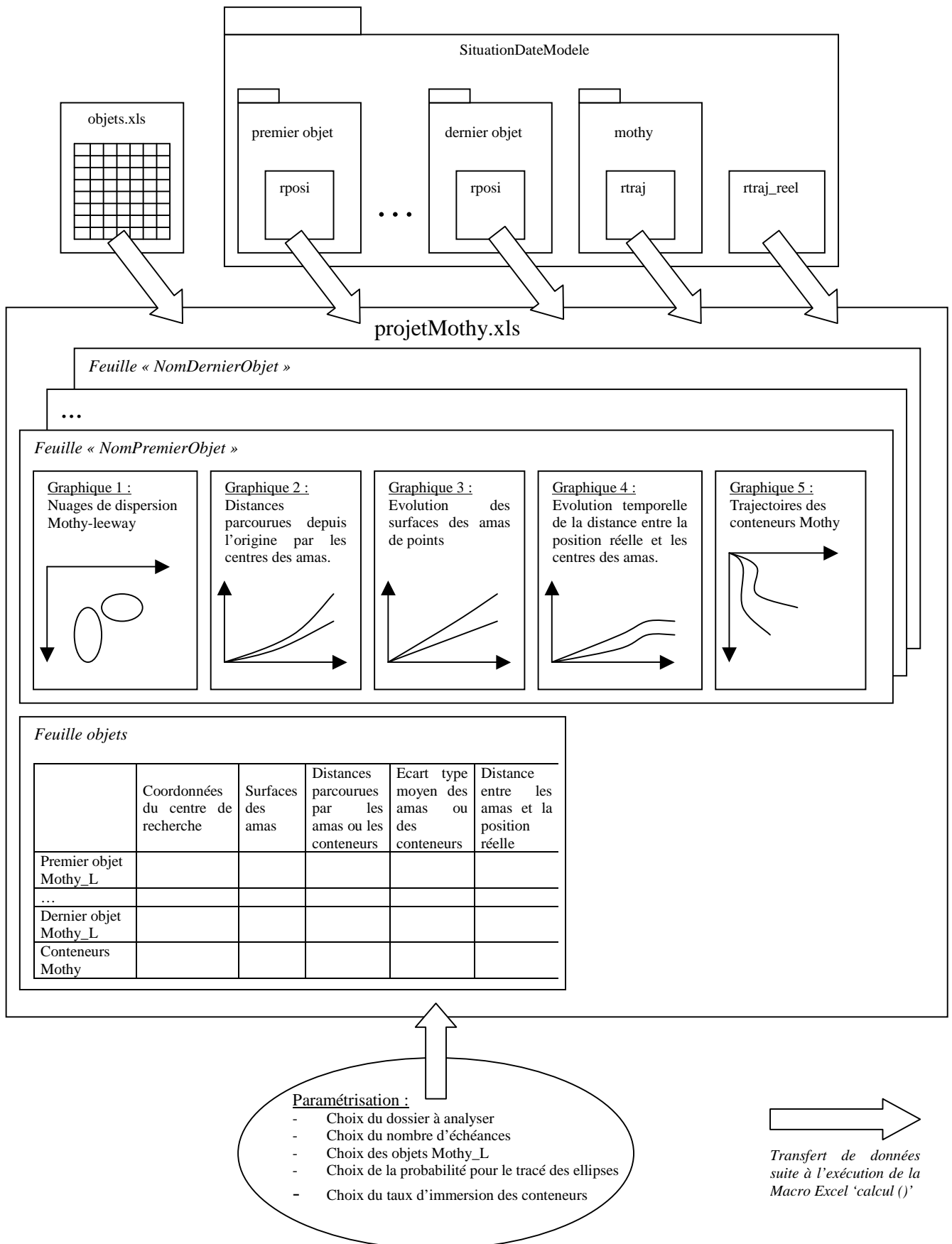
Fichier rposi(.txt) :

|      | Echéance  | Année | Mois      | Jour | Heure    |  |                 |
|------|-----------|-------|-----------|------|----------|--|-----------------|
| c000 | 0         | 2007  | 05        | 27   | 04       | } Entête<br>(date + position initiale)                             |                 |
| c000 | -5.551100 |       | 47.970402 |      | 0.000000 |  | 0.000000        |
| c010 | 800       | 2007  | 05        | 27   | 04       | } 800 runs<br>} 400 runs pour l'amas 1<br>} 400 runs pour l'amas 2 |                 |
| c010 | -5.551101 |       | 47.969532 |      | 1        |  |                 |
| c010 | -5.551050 |       | 47.969032 |      | 2        |  | ← Numéro de run |
| .    |           |       |           |      |          |  | ← Latitude      |
| .    |           |       |           |      |          |  | ← Longitude     |
| .    |           |       |           |      |          |  |                 |
| .    |           |       |           |      |          |  |                 |
| c010 | -5.550701 |       | 47.969501 |      | 800      |  |                 |
| c011 | 800       | 2007  | 05        | 27   | 05       |  |                 |
| c011 | -5.550288 |       | 47.959454 |      | 1        |  |                 |
| c011 | -5.550467 |       | 47.953045 |      | 2        |  |                 |
| .    |           |       |           |      |          |  |                 |
| .    |           |       |           |      |          |  |                 |
| .    |           |       |           |      |          |  |                 |
| c011 | -5.545169 |       | 47.958855 |      | 800      |  |                 |
| c012 | 800       | 2007  | 05        | 27   | 06       |  |                 |
| c012 | -5.547736 |       | 47.952171 |      | 1        |  |                 |
| ...  |           |       |           |      |          |  |                 |

Fichier rtraj(.txt) :  
(rtraj\_reel(.txt) ne contient qu'un seul trajet)

|     |           |  |           |  |  |   |
|-----|-----------|--|-----------|--|--|---|
| >   | >         |  |           |  |  |   |
| 000 | -5.551100 |  | 47.970402 |  |  | } 1 <sup>er</sup> trajet  |
| 010 | -5.545637 |  | 47.970551 |  |  |   |
| 011 | -5.478105 |  | 47.969318 |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  | ← latitude  |
| .   |           |  |           |  |  | ← longitude   |
| .   |           |  |           |  |  | ← échéance  |
| 071 | -1.928714 |  | 46.503418 |  |  |   |
| 072 | -1.914434 |  | 46.515694 |  |  |   |
| >   | >         |  |           |  |  | } 2 <sup>ème</sup> trajet   |
| 000 | -5.551100 |  | 47.970402 |  |  |   |
| 010 | -5.547335 |  | 47.970196 |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  |   |
| 071 | -3.094077 |  | 46.809292 |  |  |   |
| 072 | -3.100672 |  | 46.817627 |  |  |   |
| >   | >         |  |           |  |  | } Dernier trajet<br>(0 <sup>ème</sup> dans le cas des conteneurs Mothy) |
| 000 | -5.551100 |  | 47.970402 |  |  |   |
| 010 | -5.548191 |  | 47.970016 |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  |   |
| 071 | -4.409347 |  | 47.324829 |  |  |   |
| 072 | -4.410812 |  | 47.329571 |  |  |   |
| >   | >         |  |           |  |  |   |
| 000 | -5.551100 |  | 47.970402 |  |  |   |
| 010 | -5.550492 |  | 47.969532 |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  |   |
| .   |           |  |           |  |  |   |
| 071 | -4.562254 |  | 47.376499 |  |  |   |
| 072 | -4.562698 |  | 47.375561 |  |  |   |

## Comportement du système



## Description du programme

Le fichier projetMothy.xls contient la Macro Excel 'calcul' (figurant en annexe III) écrite en Visual Basic. Cette Macro est composée des procédures et fonctions suivantes :

- **calcul()**

Procédure principale permettant d'analyser une situation donnée. Elle contient un premier traitement statistique sur les objets Mothy\_L et un second sur les conteneurs Mothy.

- **FeuilleExiste(NomFeuille) :**

Fonction retournant un booléen pour indiquer si la feuille « NomFeuille » existe.

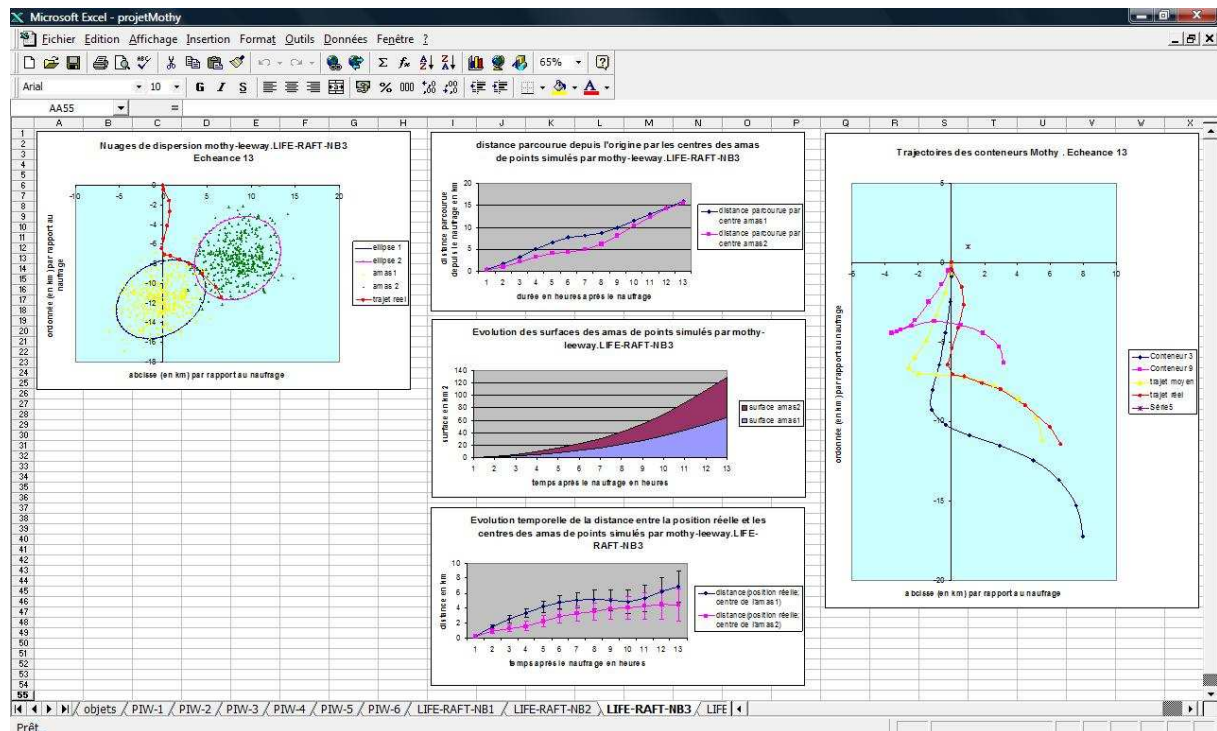
- **Ortho() :**

Procédure permettant de transformer un repère quelconque en un repère orthonormé.

- **Positionne\_graphiques() :**

Procédure positionnant les graphiques générés sur la feuille Excel.

## Capture d'écran



## Annexe III - Codes sources

### Script Shell 'extraction.sh'

```
# Script permettant de creer les repertoires correspondant aux differents objets
# de lancer MOTHY-L, de copier les fichiers (datapollu, ps012.gif,
# ps018.gif, ps022.gif, rposi et rtraj)et enfin de zoomer sur une zone.
#
# Attention : Verifier la présence du fichier datapollu_temp et éventuellement
# celle du fichier extrema_temp si l'on souhaite faire un zoom

# Exemple de lancement de simulation sur les objets de 41 à 49
numero_objet="41 42 43 44 45 46 47 48 49"

echo ''
echo '*****'
echo ' Lancement du modèle MOTHY_L sur plusieurs objets '
echo '*****'

for i in $numero_objet
do
#Creation du dossier correspondant à l'objet
mkdir $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i
echo 'creation de $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/objet'$i

# Mise à jour du fichier datapollu correspondant au numero de l'objet
# Ce fichier contient le contenu du fichier datapollu_temp incrémenté
# du numéro de l'objet souhaité
cat datapollu_temp>datapollu
echo $i>>datapollu

#Lancement de la simulation
echo 'lancement leeway pour objet'$i
../bin/MOTHY_Leeway

#changement du fichier extrema pour avoir un zoom plus fort
# cat extrema_temp>extrema

#lancement de l'application graphique
../bin/GRAPHIQUE_Leeway

#copie des resultats dans les repertoires correspondants
cp ps012.gif $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i/ps012.gif
cp ps018.gif $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i/ps018.gif
cp ps024.gif $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i/ps024.gif
cp rtraj $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i/rtraj
cp rposi $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i/rposi
cp datapollu $HOME/Documents/resultats/dernierbato/MOTHY_L/CEP/'objet'$i/datapollu

done
# Retour
exit 0
```

## Macro Excel 'calcul'

```
Sub calcul()  
'  
'  
' La Macro calcul permet :  
' - de générer des feuilles graphique pour chaque objet, contenant :  
'   > les ellipses de dispersion pour une probabilité et une échéance donnée.  
'   > le graphique de l'évolution temporelle de la distance entre la position  
'     réelle et le centre des amas.  
'   > le graphique de l'évolution des surfaces des amas des points  
'   > le graphique de la distance parcourue depuis l'origine par les centres  
'     des amas  
'   > les trajectoires des conteneurs Mothy à une échéance donnée.  
' - de générer un tableau de synthèse des résultats  
'  
' *****  
' * Avant de lancer la Macro, il faut :  
' * - Placer le dossier (ex : radeau_arp_100706) dans le répertoire courant  
' *   (C:\Users\Invité\Documents\mothy\ )  
' * Ce dossier doit contenir : Les dossiers objet+'n°' contenant un fichier rposi  
' *                               Le dossier mothy contenant un fichier rtraj  
' *                               Le fichier rtraj_reel  
' * - Vérifier que le fichier objets.xls est bien présent dans le repertoire courant  
' *  
' * - Le chemin du répertoire courant peut être changé dans la constante 'chemin'  
' *****  
' !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!  
' !                               ATTENTION !  
' ! > Le nombre d'objets à analyser ne doit pas excéder 8 afin de ne pas saturer la mémoire  
' ! > Le nombre d'échéances maximum est limité à 60  
' !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!  
  
' *****  
'                               Déclaration des constantes                               *  
' *****  
Const chemin As String = "C:\Users\Invité\Documents\mothy\  
Const Pi As Single = 3.14159265358979  
  
' *****  
'                               Déclaration des variables                               *  
' *****  
' Variables de paramétrisation du programme  
Dim Dossier_donnees, Nb_Echeance, Proba  
Dim Nb_Echeance_mothy  
Dim taux_immer_bas, taux_immer_haut  
  
' Longitudes et latitudes initiales  
Dim long_init, lat_init  
  
' Variables de rang des tableaux  
Dim i, j  
  
' Coefficients de conversion des latitudes et longitudes  
Dim coeff_long, coeff_lat  
  
' Variables donnant la taille des tableaux  
Dim taille_tab1, taille_tab2  
  
' Variables utilisées pour divers calculs statistiques  
Dim moyenneX, moyenneY, ecart_typeX, ecart_typeY, coeff_correl  
Dim maplageX, maplageY As Range  
  
' Coefficient de dispersion  
Dim k  
  
' Coefficients des ellipses  
Dim alpha1, alpha2  
Dim sigmax1, sigmax2, sigmaks1, sigmaks2, sigmaeta1, sigmaeta2, r1, r2  
  
' Nom de l'objet Mothy-L  
Dim nom_objet
```

```

' indice de l'objet Mothy_L
Dim indice

' *****
'                               Programme Principal                               *
' *****
'
' Initialisation
'
' Les differents messages d'alerte ne sont pas affichés dans la macro
Application.DisplayAlerts = False

'Ajout de la feuille "calcul" si elle n'existe pas
If FeuilleExiste("calcul") = False Then
    Sheets.Add
    ActiveSheet.Name = "calcul"
End If

'Ajout de la feuille "calcul_mothy" si elle n'existe pas
If FeuilleExiste("calcul_mothy") = False Then
    Sheets.Add
    ActiveSheet.Name = "calcul_mothy"
End If

' Ajout de la feuille 'objets' si elle n'existe pas
If FeuilleExiste("objets") = False Then
    ChDir chemin
    Workbooks.Open FileName:=chemin + "objets.xls"
    Cells.Select
    Selection.Copy
    Windows("projetMothy.xls").Activate
    Sheets("calcul").Select
    Sheets.Add
    ActiveSheet.Name = "objets"
    Range("A1").Select
    ActiveSheet.Paste
    Windows("objets.xls").Activate
    ActiveWindow.Close
    Sheets("calcul").Select
End If

' Ouverture des boites de dialogue de parametrage
Dossier_donnees = InputBox("Entrez le nom du dossier à analyser", "Configuration
générale")
Nb_Echeance = InputBox("Entrez le nombre d'échéances", "Configuration générale")
indice_objet_debut = InputBox("Entrez le numéro du premier objet (entre 1 et 63)",
"Configuration MOTHY_L")
indice_objet_fin = InputBox("Entrez le numéro du dernier objet (entre 1 et 63)",
"Configuration MOTHY_L")
Proba = InputBox("Entrez la probabilité (0 < probabilité < 1)", "Configuration MOTHY_L")
taux_immer_bas = InputBox("Entrez le taux d'immersion minimal des conteneurs (entre 1 et
9)", "Configuration MOTHY")
taux_immer_haut = InputBox("Entrez le taux d'immersion maximal des conteneurs (entre 1 et
9)", "Configuration MOTHY")

' ***** PARTIE MOTHY_L *****

' Boucle For sur tous les objets selectionnés
For indice = indice_objet_debut To indice_objet_fin Step 1

    Sheets("calcul").Select

    'Ouverture du fichier rposi : copie des données puis collage sur la feuille active
    Workbooks.OpenText FileName:=chemin + Dossier_donnees + "\objet" + CStr(indice) +
"\rposi", _
        Origin:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:= _
        xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=True, Tab:=True, Semicolon:=False, _
        Comma:=False, Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
        Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1))
    Cells.Select
    Selection.Copy

```

```

Windows("projetMothy.xls").Activate
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
Range("A1").Select

'Fermeture du fichier rposi
Windows("rposi").Activate
ActiveWindow.Close

Range("A1").Select

' Extraction des données utiles
' Copie de la longitude et de la latitude
long_init = Range("B2")
lat_init = Range("C2")

' Insertion d'une ligne pour les titres
Rows("1:1").Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
Range("A1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Echéances"
Range("B1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Longitude"
Range("C1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Latitude"
Range("D1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Numéro Run"

' Mise en forme du tableau (effacement des lignes inutiles)

For i = 4 To Range("A1").End(xlDown).Row Step 800
    Rows(i).Select
    Selection.Delete Shift:=xlUp
Next i

Rows(2).Select
Selection.Delete Shift:=xlUp
Rows(2).Select
Selection.Delete Shift:=xlUp

'Determination des coefficients de conversion des latitudes et longitudes

coeff_long = 6378 * WorksheetFunction.ACos((Sin(lat_init / 57.295779)) * (Sin(lat_init / 57.295779)) + (Cos(lat_init / 57.295779)) * (Cos(lat_init / 57.295779)) * (Cos((0 / 57.295779) - (1 / 57.295779))))
coeff_lat = 6378 * WorksheetFunction.ACos((Sin(lat_init / 57.295779)) * (Sin((lat_init + 1) / 57.295779)) + (Cos(lat_init / 57.295779)) * (Cos((lat_init + 1) / 57.295779)) * (Cos((0 / 57.295779) - (0 / 57.295779))))

'Insertion des colonnes X et Y (en km par rapport au lieu du naufrage)

taille_tab1 = Range("A1").End(xlDown).Row

Range("E1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X(km)"
Range("E2").Select
ActiveCell.Formula = "= ( RC2 - " + Str(long_init) + " ) * " + Str(coeff_long)
Selection.AutoFill Destination:=Range("E2:E" & taille_tab1)

Range("F1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y(km)"
Range("F2").Select
ActiveCell.Formula = "= ( RC3 - " + Str(lat_init) + " ) * " + Str(coeff_lat)
Selection.AutoFill Destination:=Range("F2:F" & taille_tab1)

'Insertion du tableau : Moyenne X et Moyenne Y, Ecart Type X, Ecart Type Y, Coefficient de
correlation

' Insertion des titres du tableau
Range("G1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Moyenne X"
Range("H1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Moyenne Y"

```

```

Range("I1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type X"
Range("J1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type Y"
Range("K1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Coefficient de corrélation"

' Initialisation à 1 de j, variable de rang du tableau
j = 1
For i = 2 To taille_tab1 Step 400
    Set maplageX = Range("E" & i & ":" & "E" & (i + 400))
    Set maplageY = Range("F" & i & ":" & "F" & (i + 400))
    moyenneX = WorksheetFunction.Average(maplageX)
    moyenneY = WorksheetFunction.Average(maplageY)
    ecart_typeX = WorksheetFunction.StDev(maplageX)
    ecart_typeY = WorksheetFunction.StDev(maplageY)
    coeff_correl = WorksheetFunction.Correl(maplageX, maplageY)
    j = j + 1
    Range("G" & j).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = moyenneX
    Range("H" & j).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = moyenneY
    Range("I" & j).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ecart_typeX
    Range("J" & j).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ecart_typeY
    Range("K" & j).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = coeff_correl
Next i

' Insertion des colonnes Longitude et latitude Réelles
Range("L1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Longitude Réelle"
Range("M1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Latitude Réelle"

' Ouverture du fichier rtraj_reel : copie des données puis collage sur la feuille active
Workbooks.OpenText FileName:=chemin + Dossier_donnees + "\rtraj_reel", _
    Origin:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:= _
    xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=True, Tab:=True, Semicolon:=False, _
    Comma:=False, Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
    Array(2, 1), Array(3, 1))
Range("B3:C" & Nb_Echeance + 2).Select
Selection.Copy
Windows("projetMothy.xls").Activate
Range("L2").Select
ActiveSheet.Paste
Range("L17").Select
Windows("rtraj_reel").Activate
ActiveWindow.Close
Range("L2:M" & Nb_Echeance + 2).Select
' Remplacement des "." par des ","
For Each cell In Selection
    If InStr(1, cell.Text, ".") > 0 Then
        cell.Value = CDBl(Val(cell.Text))
    End If
Next

'Insertion du tableau Xréel, Yréel, Xréel-Xmoy, Yréel-Ymoy, distance, Ecart-Type Moyen

taille_tab2 = Range("L1").End(xlDown).Row

Range("N1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Xréel(km)"
Range("N2").Select
ActiveCell.Formula = "=( RC12 - " & Str(long_init) & " ) * " & Str(coeff_long)
Selection.AutoFill Destination:=Range("N2:N" & taille_tab2)

Range("O1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Yréel(km)"
Range("O2").Select
ActiveCell.Formula = "=( RC13 - " & Str(lat_init) & " ) * " & Str(coeff_lat)
Selection.AutoFill Destination:=Range("O2:O" & taille_tab2)

Range("P1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Xréel-Xmoy1"

```

```

For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 2
    Range("P" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= R" + CStr(i) + "C14 - R" + CStr(j) + "C7"
Next i

Range("Q1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Yréel-Ymoy1"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 2
    Range("Q" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= R" + CStr(i) + "C15 - R" + CStr(j) + "C8"
Next i

Range("R1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "distance(réel-barycentre1)"
Range("R2").Select
ActiveCell.Formula = "=(RC16*RC16+RC17*RC17)^(1/2)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("R2:R" & taille_tab2)

Range("S1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type Moyen1"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 2
    Range("S" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= ( R" + CStr(j) + "C9 + R" + CStr(j) + "C10 ) / 2"
Next i

'!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
' meme chose pour amas 2, et on se place en fin de tableau a partir de AF
'!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
Range("AF1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Xréel-Xmoy2"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 1
    Range("AF" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= R" + CStr(i) + "C14 - R" + CStr(j) + "C7"
Next i

Range("AG1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Yréel-Ymoy2"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 1
    Range("AG" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= R" + CStr(i) + "C15 - R" + CStr(j) + "C8"
Next i

Range("AH1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "distance(réel-barycentre2)"
Range("AH2").Select
ActiveCell.Formula = "=(RC32*RC32+RC33*RC33)^(1/2)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("AH2:AH" & taille_tab2)

Range("AI1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type Moyen2"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 1
    Range("AI" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= ( R" + CStr(j) + "C9 + R" + CStr(j) + "C10 ) / 2"
Next i

' Calcul du coefficient de dispersion k
k = (-2 * WorksheetFunction.Ln(1 - Proba)) ^ (1 / 2)

Range("T1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Surface zone1"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 2
    r1 = Range("K" & j)
    sigmax1 = Range("I" & j)
    sigmay1 = Range("J" & j)
    sigmaksil = (sigmax1 ^ 2 * (Cos(alpha)) ^ 2 + r1 * sigmax1 * sigmay1 * Sin(2 *
alpha) + sigmay1 ^ 2 * (Sin(alpha)) ^ 2) ^ (1 / 2)
    sigmaetal = (sigmax1 ^ 2 * (Sin(alpha)) ^ 2 - r1 * sigmax1 * sigmay1 * Sin(2 *
alpha) + sigmay1 ^ 2 * (Cos(alpha)) ^ 2) ^ (1 / 2)
    Range("T" & i).Select
    ActiveCell.Formula = Pi * sigmaksil * sigmaetal * k * k

```

```

Next i

Range("AJ1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Surface zone2"
For i = 2 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 1
    r2 = Range("K" & j)
    sigmax2 = Range("I" & j)
    sigmay2 = Range("J" & j)
    sigmaks2 = (sigmax2 ^ 2 * (Cos(alpha2)) ^ 2 + r2 * sigmax2 * sigmay2 * Sin(2 *
alpha2) + sigmay2 ^ 2 * (Sin(alpha2)) ^ 2) ^ (1 / 2)
    sigmaeta2 = (sigmax2 ^ 2 * (Sin(alpha2)) ^ 2 - r2 * sigmax2 * sigmay2 * Sin(2 *
alpha2) + sigmay2 ^ 2 * (Cos(alpha2)) ^ 2) ^ (1 / 2)

    Range("AJ" & i).Select
    ActiveCell.Formula = Pi * sigmaks2 * sigmaeta2 * k * k
Next i

Range("U1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "t ellipse"
Range("U2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=0.1"
Range("U3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C+0.1"
Range("U3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("U3:U64")

' Determination des ellipses
r1 = Range("K" & (2 * Nb_Echeance))
sigmax1 = Range("I" & (2 * Nb_Echeance))
sigmay1 = Range("J" & (2 * Nb_Echeance))

r2 = Range("K" & (2 * Nb_Echeance + 1))
sigmax2 = Range("I" & (2 * Nb_Echeance + 1))
sigmay2 = Range("J" & (2 * Nb_Echeance + 1))

' Calcul du coefficient alpha pour l'amas 1
alpha1 = Atn((sigmay1 ^ 2 - sigmax1 ^ 2 + ((sigmax1 ^ 2 - sigmay1 ^ 2) ^ 2 + (2 * r1 *
sigmax1 * sigmay1) ^ 2) ^ (1 / 2)) / (2 * r1 * sigmax1 * sigmay1))

' Calcul du coefficient alpha pour l'amas 2
alpha2 = Atn((sigmay2 ^ 2 - sigmax2 ^ 2 + ((sigmax2 ^ 2 - sigmay2 ^ 2) ^ 2 + (2 * r2 *
sigmax2 * sigmay2) ^ 2) ^ (1 / 2)) / (2 * r2 * sigmax2 * sigmay2))

' Calculs de sigmaks et sigmaeta pour les 2 amas
sigmaks1 = (sigmax1 ^ 2 * (Cos(alpha1)) ^ 2 + r1 * sigmax1 * sigmay1 * Sin(2 * alpha1) +
sigmay1 ^ 2 * (Sin(alpha1)) ^ 2) ^ (1 / 2)
sigmaeta1 = (sigmax1 ^ 2 * (Sin(alpha1)) ^ 2 - r1 * sigmax1 * sigmay1 * Sin(2 * alpha1) +
sigmay1 ^ 2 * (Cos(alpha1)) ^ 2) ^ (1 / 2)

sigmaks2 = (sigmax2 ^ 2 * (Cos(alpha2)) ^ 2 + r2 * sigmax2 * sigmay2 * Sin(2 * alpha2) +
sigmay2 ^ 2 * (Sin(alpha2)) ^ 2) ^ (1 / 2)
sigmaeta2 = (sigmax2 ^ 2 * (Sin(alpha2)) ^ 2 - r2 * sigmax2 * sigmay2 * Sin(2 * alpha2) +
sigmay2 ^ 2 * (Cos(alpha2)) ^ 2) ^ (1 / 2)

'ellipseprimaire amas 1
Range("V1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X ellipse1"
Range("V2").Select
ActiveCell.Formula = "=" + Str(k * sigmaks1) + "*COS(RC21)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("V2:V64")

Range("W1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y ellipse1"
Range("W2").Select
ActiveCell.Formula = "=" + Str(k * sigmaeta1) + "*SIN(RC21)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("W2:W64")

'ellipseprimaire amas2
Range("V65").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X ellipse2"
Range("V66").Select
ActiveCell.Formula = "=" + Str(k * sigmaks2) + "*COS(R[-64]C21)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("V66:V128")

Range("W65").Select

```

```

ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y ellipse2"
Range("W66").Select
ActiveCell.Formula = "=" + Str(k * sigmaeta2) + "*SIN(R[-64]C21)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("W66:W128")

Range("X1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X'1"
Range("X2").Select
ActiveCell.Formula = "= RC22*" + Str(Cos(alpha1)) + "- RC23*" + Str(Sin(alpha1))
Selection.AutoFill Destination:=Range("X2:X64")

Range("Y1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y'1"
Range("Y2").Select
ActiveCell.Formula = "= RC23*" + Str(Cos(alpha1)) + "+ RC22*" + Str(Sin(alpha1))
Selection.AutoFill Destination:=Range("Y2:Y64")

Range("Z1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X'1"
Range("Z2").Select
ActiveCell.Formula = "= RC24 +" + Str(Range("G" & (2 * Nb_Echeance)))
Selection.AutoFill Destination:=Range("Z2:Z64")

Range("AA1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y'1"
Range("AA2").Select
ActiveCell.Formula = "= RC25 +" + Str(Range("H" & (2 * Nb_Echeance)))
Selection.AutoFill Destination:=Range("AA2:AA64")

Range("AB1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X'2"
Range("AB2").Select
ActiveCell.Formula = "= R[+64]C22*" + Str(Cos(alpha2)) + "- R[+64]C23*" + Str(Sin(alpha2))
Selection.AutoFill Destination:=Range("AB2:AB64")

Range("AC1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y'2"
Range("AC2").Select
ActiveCell.Formula = "= R[+64]C23*" + Str(Cos(alpha2)) + "+ R[+64]C22*" + Str(Sin(alpha2))
Selection.AutoFill Destination:=Range("AC2:AC64")

Range("AD1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X'2"
Range("AD2").Select
ActiveCell.Formula = "= RC28 +" + Str(Range("G" & (2 * Nb_Echeance + 1)))
Selection.AutoFill Destination:=Range("AD2:AD64")

Range("AE1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y'2"
Range("AE2").Select
ActiveCell.Formula = "= RC29 +" + Str(Range("H" & (2 * Nb_Echeance + 1)))
Selection.AutoFill Destination:=Range("AE2:AE64")

'insertion des colonnes distances parcourues pendant les échéances
'Distance Amas1
Range("AK1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance amas1"
Range("AK2").Select
ActiveCell.Formula = "= SQRT(R2C7^2+R2C8^2)"
For i = 3 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 2
    Range("AK" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= SQRT((R" + CStr(j) + "C7 - R" + CStr(j - 2) + "C7)^2 + (R" +
CStr(j) + "C8 - R" + CStr(j - 2) + "C8)^2) "
Next i

'Distance Amas2
Range("AL1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance amas2"
Range("AL2").Select
ActiveCell.Formula = "= SQRT(R3C7^2+R3C8^2)"
For i = 3 To taille_tab2 Step 1
    j = (i * 2) - 1
    Range("AL" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= SQRT((R" + CStr(j) + "C7 - R" + CStr(j - 2) + "C7)^2 + (R" +
CStr(j) + "C8 - R" + CStr(j - 2) + "C8)^2) "

```

```

Next i

'Distance Amas1 cumulée
Range("AM1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance amas1 cumulé"
Range("AM2").Select
ActiveCell.Formula = "= R2C37"
Range("AM3").Select
ActiveCell.Formula = "= R[-1]C39+RC37"
Selection.AutoFill Destination:=Range("AM3:AM" & taille_tab2)

'Distance Amas2 cumulée
Range("AN1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance amas2 cumulé"
Range("AN2").Select
ActiveCell.Formula = "= R2C38"
Range("AN3").Select
ActiveCell.Formula = "= R[-1]C40+RC38"
Selection.AutoFill Destination:=Range("AN3:AN" & taille_tab2)

'Coordonnée X du centre de recherche
Range("AO1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Coordonnée X du centre de recherche"
For i = 2 To (Nb_Echeance + 1) Step 1
    Range("AO" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= ( R" + CStr(2 * i - 2) + "C5 + R" + CStr(2 * i - 1) + "C5 )/2"
Next i

'Coordonnée Y du centre de recherche
Range("AP1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Coordonnée Y du centre de recherche"
For i = 2 To (Nb_Echeance + 1) Step 1
    Range("AP" & i).Select
    ActiveCell.Formula = "= ( R" + CStr(2 * i - 2) + "C6 + R" + CStr(2 * i - 1) + "C6 )/2"
Next i

' Détermination du nom de l'objet
Sheets("objets").Select
nom_objet = Range("B" & (indice + 3))
Sheets("calcul").Select

' Insertion de la feuille correspondant à l'objet
Sheets.Add
ActiveSheet.Name = nom_objet

Sheets("calcul").Select

' On fixe l'origine du trajet réel aux coordonnées (0,0) (Astuce pour tracer tout le
graphique...)
Range("N" & taille_tab2 + 1).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=0"
Range("O" & taille_tab2 + 1).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=0"

' Insertion du graphique amas-ellipses
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=-1
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlXYScatter
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("calcul").Range("Z2:AA64"), _
    PlotBy:=xlColumns
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""ellipse 1""
ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "=calcul!R2C30:R64C30"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=calcul!R2C31:R64C31"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = ""ellipse 2""
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "=calcul!R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 2 - 800)
+ "C5:R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 401 - 800) + "C5"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=calcul!R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 2 - 800) +
"C6:R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 401 - 800) + "C6"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Name = ""amas1""

```

```

ActiveChart.SeriesCollection(4).XValues = "=calcul!R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 402 -
800) + "C5:R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 801 - 800) + "C5"
ActiveChart.SeriesCollection(4).Values = "=calcul!R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 402 - 800)
+ "C6:R" + CStr(Nb_Echeance * 800 + 801 - 800) + "C6"
ActiveChart.SeriesCollection(4).Name = "="amas 2""
ActiveChart.SeriesCollection(5).XValues = "(calcul!R" + CStr(taille_tab2 + 1) +
"C14,calcul!R2C14:R" + CStr(Nb_Echeance + 1) + "C14)"
ActiveChart.SeriesCollection(5).Values = "(calcul!R" + CStr(taille_tab2 + 1) +
"C15,calcul!R2C15:R" + CStr(Nb_Echeance + 1) + "C15)"
ActiveChart.SeriesCollection(5).Name = "="trajet reel""
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=nom_objet
With ActiveChart
.HasTitle = True
.ChartTitle.Characters.Text = "Nuages de dispersion mothy-leeway." + nom_objet + "
Echeance " + CStr(Nb_Echeance)
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "abscisse (en km) par rapport
au naufrage"
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "ordonnée (en km) par rapport au
naufrage"
'mise en forme du format du graphique
ActiveChart.PlotArea.Select
With Selection.Border
.ColorIndex = 16
.Weight = xlThin
.LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection.Interior
.ColorIndex = 34
.PatternColorIndex = 1
.Pattern = xlSolid
End With
ActiveChart.Axes(xlValue).MajorGridlines.Select
Selection.Delete
ActiveChart.SeriesCollection(4).Select
With Selection.Border
.Weight = xlHairline
.LineStyle = xlNone
End With
With Selection
.MarkerBackgroundColorIndex = 10
.MarkerForegroundColorIndex = 10
.MarkerStyle = xlTriangle
.Smooth = False
.MarkerSize = 2
.Shadow = False
End With
Windows("projetMothy.xls").SmallScroll Down:=-87
ActiveChart.SeriesCollection(5).Select
ActiveChart.PlotArea.Select
ActiveChart.SeriesCollection(5).Select
With Selection.Border
.ColorIndex = 3
.Weight = xlThin
.LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection
.MarkerBackgroundColorIndex = 3
.MarkerForegroundColorIndex = 3
.MarkerStyle = xlCircle
.Smooth = False
.MarkerSize = 4
.Shadow = False
End With

ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
With Selection.Border
.ColorIndex = 57
.Weight = xlMedium
.LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection
.MarkerBackgroundColorIndex = xlAutomatic
.MarkerForegroundColorIndex = xlAutomatic
.MarkerStyle = xlSquare
.Smooth = False

```

```

        .MarkerSize = 2
        .Shadow = False
    End With
    ActiveChart.SeriesCollection(3).Select
    With Selection.Border
        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlNone
    End With
    With Selection
        .MarkerBackgroundColorIndex = xlAutomatic
        .MarkerForegroundColorIndex = xlAutomatic
        .MarkerStyle = xlTriangle
        .Smooth = False
        .MarkerSize = 2
        .Shadow = False
    End With
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
    With Selection.Border
        .ColorIndex = 57
        .Weight = xlMedium
        .LineStyle = xlContinuous
    End With
    With Selection
        .MarkerBackgroundColorIndex = xlAutomatic
        .MarkerForegroundColorIndex = xlAutomatic
        .MarkerStyle = xlDiamond
        .Smooth = False
        .MarkerSize = 2
        .Shadow = False
    End With

    End With

' on passe a un repere orthonorme
ActiveChart.PlotArea.Select
Call Ortho

' copier coller en tant qu'image

ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveSheet.ChartObjects(1).CopyPicture
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
ActiveSheet.Paste

' Insertion du graphique Evolution temporelle de la distance entre la position réelle et
' les centres des amas des points
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlLineMarkers
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("calcul").Range("R2:R" & taille_tab2), _
    PlotBy:=xlColumns
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = _
    "distance(position réelle; centre de l'amas1)""
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=calcul!R2C34:R" + CStr(taille_tab2) + "C34"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = _
    "distance(position réelle; centre de l'amas2)""
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=nom_objet
With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = _
        "Evolution temporelle de la distance entre la position réelle et les centres des amas
de points simulés par mothy-leeway." + nom_objet
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = _
        "temps après le naufrage en heures"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "distance en km"
End With
ActiveChart.Axes(xlValue).MajorGridlines.Select
Selection.Delete
ActiveChart.PlotArea.Select
Selection.Left = 24
Selection.Top = 60
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, Include:=xlBoth, _
    Type:=xlCustom, Amount:="=calcul!R2C19:R" + CStr(taille_tab2) + "C19", MinusValues:= _

```

```

        "=calcul!R2C19:R" + CStr(taille_tab2) + "C19"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
With Selection.Border
    .ColorIndex = 7
    .Weight = xlThin
    .LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection
    .MarkerBackgroundColorIndex = xlAutomatic
    .MarkerForegroundColorIndex = xlAutomatic
    .MarkerStyle = xlAutomatic
    .Smooth = False
    .MarkerSize = 5
    .Shadow = False
End With
ActiveChart.SeriesCollection(2).ErrorBar Direction:=xlY, Include:=xlBoth, _
    Type:=xlCustom, Amount:="=calcul!R2C35:R" + CStr(taille_tab2) + "C35", MinusValues:= _
    "=calcul!R2C35:R" + CStr(taille_tab2) + "C35"
With Selection.Border
    .ColorIndex = 7
    .Weight = xlThin
    .LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection
    .MarkerBackgroundColorIndex = 7
    .MarkerForegroundColorIndex = 7
    .MarkerStyle = xlSquare
    .Smooth = False
    .MarkerSize = 5
    .Shadow = False
End With
ActiveChart.SeriesCollection(2).ErrorBars.Select
With Selection.Border
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 7
    .Weight = xlThin
End With
Selection.EndStyle = xlCap

' Copier puis Coller en tant qu'image
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveSheet.ChartObjects(1).CopyPicture
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
ActiveSheet.Paste

' Insertion du graphique Evolution des surfaces des amas de points.
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlAreaStacked
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("calcul").Range("T2:T" & taille_tab2), _
    PlotBy:=xlColumns
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "=""surface amas1""
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=calcul!R2C36:R" + CStr(taille_tab2) + "C36"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "=""surface amas2""
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=nom_objet
With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = _
    "Evolution des surfaces des amas de points simulés par mothy-leeway." + nom_objet
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = _
    "temps après le naufrage en heures"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "surface en km2"
End With

' Copier puis Coller en tant qu'image
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveSheet.ChartObjects(1).CopyPicture
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
ActiveSheet.Paste

' insertion du graphique distance à l'origine
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlLineMarkers

```

```

ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("calcul").Range("AM2:AM" & taille_tab2), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = _
    "distance parcourue par centre amas1"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=calcul!R2C40:R" + CStr(taille_tab2) + "C40"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = _
    "distance parcourue par centre amas2"
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=nom_objet
With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = _
        "distance parcourue depuis l'origine par les centres des amas de points simulés par
        mothy-leeway." + nom_objet
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = _
        "durée en heures après le naufrage"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = _
        "distance parcourue depuis le naufrage en km"
End With
With ActiveChart
    .HasAxis(xlCategory, xlPrimary) = True
    .HasAxis(xlValue, xlPrimary) = True
End With
ActiveChart.Axes(xlCategory, xlPrimary).CategoryType = xlAutomatic

' Copier puis Coller en tant qu'image
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveSheet.ChartObjects(1).CopyPicture
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
ActiveSheet.Paste

' Positionne les graphiques et redimensionne la feuille
Call positionne_graphiques

' Ajout du tableau de synthèse sur la feuille objet

Sheets("objets").Select

Range("G2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Analyse de la situation " + CStr(Dossier_donnees) + " à
l'échéance " + CStr(Nb_Echeance)

Range("G3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Coordonnée X du centre de recherche (en km)"
Sheets("calcul").Select
Range("AO" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("G" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("H3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Coordonnée Y du centre de recherche (en km)"
Sheets("calcul").Select
Range("AP" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("H" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("I3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Surface de l'amas 1 (en km2)"
Sheets("calcul").Select
Range("T" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("I" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("J3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Surface de l'amas 2 (en km2)"

```

```

Sheets("calcul").Select
Range("AJ" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("J" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("K3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance parcourue Amas 1 (en km2)"
Sheets("calcul").Select
Range("AK" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("K" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("L3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance parcourue Amas 2 (en km2)"
Sheets("calcul").Select
Range("AL" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("L" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("M3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart type moyen amas 1 (en km)"
Sheets("calcul").Select
Range("S" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("M" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("N3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart type moyen amas 2 (en km)"
Sheets("calcul").Select
Range("AI" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("N" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("O3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance entre amas 1 et position réelle (en km)"
Sheets("calcul").Select
Range("R" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("O" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

Range("P3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance entre amas 2 et position réelle (en km)"
Sheets("calcul").Select
Range("AH" & (Nb_Echeance + 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("objets").Select
Range("P" & (indice + 3)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False

```

Next indice

!\*\*\*\*\*PARTIE MOTHY\*\*\*\*\*

```

Sheets("calcul_mothy").Select

'Ouverture du fichier rposi : copie des données puis collage sur la feuille active
Workbooks.OpenText FileName:=chemin + Dossier_donnees + "\mothyrtraj", _
    Origin:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:= _
    xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=True, Tab:=True, Semicolon:=False, _
    Comma:=False, Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
    Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1))
Cells.Select
Selection.Copy
Windows("projetMothy.xls").Activate
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
Range("A1").Select

'Fermeture du fichier rtraj
Windows("rtraj").Activate
ActiveWindow.Close

Range("A1").Select

' Insertion d'une ligne pour les titres
Rows("1:1").Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
Range("A1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Echéances"
Range("B1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Longitude"
Range("C1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Latitude"

' Determination du nombre d'echéances Mothy
Nb_Echeance_mothy = (Range("A1").End(xlDown).Row - 10) / 9

' Ajout des colonnes correspondant aux échéances de chaque conteneur
Range("D1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X1 (en km)"
Range("M1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y1 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("D" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & (i + 1)) - long_init) * coeff_long
    Range("M" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & (i + 1)) - lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("E1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X2 (en km)"
Range("N1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y2 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("E" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) - long_init)
* coeff_long
    Range("N" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) - lat_init) *
coeff_lat
Next i

Range("F1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X3 (en km)"
Range("O1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y3 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("F" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 2 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("O" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 2 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("G1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X4 (en km)"
Range("P1").Select

```

```

ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y4 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("G" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 3 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("P" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 3 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("H1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X5 (en km)"
Range("Q1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y5 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("H" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 4 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("Q" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 4 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("I1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X6 (en km)"
Range("R1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y6 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("I" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 5 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("R" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 5 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("J1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X7 (en km)"
Range("S1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y7 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("J" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 6 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("S" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 6 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("K1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X8 (en km)"
Range("T1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y8 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("K" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 7 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("T" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 7 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

Range("L1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "X9 (en km)"
Range("U1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Y9 (en km)"
For i = 2 To Nb_Echeance_mothy + 1
    Range("L" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("B" & 8 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
long_init) * coeff_long
    Range("U" & i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = (Range("C" & 8 * (Nb_Echeance_mothy + 1) + (i + 1)) -
lat_init) * coeff_lat
Next i

```

' Ajout des colonnes correspondant aux barycentres des points à chaque echeance

```

Range("V1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Moyenne X"
Range("V2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= AVERAGE(RC" + CStr(taux_immer_bas + 3) + ":RC" +
CStr(taux_immer_haut + 3) + ")"
Selection.AutoFill Destination:=Range("V2:V" & Nb_Echeance_mothy + 1)

Range("W1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Moyenne Y"
Range("W2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= AVERAGE(RC" + CStr(taux_immer_bas + 12) + ":RC" +
CStr(taux_immer_haut + 12) + ")"
Selection.AutoFill Destination:=Range("W2:W" & Nb_Echeance_mothy + 1)

Range("X1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance parcourue"
Range("X2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= 0"
Range("X3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= R[-1]C + SQRT((R[-1]C[-2]-RC[-2])^2+(R[-1]C[-1]-RC[-1])^2)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("X3:X" & Nb_Echeance_mothy + 1)

Range("Y1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Distance (reel-simulé)"
Range("Y2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= 0"
For i = 1 To Nb_Echeance_mothy - 1
    Range("Y" & i + 2).Select
    ActiveCell.Formula = "= SQRT((calcul!R" + CStr(i + 1) + "C14 - calcul_mothy!RC22)^2 +
(calcul!R" + CStr(i + 1) + "C15 - calcul_mothy!RC23)^2)"
Next i

Range("Z1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type X"
Range("Z2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= STDEV(RC" + CStr(taux_immer_bas + 3) + ":RC" +
CStr(taux_immer_haut + 3) + ")"
Selection.AutoFill Destination:=Range("Z2:Z" & Nb_Echeance_mothy + 1)

Range("AA1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type Y"
Range("AA2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= STDEV(RC" + CStr(taux_immer_bas + 12) + ":RC" +
CStr(taux_immer_haut + 12) + ")"
Selection.AutoFill Destination:=Range("AA2:AA" & Nb_Echeance_mothy + 1)

Range("AB1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ecart-Type Moyen"
Range("AB2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= (RC26+RC27)/2"
Selection.AutoFill Destination:=Range("AB2:AB" & Nb_Echeance_mothy + 1)

' Ajout sur la feuille "objets" des caracteristiques de Mothy à l'échéance choisie
Sheets("objets").Select
Range("B68").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Conteneurs Mothy"
Range("G68").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= calcul_mothy!R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C22"
Range("H68").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= calcul_mothy!R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C23"
Range("K68").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= calcul_mothy!R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C24"
Range("M68").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= calcul_mothy!R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C28"
Range("O68").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "= calcul_mothy!R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C25"

' Ajout du graphique Mothy

Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmooth
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("calcul_mothy").Range("N15"), _
    PlotBy:=xlColumns
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

```

```

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "=calcul_mothy!R2C" + CStr(taux_immer_bas + 3) +
":R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C" + CStr(taux_immer_bas + 3)
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=calcul_mothy!R2C" + CStr(taux_immer_bas + 12) +
":R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C" + CStr(taux_immer_bas + 12)
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "Conteneur" + Str(taux_immer_bas)
ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "=calcul_mothy!R2C" + CStr(taux_immer_haut + 3)
+ ":R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C" + CStr(taux_immer_haut + 3)
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=calcul_mothy!R2C" + CStr(taux_immer_haut + 12)
+ ":R" + CStr(Nb_Echeance + 2) + "C" + CStr(taux_immer_haut + 12)
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "Conteneur" + Str(taux_immer_haut)
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "=calcul_mothy!R2C22:R" + CStr(Nb_Echeance + 2)
+ "C22"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=calcul_mothy!R2C23:R" + CStr(Nb_Echeance + 2) +
"C23"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Name = "=" & "trajet moyen" & ""

Dim test As String
test = "(calcul!R" + CStr(taille_tab2 + 1) + "C14,calcul!R2C14:R" + CStr(Nb_Echeance + 1)
+ "C14)"
ActiveChart.SeriesCollection(4).XValues = "(calcul!R" + CStr(taille_tab2 + 1) +
"C14,calcul!R2C14:R" + CStr(Nb_Echeance + 1) + "C14)"
ActiveChart.SeriesCollection(4).Values = "(calcul!R" + CStr(taille_tab2 + 1) +
"C15,calcul!R2C15:R" + CStr(Nb_Echeance + 1) + "C15)"
ActiveChart.SeriesCollection(4).Name = "trajet réel"

ActiveChart.SeriesCollection(4).Select
With Selection.Border
    .ColorIndex = 3
    .Weight = xlThin
    .LineStyle = xlContinuous
End With
With Selection
    .MarkerBackgroundColorIndex = 3
    .MarkerForegroundColorIndex = 3
    .MarkerStyle = xlCircle
    .Smooth = False
    .MarkerSize = 4
    .Shadow = False
End With

ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:="calcul_mothy"
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .HasMajorGridlines = False
    .HasMinorGridlines = False
End With
With ActiveChart.Axes(xlValue)
    .HasMajorGridlines = False
    .HasMinorGridlines = False
End With

ActiveChart.PlotArea.Select
With Selection.Interior
    .ColorIndex = 20
    .PatternColorIndex = 1
    .Pattern = xlSolid
End With

With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = "Trajectoires des conteneurs Mothy . Echeance " +
CStr(Nb_Echeance)
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "abscisse (en km) par rapport
au naufrage"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "ordonnée (en km) par rapport au
naufrage"
End With

'on passe a un repere orthonorme
ActiveChart.PlotArea.Select
Call Ortho

' Copie du graphique
ActiveChart.ChartArea.Select

```

```

ActiveSheet.ChartObjects(1).CopyPicture
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete

' Collage de l'image sur toutes les feuilles objets
For indice = indice_objet_debut To indice_objet_fin
' Détermination du nom de l'objet
Sheets("objets").Select
nom_objet = Range("B" & (indice + 3))
Sheets(nom_objet).Select
ActiveSheet.Paste
' Ajustement du graphique sur la feuille
Selection.ShapeRange.IncrementLeft 962.25
Selection.ShapeRange.IncrementTop 2.25
Next indice

End Sub

'*****
' Fonctions et procédures diverses utilisées par le programme
'*****

Private Function FeuilleExiste(nomfeuille) As Boolean

' Fonction prenant en paramètre d'entrée le nom d'une feuille,
' retournant Vrai si elle existe, Faux sinon

Dim x As Object
On Error Resume Next
Set x = ActiveWorkbook.Sheets(nomfeuille)
If Err = 0 Then FeuilleExiste = True Else: FeuilleExiste = False

End Function

'*****

Sub Ortho()

' Procédure permettant d'orthonormer un repère

Dim CO As ChartObject, C As Chart
Dim AV As Axis, AH As Axis
Dim AVAmpl As Double, AHAmpl As Double
Dim Obj As Integer
Dim Vertical As Boolean

Set CO = Selection.Parent.Parent

With CO
Set C = .Chart
Set AV = C.Axes(xlValue)
Set AH = C.Axes(xlCategory)
AVAmpl = AV.MaximumScale - AV.MinimumScale
AHAmpl = AH.MaximumScale - AH.MinimumScale
Obj = AH.Width * AVAmpl / AHAmpl
.Height = Obj + .Height - C.PlotArea.Height
Do Until AV.Height > Obj
.Height = .Height + 1
Loop
End With

End Sub

'*****

```

```

Sub positionne_graphiques()
' Procédure permettant de positionner les graphiques sur la feuille

    Selection.ShapeRange.IncrementLeft 481.5
    Selection.ShapeRange.IncrementTop 1.5
    ActiveSheet.Shapes("Picture 6").Select
    Selection.ShapeRange.IncrementLeft 482.25
    Selection.ShapeRange.IncrementTop 230.25
    ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=1
    ActiveSheet.Shapes("Picture 4").Select
    Selection.ShapeRange.IncrementLeft 481.5
    Selection.ShapeRange.IncrementTop 461.25
    ActiveWindow.Zoom = 65
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=-1
    ActiveWindow.LargeScroll Down:=-1
    ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=-1

End Sub

' *****
'                               FIN
' *****

```

## Annexe IV – Tableau des objets *leeway*

| Leeway Target Class |  |   |  |  |
|---------------------|--|---|--|--|
| Level 1             | Level 2  | Level 3                                   | Level 4                                    |  |
| PIW-1               | Person-in-water (PIW)  | unknown state (mean vaues)                |  |  |
| PIW-2               |  | vertical                                  |  |  |
| PIW-3               |  | sitting                                   |  |  |
| PIW-4               |  | horizontal                                | survival suit                              |  |
| PIW-5               |  |   | scuba suit                                 |  |
| PIW-6               |  |   | deceased                                   |  |
| LIFE-RAFT-NB1       | Life-raft  | no ballast (NB) system                    | general (mean values)                      |  |
| LIFE-RAFT-NB2       |  |   | no canopy, no drogue                       |  |
| LIFE-RAFT-NB3       |  |   | no canopy, with drogue                     |  |
| LIFE-RAFT-NB4       |  |   | with canopy, no drogue                     |  |
| LIFE-RAFT-NB5       |  |   | with canopy, with drogue                   |  |
| LIFE-RAFT-SB6       |  | shallow ballast (SB) system AND canopy    | general (mean values)                      |  |
| LIFE-RAFT-SB7       |  |   | no drogue                                  |  |
| LIFE-RAFT-SB8       |  |   | with drogue                                |  |
| LIFE-RAFT-SB9       |  |   | capsized                                   |  |
| LIFE-RAFT-DB10      |  | deep ballast (DB) system                  | 4-6 person capacity, deep ballast system   | genera, unknown capacity and loading (mean values) |
| LIFE-RAFT-DB11      |  |   |  | general (mean values)                              |
| LIFE-RAFT-DB12      |  |   | no drogue                                  |  |
| LIFE-RAFT-DB13      |  |   | no drogue, light loading                   |  |
| LIFE-RAFT-DB14      |  |   | no drogue, heavy loading                   |  |
| LIFE-RAFT-DB15      |  |   | with drogue                                |  |
| LIFE-RAFT-DB16      |  |   | with drogue, light loading                 |  |
| LIFE-RAFT-DB17      |  |   | with drogue, heavy loading                 |  |
| LIFE-RAFT-DB18      |  |   | 15-25 person capacity, deep ballast system | general (mean values)                              |
| LIFE-RAFT-DB19      |  |   |  | no drogue, light loading                           |
| LIFE-RAFT-DB20      |  | with drogue, heavy loading                |  |  |
| LIFE-RAFT-DB21      |  | deep ballast system general (mean values) | capsized                                   |  |
| LIFE-RAFT-DB22      |  |   | swamped                                    |  |
| LIFE-CAPSULE        | Life capsule   |   |  |  |
| USCG-RESCUE         | USCG Sea Rescue Kit  |   |  |  |
| AVIATION-1          | Life-raft, 4-6 person capacity, no ballast, with canopy, no drogue |   |  |  |
| AVIATION-2          | Evacuation slide with life-raft 4-6 person capacity                |   |  |  |
| SEA-KAYAK           | Sea Kayak with person on aft deck                                  |   |  |  |
| SURFBOARD           | Surf board with person   |   |  |  |
| WINDSURFER          | Windsurfer with mast and sail in water                             |   |  |  |
| SAILBOAT-1          | Mono-hull full keel, deep draft                                    |   |  |  |
| SAILBOAT-2          | Mono-hull, fin keel, shoal draft                                   |   |  |  |
| SKIFF-1             | Skiff  | flat bottom                               |  |  |
| SKIFF-2             |  | V-hull                                    |  |  |
| SKIFF-3             |  | V-hull, swamped                           |  |  |
| SPORT-BOAT          | Sport boat, no canvas, modified V-hull                             |   |  |  |

|                   |  |                             |                |
|-------------------|--|-----------------------------|----------------|
| SPORT-FISHER      | Sport fisher, center console, open cockpit |                             |                |
| FISHING-VESSEL-1  | Fishing vessel                             | general (mean values)       |                |
| FISHING-VESSEL-2  |  | Hawaiian Sampan             |                |
| FISHING-VESSEL-3  |  | Japanese side-stern trawler |                |
| FISHING-VESSEL-4  |  | Japanese Longliner          |                |
| FISHING-VESSEL-5  |  | Korean fishing vessel       |                |
| FISHING-VESSEL-6  |  | Gill-netter with rear reel  |                |
| COASTAL-FREIGHTER | Coastal freighter                          |                             |                |
| FV-DEBRIS         | Fishing vessel debris                      |                             |                |
| BAIT-BOX-1        | Bait/wharf box                             | holds a cubicmetre of ice   | mean values    |
| BAIT-BOX-2        |  |                             | lightly loaded |
| BAIT-BOX-3        |  |                             | full loaded    |
| REFUGEE-RAFT-1    | Immigration vessel                         | Cuban refugee-raft          | no sail        |
| REFUGEE-RAFT-2    |  |                             | with sail      |
| SEWAGE            | Sewage floatables, tampon applicator       |                             |                |
| MED-WASTE-1       | Medical waste                              | mean values                 |                |
| MED-WASTE-2       |  | vials                       |                |
| MED-WASTE-3       |  |                             | large          |
| MED-WASTE-4       |  | small                       |                |
| MED-WASTE-5       |  | syringes                    |                |
| MED-WASTE-6       |  |                             | large          |
| MED-WASTE-7       |  |                             | small          |