



ECOLE NATIONALE
DE LA MÉTÉOROLOGIE

ENM

Rapport de stage de fin d'études n° 1161

**Représentation de l'incertitude
associée au forçage atmosphérique
dans les prévisions de dérive de nappes
d'hydrocarbures ou d'objets flottants
à la surface de la mer**

Damien Donnet
Philippe Brun

Projet d'application
réalisé à la Direction de la Prévision, Division Marine et Océanographie,
sous la direction de M. Pierre Daniel,
du 11 mai au 26 juin 2009

Promotion d'élèves Techniciens Supérieurs Exploitation
de la Météorologie 2007/2009

2009

Remerciements

Nous remercions toute l'équipe de Dprevi/Mar, qui nous a accueilli avec beaucoup de gentillesse. Merci à Pierre Daniel pour nous avoir permis de participer à ce projet et pour avoir su nous communiquer les éléments indispensables au bon déroulement de notre stage. Merci également à Valérie Ulvoas pour sa disponibilité, et à Denis Paradis, qui a su communiquer son enthousiasme pour notre sujet de stage. Un grand merci également à tous ceux qui nous ont apporté leur aide et leur savoir faire dans les situations complexes, notamment Patrick Lelay.

SOMMAIRE

1. Résumé.....	1
2. Introduction.....	2
3. Objectifs de l'étude.....	3
4. Présentation du système Mothy.....	4
4.1 Modélisation océanographique dans MOTHY.....	4
4.2 MOTHY version « objets ».....	8
4.3 Forçages atmosphériques et océanographiques.....	9
4.4 Les limites du système MOTHY.....	11
4.5 La méthode « Leeway ».....	11
5. La prévision d'ensemble.....	14
5.1 Principes de la prévision d'ensemble.....	14
5.2 Présentation de quelques applications de la prévision d'ensemble.....	14
6. Problématique de la représentation graphique des dérives issues de la prévisions d'ensemble.....	15
7. Outils développés pour représenter les dérives issues de la prévision d'ensemble.....	16
7.1 Fonctionnement actuel du modèle MOTHY.....	16
7.2 Développements informatiques réalisés dans le cadre de notre étude.....	20
8. Exploitation des données de la pearp et de l'eps.....	24
8.1 Contexte de l'étude.....	24
8.2 Superpositions des membres de l'ensemble.....	24
8.3 Représentations d'ensemble probabilistes dans le cas de la dérive de nappes d'hydrocarbures et du mode Leeway.....	28
8.4 Comparaison EPS / PEARP.....	33
8.5 Représentation de la moyenne.....	34
9. Conclusion.....	35
10. Perspectives.....	36
11. Glossaire.....	37
12. Références.....	38
13. Annexes.....	39

1. RÉSUMÉ

La prévision de dérives d'éléments en mer revêt une grande importance. Les situations dans lesquelles le besoin de connaître le déplacement de nappes d'hydrocarbures ont souvent un très fort impact financier, médiatique et écologique. Météo France participant à l'élaboration de prises de décisions dans ces situations d'urgence, l'établissement se doit de faire évoluer les outils dont il dispose. Si les compétences acquises dans le domaine des prévisions déterministes ont permis de faire évoluer les modèles, des incertitudes perdurent, notamment au niveau de l'assimilation des données et de la paramétrisation. Plus l'échéance de prévision est lointaine, plus ces incertitudes augmentent. Les prévisions probabilistes issues de la prévision d'ensemble permettent une représentation de cette incertitude atmosphérique. Il est souhaitable d'appliquer ces méthodes au domaine de la dérive en mer de polluants.

La représentation actuelle des dérives dans Mothy est basée sur le dessin des points et de leurs trajectoires. Si le nuage de points créés représente un zonage intéressant dans le cas d'une simulation d'hydrocarbures, l'unique trajectoire par exemple simulée pour la dérive d'un container ne permet pas d'introduire de notion d'incertitude de position.

En utilisant le modèle Mothy avec les forçages atmosphériques de la prévision d'ensemble, ces représentations en positions de points n'est alors plus pleinement satisfaisante. Nous nous sommes inspirés de graphiques et schémas élaborés au service DPrévi/Compas pour tenter de représenter l'incertitude associée au forçage atmosphérique dans le cas de la dérive d'objets en mer. Pour synthétiser les informations relatives à la disparité des trajectoires, nous nous sommes intéressés à la possibilité de représenter cette incertitude par des zones de probabilité de présence.

L'idée première a été de créer ce zonage en fonction du nombre de runs responsables de la dérive d'un élément en un point. Tous les runs étant équiprobables, une deuxième idée est apparue, celle de représenter une zone en tenant compte de la densité de points rencontrés en un endroit. Ces deux types de graphique paraissent complémentaires. Pour être exploitables en phase opérationnelle, ils devront amener suffisamment d'informations de localisation au fil des échéances et permettre de restreindre les zones de recherches, ou améliorer l'assistance aux actions préventives.

Dans le but de synthétiser ces informations et de réaliser de nouvelles représentation graphiques, il a bien sûr été nécessaire de comprendre le fonctionnement du modèle Mothy avant de créer les outils permettant de répondre aux objectifs de notre stage. Une grande part de celui-ci fût consacré à l'écriture de programmes automatisant les cycles de calculs répétés pour chacun des runs de la prévision d'ensemble, et aux nombreux essais de représentations graphiques, le tout sollicitant beaucoup de ressources informatiques.

2. INTRODUCTION

Le 1^{er} janvier 1994, Météo-France a été désigné coordonnateur météorologique de zones dans le cadre du Service d'Intervention d'Urgence en cas de Pollution de la Mer (SIUPM), mis en place par l'Organisation Météorologique Mondiale. L'établissement est responsable des zones maritimes définies par le Système mondial de détresse et de sécurité en mer METAREA II et IIIA, et est également service d'appui pour les zones I, IIIB, VII et VIII C (cf annexe 1).

Le SIUPM vise à mettre en place un système coordonné destiné à fournir des informations météorologiques et océanographiques pour des interventions d'urgence en cas de pollution de la mer hors des eaux territoriales. Dans le cadre de cette organisation internationale, Météo-France doit notamment fournir des prévisions météorologiques sur les zones dont l'établissement a la charge, et veiller à diffuser le plus tôt possible des renseignements sur les conditions en surface, réelles et prévues, dans la zone où une pollution s'est produite.

Comme d'autres services météorologiques nationaux, Météo-France s'est doté d'un modèle numérique destiné initialement à prévoir le déplacement de nappes d'hydrocarbures à la surface de la mer. Ce modèle océanique de transport d'hydrocarbures, nommé MOTHY, est utilisé opérationnellement depuis février 1994 par les prévisionnistes marine. Depuis, cette activité se développe et progresse constamment, en particulier depuis la prise en compte de pollutions maritimes importantes, comme l'accident de l'Erika en décembre 1999, celui du Levoli Sun en novembre 2000, ou encore celui du Prestige, en novembre 2002. Le rôle de notre établissement a par ailleurs été précisé par l'instruction du 4 mars 2002 relative à la lutte contre la pollution du milieu marin (documentation nationale POLMAR). Les enseignements liés à la crise du Prestige ont à nouveau fait évoluer cette réglementation en 2006.

En outre, depuis juin 1996, Météo-France est partenaire du CEDRE, organisme associatif répondant à une mission de service public qui fut créé à la suite du naufrage du navire pétrolier « Amoco Cadiz » afin d'améliorer la préparation à la lutte contre les pollutions accidentelles des eaux et renforcer le dispositif français d'intervention. Le CEDRE étant également un organisme de recherche, une étroite collaboration s'est instaurée entre l'association et Météo-France, permettant ainsi la validation et l'amélioration du modèle MOTHY.

Des développements réalisés par le service DPREVI/MAR ont fait progresser les capacités du modèle : depuis 1998, une version modélisant la dérive d'objets flottants est opérationnelle, et, depuis juillet 2007, la version MOTHY 2.0 intègre les courants issus de modèles océanographiques, améliorant ainsi la précision du système. Celui-ci est en évolution permanente, et de nouvelles versions intègrent les développements transposables dans la chaîne opérationnelle au fur et à mesure de leur validation. Ces évolutions permettent de répondre de mieux en mieux aux besoins des services chargés de la sécurité maritime : la dérive de conteneurs est bien sûr dangereuse pour la circulation des navires, mais le modèle est également de plus en plus utilisé pour la recherche de naufragés ou d'hommes à la mer.

Depuis 1994, l'utilisation de MOTHY croît ainsi de façon exponentielle, et 672 lancements du modèle ont eu lieu en 2008 dans le cadre de recherches d'interventions officielles (deux fois plus qu'en 2006). En 2008, les principaux clients ont été les différents CROSS nationaux, représentant 53 % des demandeurs, le CEDRE (13 %), les Préfectures maritimes de Brest et de Cherbourg (28%), ainsi que des collectivités d'outremer (4 %). Les recherches concernent tous types d'objets : nappes d'hydrocarbures (27 %), hommes à la mer (17 %), radeaux (16 %), bateaux (20 %), containers (10 %), cétacés, etc.

Les modélisations de dérive peuvent être réalisées sur toute la surface maritime du globe, cependant la plupart des interventions concernent le Golfe de Gascogne, la Manche et la Mer du Nord (65 % des simulations en 2008), les Antilles et la Guyane (11 %), et la Méditerranée (10 %).

3. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

En plus de la modélisation du déplacement de nappes d'hydrocarbures, la version de MOTHY-OBJET, permet de simuler la trajectoire d'un objet flottant à des taux d'immersion échelonnés entre 20 et 100 %. La zone de recherche est alors constituée, pour une échéance donnée, par une ligne constituée des neuf positions correspondantes.

Une nouvelle approche est aujourd'hui expérimentée dans la modélisation de recherche d'objets : issue de la méthode dite « Leeway », à partir d'expérimentations effectuées par des gardes-côtes américains, cette méthode décompose la dérive de l'objet en deux composantes :

- une composante longitudinale due au vent seul,
- une composante transversale due à l'asymétrie de la position initiale de l'objet par rapport au vent.

Cette méthode empirique a abouti à une classification de 63 types d'objets pour lesquels les paramètres mesurés ont abouti au calcul de coefficients permettant d'exprimer les composantes longitudinales et transversales de la dérive en fonction uniquement du vent.

La méthode du *Leeway* est en expérimentation à DPrévi/MAR depuis 2005 dans une nouvelle version de MOTHY baptisé MOTHY-L. Cette approche est basée sur la modélisation d'un nuage de plusieurs centaines de points, chacun de ces points étant soumis à un déplacement dont les paramètres initiaux sont perturbés de manière aléatoire. Chaque objet est ainsi affecté de coefficients légèrement différents mais constants pendant toute la simulation, qui aboutit à la représentation graphique de l'évolution du nuage de points aux échéances souhaitées.

Une étude antérieure a montré que MOTHY-L était globalement plus performant et plus proche des observations réelles que MOTHY (K. Belleguic [1]). Des perspectives d'amélioration paraissent encore possibles : une première approche consisterait à améliorer la précision des coefficients utilisés et à intégrer des méthodes de perturbations du vent et du courant, afin de mieux tenir compte des incertitudes portant sur les conditions initiales. Une seconde approche consisterait à utiliser la méthodologie de la prévision d'ensemble, celle-ci répondant aux mêmes préoccupations : mieux cerner l'incertitude liée aux conditions initiales, celles-ci étant légèrement modifiées à chacun des runs.

Il convient en effet de tenir compte des incertitudes liées au vent et aux courants utilisés pour le calcul du mouvement des objets. L'une des manières de tenir compte de ces incertitudes est d'appliquer une correction arbitraire des paramètres de calculs. Une autre manière consiste à tenir compte du forçage du vent à l'aide de plusieurs modèles ou à l'aide de la prévision d'ensemble. La méthodologie de la prévision d'ensemble semble être une piste prometteuse car elle utilise la variation de paramètres non pas fixée arbitrairement mais liée à la physique de l'atmosphère.

L'étude évoquée plus haut a ainsi montré que les dispersions des positions prévues étaient meilleures encore en utilisant les données de la PEARP. L'une des difficultés consiste à représenter correctement l'incertitude de trajectoire d'objets dérivants, incertitude associée au forçage atmosphérique afin de faciliter l'usage de la prévision d'ensemble par les usagers ou les prévisionnistes. L'objectif de notre stage est d'imaginer un mode de représentation de cette incertitude dans le cas des prévisions de dérives issues de la prévision d'ensemble.

Sur le principe, la méthode *Leeway* ressemble par ailleurs à la prévision d'ensemble, dans le sens où les conditions initiales de la modélisation « déterministe » sont légèrement modifiées de façon à tenir compte des incertitudes. Aussi, le mode de représentation choisie dans le cas de la prévision d'ensemble pourrait également améliorer l'utilisation du *Leeway*.

Nous utiliserons les différents runs de la prévision d'ensemble PEARP et EPS sur le domaine Aladin pour la période du 22 au 28 janvier 2009. Cela correspond à une mise en situation avec les sorties des modèles exploitables à partir du 21/01/2009 à 18UTC. Ce choix permet de centrer l'étude sur une période pendant laquelle le forçage atmosphérique était très important : il s'agit de la tempête de janvier 2009, comparable en intensité aux deux tempêtes de 1999, et ayant causé beaucoup de dégâts, notamment dans le sud-ouest de la France. Des vents violents ont en effet balayé l'ensemble des départements du sud-ouest à partir de la nuit du 23 au 24 janvier et pendant toute la journée du 24 janvier, avec des rafales mesurées à plus de 130 km/h à l'intérieur des terres, et jusqu'à 170 km/h sur les côtes Atlantiques, voire 190 km/h sur le littoral Méditerranéen.

4. PRÉSENTATION DU SYSTÈME MOTHY

4.1 Modélisation océanographique dans MOTHY

La première application du système MOTHY était la modélisation de trajectoires de nappes d'hydrocarbures. Celles-ci sont considérées comme étant constituées d'un ensemble de particules indépendantes qui se déplacent selon trois processus :

- le courant, le vent,
- la diffusion turbulente,
- la flottabilité de la particule.

La densité de l'hydrocarbure est un facteur important qui influe sur l'évolution d'une nappe : très souvent comprise entre 0,8 et 1, celle-ci a tendance à flotter à la surface, à se volatiliser et à s'oxyder. Suite à cette évaporation, la densité du produit augmente, les hydrocarbures auront donc tendance à s'étaler en surface et à se disperser en profondeur ou se dissoudre, puis à se transformer lentement en goudrons par oxydation. Une partie du produit coulera donc, et une autre partie, non évaporée, se transformera en une émulsion eau-huile qui reste en surface. Ainsi, lors de la pollution de l'Amoco-Cadiz en 1979, 40% de la masse du produit s'est évaporée dans l'atmosphère, 40% s'est dispersée et a subi une biodégradation dans l'eau, environ 13% du produit s'est échoué sur les côtes (9% ont été ramassés), le reste atteignant le fond de l'océan et les sédiments (où une biodégradation se poursuit).

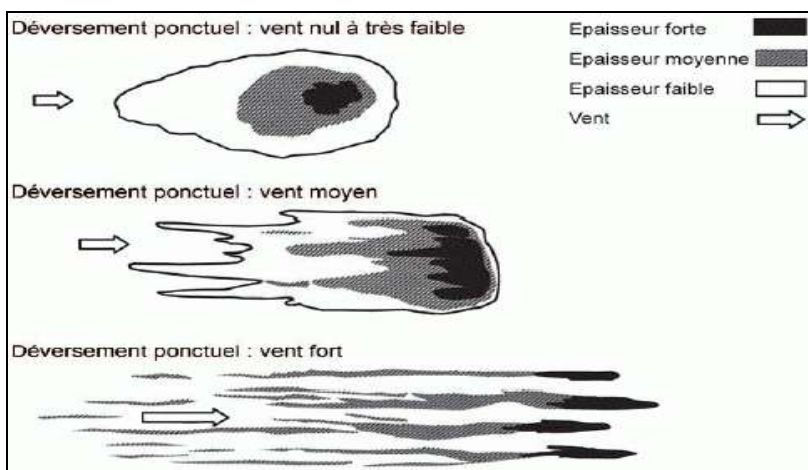
La viscosité traduit les frottements internes lors de l'écoulement d'un fluide. L'évaporation et l'émulsification évoquée ci-dessus modifie la viscosité, qui augmente, modifiant ainsi l'évolution et le déplacement des particules d'hydrocarbures.

Schématiquement, la vitesse de dérive en surface est proportionnelle à la vitesse du vent (entre 1,5 et 4,5 % de la vitesse d'un vent compris entre 0 et 80 kt), et aura tendance à être plus importante lorsque la profondeur de la colonne d'eau sera grande. Ainsi, un vent de 45 kt provoquera une dérive de 2,5 % de la vitesse du vent dans un bassin peu profond de 10m (soit 2 km/h), vitesse qui atteindra et dépassera en surface 3,5% de la vitesse du vent à partir d'une profondeur d'environ 100 m (soit 3 km/h). Cela est dû à la variation du profil de viscosité qui tient compte des frottements au fond de la colonne d'eau.

Certains modèles fonctionnent en effectuant la somme vectorielle de différentes composantes et en appliquant un certain pourcentage de la vitesse du vent dans une direction donnée pour représenter la dérive. Or le pétrole se déplace non seulement en surface mais également dessous : Météo France a donc choisi de développer un modèle hydrodynamique, plus performant car pouvant tenir compte du vent, des vagues, mais aussi des marées et des courants de grande échelle.

Les processus à modéliser sont donc le transport mécanique du produit et son vieillissement. Les phénomènes de dépôt sur les surfaces côtières et de pénétration dans les sédiments sont introduits dans le modèle numérique. Tous les processus, forts complexes, ne sont toutefois pas pris en compte (voir chapitre 4.3).

Le choix du modèle a été effectué de manière à pouvoir reproduire de forts gradients de vitesse à proximité de la surface de la mer, et à simuler une diffusion turbulente permettant de représenter correctement l'élongation des nappes dans le sens du vent. La diffusion turbulente, principalement due à l'effet des vagues, conduit à un fractionnement de la nappe en petites gouttes qui diffusent dans les trois directions, avec une accumulation de matière en tête de nappe (selon la théorie d'Elliot [5]).



Une nappe d'hydrocarbure aura ainsi tendance à se disperser pour plusieurs raisons :

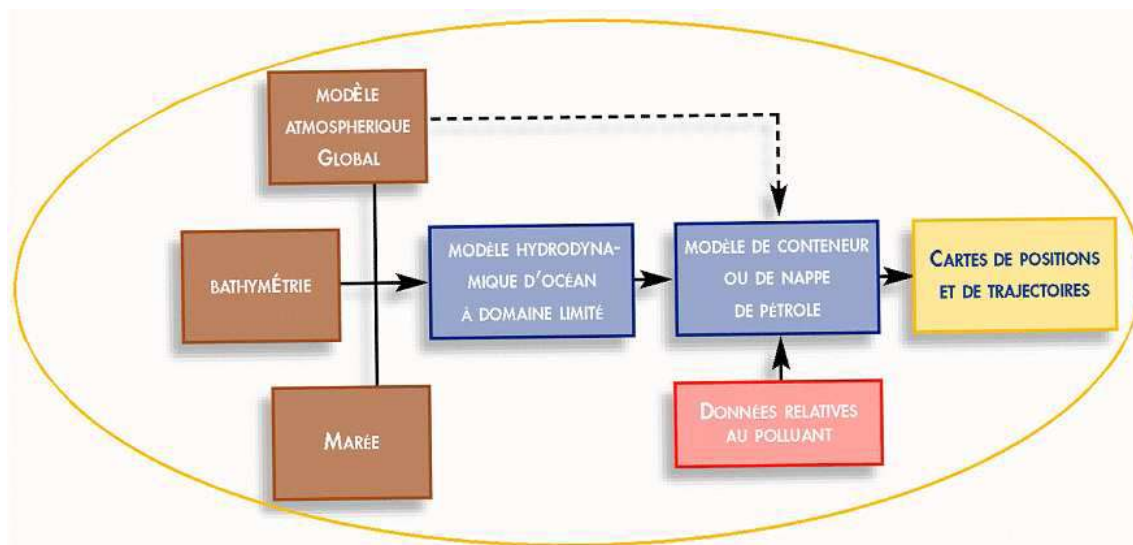
- les grosses particules ont tendance à rester en surface alors que les petites particules se déplacent dans la colonne d'eau. Le modèle tient compte d'une distribution uniforme de diamètres (compris entre 300 et 1200 μ m) appliqués à l'ensemble des particules ;
- du fait du cisaillement vertical du courant, les particules ont des vitesses et des déplacements différents selon leur profondeur.

Ainsi, chaque particule est animée d'un mouvement qui lui est propre, composé d'un déplacement horizontal dû à l'effet du courant et de la diffusion turbulente, et d'un déplacement vertical dû à la flottabilité et également à la diffusion turbulente. La variation du déplacement selon la taille et la profondeur des gouttes provoque une dispersion de la nappe.

Le système tient compte de la dispersion de la nappe par diffusion turbulente en appliquant aux gouttelettes d'hydrocarbure un déplacement aléatoire horizontal et vertical à chaque pas de temps. La flottabilité engendre un mouvement vertical pour chacune des gouttes selon son diamètre et sa densité.

Il est tenu compte de l'échouement possible des gouttelettes, celles-ci sont alors immobilisées dès qu'elles sortent du domaine maritime, tout comme celles qui atteignent le fond (celles-ci sont en proportion très faible : 0,1% de la masse totale après 10 jours, 3 % après 100 jours).

En réalité, le système de modélisation MOTHY est l'assemblage de plusieurs modèles distincts dans lequel l'océanographie est représentée par le couplage d'un modèle 2D avec un modèle 1D : le modèle 2D (modèle hydrodynamique) calcule le courant moyen intégré sur la colonne d'eau, puis les valeurs issues du modèle 2D et du modèle atmosphérique sont interpolées à la position (x, y) de la goutte de pétrole. Le modèle 1D (modèle de viscosité turbulente) est ensuite appliqué pour calculer le courant horizontal à la profondeur de la particule. La figure ci-dessous en schématise le fonctionnement.



4.1.1 Le modèle 2D

Le modèle 2D calcule le courant barotrope, les effets baroclines étant négligés à courte échéance (de quelques heures à quelques jours). Les effets baroclines sont en effet significatifs sur les circulations profondes de l'océan sur de longues échelles de temps. Ce modèle 2D intègre le forçage dû à l'effet du vent et de la pression atmosphérique, qui agit notamment sur la hauteur de la colonne d'eau.

Le modèle intègre le courant sur la profondeur, la hauteur d'eau totale, la tension du vent en surface, la pression atmosphérique et la diffusion horizontale en utilisant les équations de Saint-venant, équivalent de la relation fondamentale de la dynamique, et reliant le courant et l'élévation de la surface libre à la pression atmosphérique, au vent en surface et à la profondeur de l'eau :

$$\frac{\partial}{\partial t} + q \cdot \nabla q + f \cdot k \times q = g \cdot \nabla \eta - \frac{1}{\rho} \nabla p_a + \frac{1}{\rho H} (\tau_s - \tau_b) + A \cdot \nabla^2 q$$

(équation du bilan de la quantité de mouvement)

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla(H \cdot q) = 0$$

(équation de continuité)

Les termes de gauche de l'équation de bilan de la quantité de mouvement sont les termes d'accélération, dont la somme équilibre les forces de pression dues à l'atmosphère, à la colonne d'eau, à la tension du vent et des frottements au fond.

q est le courant intégré sur la profondeur, η l'élévation de la surface libre, H la hauteur d'eau totale, f le paramètre de Coriolis, k le vecteur unité vertical, P_a la pression atmosphérique en surface, τ_s la tension due au vent, τ_b le frottement au fond, ρ la masse volumique de l'eau (1026 kg/m³), g l'accélération de la profondeur, et A le coefficient de diffusion horizontale.

$\frac{\partial q}{\partial t}$: accélération du courant	
$f \cdot k \times q$: accélération liée à la force de Coriolis	$q \cdot \nabla q$: terme d'advection liée au courant
$-g \cdot \nabla \eta$: poussée d'Archimède	$-\frac{1}{\rho} \nabla P_a$: force de pression liée à l'atmosphère
$\frac{1}{\rho H} (\tau_s - \tau_b)$: force intégrant la différence de tension du vent en surface et les frottements au fond	
$A \cdot \nabla^2 q$: terme de viscosité, nécessaire à la modélisation numérique limitant les effets de « vibration » ($A=2000\text{m}^2/\text{s}$)	

Tension du vent en surface :

Les composantes horizontales de la tension du vent sont modélisées proportionnellement au produit des composantes u et v du vent horizontal à 10 m, de la masse volumique de l'air, et d'un coefficient de frottement air/eau.

$\begin{cases} \tau_{sx} = \rho_a \cdot C_d \cdot W_{10} \cdot W_{1x} \\ \tau_{sy} = \rho_a \cdot C_d \cdot W_{10} \cdot W_{1y} \end{cases}$	W_{10x}, W_{10y} composantes horizontales du vent à 10 mètres, ρ_a masse volumique de l'air (1,29 kg/m ³), C_d coefficient de frottement air/eau. $C_d = (0,8 + 0,065 \cdot W_{10}) \cdot 10^{-3}$
--	--

Forces de frottements au fond :

Le frottement au fond s'obtient de manière similaire, proportionnellement au produit des composantes du courant horizontal, d'un coefficient de frottement au fond (variable selon la nature des fonds, dix fois supérieur par exemple dans le cas de fonds coralliens), et de la masse volumique de l'eau.

$\begin{cases} \tau_{bx} = \rho \cdot C_b \cdot (U^2 + V^2)^{1/2} \cdot U \\ \tau_{by} = \rho \cdot C_b \cdot (U^2 + V^2)^{1/2} \cdot V \end{cases}$	U, V composantes horizontales du courant horizontal, ρ masse volumique de l'eau, C_b coefficient de frottement au fond ($C_b = 0,002$, mais dans le cas de récifs coralliens $C_b = 0,02$)
--	--

Conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont une composante normale de courant nulle à la côte, et une condition de radiation des ondes de gravité liée à l'élévation de la surface de la mer aux limites ouvertes du modèle. La composante du courant le long de la normale U_n dirigée vers l'extérieur est donnée par l'élévation de la surface libre :

$$U_n = \left(\frac{\sqrt{g \cdot h}}{H} \right) \eta \quad \text{L'élévation de surface de la mer } \eta \text{ est donnée par l'effet barométrique inverse :}$$

$$\eta = \frac{(\overline{P_a} - P_a)}{\rho g} \quad (\text{avec } \overline{P_a} = 1013,28 \text{ hPa})$$

Procédure d'intégration numérique :

Les équations du modèle sont intégrés sur une grille C d'Arakawa en utilisant un schéma numérique fractionné en trois pas explicites séparés.

Le premier pas, appelé pas d'ajustement, prend en compte les effets des ondes de gravité et des termes de Coriolis, et résout l'équation de continuité. L'équation de continuité n'est pas fractionnée, car des erreurs peuvent être introduites par les schémas aux différences finies quand les variations locales de la bathymétrie sont très grandes.

Le deuxième pas, dit pas advectif, prend en compte les termes d'advection non linéaires.

Le troisième pas, le pas physique, tient compte des effets de la tension due au vent, du frottement au fond et de la pression atmosphérique.

4.1.2 Le modèle 1D

Le modèle 1D calcule le profil vertical du courant horizontal à partir d'un profil de viscosité turbulente sous la contrainte de la tension de vent en surface, du frottement au fond, et du courant moyen calculé par le modèle 2D. Inspiré du modèle de Madsen (Poon et Madsen, 1991), il reproduit bien le flux dans la couche limite de surface. Cette méthode permet une bonne approximation du comportement des courants en eaux peu profondes, près des côtes par exemple. Le couplage du modèle 2D avec le modèle 1D permet de modéliser un meilleur comportement du système en bassins peu profonds, avec notamment la prise en compte des courants de pente et de dérive. Les hypothèses du modèle sont une densité homogène de l'océan de profondeur finie, l'hydrostatisme (équilibre des forces de pression et de gravité sur la verticale), les mouvements sont considérés horizontaux et stationnaires (accélération constante).

Equations du modèle 1D :

L'équation du mouvement horizontal s'écrit sous sa forme complexe :

$$\frac{\partial \hat{U}}{\partial t} + i f \hat{U} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial \hat{U}}{\partial z} \right) \quad - \hat{U} = u + i.v \text{ est la vitesse horizontale du courant (u et v composantes en x et y du courant),}$$

et on a : $\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y}$ - ν_t est la viscosité de l'eau,
- U , le courant intégré sur la profondeur, est défini comme suit :

$$U = \frac{1}{h} \int_0^h \hat{U} . dz \quad (h : \text{profondeur})$$

Le profil de viscosité :

Le profil de viscosité augmente linéairement selon la distance au fond ou à la surface, il dépend des vitesses de cisaillement du courant sur l'axe vertical, et de l'intensité du vent en surface. Le coefficient ν_t de viscosité de l'eau se calcule ainsi :

$\begin{cases} V_{ts} = K \cdot U_{*s} \cdot Z_s \\ V_{tb} = K \cdot U_{*b} \cdot Z_b \end{cases}$	<p>K est la constante de Von Karman ($\kappa=0,4$), U_{*s} et U_{*b} sont respectivement les vitesses de cisaillement en surface et au fond, Z_s distance par rapport à la surface, Z_b distance par rapport au fond</p>
--	---

En surface, le coefficient de viscosité varie avec l'intensité du vent et est calculé par la loi quadratique comme dans le modèle 2D. La vitesse de cisaillement en surface se calcule ainsi :

$$U_{*s} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

De la même manière, la vitesse de cisaillement au fond varie selon les frottements au fond, calculés de manière similaire au modèle 2D, elle est calculée ainsi :

$$U_{*b} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

La diffusion turbulente :

Ce phénomène survient aléatoirement dans les trois dimensions. Pour le restituer, le modèle calcule des distances horizontales et verticales appliquées aux particules à chaque pas de temps, selon des formules comprenant un nombre aléatoire R . K_h et K_v représente respectivement les coefficients de diffusions horizontale et verticale.

Le déplacement horizontal est donné par : $D_h = R \cdot \sqrt{2 \cdot K_h \cdot \Delta t}$ dans une direction $\theta = 2\pi \cdot R$ ($R \in [0 ; 1]$)

Le déplacement vertical est donné par : $D_v = (2R - 1) \cdot \sqrt{2 \cdot K_v \cdot \Delta t}$

La flottabilité :

La force de flottabilité engendre pour chacune des gouttes un mouvement vertical ascendant. Cette force dépend du diamètre et de la densité de la goutte prise en compte. Les gouttes sont réparties selon une distribution uniforme en diamètre de 300 à 1200 μm . Deux formules donnent la vitesse verticale U_f selon que le diamètre des gouttes est supérieur ou inférieur au diamètre critique d_c , lui-même défini par la formule suivante :

<p>Diamètre critique : $d_c = \frac{9,52 \cdot \nu^{2/3}}{\sqrt[3]{g \cdot (1 - \frac{\rho_0}{\rho})}}$</p>	<p>ρ densité de l'eau de mer, ρ_0 densité de la particule, ν viscosité de l'eau de mer.</p>
<p>Si $d \leq d_c$: $U_f = \frac{g \cdot d^2 \cdot (1 - \frac{\rho_0}{\rho})}{18 \cdot \nu}$</p>	<p>Si $d \geq d_c$: $U_f = \sqrt{\frac{\lambda}{\nu} \cdot g \cdot d \cdot (1 - \frac{\rho_0}{\rho})}$</p>

L'échouement :

Les gouttes restent dans la colonne et sont soumises aux différentes forces décrites ci-dessus. Si, à un pas de temps donné, une goutte se déplace horizontalement à l'extérieur du domaine maritime du modèle, c'est à dire sur terre, elle est immédiatement considérée comme échouée et est ainsi définitivement immobilisée, tout comme les gouttes qui atteindraient le fond de la mer.

4.2 MOTHY version « objets »

MOTHY a été construit à partir d'une méthode de modélisation de dérives d'icebergs. Le système calculant la dérive de nappes d'hydrocarbures a été modifié pour évoluer vers une nouvelle version, opérationnelle depuis 1998, permettant de modéliser la dérive d'objets flottant à la surface, selon leur taux d'immersion.

4.2.1 Forces s'appliquant sur l'objet

L'équation du mouvement de l'objet est obtenue en appliquant le principe fondamental de la dynamique (l'accélération subie par un corps dans un référentiel galiléen est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit, et inversement proportionnelle à sa masse m) dans le référentiel terrestre :

$$m \cdot \frac{dV}{dt} + M \cdot f \cdot k \times V = F_a + F_w + F_r$$

m : masse de l'objet

k : vecteur unitaire vertical

t : temps

F_a : force de résistance due au vent

V : vitesse de l'objet

F_w : force de résistance due au courant

f : paramètre de Coriolis

F_r : force de dérive due aux vagues

Les forces de résistances due au vent et au courant sont définies de la manière suivante :

$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot S_a \cdot V_a - V \cdot (V_a - V)$	$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot S_w \cdot V_w - V \cdot (V_w - V)$
ρ_a, ρ_w : masses volumiques de l'air et de l'eau de mer C_a, C_w : coefficients de traînées dans l'air et dans l'eau	V_a, V_w : vitesses du vent et du courant S_a, S_w : force de dérive due aux vagues

Des approximations d'ordre de grandeur peuvent être faites : après simplification, on aboutit à l'équation du mouvement suivante :

$$V = \frac{a \cdot V_a + b \cdot V_w}{a + b} \quad \begin{aligned} a &= \sqrt{\rho_a \cdot C_a \cdot S_a} \\ b &= \sqrt{\rho_w \cdot C_w \cdot S_w} \end{aligned}$$

4.2.2 Modélisation de la dérive d'objets

Un taux d'immersion est fixé pour chaque objet constant pendant tout le calcul. Neuf objets sont considérés, avec un taux d'immersion compris entre 20 % et 100 % par pas de 10 %. Les conteneurs les moins immergés, plus sensibles à l'effet du vent, dérivent plus rapidement que les objets très immergés.

4.3 Forçages atmosphériques et océanographiques

4.3.1 Forçages atmosphériques

L'effet des vagues de la mer du vent est pris en compte de manière implicite dans le calcul du courant lié au vent. La dérive éventuelle liée à la houle n'est par contre pas prise en compte. Le modèle MOTHY est forcé par les champs de vent et pression des modèles atmosphériques listés ci-après, interpolés sur une grille de maille variable selon les domaines, de 5' d'arc jusqu'à 1/10' pour certains atolls de Polynésie. Depuis la version 2.0 mis en service en juillet 2007, le prévisionniste peut choisir l'un des cinq modèles atmosphériques suivants, sur une période maximale de J-19 à J+5 :

- ARPEGE, modèle global étiré 0,25°, actualisé 4 fois par jour, utilisé sur les mers européennes, de résolution maximale T1291 soit 15 km.
- Aladin-France, modèle à aire limitée centré sur la France, forcé par ARPEGE, d'une résolution de 9,5 km, également actualisé 4 fois par jour, domaine régional 0,1°.
- ARPEGE Tropic, modèle global non étiré d'une résolution de 37 km, actualisé 2 fois par jour, optimisé pour la prévision entre 30°N et 30°S, domaine global 0,5°.
- ALADIN Réunion, modèle à aire limitée centré à proximité de La Réunion, forcé par ARPEGE, actualisé 2 fois par jour, recouvre une grande partie de la zone de responsabilité du CMRS, domaine régional 0,1°.
- IFS, modèle du CEPMMT, actualisé 2 fois par jour pour les prévisions outre-mer ou pour les prévisions à moyenne échéance, domaine global 0,25°.

Les versions précédentes de MOTHY n'avait accès jusque-là qu'aux modèles ARPEGE et IFS actualisés une fois par jour seulement. La qualité des prévisions de vent influant directement sur celle de la prévision de dérive, cette évolution assure une plus grande précision au système.

Le modèle fonctionnant avec des données atmosphériques de résolution spatiale en général supérieure à la résolution de calcul de MOTHY, celui-ci interpole les données atmosphériques dans l'espace (par exemple avec la maille de 5' du modèle 2D et les données atmosphériques de ARPEGE 0,25°) mais aussi temporellement (pas du calcul fixé à 20 secondes dans MOTHY pour une sortie de modèle tous les six heures).

4.3.2 La bathymétrie

Les calculs effectués par le modèle MOTHY nécessite la connaissance de la colonne d'eau, il est donc important de connaître la bathymétrie des océans et d'intégrer ces données dans le modèle. Certains domaines de calcul ont été renseignés à partir de cartes du SHOM numérisées, à une résolution comprise entre 0,1 et 5 minutes d'arc. Les domaines géographiques limités imbriqués dans le domaine de résolution 5' ont une maille plus fine (de 1 minute à 1/10 de minute).

Une bathymétrie globale est également disponible à une résolution de 1 ou 5 minutes d'arc, il s'agit de données issues du GEBCO, organisme chargé de la représentation bathymétrique générale des océans, dans le cadre de l'Organisation Hydrographique Internationale. Ainsi, les simulations peuvent être effectuées sur tous les océans. Cependant, le nombre important de points constituant une telle base de données allongent considérablement les temps de calculs. Afin d'optimiser ceux-ci, les domaines disponibles sont décrits par maille de 5° x 5° dans le cas d'une résolution de 1' et par maille de 12° x 12° dans le cas d'une résolution de 5'.

Le prévisionniste peut donc choisir d'activer MOTHY avec une résolution variable comprise entre 1/10 de minute et 5 minutes en fonction de la position de la pollution et de la situation météorologique. En général, à plus de 10 nautiques des côtes, une résolution basse est suffisante. Il existe 46 domaines prédéfinis sur tout le globe, en dehors de ceux-ci, on peut choisir :

- une zone de 5° de côté centrée sur la position de l'accident (extraction GEBCO 1 minute) recommandée pour des dérives proches des côtes, ce choix est plus coûteux en calcul, et dans le cas de dérives longues, le domaine peut s'avérer insuffisant ;
- une zone de 12° de côté centrée sur la position de l'accident (extraction GEBCO 5 minutes) recommandée pour des dérives loin des côtes.

4.3.3 Les marées

Le modèle MOTHY prend en compte les courants générés par le vent mais aussi les courants de marée. Certains domaines sont définis avec une marée dont l'amplitude et la phase sont issues d'observations de réseaux marégraphiques (Manche, Mer du Nord, Golfe de Gascogne, Ouest Portugal, Mer Rouge, Golfe Persique). Notons que l'impact des marées sur la dérive des objets diminue et devient faible lorsque l'on s'éloigne des côtes.

Il est néanmoins prévu d'utiliser à terme un modèle de marée globale (le modèle de marée FES du LEGOS), permettant une couverture globale et une précision améliorée des courants de marée grâce à l'assimilation de données. Les cartes de marée FES sont en effet issues d'un modèle hydrodynamique assimilant des données issues de réseaux marégraphiques et d'analyse d'observations satellitales. La prise en compte par MOTHY de ces données permettra une meilleure résolution sur les domaines aujourd'hui non définis.

4.3.4 Les courants de grande échelle

Jusqu'en 2007, MOTHY intégrait les courants de grande échelle en Méditerranée uniquement, à partir de données climatologiques. Depuis, le système MOTHY intègre les courants analysés et prévus du système de modélisation MERCATOR sur la Méditerranée et l'Atlantique Nord, avec une maille horizontale comprise entre 5 et 7 km (1/15°). Il fournit également une description globale avec une maille horizontale de 6 à 26 km (1/4°). La Méditerranée est également décrite par le modèle MFS avec une maille horizontale de 1/16°. Des analyses et des prévisions à 2 semaines sont fournies chaque semaine. Le prévisionniste peut choisir d'intégrer ou non ces données dans le calcul. Ce choix se fait dans la partie « choix de modèle océanique » qui est proposée après le choix du modèle atmosphérique.

4.4 Les limites du système MOTHY

Il existe évidemment des limites au système de modélisation, dues aux approximations et aux différents phénomènes physico-chimiques non pris en compte. MOTHY gère par exemple la déposition des particules ou objets sur les côtes, ou la pénétration de particules dans les sédiments mais ne tient pas compte des processus éventuels de re-mobilisation des particules.

D'autre part, plusieurs processus physico-chimiques sont complexes à modéliser, et certains phénomènes ne sont pas intégrés par MOTHY, phénomènes plus ou moins importants dans l'évolution des nappes d'hydrocarbures.

Il existe des modèles prenant en compte certains de ces processus, notamment au CEDRE (gestion de l'émulsification et de l'évaporation des produits), mais les jonctions avec MOTHY sont peu pratiques en phase opérationnelle et la plupart du temps les processus suivants n'interviennent pas dans le calcul :

- évaporation : processus important en termes de transfert de masse durant les premiers jours. L'évaporation dépend de la composition du pétrole, de l'épaisseur de la nappe et de son étendue, de la température de l'air et de la mer, de la vitesse du vent, du rayonnement solaire.
- dissolution : elle n'affecte qu'une très petite partie de la masse (en général moins de 1 %) mais elle a des conséquences biologiques et toxicologiques importantes.
- émulsification : sous l'effet mécanique du brassage, il se forme un mélange huile – eau de mer qui accroît de 2 à 5 fois le volume de la nappe, réduit son évaporation de plusieurs ordres de grandeur et rend les opérations de nettoyage plus difficiles.
- photo-oxydation et biodégradation : l'oxydation par le soleil génère des composés solubles dans l'eau de mer, la biodégradation est due aux micro-organismes. Ces deux processus peuvent être négligés dans les modèles de dérive car les échelles de temps sont de l'ordre de la semaine pour le premier, du mois ou de l'année pour le second.

L'évaporation et l'émulsification influent fortement sur la viscosité, qui augmente au cours du temps. Elle est le facteur prépondérant dans le choix des moyens de lutte : moyens de récupération à terre et en mer, possibilités de pompage et de transfert, traitement chimiques par produits dispersants, utilisation de produits désémulsifiants ou d'absorbants.

En terme de dynamique, les approximations effectuées influent sur le calcul de la vitesse. Certaines valeurs utilisées par le modèle ne sont pas connues de façon exactes et ne peuvent être qu'approchées : la forme, le taux d'immersion, la prise au vent, l'équilibre, les dimensions, toutes ces valeurs ne peuvent être parfaitement renseignées, certaines données sont donc estimées (coefficients de traînée dans l'air ou dans l'eau, surfaces).

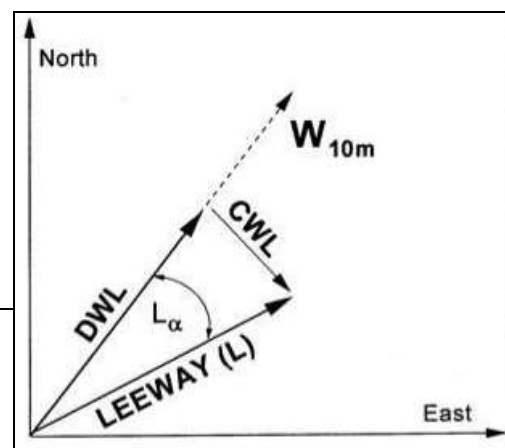
De même, la force de portance, normale à la direction du flux, n'est pas prise en compte. Significative sur de grands objets, elle varie selon la géométrie de l'objet et son orientation par rapport au vent. Les scientifiques américains ont développés une méthode de modélisation de dérives afin de contourner cette difficulté (méthode décrite plus loin, appelée méthode « Leeway »).

4.5 La méthode « Leeway »

4.5.1 Principe de la méthode « Leeway »

Leeway est un terme nautique signifiant « dérive ». Une définition du *Leeway* a été donnée par Fitzgerald et al. (1993) : « vecteur vitesse de l'objet SAR (*search and rescue*), généré par le vecteur vent (à 10 m) et les vagues, défini par rapport au vent lorsque l'objet se déplace par rapport au courant de surface mesuré entre 0,30 m et 1 m de profondeur. »

Depuis les années 1980, des organismes de recherche, en collaboration avec la garde côtière américaine, ont mené un certains nombres d'expériences afin de déterminer la dérive de



plusieurs types d'objets ou embarcations. Ils se sont intéressés au mouvement d'objets dérivants, mouvement dû à l'action du vent sur la partie exposée de l'objet, et bien évidemment dû également au courant provoqué par le vent. Les études portaient sur la position et la vitesse de l'objet, en tenant compte du vent à 10 m et du courant de surface.

Le vecteur *Leeway* se décompose en un module (L) et un argument (L_α), ou plus simplement en deux composantes, l'une parallèle au vent (DWL : DownWind Leeway component), l'autre perpendiculaire au vent (CWL : CrossWind Leeway component).

Les essais et les recherches effectuées ont montré que les deux composantes du vecteur vitesse pouvaient être considérées comme des fonctions affines de la force du vent. Les coefficients de ces fonctions affines sont différents selon l'objet considéré. Ce sont les expérimentations menées par les gardes-côtes américains, qui, en étudiant le comportement en mer de 63 types d'objets différents, ont permis d'établir un classement (*Review of leeway : Field Experiments and Implementations* [7]). A chacune des 63 classes d'objets, les coefficients des fonctions affines de DWL et CWL ont été établis à partir du vent à 10 mètres.

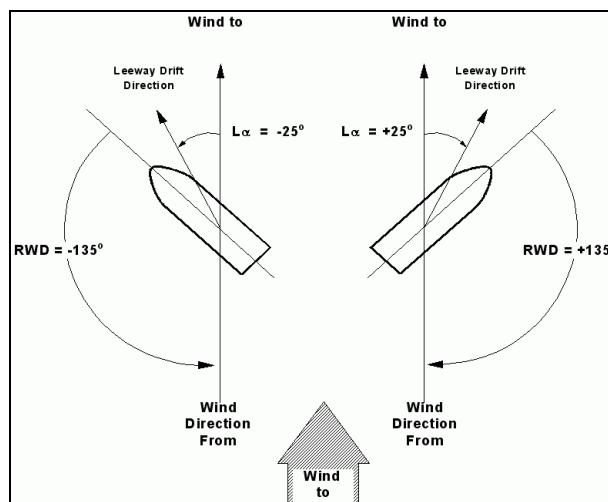
Par convention, DWL est toujours positif, et la composante de dérive CWL prend une valeur positive ou négative selon l'orientation de l'objet en début de dérive. Les composantes s'écrivent de la manière suivante :

$DWL = a_D V_a + b_D + e_D \sigma_D$	$CWL = a_C V_a + b_C + e_C \sigma_C$
a_D, b_D, a_C, b_C : coefficients du <i>Leeway</i> σ_D, σ_C : écarts types des régressions linéaires effectuées entre force du vent et DWL / CWL e_D, e_C : perturbations aléatoires	

Le schéma ci-contre illustre les composantes du *Leeway* avec la direction du vent qui sera celle du DWL, et les dérives transversales (CWL), qui seront positives ou négatives selon la position initiale de l'objet par rapport au vent en début de dérive.

Cette méthode induit des incertitudes, puisque les coefficients sont estimés à partir d'observations, et qu'il n'est pas possible de connaître parfaitement l'orientation de l'objet par rapport au vent, sans compter les imprécisions sur la nature des vents et des courants.

Les zones de recherches obtenues par cette méthode sont souvent étendues et séparées en deux à cause de l'orientation initiale de l'objet par rapport au vent.



4.5.2 Description de MOTHY-L

Depuis 2005 a été développé une version de MOTHY, baptisée MOTHY-L, qui reprend le principe du *Leeway* en s'inspirant d'un modèle norvégien, avec toutefois quelques particularités. Ce chapitre décrit la version implémentée à Dprevi/Mar, encore non validée pour la phase opérationnelle.

4.5.2.1 Principe et fonctionnement de MOTHY-L

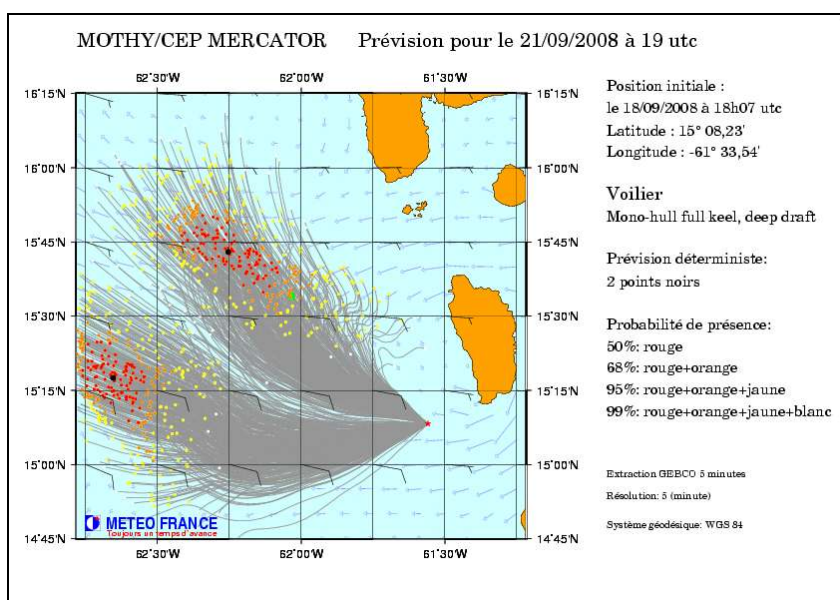
Le modèle MOTHY-L considère que la dérive de l'objet est composée de la dérive due au courant de surface choisi à un mètre de profondeur et de la dérive due au vent et aux vagues qui s'exprime par ses deux composantes DWL et CWL.

La méthode consiste à appliquer les coefficients déterminés à un ensemble d'objets, en les faisant varier par une perturbation aléatoire (e_c ou e_D) portée sur l'écart type (σ_D ou σ_c) introduit dans les équations affines des composantes longitudinales et transversales de la dérive. Les positions probables sont ainsi estimées à partir d'un nuage de points (dans le cadre de notre projet, il s'agit d'un ensemble de 480 points) exprimant la nature aléatoire de la dérive et les incertitudes concernant les caractéristiques de l'objet, sa position initiale, les conditions météorologiques et océaniques, les coefficients de traînée et de portance.

Les coefficients permettant les calculs des composantes du *Leeway* sont issus de l'étude « Review of Leeway : Field Experiments and Implementation » (1999) menée pour la garde côtière américaine. Les coefficients des fonctions affines exprimant DWL et CWL sont intégrés au modèle : la pente a_D , a_{Cr} et a_{Cl} , l'ordonnée à l'origine b_D , b_{Cr} et b_{Cl} , et les écart types σ_D , σ_{Cr} , σ_{Cl} , respectivement pour DWL et CWL à droite ou à gauche. Les coefficients à droite ou à gauche du CWL sont répartis chacun sur la moitié des objets modélisés.

A la différence du modèle norvégien LEEWAY [2], seule l'ordonnée à l'origine est perturbée dans MOTHY-L, et les perturbations appliqués aux coefficients, qui suivent une loi gaussienne comme dans le modèle LEEWAY, sont constantes pendant toute la simulation (le modèle norvégien les fait varier dans le temps).

L'étude de K. Belleguic montre que les bases empiriques et statistiques du modèle MOTHY-L donnent de bons résultats en comparaison au modèle MOTHY. Il s'agit toutefois d'un produit qui nécessite encore des améliorations, notamment sur la méthode de perturbations du vent et du courant, ou sur la précision des coefficients par l'expérimentation, etc.



Le graphique ci-contre illustre une simulation effectuée en mode *Leeway* avec MOTHY-L.

On observe les deux ensembles de points correspondant aux variations des composantes DWL et CWL, à droite et à gauche de l'axe du vent (les perturbations des coefficients des fonctions affines).

Comme on peut s'en rendre compte, les probabilités de présence sont représentées par différentes couleurs correspondant à des pourcentages. Ceux-ci expriment en réalité la répartition géographique qui est la conséquence des perturbations appliquées à chacun des 480 points.

Le pourcentage indiqué représente la proportion de points répartis selon la distribution aléatoire gaussienne appliquée aux perturbations. Ainsi, les points de couleur rouge représente les 50 % de l'ensemble des points dont les probabilités d'occurrence sont les plus importantes. Le critère retenu pour illustrer la légende utilise les intervalles de confiance d'une distribution gaussienne.

On note que les points qui ont le plus de chance de se produire (points rouges) sont les moins dispersés, et que plus la perturbation appliquée s'éloigne des cas les plus probables, plus la dispersion géographique des points est importante. Les points noirs représentent la prévision déterministe du modèle, ils correspondent à l'application des fonctions affines sans application de perturbation.

5. LA PRÉVISION D'ENSEMBLE

5.1 Principes de la prévision d'ensemble

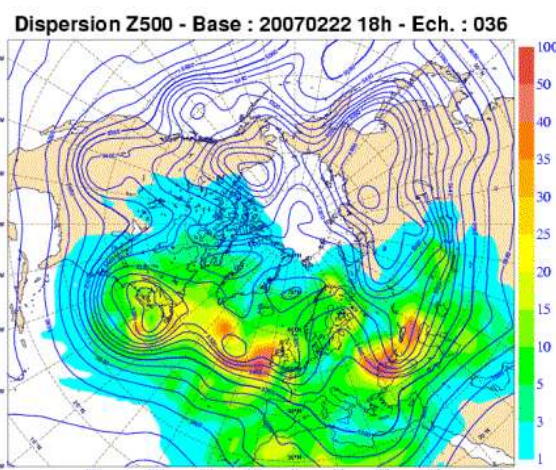
L'une des sources d'erreur des prévisions est l'inexactitude des données d'observation définissant l'état initial de l'atmosphère. Afin de pallier à ces inexactitudes, le principe de la prévision d'ensemble est de réaliser un grand nombre de simulations avec un même modèle numérique en modifiant très légèrement l'état initial lors de chaque simulation. Ces modifications (appelées perturbations) sont choisies par des méthodes mathématiques de manière à modifier au maximum la prévision tout en restant inférieures aux incertitudes de l'état initial. La prévision d'ensemble est ainsi élaborée dans le but de couvrir le plus d'alternatives crédibles possibles au scénario non perturbé (appelé aussi « prévision de contrôle ») : pour une échéance donnée, on obtient autant de prévisions équiprobables d'états futurs que l'on a réalisé de variantes de l'état initial.

Cette méthode permet de déterminer le futur le plus probable, d'évaluer l'incertitude de cette prévision sous une forme qualitative (par un indice de confiance) ou quantitative (calcul des probabilités d'occurrence), ou encore d'élaborer un ensemble de prévisions alternatives plus ou moins probables (prévision probabiliste).

5.2 Présentation de quelques applications de la prévision d'ensemble

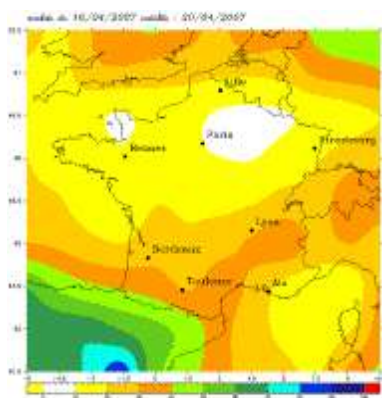
5.2.1 Les statistiques de la distribution

Des champs de la moyenne et de la dispersion, définie comme l'écart-type des membres de l'ensemble, sont produits par exemple pour la température et le géopotentiel à 500hPa. Ces champs permettent de visualiser la prévision la plus probable et l'incertitude autour de cette prévision. L'exemple ci-contre illustre la variation de la dispersion du géopotentiel à 500 hPa de la PEARP sur l'Atlantique Nord. Les fortes dispersions (orange-rouge) sont en général situées à proximité des zones de fort gradient, qui présentent le plus d'incertitudes.

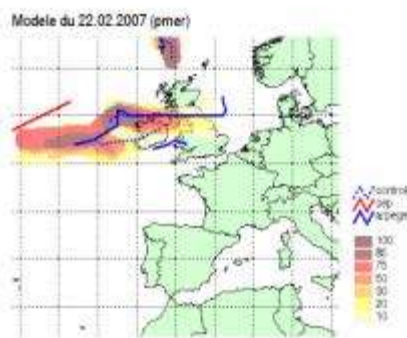


5.2.2 Les champs probabilistes

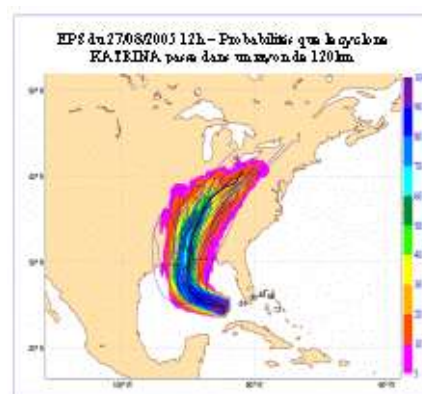
La probabilité d'un événement quelconque peut directement être fournie par la proportion de membres de l'ensemble prévoyant cet événement (nombre de prévisions pour lesquelles cet événement est prévu rapporté au nombre total de prévisions), toutes les prévisions étant supposées équiprobables. Il est ainsi possible de suivre l'évolution temporelle de probabilités en un point donné, ou bien de cartographier des probabilités sur un domaine déterminé. L'information probabiliste est par exemple utilisée pour estimer les trajectoires les plus probables de dépressions ou de cyclones (« strike probabilities »). Il s'agit là a priori du mode de représentation recherchée pour estimer les présences d'objets dérivants.



probabilités de taux de précipitations
sur 24h > 0 mm



densité de trajectoires de dépressions
(système PEARP)

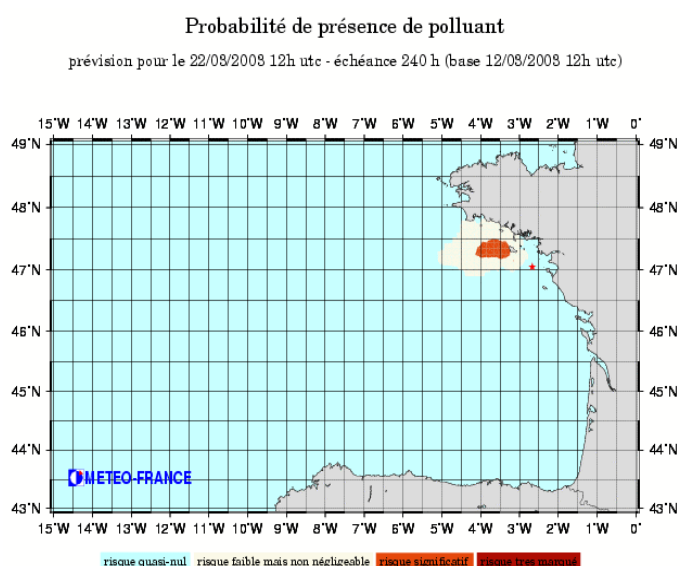


strike probabilities sur le cyclone Katrina
(système EPS)

5.2.3 La dérive de polluants marins

Lors des naufrages de l'Erika et du Prestige, Météo-France a déjà mis en oeuvre de manière expérimentale des prévisions d'ensemble en couplant des prévisions de l'EPS au modèle MOTHY de DPREVI/MAR. Il a ainsi été possible d'identifier les risques de dérive des nappes d'hydrocarbure sur les côtes.

Au cours de ce stage, nous avons tenté de représenter les probabilités de présence d'un objet en utilisant également les différents forçages atmosphériques de la prévision d'ensemble. Nous n'avons toutefois pas pu récupérer les éléments produits dans le cadre de l'étude du naufrage de l'Erika et avons dû élaborer les scripts nécessaires à notre étude.



6. PROBLÉMATIQUE DE LA REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DÉRIVES ISSUES DE LA PRÉVISIONS D'ENSEMBLE

La simple superposition graphique des simulations de dérive ne permet pas une interprétation immédiate. Le souci de l'utilisateur étant de connaître la zone dans laquelle il devra commencer les recherches, ou qui devra être traitée en priorité dans le cas d'une pollution, on verra que les superpositions ne sont que peu exploitables directement. Cette superposition indique malgré tout la dispersion associée aux différents forçages.

Chaque mode de modélisation implique une représentation qui doit être traitée différemment. Ainsi dans le cas de la nappe d'hydrocarbures, la superposition des runs fera apparaître un nuage de près de 25 000 points représentant les 51 simulations de l'EPS. Nous aurons donc envie de connaître le taux de probabilité pour que l'objet identifié comme une nappe soit effectivement présent dans la zone de recherche.

De la même manière, la représentation *Leeway* dessine un nuage de points illustrant en réalité deux positions probables selon la position initiale de l'objet dérivant et la dérive à droite ou à gauche par rapport au vent. Là encore, il est souhaitable de dégager une probabilité de présence au sein de la zone couverte par la simulation, car cette zone peut être très étendue du fait de la grande dispersion des points.

A partir d'un certain nombre de points, l'exploitation du document graphique les représentant tous devient difficile : il faut envisager d'autres modes de représentation.

La modélisation en mode « objet » semble plus simple à traiter, car une simple mise en couleur suffit pour décrire finalement assez bien un zonage qui sera moins complexe à représenter puisque pour chaque taux d'immersion, il n'apparaît « que » 21 ou 51 points selon l'origine de la prévision d'ensemble.

Cependant, il se pose la question de la méthode à employer pour représenter l'incertitude liée à la prévision d'ensemble. Nous envisageons deux pistes :

- 1- Représenter graphiquement la probabilité de présence d'éléments en fonction du nombre de runs qui les ont positionné en un point, après avoir défini un maillage dans lequel nous devons déterminer cette probabilité ;
- 2- Représenter graphiquement la densité du nombre de points : chaque position étant équiprobable, on peut s'intéresser non pas aux nombres de runs qui les placeront à un endroit donné, mais simplement à la densité des points représentés. En effet, si dans une zone, plusieurs runs amènent un grand nombre de points, on peut penser que la probabilité de présence de l'objet recherché sera grande. Cette solution pourrait par exemple être intéressante dans le cas d'un très grand nombre de points à traiter. Cette solution sera à manipuler avec précaution avec la méthode *Leeway* dans laquelle toutes les trajectoires ne sont pas équiprobables ;
- 3- Représenter la moyenne des positions prévues.

7. OUTILS DÉVELOPPÉS POUR REPRÉSENTER LES DÉRIVES ISSUES DE LA PRÉVISION D'ENSEMBLE

7.1 Fonctionnement actuel du modèle MOTHY

Le modèle de dérive MOTHY est lancé en opérationnel depuis le Centre National de Prévision par le prévisionniste marine. Installé sur un serveur, il utilise la puissance de calcul du NEC pour fournir des simulations de dérive disponibles très rapidement puisque le délai moyen de mise à disposition de ces simulations n'excède pas vingt minutes. Pour les besoins du stage, le modèle a été installé sur une machine dédiée et les simulations, essais graphiques et productions se sont donc effectués en local.

L'environnement de travail dont nous disposons se compose d'un ordinateur sous distribution *Mandriva Linux*, version 2009.0 avec un environnement graphique *Gnome*. Une session a été créée pour le stage et le modèle de dérive MOTHY était installé sur notre répertoire.

Les dossiers d'installation ont une grande importance dans le lancement et le fonctionnement de MOTHY, il semble donc nécessaire de s'y attarder quelque peu. Ainsi, l'arborescence du dossier *mothy* installé sur notre répertoire *tse09* se présentait de la sorte :

/home/tse09/mothy

- ↳ bin
- ↳ src
- ↳ EPS
- ↳ data
- ↳ PEARP
- ↳ tmp
- ↳ trace
- ↳ maree
- ↳ courant
- ↳ bathy
- ↳ script "DERIVE"
- ↳ M1_ARPEGE.00.grb
- ↳ M1_CEP.00.grb

DERIVE est le script shell permettant de lancer le modèle via la commande « *./DERIVE* » tapée dans un terminal. Pour fonctionner correctement en local, tous les fichiers texte dont le modèle a besoin doivent être placés dans le répertoire *data* et les divers scripts shell et exécutables doivent se trouver dans le répertoire *bin*.

Le dossier *trace* est un répertoire où un fichier grib (.grb) peut être positionné afin d'en représenter graphiquement les champs grâce à un script dédié.

Le dossier *maree* contient les fichiers nécessaires à la prise en compte dans le modèle des marées tout comme le répertoire *courant* qui fournit les données de courant sur les différents domaines disponibles.

Le dossier *bathy* regroupe les fichiers de données de bathymétrie sur les domaines disponibles, fichiers nécessaires au calcul puisque le modèle tient compte des profondeurs pour estimer les vitesses de dérive.

Le dossier *src* contient les codes sources du modèle. Ces codes, en Fortran, sont compilés en exécutables placés dans le répertoire *bin*. Ce dernier contient également les scripts shell appelés par le script *DERIVE* pour lancer et exécuter les commandes nécessaires à la réalisation des simulations MOTHY.

Enfin, le dossier *data* regroupe des fichiers de constantes nécessaires et les fichiers créés lors des calculs et lors de la réalisation des sorties graphiques.

Nous aborderons plus en détail les répertoires *src*, *bin* et *data* lors de la description des modifications effectuées pour représenter les simulations de dérive établies avec des runs de prévision d'ensemble.

A partir de l'organisation décrite ci-dessus, le modèle Mothy est exécuté à partir de différents scripts shell qui appellent les exécutables des codes sources. Nous allons donc aborder quelques codes sources présents et détailler ensuite l'organisation et la fonction des scripts shell présents.

7.1.1 Quelques codes sources

Le principal code source est *MOTHY.f*. Il est utilisé pour la réalisation des simulations quelque soit le type de simulation effectuée, c'est-à-dire dérive de nappes d'hydrocarbure, dérive d'objets selon leur taux d'immersion ou enfin dérive d'objets selon la méthode *Leeway*. Ce programme fait appel à d'autres codes réalisant une fonction particulière dont voici une liste non exhaustive :

- ✓ *commun* : assure notamment le calcul de la tension du vent, la lecture des fichiers de bathymétrie, de courant ;
- ✓ *ocean2d* : pour la modélisation d'un océan barotrope en 2D prenant en compte par exemple la tension en surface due au vent, le frottement au fond ;
- ✓ *pollu_h* : définit la distribution de la taille des gouttes en cas de simulation hydrocarbures, en fonction d'un diamètre critique ;
- ✓ *pollu_c* : initialise les paramètres liés aux objets dans le cas d'une simulation de dérive d'objets en fonction du taux d'immersion ;
- ✓ *pollu_l* : initialise les paramètres liés aux objets *Leeway* qui sont affectés de coefficients perturbés de manière aléatoire par des variables distribuées selon une loi normale ;
- ✓ *gaussienne-box-muller* : génère la suite de nombres aléatoires suivant une loi normale permettant de perturber les coefficients des objets *Leeway* ;
- ✓ *maree* : calcule les caractéristiques des marées ;
- ✓ *extrema* : permet que les proportions des différentes fenêtres de représentation graphique demeurent constantes.

D'autres codes sources permettent de compléter l'éventail des possibilités offertes par *MOTHY*. Le code source *MOTHY-r.f*, par exemple, permet la réalisation de simulations à rebours, c'est-à-dire de reproduire le chemin emprunté par une particule ou un objet à partir d'une position constatée. *MOTHY-fuite.f* quant à lui, permet de représenter une fuite continue d'hydrocarbures en simulant le déversement de particules toutes les trente minutes sur une période maximale de soixante jours.

7.1.2 Organisation et fonction des scripts shell

Le script *DERIVE* placé dans */home/tse09/mothy* et lancé initialement appelle successivement deux scripts :

- ✓ *SAISIE* permet de saisir sur le terminal les informations nécessaires en début de simulation, et d'enregistrer ces informations dans les fichiers correspondants, puis de lancer les calculs de dérive.
- ✓ *GRAPHIQUE*, pour effectuer les représentations graphiques associées au calcul de dérive.

Ce script se positionne dans le répertoire */home/mothy/data*, les scripts *SAISIE* et *GRAPHIQUE* travaillent donc dans ce répertoire.

SAISIE permet de définir la position initiale de l'accident, le domaine de calcul, le modèle de forçage atmosphérique, le modèle océanique si nécessaire, les heures de lâcher du polluant, l'échéance maximale de la simulation, ainsi que les différents paramètres propres à chaque type de simulation comme par exemple la masse volumique pour les hydrocarbures ou le type d'objet choisi. Pour ceci, il a besoin de fichiers de constantes placés dans */home/mothy/data*. Ces données sont alors inscrites dans un fichier *datapollu* également placé dans */home/mothy/data*.

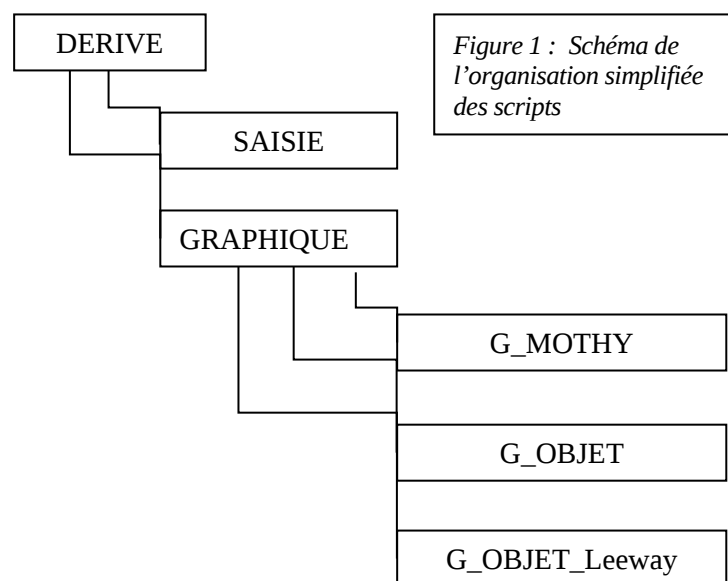
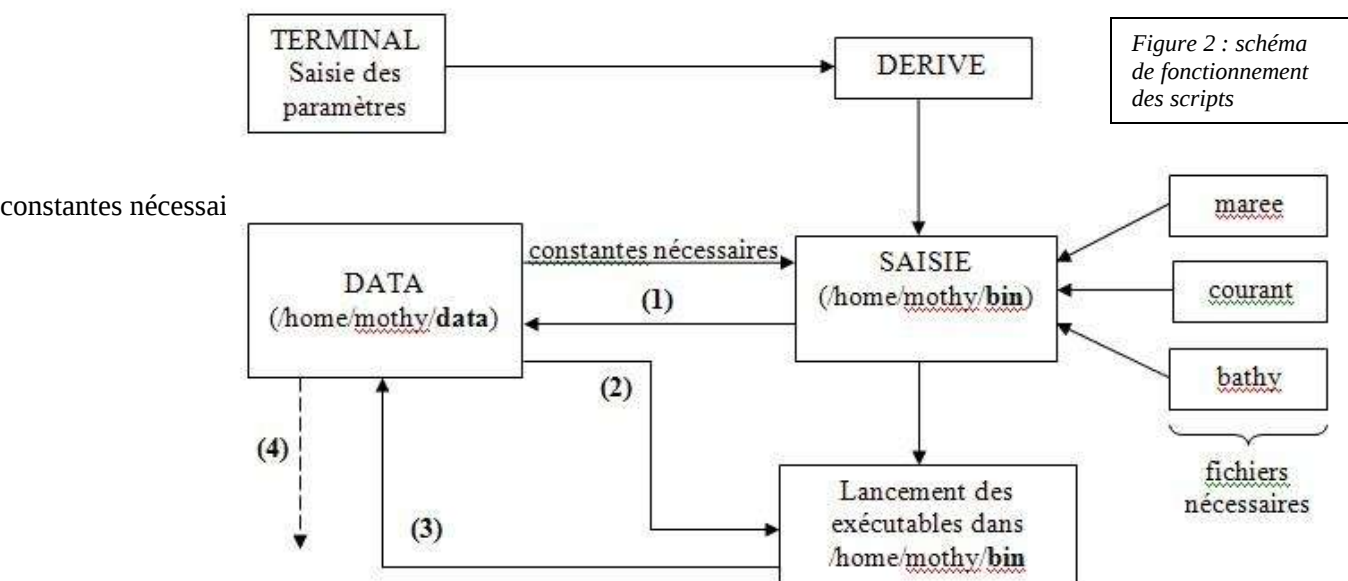


Figure 1 : Schéma de l'organisation simplifiée des scripts

Le script permet ensuite d'effectuer les extractions des données atmosphériques à partir de fichiers grib. Pour fonctionner en local et pouvoir effectuer des simulations basées sur la prévision d'ensemble PEARP ou EPS, les fichiers grib sont placés dans deux répertoires *PEARP* et *EPS*. Un fichier *vent.txt* est créé par le script dans */home/mothy/data* à partir des fichiers grib. Ce fichier sera nécessaire au modèle pour ses calculs. Enfin, *SAISIE* lance les calculs via les exécutables fortran placés dans *bin* en fonction du type de simulation à générer.



- (1) envoi des fichiers créés nécessaires à l'exécutable du code fortran pour effectuer les calculs, notamment *vent.txt*, *courant.txt* et *datapollu* où sont stockés les paramètres de la simulation
- (2) utilisation de ces fichiers
- (3) fichiers créés par le calcul: notamment fichiers de trajectoires (*rtraj*) et fichiers de position (*rposi*)
- (4) fichiers disponibles pour le script de création graphique "GRAPHIQUE" qui utilise *rposi* et *rtraj*

Le calcul des positions successives prises par les particules ou objets au fil des échéances étant réalisé, les créations graphiques doivent être effectuées. Le script *DERIVE*, après avoir appelé le script *SAISIE* pour le renseignement des paramètres et le calcul, fait appel à *GRAPHIQUE* pour réaliser cette tâche.

GRAPHIQUE permet de créer des fichiers au format Postscript (.ps) qui seront transformés en fichiers gif (.gif) moins volumineux. Une animation est créée à l'aide des différents .gif et porte le nom de *anim.gif*. Elle permet de dérouler le scénario de la simulation de la première à la dernière échéance.

Ce script a besoin d'éléments contenus dans des fichiers comme *datapollu*, placé dans *data* afin notamment d'afficher en titre ou en légende les principales caractéristiques de la simulation (modèle atmosphérique utilisé, date et heure, position initiale du contaminant, type de polluant ou d'objet).

Alors que la transformation des fichiers .ps en .gif, ainsi que l'animation, sont réalisés en fin de script *GRAPHIQUE*, la création des .ps contenant titre, légende et trajectoires de la simulation est effectuée par d'autres scripts appelés par *GRAPHIQUE* (en fonction du type de simulation effectuée, comme le montre précédemment la figure 1).

Ainsi, *G_MOTHY* est utilisé dans le cas de dérive de nappes d'hydrocarbures, *G_OBJET* dans celui d'une dérive d'objet et *G_OBJET_Leeway* dans le cadre d'une dérive d'objet selon la méthode *Leeway*.

Pour mieux comprendre les modifications et ajout réalisés pendant ce stage nous allons nous intéresser au fonctionnement du script *G_MOTHY*, les autres fonctionnant de manière similaire. Ce script a besoin de deux fichiers pour réaliser la représentation graphique de la simulation :

- ✓ *rtraj* pour les trajectoires
- ✓ *rposi* pour les positions selon le échéances

C'est ce dernier fichier que nous allons décrire afin de préciser le fonctionnement du script.

En-tête

ligne répétée à chaque changement d'échéance

échéance

latitude

date et heure

longitude

diamètre

rposi					
1	c000	480	2009	01	22 06
2	c000	-3.0000	45.0000	0.00	0.
3	c007	480	2009	01	22 07
4	c007	-2.9856	45.0066	0.05	302.
5	c007	-2.9960	45.0064	0.05	304.
6	c007	-2.9914	45.0080	0.05	306.
7	c007	-2.9913	45.0101	0.05	307.
8	c007	-2.9883	45.0078	0.05	309.
9	c007	-2.9941	45.0073	0.05	311.
10	c007	-2.9854	45.0078	0.05	313.
11	c007	-2.9898	45.0112	0.05	315.
12	c007	-2.9861	45.0045	0.05	317.
13	c007	-2.9899	45.0116	0.05	319.
14	c007	-2.9869	45.0023	0.05	321.
15	c007	-2.9919	45.0112	0.05	322.
16	c007	-2.9957	45.0065	0.05	324.
17	c007	-2.9896	45.0105	0.05	326.
18	c007	-2.9884	45.0078	0.05	328.
19	c007	-2.9876	45.0048	0.05	330.
20	c007	-2.9900	45.0056	0.05	332.

Exemple de fichier rposi (simulation hydrocarbures) utilisé par « G_MOTHY »

Le script *G_OBJET* permet de lire les lignes correspondant à une échéance et de placer les lignes lues dans un fichier temporaire *tempo*. Il récupère en début de chaque échéance (ici ligne 3) les informations de date et heure qui seront reprises dans le titre du fichier postscript produit. Il récupère ensuite les longitudes et latitudes pour placer les points (les trajectoires sont produites grâce au fichier rtraj). Les informations complémentaires sont issues de divers fichiers créés auparavant dans */home/mothy/data*.

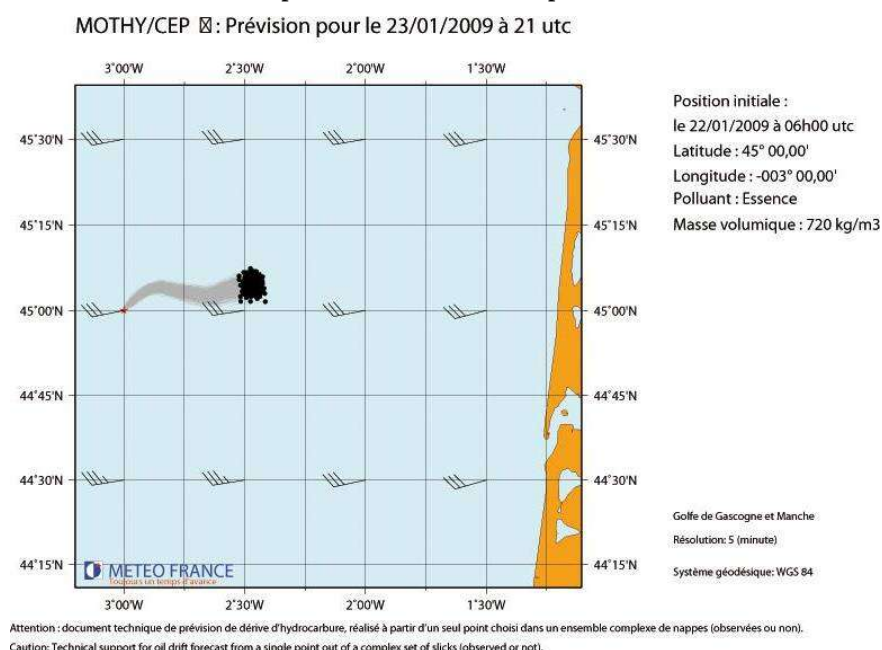
Une fois le fichier .ps créé pour une échéance, une autre échéance est lue à partir du *rposi* et placée dans le fichier *tempo* pour produire un second .ps. L'opération se renouvelle jusqu'à atteindre la dernière échéance.

7.1.3 Generic Mapping Tool (GMT) et les commandes utilisées initialement

GMT est un outil permettant notamment de réaliser des représentations cartographiques. Les commandes GMT fonctionnent sous Linux comme des fichiers exécutables dont le fichier de sortie est un fichier image postscript. Ces commandes sont précisées grâce à de nombreuses options dont certaines peuvent être communes à plusieurs fonctions. A la fin de chaque ligne de commande, un fichier est incrémenté des données créées par celle-ci.

Ci-contre un exemple de carte produite avec GMT. Les traits de côte sont par exemple créés avec une fonction *pscoast*. C'est d'ailleurs la première fonction GMT utilisée dans les scripts graphiques. Elle permet, grâce à ses options, de créer l'en-tête du fichier postscript qui permettra d'ouvrir et d'exploiter ces fichiers.

La fonction *pstext* permet d'écrire du texte sur l'image et est donc utilisée pour écrire les légendes des cartes et les titres.



La fonction *psxy*, largement utilisée dans les scripts graphiques initiaux, permet de dessiner des points. Elle est utilisée dans l'exemple ci-dessus pour dessiner la nappe d'hydrocarbures.

Afin de représenter graphiquement les simulations effectuées grâce aux différents runs de la PEARP ou de l'EPS, nous avons eu à intervenir au niveau des scripts shell et des codes fortran.

Nous nous sommes au départ calqués sur l'organisation existante et les premières actions réalisées, qui consistaient à automatiser l'élaboration de toutes les simulations de la prévision d'ensemble, nous ont demandé de créer et d'organiser des répertoires supplémentaires afin de recevoir les fichiers relatifs aux différents forçages atmosphériques.

De plus, le caractère expérimental du sujet nous a amené à multiplier le nombre de scripts sur la base des scripts existants. Il nous était en effet difficile d'avoir une vue d'ensemble du travail à effectuer dès les premiers jours de stage, et le travail d'organisation et d'écriture était en conséquence important pour le temps imparti. Nous allons détailler dans un second temps les scripts shell et les codes fortran réalisés.

7.2 Développements informatiques réalisés dans le cadre de notre étude

7.2.1 automatisation du lancement de Mothy avec tous les runs des prévisions d'ensemble utilisées

L'idée de départ a été de calquer le lancement automatique des différentes simulations sur le fonctionnement initial du modèle. Celui-ci, lancé du répertoire *data*, y récupère les données nécessaires aux calculs et y crée les fichiers issus des calculs et des représentations graphiques.

L'automatisation reprend ce principe en créant un répertoire pour chaque run et en y copiant les fichiers nécessaires. Ces répertoires, associés aux différents runs, sont créés dans un répertoire propre */home/mothy/data_pearp* ou */home/mothy/data_eps*. On obtient ainsi l'arborescence suivante:

/home/mothy/data_pearp ou bien : */home/mothy/data_eps*

↪ <i>pearp_0</i>	↪ <i>eps_0</i>
↪ <i>pearp_1</i>	↪ <i>eps_2</i>
↪ <i>pearp_2</i>	↪ <i>eps_3</i>
↪ ...	↪ ...
↪ <i>pearp_20</i>	↪ <i>eps_50</i>
↪ <i>pearp_global</i>	↪ <i>eps_global</i>

Les vents, initialement au format grib dans */home/mothy/PEARP* (ou */home/mothy/EPS*) doivent être transformés au format texte (.txt) et copiés également dans le répertoire associé à son numéro de run. Enfin, les calculs et les représentations graphiques doivent être lancés à partir du répertoire associé au run considéré.

Les fichiers de constantes placés dans */home/mothy/data* ont été identifiés et copiés dans un répertoire dédié */home/mothy/data_const*, dossier à partir duquel ces fichiers pourront être distribués dans les répertoires de chaque run.

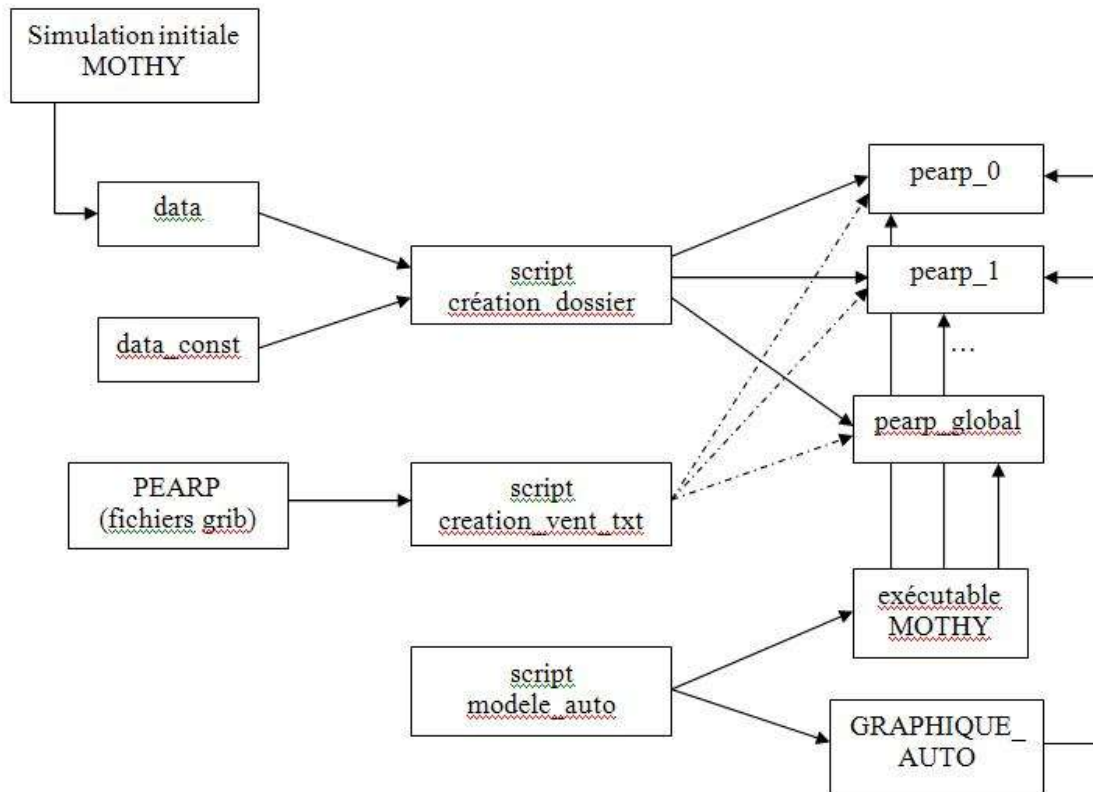
Il est nécessaire de lancer une première simulation afin de récupérer les fichiers créés avant ou après le calcul. Le script *SAISIE* ne doit pas être appelé lors d'un lancement automatique puisqu'il implique des saisies manuelles dans un terminal. Les fichiers contenant par exemple les paramètres de la simulation sont créés lors de cette simulation initiale et sont alors disponibles pour une copie dans *pearp_0*, *pearp_1*, ... par exemple.

Trois scripts shell ont ainsi été écrits pour assurer ces fonctions permettant l'automatisation du lancement à partir de tous les runs de la prévision d'ensemble. Ils ont été placés au même endroit que le script *DERIVE*. Il s'agit des scripts suivants :

- ✓ *creation_dossier* : permet la copie des fichiers de constantes et des fichiers issus d'une première simulation dans les répertoires *pearp_0*, *pearp_1*, ... ou bien *eps_0*, *eps_1*, ... Il permet également de créer un dossier *pearp_global* (ou *eps_global*) d'où seront lancées les représentations graphiques propres aux prévisions d'ensemble.

- ✓ *creation_vent_txt* : permet de copier, tout en le transformant au format .txt, le fichier grib du premier run dans le dossier /home/mothy/data_pearp/pearp_0, par exemple, et de faire de même pour tous les membres.
- ✓ *modele_auto* : permet de lancer les calculs grâce à l'exécutable *MOTHY* et de lancer les créations graphiques en se plaçant successivement dans les différents dossiers *pearp_0*, *pearp_1*, *pearp_2*... (ou, pour les simulations EPS, en se plaçant dans les répertoires *eps_1*, *eps_2*, etc).

Ce dernier script appelle *GRAPHIQUE_AUTO* pour créer les graphiques, ce dernier étant une copie du script *GRAPHIQUE* avec des chemins relatifs différents pour lancer les divers scripts et exécutables du fait d'une arborescence modifiée pour automatiser le lancement de toutes les simulations.



7.2.2 Script d'interface DERIVE_ENS

Plusieurs étapes sont nécessaires pour parvenir à représenter graphiquement les dérives avec les forçages atmosphériques correspondant aux prévisions d'ensemble. Afin de synthétiser l'information sur un seul graphique, il nous a semblé pertinent de compter le nombre de runs amenant au moins un point dans chaque maille d'une grille définie sur le domaine géographique d'étude. Ceci est réalisé grâce à un programme développé en fortran.

Il est ensuite nécessaire d'en effectuer une représentation graphique, ce qu'il est possible de réaliser de différentes manières. Le type de représentation n'étant pas défini à l'avance, de multiples essais ont été nécessaires avant d'obtenir des résultats satisfaisants. Afin de simplifier les manipulations et d'organiser les scripts produits, nous avons eu besoin de créer un script permettant d'avoir une interface unique, que ce soit pour réaliser des simulations, pour calculer des probabilités de présence, ou bien encore pour représenter graphiquement ces probabilités.

Le script *DERIVE_ENS* a été créé et placé dans /home/mothy puisque c'est dans ce répertoire que se trouve le script *DERIVE* permettant de lancer Mothy. Il propose de choisir entre plusieurs actions à effectuer qui sont :

- 1) lancer une simulation Mothy ;
- 2) lancer l'ensemble des simulations en se servant des données météorologiques de la PEARP ou de l'EPS ;
- 3) superposer les représentations graphiques de ces différentes simulations ;
- 4) calculer les probabilités de présence d'un objet en fonction :
 - ✓ d'un nombre de runs qui amènent au moins un élément dans la maille de la grille créée,
 - ✓ d'un nombre de points trouvés dans chaque maille de cette même grille ;

- 5) visualiser la représentation de l'une ou l'autre de ces probabilités ;
- 6) visualiser la superposition des simulations des différents runs à laquelle l'information graphique de probabilité de présence en fonction d'un nombre de runs par maille a été ajoutée ;
- 7) visualiser la superposition de la représentation des probabilités de présence par des isolignes avec celle de la densité de points ;
- 8) Visualiser les isolignes relatives à la probabilité de présence de la PEARP et de l'EPS sur un même graphique.

7.2.3 développement de codes fortran

Un programme en fortran *probabilite_runs.f* a été écrit pour élaborer une grille dans laquelle chaque case est affectée de la valeur du nombre de runs qui amènent au moins un élément dans cette case. Cette valeur servira au calcul de probabilité qui est en fait le nombre de runs rencontrés dans cette case divisé par le nombre de runs total (multiplié par 100 pour donner le résultat sous forme de pourcentage). La grille créée a pour but de spatialiser l'information afin de pouvoir la représenter graphiquement ultérieurement.

Pour définir cette grille, il faut connaître l'étendu du domaine géographique comprenant les dimensions extérieures de celle-ci et la maille qui détermine le quadrillage et donc le nombre d'éléments de la matrice finale. Cette maille est initialisée comme constante dans le code source.

Afin de remplir cette matrice, il est nécessaire de récupérer les informations de longitude, de latitude et de numéro de run associé à chaque point de la simulation. Pour cela, lorsque l'option 4 est choisie à partir du script *DERIVE_ENS*, les fichiers *rposi* de chaque run, où figurent les coordonnées géographiques, sont concaténés dans un fichier unique qui sera lu par le programme et dans lequel l'information du numéro de run a été affectée à chaque point. Une fois la matrice remplie, celle-ci est écrite dans un fichier *grille_proba* dont la mise en forme est identique à celle d'un fichier *rposi* initial afin de faciliter l'exploitation du fichier créé par les scripts effectuant la représentation graphique associée.

Un autre moyen de représenter la présence d'objet a été envisagé, celui comptabilisant le nombre de points, tous runs confondus, dans chacune des mailles de la matrice. Ceci permet de représenter une information de densité. Pour cela, le programme a été dupliqué avec des modifications mineures de calcul et se nomme *probabilite_pts.f*.

7.2.4 Scripts créés pour réaliser les représentations graphiques des simulations associées à la prévision d'ensemble.

De nombreux scripts utiles aux représentations graphiques ont été élaborés à partir des scripts existants. La logique de création des fichiers .ps a été conservée mais un script a été élaboré pour chaque spécificité de représentation. Tout d'abord, sur le modèle du script *GRAPHIQUE*, *GRAPHIQUE_proba_runs*, *GRAPHIQUE_proba_pts* et *GRAPHIQUE_superposition* se sont ajoutés au répertoire *bin*. Ils appellent les scripts correspondant à chaque type de simulation réalisée de la manière suivante :

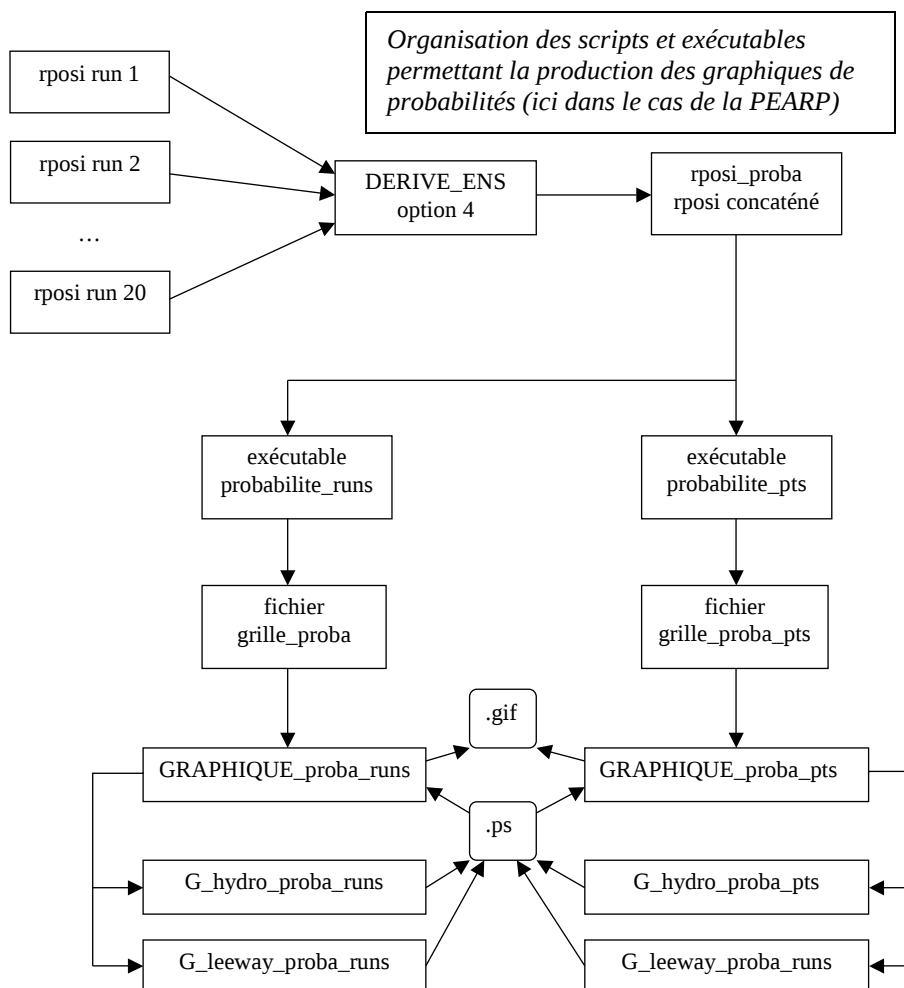
GRAPHIQUE_superposition (1) <ul style="list-style-type: none"> ↳ G_MOTHY_superposition ↳ G_OBJET_superposition ↳ G_OBJET_immersion ↳ G_OBJET_Leeway_superposition 	GRAPHIQUE_proba_runs (2) <ul style="list-style-type: none"> ↳ G_hydro_proba_runs ↳ G_leeway_proba_runs
GRAPHIQUE_proba_pts (3) <ul style="list-style-type: none"> ↳ G_hydro_proba_pts ↳ G_leeway_proba_pts 	GRAPHIQUE_superp+proba (4) <ul style="list-style-type: none"> ↳ G_MOTHY_superp+proba ↳ G_OBJET_Leeway_superp+proba
	GRAPHIQUE_proba_comp (5) <ul style="list-style-type: none"> ↳ G_hydro __proba_comp

- (1) réalise la superposition des simulations de tous les runs. Pour les objets, cette représentation est la seule réalisée, le nombre d'éléments par maille étant trop petit pour envisager une représentation de probabilité de présence. Néanmoins, afin de rendre les graphiques exploitables, un graphique est créé par taux d'immersion (de 20 à 100%) par le script *G_OBJET_immersion*. Les fichiers groupant tous les objets quelque soit leur taux d'immersion continuent d'être produits par *G_OBJET_superposition*. Ils peuvent s'avérer utiles pour comparer la dérive d'objets ayant des taux d'immersion différents.

- (2) réalise la représentation en fonction d'une probabilité de présence calculée par le nombre de runs amenant un élément dans chaque maille. Cette représentation est singulièrement différente des représentations existantes car elle introduit une notion de zonage jusqu'à présent absente dans la représentation de Mothy. Des plages de couleurs sont attribuées à des valeurs de probabilité. Elles sont renforcées à partir de certaines échéances par des isolignes précisant les valeurs de probabilité rencontrées. Afin de réaliser ce zonage, de nouvelles fonctions de GMT ont été utilisées. Des fonctions d'interpolation propre à ce logiciel apparaissent dans les scripts. Les commandes *grdimage* et *grdcontour* permettent alors de représenter les résultats de cette interpolation respectivement par des couleurs et par des contours. Les couleurs sont définis dans des fichiers .cpt qui matérialisent des couleurs personnalisées au format RGB. Ces fichiers .cpt sont placés dans le répertoire */home/mothy/data* afin de pouvoir être copiés dans les dossiers adéquats lors de l'automatisation du lancement du modèle avec les différents runs. La maille utilisée est de 1 minute pour les simulations hydrocarbures et de 2 minute pour les simulations Leeway.
- (3) réalise la représentation en fonction d'un nombre de points présents dans chaque maille, tous runs confondus. La représentation en est faite en affichant la matrice sous forme de pixel : une maille est représentée par un carré dont la couleur varie en fonction du nombre de points présents dans cette case. La maille retenue pour cette représentation est de 2,5 degrés.
- (4) Superpose les isolignes de probabilités évoqués en (2) à la représentation des densités de points (3). Les fonctions GMT *psxy*, qui positionne les points, et *grdcontour*, qui interpole les isolignes, sont successivement exécutées, ce qui permet de juxtaposer les deux représentations pour une même échéance et ainsi d'attirer l'attention sur les zones de présence les plus probables parmi la superposition des nuages de points.
- (5) Superpose les isolignes de probabilités de présence de la PEARP et de l'EPS.

Les mailles choisies peuvent paraître hétérogènes. Elles résultent des différents essais réalisés dans le cadre des forçages atmosphériques de notre projet. La dispersion des nappes, ou des objets *Leeway*, serait différente avec un forçage atmosphérique autre et nécessiterait sans doute des adaptations. Néanmoins, après avoir créé la

représentation du nombre de points présents dans chaque maille (avec une maille de 2,5 minutes pour avoir suffisamment de points), nous nous sommes aperçus que la taille de la maille influençait beaucoup la qualité ou quantité d'informations. Une information peut en effet être « perdue » en fonction de la maille choisie, principalement pour les échéances lointaines où la dispersion est importante. La maille de 2 minutes semblait la plus pertinente pour la simulation *Leeway* choisie. La même démarche a été employée pour les simulations hydrocarbures, mais il a fallu trouver un compromis entre les possibilités de GMT et la qualité de l'information et de la représentation graphique souhaitée, aussi nous avons retenu une maille différente, de 1 minute.



8. EXPLOITATION DES DONNÉES DE LA PEARP ET DE L'EPS

8.1 Contexte de l'étude

Nous disposons pour cette étude de fichiers grib issus des modèles ARPEGE et CEP. La prévision d'ensemble ARPEGE était constituée de 21 fichiers correspondant aux 21 runs de la PEARP. Nous ne disposons cependant que de 50 runs pour l'EPS du CEP (il nous manquait le run de contrôle), mais cela n'était pas gênant pour expérimenter la représentation graphique des données manipulées.

Les données issues des modèles atmosphériques utilisées par MOTHY sont la pression et les vents. Nous disposons de ces données sur le domaine géographique Aladin, pour la période du 21/01/2009 au 28/01/2009, correspondant aux sorties modèles du 21/01 à 18UTC pour la PEARP, et du 22/01 à 00UTC pour l'EPS. Nous avons choisi une heure de lâcher commune pour toutes les simulations de façon à pouvoir les comparer facilement. Le lâcher étant simulé à 06UTC le 22/01/09 (première échéance proposée par MOTHY), nous disposons de 96 heures d'échéances avec la PEARP (dernière échéance le 26/01 à 00UTC) et de 144 heures d'échéances avec l'EPS (dernière échéance le 28/01 à 00UTC).

Cette période a été choisie pour ses conditions atmosphériques particulières. Le sujet porte en effet sur les effets du forçage atmosphérique avec la prévision d'ensemble, or celui-ci était très important pendant ces quelques jours étant donné les très forts vents observés lors de la tempête de janvier 2009. Cela maintient l'action du forçage atmosphérique prépondérante. Nous avons donc choisi un lâcher commun à toutes les simulations, situé dans le golfe de Gascogne (longitude 3° ouest, latitude 45° nord).

8.2 Superpositions des membres de l'ensemble

Le premier travail auquel nous nous sommes attelés a consisté à superposer sur un même graphique les sorties des modèles de l'ensemble des runs de la PEARP. Nous avons commencé par celle-ci par commodité d'exploitation (la PEARP génère beaucoup moins de fichiers que l'EPS du fait des 21 situations au lieu de 51). Étant donné le fonctionnement du système décrit dans le chapitre 7, nous étions obligés, dans un premier temps, d'effectuer les 21 simulations de manières distinctes en les automatisant, puis d'écrire le script permettant de manipuler GMT afin de superposer graphiquement toutes les informations.

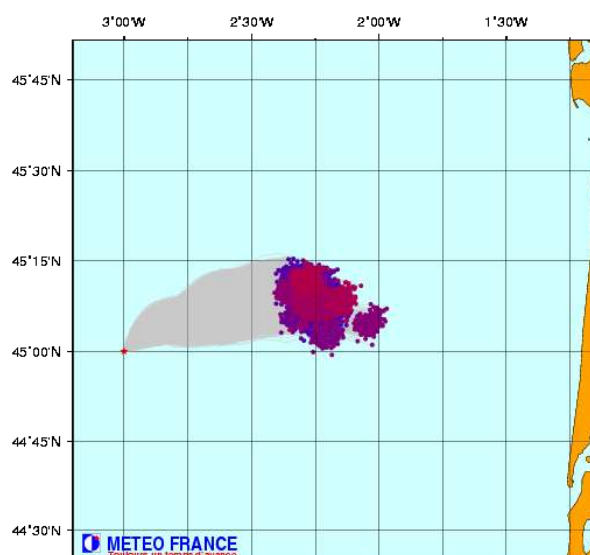
Il est à noter que l'utilisation de la prévision d'ensemble exige de grosses ressources informatiques, autant pour la phase de calcul, qui s'avère relativement longue puisque multipliée par autant de runs, qu'en terme de mémoire d'écriture. Par exemple, une simulation de dérive de nappes d'hydrocarbures dans le cas de l'EPS, sur 144 heures d'échéance et pour 50 runs seulement, a duré plus de 24 heures. Ce fait ne devra pas être négligé lors de prochaines réflexions sur le sujet.

8.2.1 Dérive de nappes d'hydrocarbures

Les superpositions montrent la dispersion relative aux différents forçages atmosphériques. Ce premier résultat est intéressant en ce sens qu'il indique bien l'impact du forçage atmosphérique et de la dispersion induite dans le calcul des dérives en permettant de comparer facilement les différentes trajectoires calculées en fonction des différents runs.

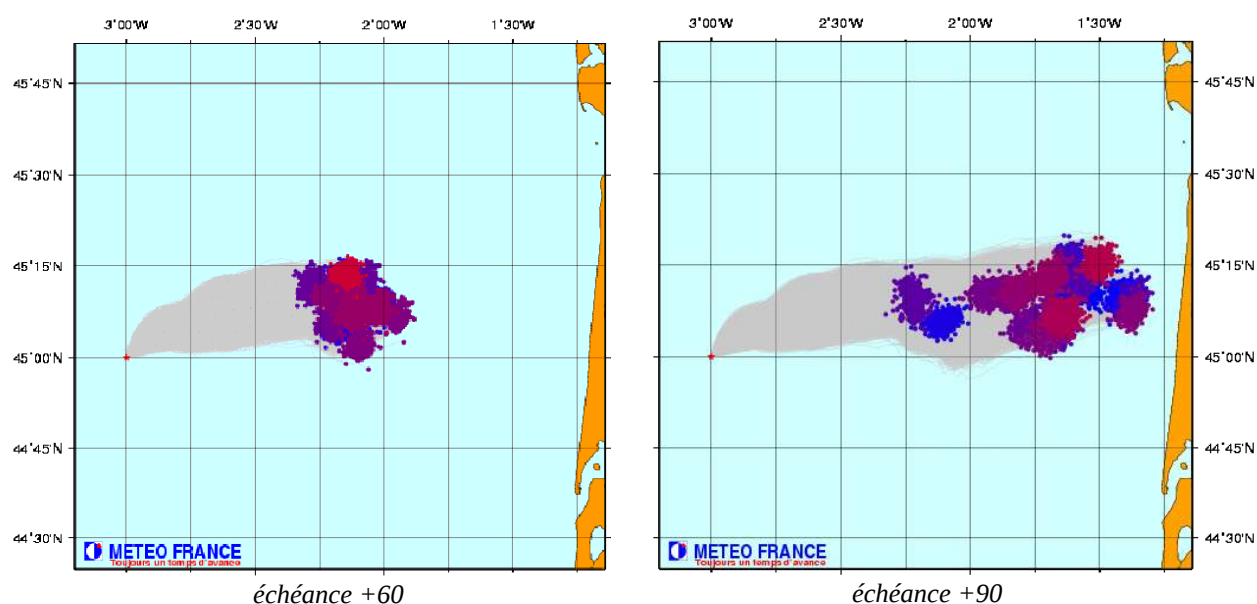
8.2.1.1 Représentation de dérives de nappes d'hydrocarbures avec la PEARP

Il semble toutefois qu'une simple superposition ne représente pas une plus-value très significative à l'outil destiné au prévisionniste, ou aux usagers de ce type d'informations. En effet, l'ajout de l'information (à savoir : quelle est la variabilité des trajectoires en se basant sur les perturbations des paramètres initiaux utilisées par la prévision d'ensemble ?) est réalisée au détriment de la précision de celle-ci. On visualise dans le même temps l'incertitude liée à la prévision d'ensemble.



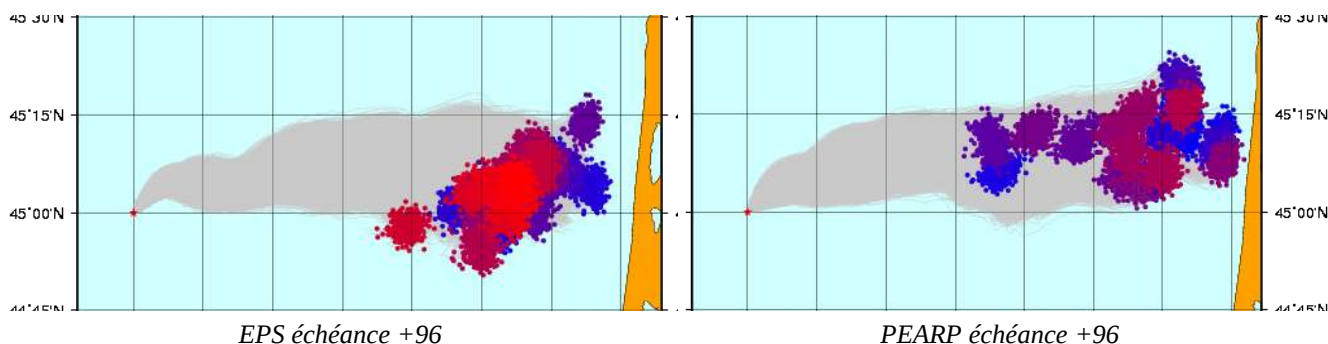
La carte précédente illustre les dérives des nappes dans le cas de la PEARP, il s'agit de l'échéance +54h. En début de simulation, les points sont très groupés et tous partent vers le Nord-Est. Très rapidement, à l'échéance +24 le déplacement devient quasiment zonal. Les différents runs restent relativement groupés jusqu'à l'échéance +60, puis une nappe s'immobilise sur le 2°15 Ouest. A partir de l'échéance +84, trois nappes s'éloignent de la côte, alors que le mouvement de l'ensemble reste axé ouest-est. On voit par exemple sur les deux graphiques ci-dessous que la nappe la plus à l'ouest à l'échéance +60 n'évolue presque pas jusqu'à l'échéance +90.

Sur ces représentations, les zones grisées figurent les trajectoires des points modélisés. Pour des raisons pratiques, nous avons choisi de ne pas les représenter sur les cartes de probabilité. Il est d'autre part difficile de légendier un dessin avec 21 couleurs significatives (ou 51...), nous avons donc préféré différencier les nappes en incrémentant les codes couleurs dans les scripts pilotant le dessin avec GMT. Cela aide à distinguer les nappes entre elles. Les scripts pourraient toutefois être modifiés de manière à pouvoir indiquer le run correspondant à la nappe représentée.



8.2.1.2 Représentation de dérives de nappes d'hydrocarbures avec l'EPS

Les runs de l'EPS montrent une différence sensible avec ceux de la PEARP : les nappes se déplacent moins au nord, et la dispersion semble moins importante qu'avec la PEARP. On peut observer sur les deux graphiques suivants l'écart entre la prévision des dérives dans le cas du forçage atmosphérique de l'EPS (à gauche) et de la PEARP (à droite). La dispersion augmente sensiblement en fin d'échéance, où l'on observe des mouvements de nappes très divergents (certains partent vers le Nord-Est, d'autres vers le Sud-Ouest).

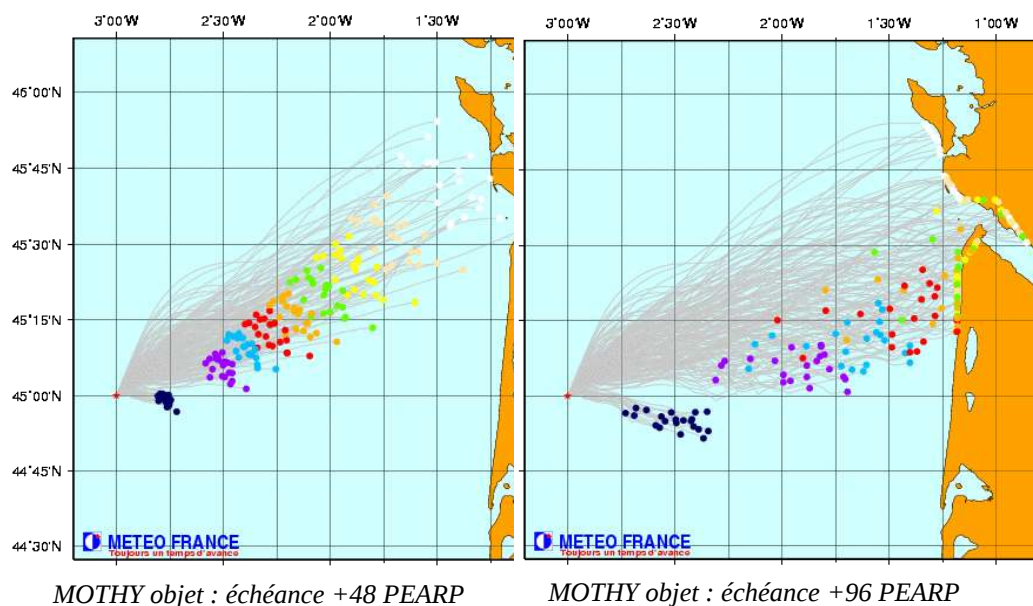


8.2.2 Dérive d'objets

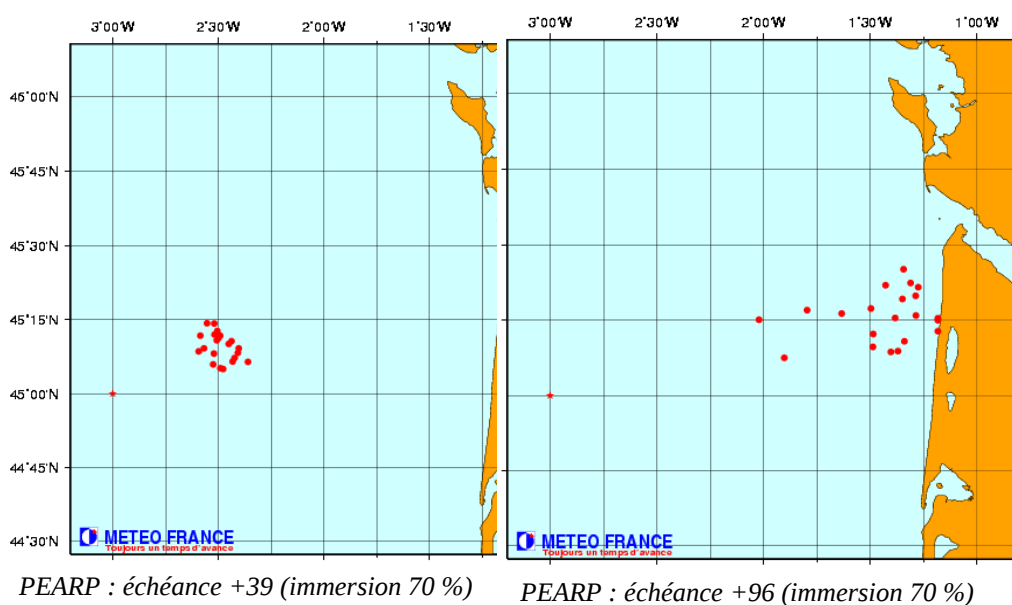
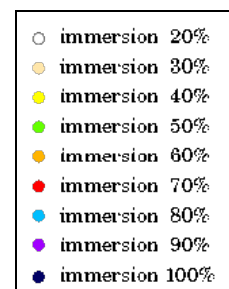
La superposition d'objets semble plus simple à interpréter : en désignant chaque taux d'immersion par une couleur différente, on repère assez facilement la position des 21 runs (ou plus) différents. On pourrait imaginer que le positionnement du point moyen pour chaque taux d'immersion représenterait une information intéressante (cette option est à développer).

8.2.2.1 Représentation de la dérive d'objets avec la PEARP

La superposition des runs avec la version objet a demandé quelques modifications aux scripts initiaux afin de remplacer l'information écrite qui aurait perdu en lisibilité (habituellement les points sont repérés par une étiquette alphanumérique correspondant au taux d'immersion). Nous avons donc choisi de représenter chaque objet par un point, et chaque classe par une couleur différente.



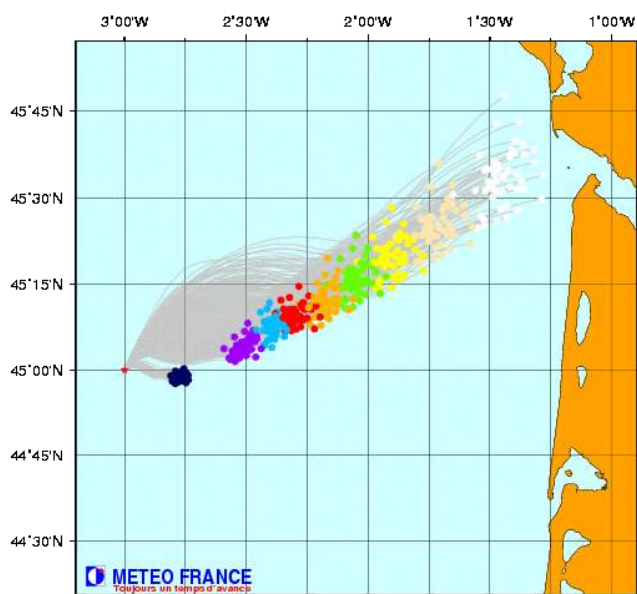
Lorsque la dispersion est faible (cas des objets immergés à 100 % à l'échéance +48 par exemple), l'indication de position semble relativement intéressante. Cependant, au fur et à mesure des échéances et de la dispersion croissante des objets, il devient difficile de synthétiser une information pertinente à la simple lecture de cette carte. C'est pourquoi nous proposons de séparer les points pour la représentation de chaque taux d'immersion, ce qui donne le graphique ci-dessous. En le comparant avec la représentation de l'ensemble des points à la même échéance, on s'aperçoit que la lecture du graphique isolé est plus aisée.



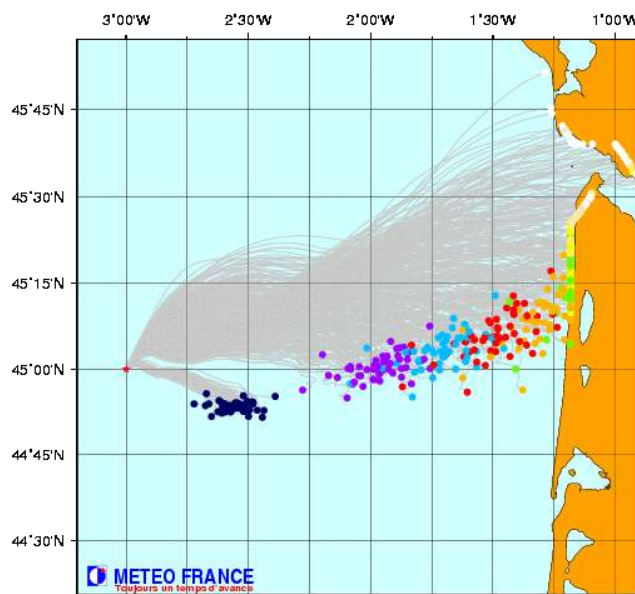
Toutefois, lorsque la dispersion est importante, il n'est pas évident d'en déduire une position privilégiée. Représenter le barycentre de chaque nuage de points pourrait être une solution pour améliorer cette représentation.

8.2.2.2 Représentation de la dérive d'objets avec l'EPS

Il n'y a pas de différences fondamentales de représentations entre la superposition des objets PEARP ou EPS. On constate que ce n'est pas le nombre de points qui pénalise le plus la lecture de la carte mais plutôt la dispersion de ceux-ci. Encore une fois, on peut penser que la représentation du point moyen par taux d'immersion serait une solution à envisager. La représentation graphique de la moyenne devrait être accompagnée d'indicateurs sur la dispersion par exemple (à définir).



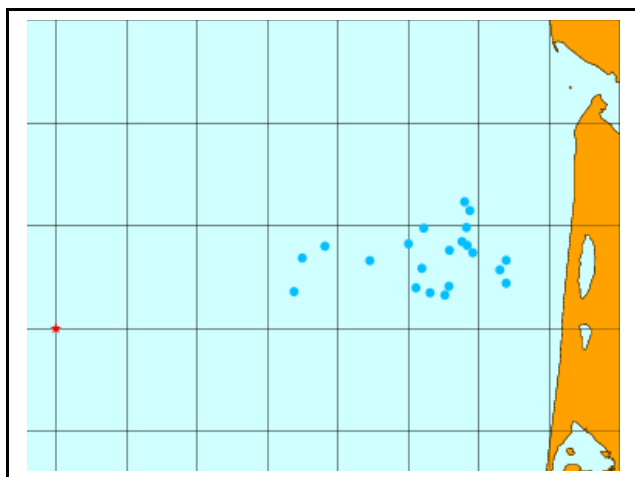
MOTHY objet : échéance +48 EPS



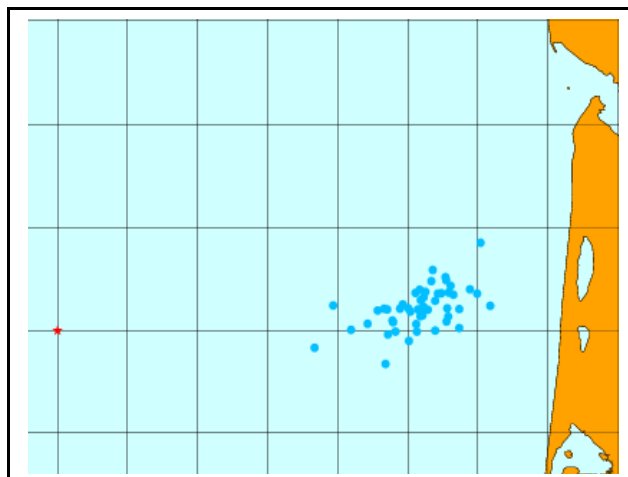
MOTHY objet : échéance +96 EPS

Il est à noter que, sur la période commune aux deux prévisions, le forçage de l'EPS entraîne moins de dispersion dans la dérive des objets (tout comme pour les dérives d'hydrocarbure) que le forçage de la PEARP, malgré le nombre de runs plus important.

Ci-dessous, voici les prévisions de dérive pour des objets immergés à 80% à l'échéance +96, avec à gauche la prévision forcée par la PEARP, et à droite celle de l'EPS. On voit bien la plus faible dispersion du modèle CEP sur cette période.



MOTHY objet : échéance +96 (PEARP)

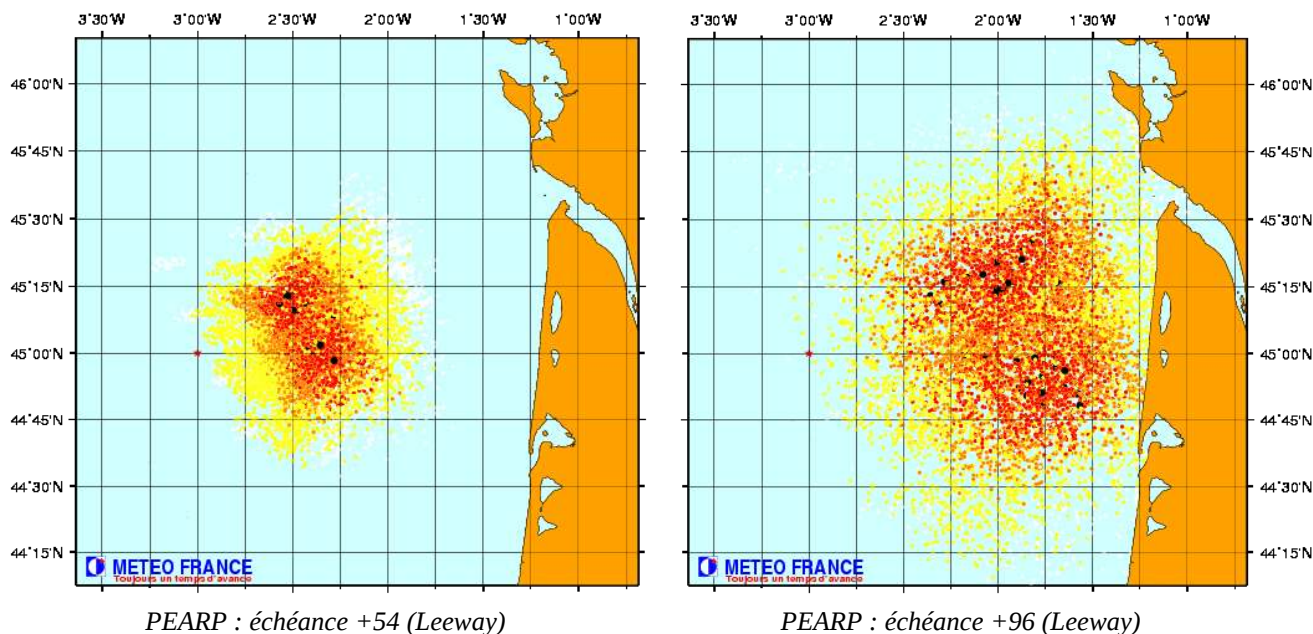


MOTHY objet : échéance +96 (EPS)

8.2.3 Dérive en mode *Leeway*

8.2.3.1 Représentation de dérive *Leeway* avec les 21 runs de la PEARP

La simulation effectuée en mode *Leeway* représente la dérive d'un homme à la mer. La faible prise au vent entraîne une dérive à droite et à gauche peu divergente pour chaque run. La superposition de l'ensemble des runs dessine une très grande zone avec une dispersion apparente très importante. Une telle information ne semble pas très pertinente pour aider à la recherche de victimes.



La lecture d'une carte de simulation *Leeway* est délicate car il faut prendre en compte le fait que tous les points ne représentent pas la même probabilité d'occurrence. On peut remarquer d'ailleurs que les points de contrôle (les points noirs) sont en fin de compte assez peu dispersés.

Dans le cas d'une simulation *Leeway*, le résultat de la superposition peut laisser dubitatif. La dispersion, habituelle avec le mode *Leeway*, semble exagérée avec l'ensemble des 21 runs sur un même graphique. On pourrait s'intéresser plus particulièrement aux points noirs (points dont les coefficients ne sont pas perturbés, cf chapitre 4). Là encore, le tracé du barycentre pourrait être une aide à la localisation.

Nous n'avons pas eu le temps d'effectuer la modélisation EPS pendant notre stage, sachant que les temps de calculs peuvent être très longs en mode *Leeway* (plus de 24 heures) pour ce genre de calculs. Il serait néanmoins intéressant de la visualiser.

8.3 Représentations d'ensemble probabilistes dans le cas de la dérive de nappes d'hydrocarbures et du mode *Leeway*

8.3.1 Carte de probabilités de présence de runs

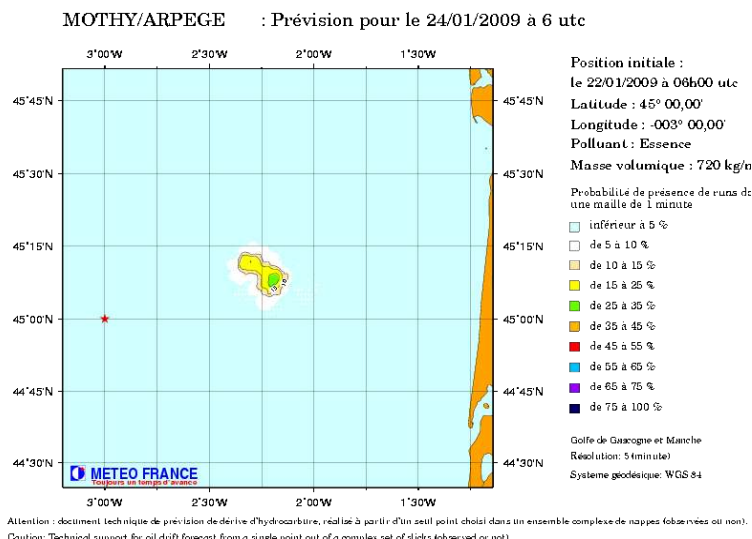
Nous avons vu précédemment que la superposition des représentation des dérives, même si elles sont intéressantes pour comparer les différentes prévisions, se révèlent insuffisantes dans certains cas pour dégager des tendances nettes. Nous avons donc souhaité représenter des cartes de probabilités de présence, en nous inspirant de ce qui se pratique avec les cartes de probabilités de la prévision d'ensemble édités par DPrevi/Compas.

Notre premier choix s'est orienté sur la représentation des probabilités de présence des runs par rapport à l'ensemble des membres de la prévision d'ensemble en un point. Cela signifie qu'il était nécessaire de créer un programme comptabilisant chaque point présents dans une maille à définir, afin de connaître le taux de runs différents dans chaque élément de cette maille. Ce programme, écrit en fortran, est présenté dans le chapitre 7.

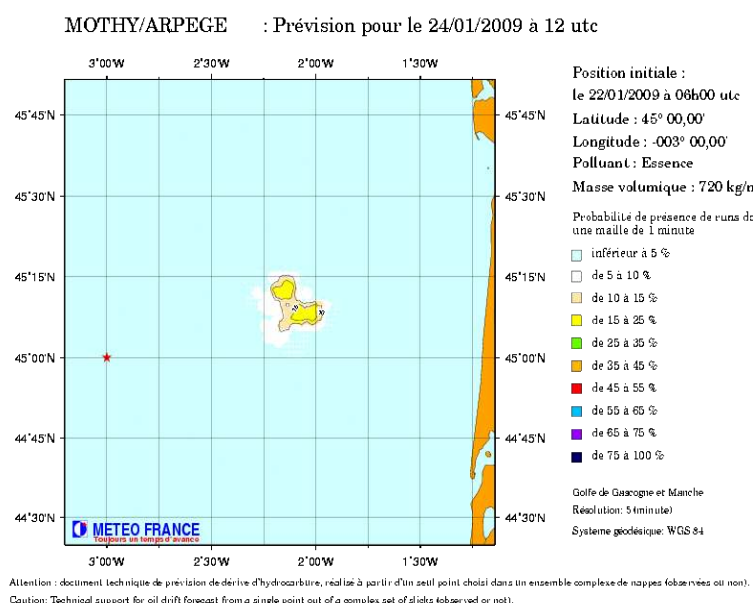
8.3.1.1 Dérive de nappes d'hydrocarbures

Voici quelques représentations graphiques des probabilités de présence de runs dans le cas de la PEARP. L'une des difficultés de ce type de représentation consiste à définir une maille satisfaisante. Plus la maille de la grille est grande et plus elle aura tendance à comprendre un grand nombre de runs. Il ne faut évidemment pas qu'elle soit trop grande pour rester utile dans une pratique opérationnelle. Mais le choix d'une échelle de grille ne peut pas convenir pour toutes les échéances, notamment en cas de forte dispersion. Si la maille est trop petite, les probabilités calculées seront très faibles et il sera difficile d'en conclure grand-chose. On aborde là l'un des problèmes des représentations graphiques : selon l'échelle à laquelle on se place, les mêmes valeurs où les mêmes seuils ne conviendront pas toujours, et le lien entre l'échelle de travail et l'information représentée doit être réfléchi, notamment du fait des capacités des logiciels utilisés pour représenter l'information et interpoler les données qui lui sont fournies.

Dans le cadre de notre étude, la maille utilisée pour ces graphiques a été fixée à un pas de 1 minute d'arc. On voit qu'assez rapidement, avec la dispersion, les probabilités deviennent faibles (échéances +54, +60 et +96 ci-dessous). Sur la fenêtre temporelle de notre étude, la variation de la dispersion est trop importante pour qu'une même échelle conviennent parfaitement à toutes les échéances : les points sont groupés de manière tellement dense aux premières heures de la dérive que les réglages utilisés pour le dessin ne conviennent pas bien à toutes les représentations. Il est nécessaire de trouver un compromis entre plusieurs éléments : la quantité d'informations à traiter, la qualité de l'information recherchée en fin de traitement, l'échelle géographique requise, les capacités de calculs et d'interpolations du logiciel utilisé, l'échéance souhaitée. Les particules d'hydrocarbures retenues pour le calcul sont les plus grosses (diamètre supérieur à 1100 μm), ce sont en effet celles qui sont les plus significatives, présentes majoritairement en tête de nappe où se situent les plus fortes épaisseurs.

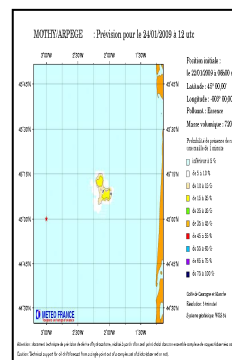


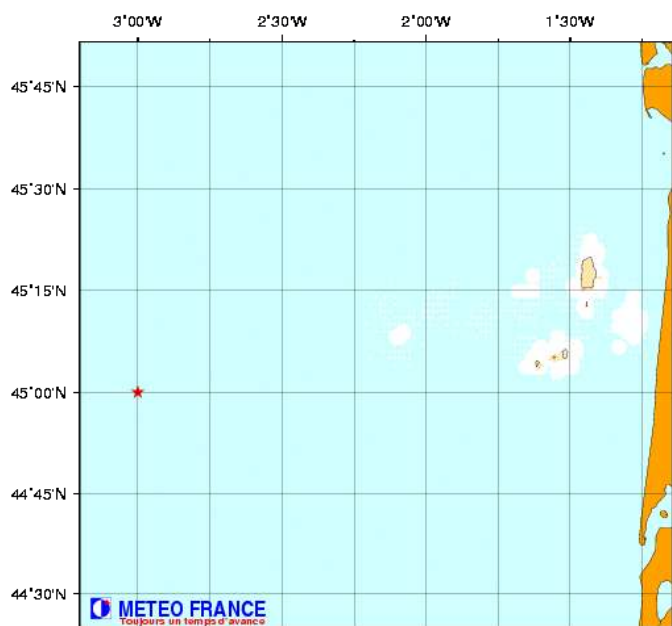
Carte de probabilités dans le cas de dérive d'hydrocarbures (PEARP, échéance +54)



Carte de probabilités dans le cas de dérive d'hydrocarbures (PEARP, échéance +60)

Pourcentage de présence de runs dans une maille de 1 minute





PEARP : échéance +96 (Mothy)

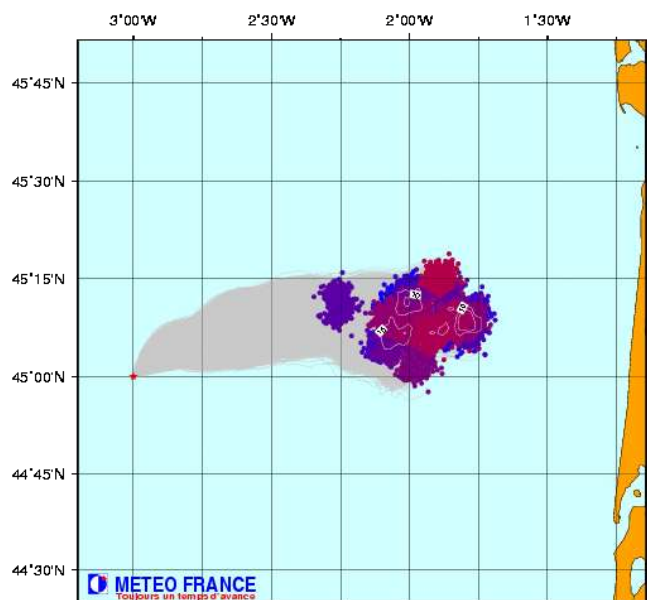
La représentation des trois échéances ci-contre montre bien la diminution des probabilités au fur et à mesure de la dispersion des points.

Associé aux cartes de superposition des différents runs, il semble que cette représentation probabiliste apporte une information de zonage intéressante, puisqu'elle précise les secteurs prépondérants des différentes dérives calculées et met en évidence les prévisions les plus fréquentes.

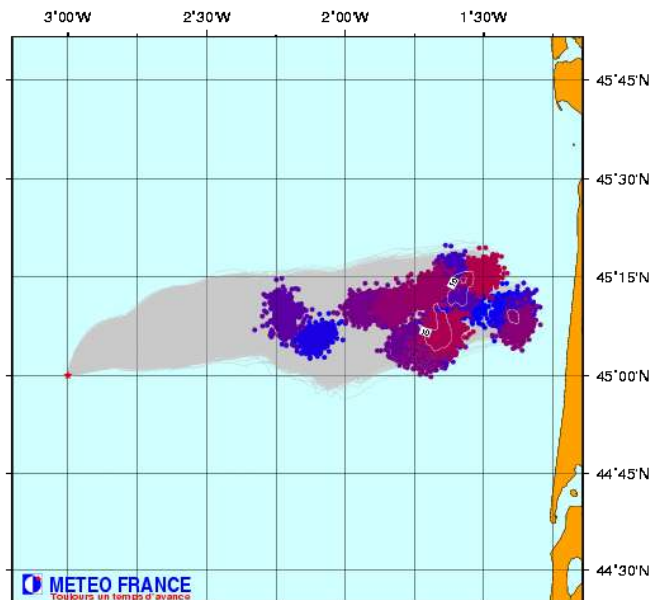
Nous avons par conséquent souhaité superposer les deux types de graphiques afin de vérifier la complémentarité des informations qu'ils contiennent. Le résultat nous semble intéressant (voir graphique page suivante).

8.3.1.2 Ajout des isolignes de probabilités aux superpositions d'ensemble

La juxtaposition des deux informations (positions des nappes selon les différents runs + probabilité de présence de runs dans la maille) donne une bonne indication du comportement de l'ensemble. Dans l'exemple suivant, on constate l'évolution globale des nappes d'hydrocarbures, superposition des prévisions déterministes, en même temps que l'on indique les zones les plus probables de présence de runs amenant des gouttes d'hydrocarbures. On peut penser que les prévisionnistes sauront tirer les informations nécessaires de ce type de produit.



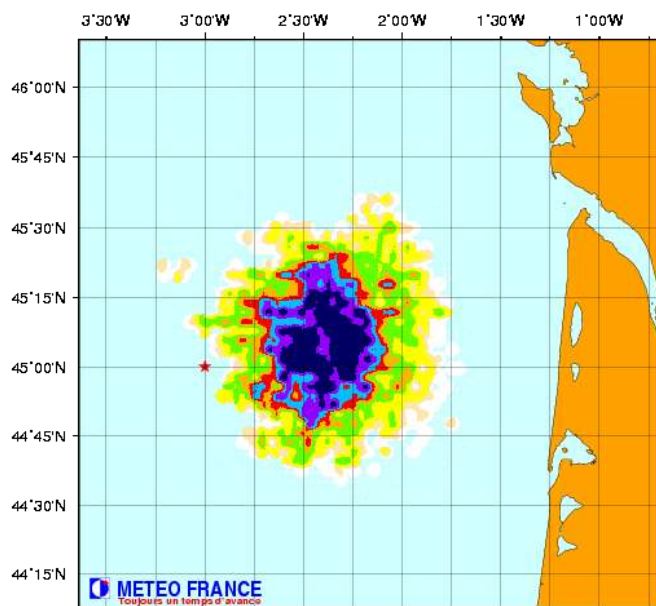
PEARP : superposition nappes + isolignes échéance +72



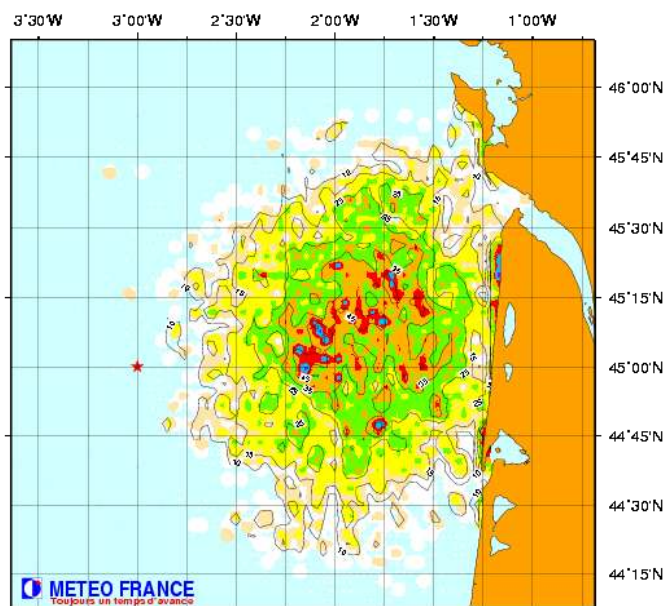
PEARP : superposition nappes + isolignes échéance +90

8.3.1.3 Dérive en mode Leeway

L'intérêt de la représentation des probabilités, en particulier avec le Leeway, est la possibilité de discriminer les zones dans lesquelles les probabilités de présence sont les plus fortes. Il serait sans doute intéressant de superposer les isolignes représentant les probabilités aux nuages de points déterministes et le barycentre de ceux-ci. L'ajout du calcul des barycentres, qui serait également nécessaire à la version objet, et leur intégration dans les scripts de programmation GMT reste toutefois à réaliser.



PEARP : probabilités de présence en mode Leeway
échéance +54 (les isolignes n'ont pas été représentées
sur cette échéance)



PEARP : probabilités de présence en mode Leeway
échéance +96

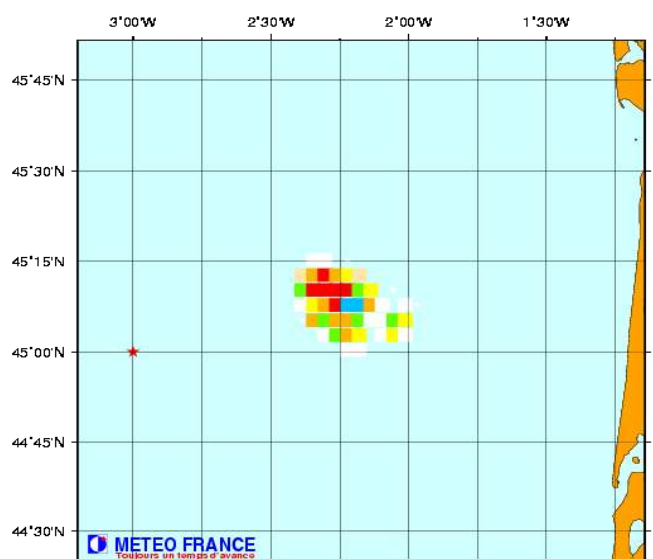
8.3.2 Carte de densités

Afin de compléter la représentation des probabilités de présence de runs en un point, nous avons choisi de représenter également la densité de points rencontrés dans chaque maille du domaine géographique de la simulation.

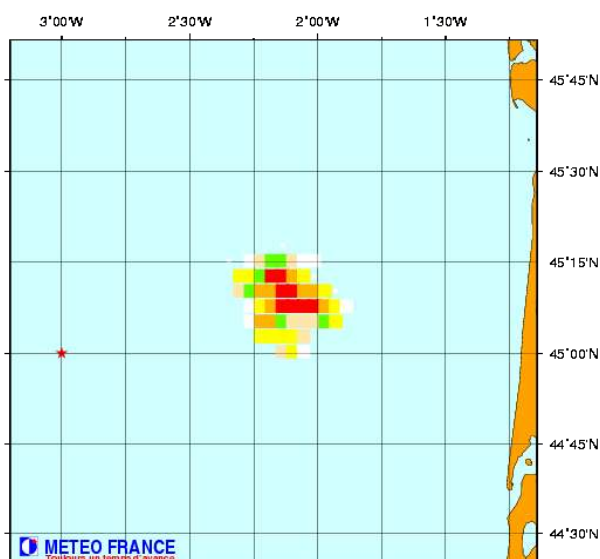
Le calcul du nombre de points présents est réalisé par un programme en fortran dérivé du programme calculant les probabilités de runs. La représentation « pixellisée » de la densité de points représente sous forme graphique la matrice définie par la position de tous les éléments présents lors de la simulation. Il n'y a donc pas de fonction d'interpolation, et chaque carré de couleur représente ainsi une case de la matrice calculée.

8.3.2.1 Dérive de nappes d'hydrocarbures

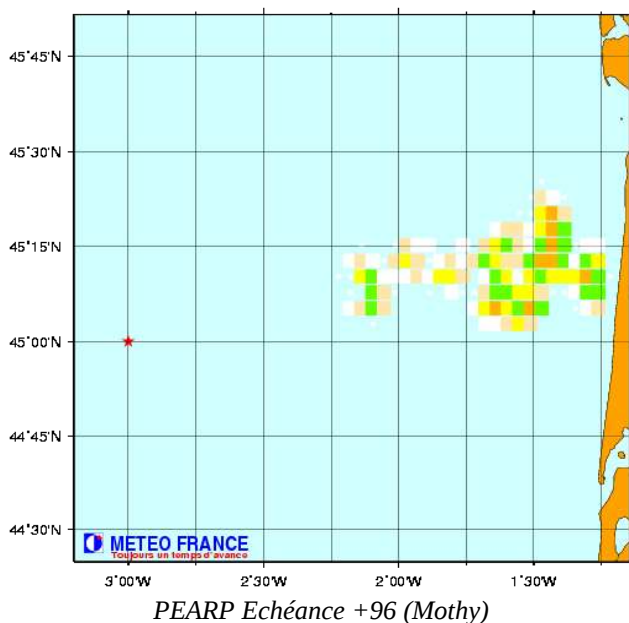
Les fortes densités de points sont clairement identifiables sur les échéance intermédiaires +54 et +60 alors que la dispersion est encore limitée. A l'échéance +60, les pixels qui apparaissent indiquent une densité plus faible au nord et au sud de la partie centrale de la nappe, preuve que le déplacement se fait préférentiellement sur un axe ouest-est. Les particules d'hydrocarbures retenues pour le calcul sont les plus grosses (diamètre supérieur à 1100 μm), ce sont en effet celles qui sont les plus significatives, présentes majoritairement en tête de nappe où se situent les plus fortes épaisseurs.



PEARP Echéance +54 (Mothy)



PEARP Echéance +60 (Mothy)



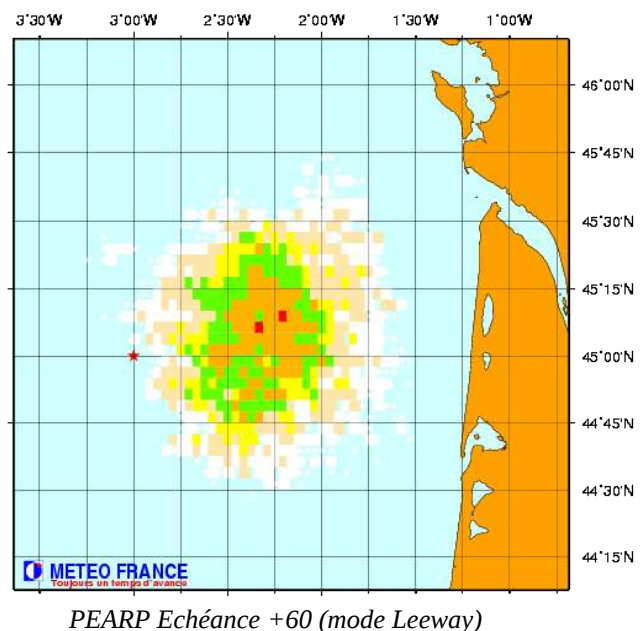
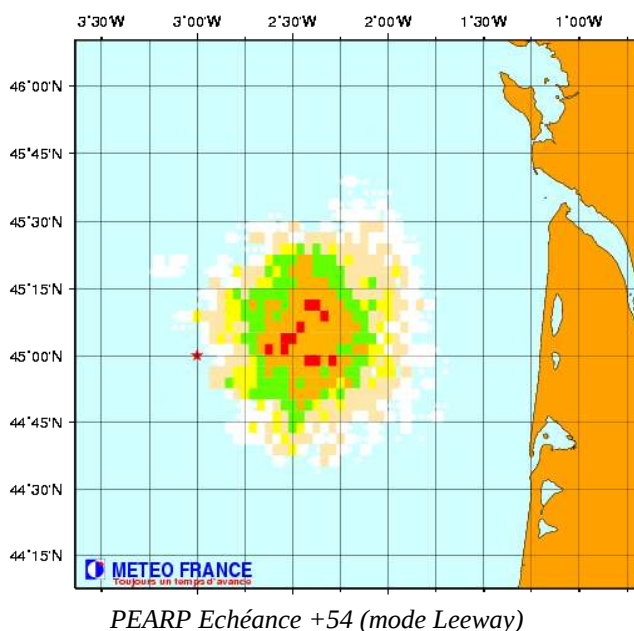
La dernière échéance présentée (+96h) laisse apparaître une dispersion nettement plus marquée. Pourtant, cette représentation de densité apporte encore de l'information en mettant l'accent sur les zones vertes et orangées encore distinctes à une échéance de quatre jours.

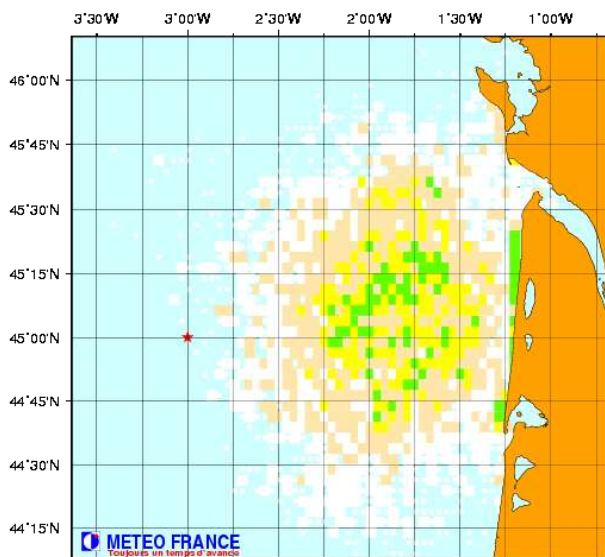
Nombre de points par maille

- entre 2 et 5 points
- entre 5 et 10 points
- entre 10 et 15 points
- entre 15 et 25 points
- entre 25 et 50 points
- entre 50 et 100 points
- entre 100 et 200 points
- entre 200 et 500 points
- entre 500 et 1000 points
- plus de 1000 points

8.3.2.2 Dérive en mode Leeway

La dispersion est ici nettement plus visible. Les dérives droites et gauches caractéristiques des objets sur lesquels la méthode *Leeway* est appliquée n'apparaît nettement. Par contre, la zone où sont situées les densités les plus fortes est étendue en latitude. L'aire où l'élément dérivant a le plus de chance d'être retrouvé rapidement n'est que peu restreinte aux échéances +54 et +60 par rapport à une représentation de superposition brute des points *Leeway*. La représentation relative aux nombres de runs par maille semble ici pouvoir apporter une précision supérieure si l'on ne retient que la zone de plus forte probabilité.





PEARP Echéance +96 (mode Leeway)

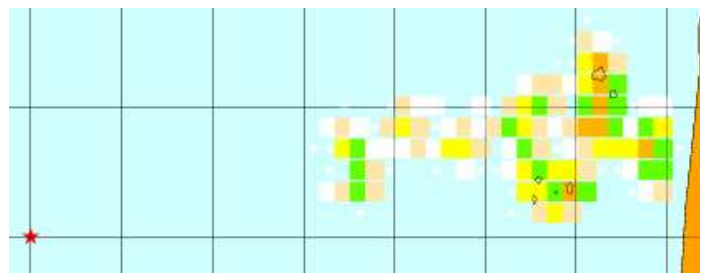
Par contre, en fin de simulation, à l'échéance +96, le zonage de plus forte densité semble restreindre considérablement les zones à privilégier en cas de recherche par rapport à la zone très étendue présentée en 8.3.2.1. Les pixels verts isolent en effet deux axes de recherches privilégiés.

8.3.2.3 Ajout des isolignes de probabilités aux superpositions d'ensemble

L'ajout des isolignes de probabilités issues du calcul du nombre de runs dans une maille ajoute une information très proche de celle donnée par les cartes de densité. On retrouve bien globalement, sur les deux exemple ci-dessous, les zones de plus fortes probabilités centrées sur les densités les plus importantes.



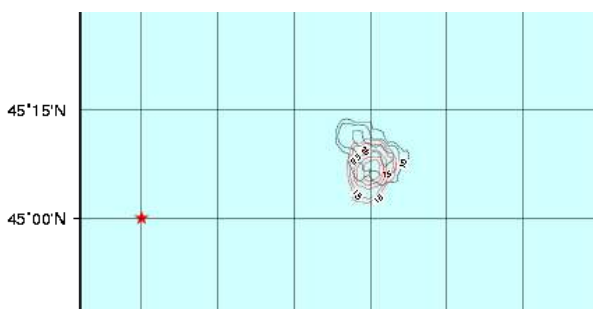
PEARP : superposition du nombre de points et des isolignes de probabilités échéance +54



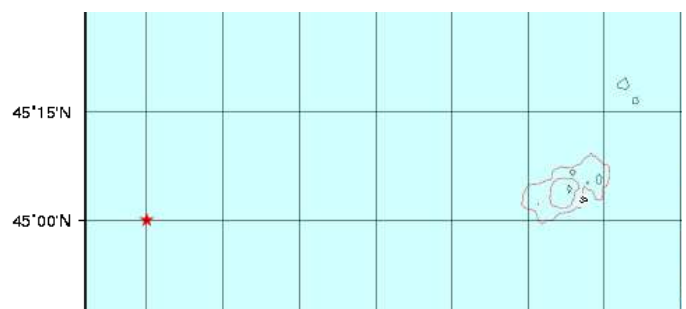
PEARP : superposition du nombre de points et des isolignes de probabilités échéance +96

8.4 Comparaison EPS / PEARP

Il est également possible de superposer les isolignes de probabilités de l'EPS avec celle de la PEARP. Il est aisé de noter alors leurs évolutions respectives et de les comparer. La juxtaposition graphique de cette information indique bien les divergences éventuelles du comportement des deux systèmes.



Superposition des isolignes de probabilités PEARP (rouge) - EPS (bleu) échéance +54

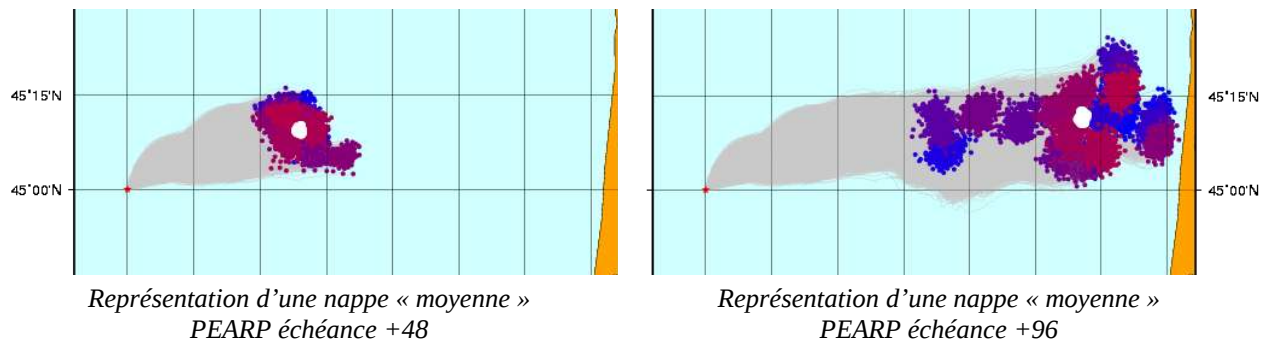


Superposition des isolignes de probabilités PEARP (rouge) - EPS (bleu) échéance +96

La visualisation des différences de comportement permet de mieux critiquer les informations fournies par les représentations vues précédemment. Nous avons vu que dans notre cas la PEARP est plus dispersée que l'EPS. On retrouve cette tendance de manière nette en fin d'échéance sur le graphique ci-dessus. Cette différence peut être due au fait qu'il s'agit d'une situation relativement exceptionnelle avec de très forts gradients. Or, les plus fortes incertitudes sont associées aux zones de fort gradient. Dans notre contexte, la moindre variation dans cette zone de forts gradients peut induire des comportements très différents, au sein d'un ensemble, ou entre des modèles différents. Le graphique ci-dessus apporte donc une information intéressante concernant la dispersion des modèles en même temps qu'il indique un comportement relativement proche des deux modèles puisque les secteurs mis en avant coïncident tout de même en partie. L'utilisation de ce genre de visualisation peut d'avérer d'autant plus utile dans les situations météorologiques incertaines.

8.5 Représentation de la moyenne

La représentation d'un champ moyen peut être intéressant à comparer à l'ensemble des runs. On visualise mieux les runs extrêmes et on mesure mieux la dispersion. Il est probable que la représentation des points moyens devrait être intégrée à l'exploitation de la prévision d'ensemble. Nous avons représenté ici la moyenne des points constituant les différentes nappes d'hydrocarbures dans le cas de la PEARP, sans avoir eu le temps de finaliser cette fonction. Il s'agit donc d'une ébauche de représentation des points moyens.



9. CONCLUSION

Notre travail a consisté à mettre en place les moyens permettant d'exploiter les possibilités offertes par la prévision d'ensemble et d'adapter le système de production de MOTHY aux contraintes liées à celle-ci. Il nous a fallu, dans un premier temps, développer les outils permettant d'automatiser l'exploitation des données de la PEARP et de l'EPS et de produire les nouvelles représentations associées. Dans un deuxième temps, il a été nécessaire de rechercher de nouvelles modalités de représentation graphique, faire de nombreux essais et réglages.

Les types de représentations envisagées ont été successivement la superposition des différents runs sur une même carte, puis la représentation des probabilités de présence par des isolignes et/ou des plages de couleurs, et enfin la représentation de la densité de points amenés par les différents runs. Ces deux dernières représentations apportent des informations proches qui peuvent se compléter. A partir de là, certaines alternatives ont été envisagées, en particulier celle de tracer un ou des points moyens, ou encore celle de comparer les tendances de deux séries de prévision sur une même échéance. Les outils graphiques mis en place nous semble une bonne piste pour aller en ce sens.

L'indication de probabilités par des isolignes superposées, soit aux objets eux-mêmes, soit aux plages de couleur illustrant ces probabilités, semble une piste intéressante à développer. La pixelisation associée à la densité de points semble être aussi une source d'information pertinente, tant pour les dérives d'hydrocarbures que pour le mode *Leeway*. Si la probabilité de présence d'objets semble délicate à manipuler (à cause d'une densité de points a priori trop faible pour permettre une interpolation convenable), il est nécessaire d'effectuer des essais de représentation de densité de points avec la version de MOTHY-OBJET.

Il s'agit bien d'une première ébauche qui devra être complétée par de nombreuses études ultérieures, mais qui nous a permis de prendre conscience de la forte imbrication des connaissances nécessaires à la mise en place de nouveaux outils aussi complexes que ceux permettant de prévoir le temps, ou la dérive d'objets dans notre cas. Avant d'aller plus loin, il nous semble nécessaire de faire une étude rigoureuse sur l'incertitude des prévisions : comment mesurer celle-ci, que voulons-nous montrer, quels sont les outils nécessaires ? Cette démarche est indispensable pour faire évoluer le système actuel en harmonisant les moyens et les objectifs.

Nous regrettons de ne pas avoir eu le temps de développer un module de calcul des barycentres, qui nous semblent utiles pour plusieurs applications. On pourrait en effet représenter un point moyen des objets par taux d'immersion, une nappe moyenne de l'ensemble des nappes d'hydrocarbures, le point moyen des points déterministes de la version *Leeway* et ainsi disposer d'une visualisation concrète de la dispersion, mais aussi de la moyenne des runs. Cette première approche pourrait être complétée par une analyse de la dispersion, et la recherche d'indicateurs pertinents pour exprimer celle-ci.

La mise en place d'un système fiable et abouti, permettant de relier l'ensemble du système MOTHY aux possibilités offertes par la prévision d'ensemble, nécessitera un important travail de réflexion amont pour définir de nouveaux produits, les moyens à mettre en œuvre, les nouvelles méthodes à déployer, et un travail de conception et d'analyse pour déterminer les solutions informatiques répondant aux objectifs définis. Il faudra notamment tenir compte des importants temps de calculs nécessaires et adapter l'infrastructure matérielle en conséquence. Ce travail de réflexion devra se poursuivre pour adapter le nouveau système aux améliorations qui se dégageront de l'exploitation de la prévision d'ensemble, au fur et à mesure des nouvelles évolutions qui se dessineront.

Nous espérons que les premières ébauches effectuées, tout comme les premiers scripts construits, serviront à Dprevi/Mar pour continuer cette réflexion et exploration, en association avec les services de Météo-France travaillant également sur le thème de la prévision d'ensemble. Le sujet proposé par Dprevi/Mar nous a permis de découvrir quelques facettes de leurs activités mais aussi d'enrichir nos connaissances générales. Nous avons eu l'occasion de nous initier au fonctionnement d'un modèle numérique, de découvrir l'important réseau technique et de recherche relatif notamment au domaine de l'océanographie, offrant ainsi à l'activité de recherche menée par Dprevi/Mar un environnement riche d'informations, d'enseignements, et de dynamisme.

10. PERSPECTIVES

De nouvelles méthodes apparaissent qui permettent d'améliorer les systèmes actuels en tenant compte des incertitudes liées à la prévision numérique. L'outil de la prévision d'ensemble s'impose dans l'approche probabiliste, il est amené à s'intégrer de plus en plus dans les méthodologies de prévision, qui incluront au fur et à mesure des évolutions vers de nouvelles démarches, avec par exemple l'approche multi-modèles voire multi-ensembles.

Il faudrait aujourd'hui étudier plus en détail les performances et la fiabilité des prévisions de dérives réalisées en utilisant le forçage atmosphérique de la prévision d'ensemble afin d'en confirmer l'utilité. Les premiers résultats obtenus semblent indiquer que l'outil probabiliste peut ajouter une information pertinente aux « prévision de dérive d'ensemble » que ce soit dans le mode objets, *Leeway*, ou hydrocarbures.

Les perspectives d'évolutions sont véritablement nombreuses. Toute l'activité de prévision se tourne de plus en plus vers l'utilisation de la prévision d'ensemble, et de nouveaux outils vont certainement se développer. La modélisation de dérive en mer peut certainement tirer profit de cette évolution. Un groupe de travail a par ailleurs été constitué au sein du département Dprevi, dont le but est de développer l'utilisation et l'évolution des systèmes de prévisions d'ensemble, ainsi que l'offre de produits de nature probabiliste. Le service Dprevi/Mar est invité à ce travail de réflexion et souhaite s'investir dans ce domaine.

Pour continuer notre travail, nous pensons à toute sorte de pistes possibles afin de poursuivre et améliorer ce qui a été entrepris. La progression des modèles dynamiques océanographiques et atmosphériques améliorera bien évidemment les performances actuelles, mais il est envisageable dès aujourd'hui, avec notamment les moyens de la prévision d'ensemble, d'optimiser les performances du système actuel. Pour cela, il nous semble souhaitable d'envisager les actions suivantes :

- Intégrer le calcul et la représentation du barycentre de différents objets, créer un programme permettant de calculer les points moyens (des points d'ensemble représentant les différents taux d'immersion avec la version objet, des points déterministes avec la version *Leeway*, des superpositions des nappes avec le dessin d'une nappe « moyenne », etc.),
- Appliquer des modes de représentation probabiliste à la version objet,
- Amélioration de l'interface IHM de MOTHY permettant notamment de manipuler de manière fiable les nombreux fichiers nécessaires à la prévision d'ensemble, et d'automatiser certaines fonctions, ainsi que de faciliter l'ergonomie des représentations graphique issues de MOTHY (qualité des légendes, choix des couleurs, apport de nouvelles informations sur les graphiques, par exemple l'identification des runs dans les cas de superpositions, etc.),
- Réaliser des études statistiques pour dégager de nouveaux outils de représentation, d'analyse, produire des indicateurs statistiques (notamment pour l'exploitation des cartes d'ensemble en mode *Leeway*), et intégrer ces outils dans la chaîne de production,
- Analyser et comparer les performances de différents systèmes et étudier la fiabilité de leurs prévisions (outils probabilistes, statistiques, prévisions déterministes ou d'ensembles, etc.), chercher de nouveaux indicateurs,
- Etudier les relations entre les données du forçage atmosphériques et les résultats de prévisions de dérive (relation de dispersion, écarts types, etc...),
- Etudier les probabilités qu'un site soit affecté par une pollution (les sites nucléaire implantés sur la façade Atlantique sont potentiellement très intéressés par ce genre de démarche),
- Continuer à intégrer et exploiter au mieux les données des modèles océanographiques en évolution permanente.

Enfin, un autre type d'étude semble fondamentale, puisque les moyens de contrôle sont plus restreints que dans le domaine de la modélisation atmosphérique, c'est l'étude des performances des prévisions des systèmes évoqués, notamment sur des cas réels observés.

11. GLOSSAIRE

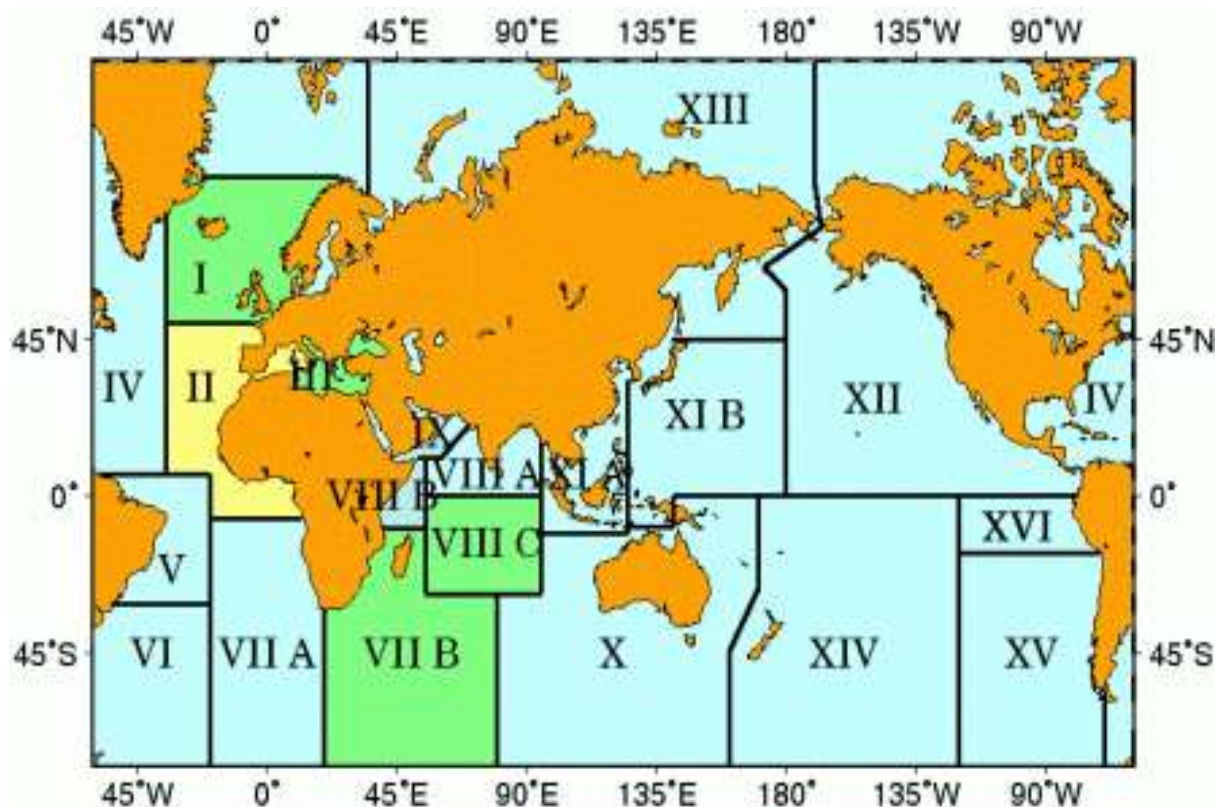
CEDRE.....	Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les Pollutions Accidentelles des Eaux
CEPMMT.....	Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme
CMRS.....	Centre Météorologique Régional Spécialisé
CMZ.....	Coordonnateur Météorologique de Zone
CROSS.....	Centres Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage
EPS.....	Ensemble Prediction System
FES.....	Finite Element Solution
GEBCO.....	General Bathymetric Chart of the Oceans
LEGOS.....	Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales
IFS.....	Integrated Forecasting System (modèle du CEP)
MFS.....	Mediterranean Forecasting System
OMM.....	Organisation Météorologique Mondiale
MOTHY.....	Modèle Océanique de Transport d'HYdrocarbures
PEARP.....	Prévision d'Ensemble ARPEGE
SHOM.....	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIUPM.....	Service d'Intervention d'Urgence en cas de Pollution de la Mer
SMDSM.....	Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer

12. RÉFÉRENCES

- [1] Belleguic K., 2005 « Modélisation de dérive d'objets en mer », Rapport de stage de fin d'études n°990, ENM
- [2] Breivik Øyvind, Arthur A. Allen, 2007 « An operational search and rescue model for the Norwegian Sea and the North Sea », Journal of Marine System
- [3] Coiffier D. et Guérin N., 2007 « Optimisation du modèle MOTHY pour les opérations de recherche et sauvetage en mer » Rapport de stage de fin d'études n°1084
- [4] Daniel P., 2004 « MOTHY, Modèle Océanique de Transport d'Hydrocarbures – documentation technique » Dprevi/Mar
- [5] Elliot A., 1986 « Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the north sea » Deutsche Hydrographische Zeitschrift 39(3), 113-137
- [6] Hontarrède M., 2003 « Pollutions en mer. Observer et prévoir leur dérive », Metmar N°200, 18-23
- [7] A.A. Allen J. V. Plourde, 1999 « Review of leeway : Field Experiments and Implementations »
- [8] <http://compas.meteo.fr/>
- [9] <http://glenan.meteo.fr/site/wiki/Accueil>
- [10] www.ifremer.fr/sar-drift/fr/

13. ANNEXES

Annexe 1 : Zonages METAREA



Depuis le 1^{er} janvier 1994, Météo-France est responsable des zones maritimes définies par le Système mondial de détresse et de sécurité en mer METAREA II et IIIA, en tant que coordonnateur météorologique de zones dans le cadre du Service d'Intervention d'Urgence en cas de Pollution de la Mer. Météo-France est également service d'appui pour les zones I, IIIB, VII et VIII C.

Annexe 2 : Script shell DERIVE ENS interface principale utilisateur

```
#!/bin/bash

# script permettant de choisir le type de simulation à effectuer et d'effectuer une superposition
graphique des différents runs réalisés
# ou de lancer le calcul des probabilités de présence puis de visualiser les représentations
graphiques associées
# auteurs: P. Brun ; D. Donnet juin 2009

#-----
# ATTENTION : Certaines fonctions ne fonctionnent que lorsque des simulations ou certains calculs
ont été réalisés. En effet :
# > L'option 2) impose que l'option 1) soit réalisée
# > Les options 3) et 4) fonctionnent si les options 1) et 2) ont été précédemment lancées
# > L'option 5) suppose que le choix 4) a déjà été effectué avec l'option choisie PEARP ou EPS
# > L'option 6) suppose que les choix 3) et 4) ont déjà été réalisés
# > L'option 7) suppose que les deux options intrinsèques au choix 4) ont été effectuées
# > L'option 8) suppose que le calcul des probabilités de présence dans le choix 4) a été réalisé
à la fois pour la PEARP et pour l'EPS
#-----

rep=0

echo ''
echo ''
echo 'Bonjour'

while [ $rep = 0 ]; do
echo 'Que voulez vous faire ?'
echo '1) Lancer une simulation Mothy (usage habituel)'
echo '2) Lancer les simulations automatisées pour la prevision d'' ensemble'
echo '3) Superposer les graphiques a partir des runs de prevision d'' ensemble effectues'
echo '4) Calculer les probabilités de présence à partir des simulations de prevision d''ensemble'
echo '5) Visualiser les probabilités de présence suite aux calculs effectués ?'
echo '6) Visualiser la superposition des runs de prevision d'' ensemble associee aux probabilites de
présence (nombre de runs par maille)'
echo '7) Visualiser la superposition de la représentation des probabilités de présence (nombre de
runs par maille) et de la représentation du nombre de points par maille'
echo '8) Visualiser les isolignes relatives à la probabilité de présence de la PEARP et de l'' EPS
sur un même graphique'
echo -e '-> \c'
read rep
echo $rep

case $rep in
    [1]) ./DERIVE;;

    [2]) echo 'Attention! Avez-vous effectué une première simulation (CTRL Z si ce n'' est pas le cas
puis choix 1)'
        echo 'Quelle prévision d'' ensemble souhaitez-vous utiliser ?'
        echo '1 : PEARP'
        echo '2 : EPS'
        echo -e '-> \c'
        read rep2
        echo $rep2
        case $rep2 in
            [1]) export runs=20;
            export modele='pearp';
            echo $runs >> /home/tse09/mothy/data/datapollu
            echo 'vous avez choisi les 21 membres de la PEARP';;
            [2]) export runs=50;
            export modele='eps';
            echo $runs >> /home/tse09/mothy/data/datapollu
            echo 'vous avez choisi les 51 membres de l'' EPS';;
        esac
        # echo 'Lance sh creation_dossier';;
        sh ./creation_dossier
        # echo 'Lance sh creation_vent_txt';;
        sh ./creation_vent_txt
        # echo 'Lance sh modele_auto';;
        sh ./modele_auto;;

    [3]) echo 'La superposition de graphiques doit être faite si la simulation de tous les runs'
        echo 'de la pearp ou de l'' eps a déjà été effectuée au moins une fois (sinon CTRL Z)!'
        echo 'Quelle prévision d'' ensemble souhaitez-vous utiliser ?'
        echo '1 : PEARP'
        echo '2 : EPS'
        echo -e '-> \c'
        read rep3
        echo $rep3
        case $rep3 in
            [1]) runs=20;
            modele='pearp';
            echo 'vous avez choisi les 21 membres de la PEARP';;
            [2]) runs=50;
            modele='eps';
```

```

        echo 'vous avez choisi les 51 membres de l'' EPS';;
    esac
#    cd data_$modele/$modele'_global'
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'

    echo 'Voulez-vous archiver une simulation graphique précédemment réalisée? (o/n)'
    echo 'Si oui, les .ps et .gif du dossier ???_global vont être copiés'
    echo 'dans archive_graph_1 ou archive_graph_2'
    echo -e '-> \c'
    read rip31
    case $rip31 in
[00])
if [ -s ps024.ps ] ; then
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
if [ -s ps024.ps ] ; then
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2

        if [ -s ps024.ps ] ; then
            echo 'Les 2 répertoires d'' archives graphiques (archive_graph_1 / archive_graph_2) contiennent
des données...'
            echo 'Veuillez archiver les données d'' au moins un de ces répertoires et supprimer les
fichiers qu''il contient !'
            echo 'Ce script va être interrompu...!'
            exit
        else
            cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
            cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
            cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
        fi
    else
        cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
        cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
        cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
    fi
fi
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
    . ../../bin/GRAPHIQUE_superposition;;

    [nN])
        echo 'Les .ps et .gif du dossier ???_global vont être écrasés'
        cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
        . ../../bin/GRAPHIQUE_superposition;;

    esac;;

[4]) echo 'Attention! Avez-vous effectué simulation d'' ensemble (CTRL Z si ce n'' est pas le cas
puis choix 2)'
    echo 'Quelle prévision d'' ensemble souhaitez-vous utiliser ?'
    echo '1 : PEARP'
    echo '2 : EPS'
    echo -e '-> \c'
    read rep4
    echo $rep4

    echo 'Souhaitez-vous calculer les probabilités en fonction du :'
    echo '1 : nombre de runs par maille'
    echo '2 : nombre de points par maille'
    echo -e '-> \c'
    read rep41
    echo $rep41

    case $rep4 in
        [1]) export runs=20;
        export modele='pearp';
        echo 'vous avez choisi les 21 membres de la PEARP';;
        [2]) export runs=50;
        export modele='eps';
        echo 'vous avez choisi les 51 membres de l'' EPS';;
    esac

    cd data_$modele

# on efface les anciens fichiers
    echo 'Souhaitez-vous effacer les fichiers grille_proba et grille_proba_pts déjà présents
(o/n)?'
    echo -e '-> \c'
    read rep42
    echo $rep42
    case $rep42 in
        [00])
            cd $modele'_global'
            rm rposi_proba_fin
            rm rposi_proba
            rm grille_proba
            rm grille_proba_pts
            cd ..;;
        [nN])

```

```

cd $modele'_global'
rm rposi_proba_fin
rm rposi_proba
cd ..;;
esac

if [ $modele = 'pearp' ] ; then
for i in `seq 0 $runs`
do
cd $modele'_'$i
echo $modele'_'$i
cp rposi_rposi_$i
sed 's/c//' rposi_$i>../$modele'_global'/rposi_prob | sed 's/.*/& '$i' x /' ../
$modele'_global'/rposi_prob>>../$modele'_global'/rposi_proba
# cat rposi_$i>../$modele'_global'/rposi_prob | sed 's/.*/& '$i'/' ../
$modele'_global'/rposi_prob>>../$modele'_global'/rposi_proba
rm rposi_$i
cd ..
done
else
for i in `seq 1 $runs`
do
cd $modele'_'$i
echo $modele'_'$i
cp rposi_rposi_$i
sed 's/c//' rposi_$i>../$modele'_global'/rposi_prob | sed 's/.*/& '$i' x /' ../
$modele'_global'/rposi_prob>>../$modele'_global'/rposi_proba
# cat rposi_$i>../$modele'_global'/rposi_prob | sed 's/.*/& '$i'/' ../
$modele'_global'/rposi_prob>>../$modele'_global'/rposi_proba
rm rposi_$i
cd ..
done
fi

rm ../$modele'_global'/rposi_prob
cd $modele'_global'

case $rep41 in
[1]) .././src/probabilite_runs;;
[2]) .././src/probabilite_pts;;
esac;;

[5]) echo 'Assurez-vous d''avoir bien effectué au préalable le calcul des probabilités'
echo 'avec le nombre de runs (maille 2'') ou avec le nombre de points (maille 2.5'')'
echo 'Quel type de prévision d'' ensemble souhaitez-vous visualiser ?'
echo '1 : PEARP'
echo '2 : EPS'
echo -e '-> \c'
read rep51
echo $rep51
case $rep51 in
[1]) export modele='pearp';
echo 'vous utilisez les 21 membres de la PEARP';;
[2]) export modele='eps';
echo 'vous utilisez les 51 membres de l''EPS';;
esac

echo 'Quelle visualisation souhaitez-vous effectuer ?'
echo '1 : probabilité de présence en fonction du nombre de runs'
echo '2 : probabilité de présence en fonction du nombre de points'
echo -e '-> \c'
read rep52
echo $rep52
cd data_$modele/$modele'_global'

echo 'Voulez-vous archiver une simulation graphique précédemment réalisée? (o/n)'
echo 'Si oui, les .ps et .gif du dossier ???_global vont être copiés'
echo 'dans archive_graph_1 ou archive_graph_2'
echo -e '-> \c'
read rip5
case $rip5 in
[o0])
if [ -s ps024.ps ] ; then
cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
if [ -s ps024.ps ] ; then
cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2

if [ -s ps024.ps ] ; then
echo 'Les 2 répertoires d'' archives graphiques (archive_graph_1 / archive_graph_2) contiennent
des données...'
echo 'Veuillez archiver les données d'' au moins un de ces répertoires et supprimer les
fichiers qu''il contient !'
echo 'Ce script va etre interrompu...!'
exit
else
cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2

```

```

        fi
    else
        cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
        cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
        cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
    fi
fi

cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
case $rep52 in
    [1]) ../bin/GRAPHIQUE_proba_runs;;
    [2]) ../bin/GRAPHIQUE_proba_pts;;
esac;;

[nN])
    case $rep52 in
        [1]) ../bin/GRAPHIQUE_proba_runs;;
        [2]) ../bin/GRAPHIQUE_proba_pts;;
    esac;;
esac;;

[6]) echo 'Cette représentation doit être faite seulement si auparavant l'' option 3 et l'' option
4 (calculer les probabilités en fonction du nombre de runs par maille) ont été réalisées...(sinon
CTRL Z)!'
    echo 'Quelle prévision d'' ensemble souhaitez-vous utiliser ?'
    echo '1 : PEARP'
    echo '2 : EPS'
    echo -e '-> \c'
    read rep3
    echo $rep3
    case $rep3 in
        [1]) runs=20;
            modele='pearp';
            echo 'vous avez choisi les 21 membres de la PEARP';;
        [2]) runs=49;
            modele='eps';
            echo 'vous avez choisi les 51 membres de l'' EPS';;
    esac
#    cd data_$modele/$modele'_global'
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'

    echo 'Voulez-vous archiver une simulation graphique précédemment réalisée? (o/n)'
    echo 'Si oui, les .ps et .gif du dossier ???_global vont être copiés'
    echo 'dans archive_graph_1 ou archive_graph_2'
    echo -e '-> \c'
    read rip
    case $rip in
        [oO])
            if [ -s ps024.ps ] ; then
                cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
            fi
            if [ -s ps024.ps ] ; then
                cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2

                if [ -s ps024.ps ] ; then
                    echo 'Les 2 répertoires d'' archives graphiques (archive_graph_1 / archive_graph_2) contiennent
des données...'
                    echo 'Veuillez archiver les données d'' au moins un de ces répertoires et supprimer les
fichiers qu''il contient !'
                    echo 'Ce script va être interrompu...!'
                    exit
                else
                    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
                    cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
                    cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
                fi
            else
                cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
                cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
                cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
            fi
        fi

        cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
        . ../bin/GRAPHIQUE_superp+proba;;

        [nN])
            echo 'Les .ps et .gif du dossier ???_global vont être écrasés'
            . ../bin/GRAPHIQUE_superp+proba;;
    esac;;

[7]) echo 'Cette représentation doit être faite seulement si auparavant les 2 choix de l'' option
4 ont été calculés!'
    echo 'Ceci permet d'' avoir à la fois un calcul de probabilité de présence de runs et un
calcul de nombre de points par maille (sinon CTRL Z)'
    echo 'Quelle prévision d'' ensemble souhaitez-vous utiliser ?'
    echo '1 : PEARP'
    echo '2 : EPS'

```

```

        echo -e '-> \c'
        read rep7
        echo $rep7
        case $rep7 in
            [1]) runs=20;
                modele='pearp';
                echo 'vous avez choisi les 21 membres de la PEARP';;
            [2]) runs=49;
                modele='eps';
                echo 'vous avez choisi les 51 membres de l'' EPS';;
        esac
#       cd data_$modele/$modele'_global'
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'

    echo 'Voulez-vous archiver une simulation graphique précédemment réalisée? (o/n)'
    echo 'Si oui, les .ps et .gif du dossier ???_global vont être copiés'
    echo 'dans archive_graph_1 ou archive_graph_2'
    echo -e '-> \c'
    read rip7
    case $rip7 in
        [00])
if [ -s ps024.ps ] ; then
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
if [ -s ps024.ps ] ; then
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2

        if [ -s ps024.ps ] ; then
            echo 'Les 2 répertoires d'' archives graphiques (archive_graph_1 / archive_graph_2) contiennent
des données...'
            echo 'Veuillez archiver les données d'' au moins un de ces répertoires et supprimer les
fichiers qu''il contient !'
            echo 'Ce script va etre interrompu...!'
            exit
        else
            cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
            cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
            cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
        fi
    else
        cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
        cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
        cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
    fi
fi

    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
    . ../bin/GRAPHIQUE_proba_pts_iso;;

    [nN])
        echo 'Les .ps et .gif du dossier ???_global vont être écrasés'
        . ../bin/GRAPHIQUE_proba_pts_iso;;

    esac;;

[8]) echo 'Cette représentation doit être faite seulement si auparavant les 2 choix de l'' option
4 ont été calculés!'
    echo 'Ceci permet d'' avoir à la fois un calcul de probabilité de présence de runs et un
calcul de nombre de points par maille (sinon CTRL Z)'
    echo '-----'
    echo 'ATTENTION : les graphiques des isolignes PEARP et EPS seront créés dans le répertoire
PEARP_global...!'

    echo 'Voulez-vous archiver une simulation graphique précédemment réalisée? (o/n)'
    echo 'Si oui, les .ps et .gif du dossier ???_global vont être copiés'
    echo 'dans archive_graph_1 ou archive_graph_2'
    echo -e '-> \c'
    read rip8
    case $rip8 in
        [00])
if [ -s ps024.ps ] ; then
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
if [ -s ps024.ps ] ; then
    cd /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2

        if [ -s ps024.ps ] ; then
            echo 'Les 2 répertoires d'' archives graphiques (archive_graph_1 / archive_graph_2) contiennent
des données...'
            echo 'Veuillez archiver les données d'' au moins un de ces répertoires et supprimer les
fichiers qu''il contient !'
            echo 'Ce script va etre interrompu...!'
            exit
        else
            cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
            cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
            cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_2
        fi
    else
        cd /home/tse09/mothy/data_$modele/$modele'_global'
        cp *.ps /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
        cp *.gif /home/tse09/mothy/data_$modele/archive_graph_1
    fi
fi

```



```

fi
fi

                                cp      /home/tse09/mothy/data_eps/eps_global/grille_proba
/home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global/grille_proba_eps
                                cp      /home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global/grille_proba
/home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global/grille_proba_pearp

    cd /home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global

. ../bin/GRAPHIQUE_proba_comp;;

[nN])
    echo 'Les .ps et .gif du dossier ???_global vont être écrasés'
                                cp      /home/tse09/mothy/data_eps/eps_global/grille_proba
/home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global/grille_proba_eps
                                cp      /home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global/grille_proba
/home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global/grille_proba_pearp

    cd /home/tse09/mothy/data_pearp/pearp_global

. ../bin/GRAPHIQUE_proba_comp;;

esac;;

*) rep=0;;
esac
done

```

Annexe 3 : Script shell creation dossier

```
#!/bin/bash
# script de creation automatique de repertoires pour les runs de la prevision d'ensemble, de copie
des constantes nécessaires à partir du répertoire data_const et de copie des fichiers nécessaires au
calcul
# auteurs: P. Brun ; D. Donnet

#On crée les répertoires des différents runs et on copie les constantes

export runs
export modele

echo $modele

mkdir ./data_$modele
cd ./data_$modele

for i in `seq 0 $runs`
do
    mkdir ./modele'_$i
    chmod 755 modele'_$i
    cp /home/tse09/mothy/data_const/* $modele'_$i
done

cd ..

#On copie les fichiers nécessaires au calcul créés à partir d'une première simulation dans les
répertoires des différents runs
for i in `seq 0 $runs`
do
    cp data/courant.txt data_$modele/$modele'_$i
    cp data/profond data_$modele/$modele'_$i
    cp data/datapollu data_$modele/$modele'_$i
    cp data/maree data_$modele/$modele'_$i
    cp data/uperm data_$modele/$modele'_$i
    cp data/vperm data_$modele/$modele'_$i
done

#On crée le répertoire 'pearp(ou eps)_global' permettant de superposer les images de tous les runs
et on y copie les constantes
mkdir ./data_$modele/$modele'_global'
chmod 755 ./data_$modele/$modele'_global'
cd ./data_const
cp * ../data_$modele/$modele'_global'
cd ..

#On crée 2 répertoires d'archives où seront stockées les simulations graphiques effectuées à partir
des options 3 ou 5 du script 'DERIVE_ENS'
mkdir ./data_$modele/archive_graph_1
chmod 755 ./data_$modele/archive_graph_1
mkdir ./data_$modele/archive_graph_2
chmod 755 ./data_$modele/archive_graph_2

#On copie les fichiers nécessaires au calcul créés à partir d'une première simulation dans le
répertoire 'pearp(ou eps)_global'
cp data/courant.txt data_$modele/$modele'_global'
cp data/profond data_$modele/$modele'_global'
cp data/datapollu data_$modele/$modele'_global'
cp data/maree data_$modele/$modele'_global'
cp data/uperm data_$modele/$modele'_global'
cp data/vperm data_$modele/$modele'_global'
cp data/proba_color_runs.cpt data_$modele/$modele'_global'
cp data/proba_color_pts.cpt data_$modele/$modele'_global'
cp data/proba_iso.cpt data_$modele/$modele'_global'
cp data/proba_iso_comp.cpt data_$modele/$modele'_global'
```

Annexe 4 : Script shell creation vent txt

```
#!/bin/bash
# script de creation automatique des fichiers vent.txt pour les runs de la prevision d'ensemble
# PEARP dans les repertoires ./data_pearp/pearp_? creees a cet effet...
# auteurs: P. Brun ; D. Donnet

export modele

if [ $modele == 'pearp' ] ; then

cd PEARP

d1=2009012200
d2=2009012606

for i in `seq 0 20`
do
{ echo valide
echo datededebut $d1
echo datedefin $d2
# entrer valeurs deuxieme ligne du vent.txt de la premiere simulation
echo zoom 52. 43. -8.5 4. 0.25 0.25
echo fin
} | gcopy 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.grb 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.grb_i

gdcmp 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.grb_i 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.txt
cp 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.txt ../data_pearp/pearp_$i/vent.txt
rm 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.grb_i
rm 2009012118_3h_Puv_MAN25_PEARP$i.txt
done

else
cd EPS
#remplacer les dates
d1=2009012200
d2=2009012606

for i in `seq 1 50`
do
{ echo valide
echo datededebut $d1
echo datedefin $d2
# entrer valeurs deuxieme ligne du vent.txt de la premiere simulation
# echo zoom 52. 43. -8.5 4. 0.5 0.5
echo fin

}| gcopy 09012200_puv_MAN05_EPS$i.grb 09012200_puv_MAN05_EPS$i.grb_i

gdcmp 09012200_puv_MAN05_EPS$i.grb_i 09012200_puv_MAN05_EPS$i.txt
cp 09012200_puv_MAN05_EPS$i.txt ../data_eps/eps_$i/vent.txt
rm 09012200_puv_MAN05_EPS$i.grb_i
done

fi
```

Annexe 5 : Script shell modele auto

```
#!/bin/bash
# script de lancement automatique du calcul et de la création des graphiques pour les 21 runs de la
PEARP ou
#pour les 51 runs de l'EPS
# auteurs: P. Brun ; D. Donnet

export modele
export runs

cd data_$modele

for i in `seq 0 $runs`
do
  cd ../$modele_'_$i
  ../../bin/MOTHY
  rm extrema

  cp ../../data/lacher .
  cp ../../data/bilang .
  cp ../../data/bilan .
  cp ../../data/datemodele .
  cp ../../data/dateocean .
  cp ../../data/.gmtdefaults4 .
  cp ../../data/.gmtcommands4 .
  cp ../../data/extrema .

#test presence fichier à faire?!
  ../../bin/GRAPHIQUE_AUTO

  cd ..
done

#copie des fichiers issus du calcul dans le répertoire pearp(ou eps)_global destiné à compiler tous
les graphiques de l'ensemble des runs

cd $modele'_global'
cp ../../data/lacher .
cp ../../data/bilang .
cp ../../data/bilan .
cp ../../data/datemodele .
cp ../../data/dateocean .
cp ../../data/.gmtdefaults4 .
cp ../../data/.gmtcommands4 .
cp ../../data/extrema .
touch grille_proba

cd ..
```

Annexe 6 : Code source fortran du calcul de probabilité de présence de runs

```
*****
*
* calcul des probabilités
* affectées sur un domaine selon le nombre de runs
* (utilisation des runs de l'EPS ou de la PEARP avec MOTHY
*
* auteurs : Damien Donnet et Philippe Brun - juin 2009
*
*****

c Liste des variables
c pearp et eps sont les constantes correspondant aux nombres de runs utilisés
c i,j,k : incrémentation pour les boucles
c ligne_i,col_j : indice de la matrice
c imax, jmax : nombre de cases de la matrice, i désigne les latitudes et j les longitudes
c long_min,long_max,lat_min,lat_max : sont les coordonnées des extrema de la zone considérée
(longitude min, latitude min, etc)
c run_p : numéro du run précédent lu dans la ligne précédente lors de la lecture du rposi concaténé
c nb_run : nombres de run présents dans chaque maille représentée par la matrice
c num_run : numéro du run en cours lors de la lecture
c lat_pt,long_pt : coordonnées en lat/lon des points du fichier rposi
c lat_g,long_g : coordonnées en lat/lon des points de la grille
c maille : définition du pas de la maille souhaitée
c proba : probabilité associée à un point de grille
c nb_membres : variable désignant soit la constante pearp, soit la constante eps selon les runs
utilisés
c nb_int : taille maximum de la matrice finale

      PROGRAM proba_runs

c Déclaration des variables :
      integer ligne_max,col_max,ech_max
      integer i,j,k,numero_run,nb_memb,nb_membres
      integer imax_entier,jmax_entier,ligne,col
      integer echea,echeance_max,ech
      integer col_1,col_5,col_6,col_7
      integer premiere_ech,heure_modele,echeance_min
      integer nb_gouttes,ec,he
      integer an_i,mo_i,jou_i

      parameter(ligne_max=200,col_max=200,ech_max=200)

      real maille !résolution de la maille selon les besoins (modifier ligne 60 si besoin)
      real imax,jmax,long_min,long_max,lat_min,lat_max
      real lat_pt,long_pt,lat_g,long_g,proba,prob,ligne_i,col_j
      real col_2,col_3,col_4,info_sup,inform,inf,col_d
      real nombre_run
      real an,mo,jou

      character(1) c
      character(2) jj,mm,hh
      character(4) aaaa
      character(5) simul

c Declaration de la matrice nb_run
      dimension nb_run(ligne_max,col_max,ech_max)
      dimension run_p(ligne_max,col_max,ech_max)
      dimension num_run(ligne_max,col_max,ech_max)
      dimension tab_ech(ligne_max,col_max,ech_max)
      real,dimension(ligne_max,col_max,ech_max)::infor

      real,dimension(ech_max)::annee
      real,dimension(ech_max)::mois
      real,dimension(ech_max)::jour
      integer,dimension(ech_max)::echeance
      integer,dimension(ech_max)::heure

c Initialisation des variables :
c ATTENTION : la maille est ici en degré décimal (0,1 représente 6 minutes, 1/60 ou 0,0166
représente 1 minute)
      c='c'
      nb_gouttes=480
      numero_run=0
      nombre_run=0
      ligne=0
      col=0
      ligne_i=0
      col_j=0
      proba=0
      info_sup=0.
      inform=0.
      inf=0.
      i=0.
      j=0.
```

```

k=0.

c //////////////////////////////////////

c Lecture datapollu pour récupérer la variable nb_membres (=nb_memb + 1 du datapollu)
open(11,file='datapollu')
read(11,*)
read(11,*) jj,mm,aaaa,hh
read(11,*) premiere_ech
read(11,*) heure_modele
read(11,*) echeance_max
read(11,'(a100)')
read(11,*)
read(11,'(a5)') simul
read(11,'(a50)')
read(11,'(a50)')
read(11,'(a50)')
read(11,*) nb_memb
close(11)

nb_membres=nb_memb+1

c Définition de la maille
Select case (simul)
case('MOTHY')
maillage=0.01667 ! 0.0125=0.75 minute, 0.01667=1', 0.08333=5',0.03333=2', 0.025=1.5', 0.02=1.2'
case('LEEWA')
maillage=0.03333 ! 0.01667=1 minute, 0.03333=2', 0.08333=5',0.025=1.5', 0.02=1.2'
End select
c maille=0.01667 ! 0.01667=1 minute, 0.08333=5',0.03333=2', 0.025=1.5', 0.02=1.2'

print*, nb_membres, ' - ', simul,
+ ' : nombres de runs et type de modèle mothy'
print*, maille, ' - ', echeance_max,
+ ' : résolution de la maille et échéance maximale'
print*, jj, '/', mm, '/', aaaa, ' à ', hh, 'h'
print*, premiere_ech, ' / ', heure_modele

c //////////////////////////////////////

c Définition de la matrice
open(14,file='extrema')
read(14,*) long_min,long_max,lat_min,lat_max

imax=ABS((lat_max-lat_min)/maillage) ! définition du nombre de lignes de la matrice
IF (imax-AINT(imax).ne.0) imax=AINT(imax)+1 ! si imax n'est pas un entier

jmax=ABS((long_max-long_min)/maillage) ! définition du nombre de colonnes de la matrice
IF (jmax-AINT(jmax).ne.0) jmax=AINT(jmax)+1 ! si imax n'est pas un entier

close(14)

imax_entier=imax
jmax_entier=jmax

c Initialisation des matrices: nb_run, run_p, num_run, infor, tab_ech
DO i=1,ligne_max
DO j=1,col_max
DO k=1,ech_max
nb_run(i,j,k)=0.
run_p(i,j,k)=60.
num_run(i,j,k)=0.
infor(i,j,k)=0.
tab_ech(i,j,k)=0.
END DO
END DO
i=0
j=0
k=0

c Comptage des runs et affectation des valeurs dans la matrice
c lecture du fichier rposi_proba (concaténation des rposi) : ce fichier comporte le n° du run en fin
de chaque ligne
c et écriture du fichier rposi_proba_fin contenant la liste mise en forme de tous les points selon
certaines conditions
open(10, file='rposi_proba')
open(13, file='rposi_proba_fin')

c CASE : selon la simulation effectuée (lecture dans datapollu en ligne 9), puis écriture fichier
rposi_proba_fin
Select case (simul)

C CASE MOTHY
case('MOTHY')
Do
read(10,*,iostat=io) col_1,col_2,col_3,col_4,col_d,col_6
If (io<0) exit
c col_1 : échéance, col_3 : année, col_5 : diamètre des gouttes dans MOTHY, on ne conserve que
les gouttes significatives

```

```

IF((col_1.ne.000).and.(col_3.lt.1000).and.(col_d.ge.1100))then
echea=col_1
long_pt=col_2
lat_pt=col_3
info_sup=col_d ! info_sup représente le diamètre des gouttes
numero_run=col_6
write(13,*) echea,long_pt,lat_pt,numero_run,info_sup
ENDIF

```

```

IF((col_1.ne.000).and.(col_2.eq.480))then
echea=col_1
echeance(echea)=echea
annee(echea)=col_3
mois(echea)=col_4
jour(echea)=col_d
heure(echea)=col_6
ENDIF
i=i+1
Enddo
close(10)

```

```

C CASE OBJET
case('OBJET')
i=0
Do
read(10,*,iostat=io) col_1,col_2,col_3,col_4,col_5
If (io<0.) exit
IF ((col_1.ne.000).and.(col_3.lt.1000))then
echea=col_1
long_pt=col_2
lat_pt=col_3
info_sup=col_4 ! info_sup représente les taux d'immersion
numero_run=col_5
write(13,*) echea,long_pt,lat_pt,numero_run,info_sup
ENDIF
i=i+1
Enddo
close(10)

```

```

C CASE LEEWAY
case('LEEWA')
i=0
Do
read(10,*,iostat=io) col_1,col_2,col_3,col_4,col_5,col_6
If (io<0.) exit
IF ((col_1.ne.000).and.(col_3.lt.1000))then
echea=col_1
long_pt=col_2
lat_pt=col_3
info_sup=col_4 ! info_sup représente le coefficient leeway appliqué à chaque point
numero_run=col_5
write(13,*) echea,long_pt,lat_pt,numero_run,info_sup
ENDIF

IF((col_1.ne.000).and.(col_2.eq.480))then
echea=col_1
echeance(echea)=echea
annee(echea)=col_3
mois(echea)=col_4
jour(echea)=col_5
heure(echea)=col_6
ENDIF
i=i+1
Enddo
close(10)
End select

```

```

c Lecture du fichier "rposi_proba_fin" et calcul des éléments de la matrice
rewind(13)
Do
read(13,*,iostat=jo) echea,long_pt,lat_pt,numero_run,info_sup
If (jo<0.) exit

ligne_i=AINT(ABS((lat_pt-lat_max)/maille))+1
col_j=AINT(ABS((long_pt-long_min)/maille))+1
ligne=ligne_i
col=col_j
num_run(ligne,col,echea)=numero_run
infor(ligne,col,echea)=info_sup
tab_ech(ligne,col,echea)=echea

```

```

c Incrémentation du nombre de runs dans chaque maille
IF (run_p(ligne,col,echea).ne.num_run(ligne,col,echea))then
nb_run(ligne,col,echea)=nb_run(ligne,col,echea)+1
else
nb_run(ligne,col,echea)=nb_run(ligne,col,echea)
endif
run_p(ligne,col,echea)=num_run(ligne,col,echea)
k=k+1
Enddo

```



```

close(13)

c Definition de la première échéance en fonction de l'heure du modèle et de l'heure du lacher
renseignés dans datapollu
if (heure_modele.eq.0) heure_modele=24
if (premiere_ech.gt.heure_modele)then
  echeance_min=premiere_ech-heure_modele+1
else
  echeance_min=(1+premiere_ech+(24-heure_modele))
endif

c Ecriture de la matrice dans le fichier grille_proba
i=0
j=0
k=0
OPEN (12, file='grille_proba')

Select case (simul)
case('MOTHY')
write(12,*)'c000 480',' ',aaaa,' ',mm,' ',jj,' ',hh
case('LEEWA')
write(12,*)'c000 0',' ',aaaa,' ',mm,' ',jj,' ',hh
End select

DO k=echeance_min,echeance_max
ec=echeance(k)
an=annee(k)
mo=mois(k)
jou=jour(k)
he=heure(k)
an_i=int(an)
mo_i=int(mo)
jou_i=int(jou)

write(12,'(a1,i3.3,i4,i5,i3.2,i3.2,i4)') c,ec,nb_gouttes,
+an_i,mo_i,jou_i,he
DO i=1,imax_entier
DO j=1,jmax_entier
IF (nb_run(i,j,k).ne.0) THEN
lat_g=lat_max-(i*maille)+(maille/2)
long_g=long_min+(j*maille)-(maille/2)
ech=tab_ech(i,j,k)
nombre_run=nb_run(i,j,k)
inform=infor(i,j,k)
inf=real(inform)
proba=(nombre_run/nb_membres)*100
prob=real(proba)
write(6,'(a1,i3.3,f10.4,f9.4,f8.2,f9.2,f3.0)') c,ech,long_g,lat_g,
+prob,inf,nombre_run
write(12,'(a1,i3.3,f10.4,f9.4,f8.2,f9.2)') c,ech,long_g,lat_g,
+prob!,inf (en commentaire car correspond au diamètre (ou coef du leeway) du dernier point pris
en compte pour le nombre de runs)
ENDIF
END DO
END DO
END DO
close(12)

END PROGRAM proba_runs

```

Annexe 7 : : Script shell G hydro_proba_runs

```
# script de trace de MOTHY (hydrocarbures)
# auteur: P. Daniel (2007) modifié en juin 2009 pour représentation des probabilités avec la
# prévision d'ensemble
# version tenant compte du nombre de RUNS par maille

cat grille_proba | awk '/c'$j'/' > tempo

cat tempo

if [ -s tempo ] ; then

    gmtset ANOT_FONT_SIZE 12
    gmtset CHAR_ENCODING Standard+
    gmtset PLOT_DEGREE_FORMAT ddd:mm:ssF
    gmtset FRAME_WIDTH 0.05c
    gmtset MEASURE_UNIT inch

    ian=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $3}'`
    imois=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $4}'`
    ijour=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $5}'`
    iheure=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $6}'`

    echo 'trace de echeance' '$j': '$ijour'/'$mois'/'$ian 'à' '$iheure 'UTC'

#   echo 'cadre - couleurs'
#   pscoast -R$wlon/$elone/$slate/$nlate -Ba.5f.25g.25/a.25f.25g.25 -Dh -JM6.25h+ -W -G255/162/0
#   -S208/255/255 -K > ps$j.tmp
#   pscoast -R$wlon/$elone/$slate/$nlate -Ba.1f.05g.05/a.05f.05g.05 -Df -JM6.25h+ -W -G255/162/0
#   -S208/255/255 -K > ps$j.tmp

#   echo 'courants'
#   if [ $MODELE_OCEAN ] ; then
#       cat courantdf | grep $ian" "$mois" "$jour" "$heure | awk '{print $5,$6,$7,$8}' | psxy -JM -R
#   -SV0.0225c/0.09c/0.075c -W1,150/150/255 -O -K >> ps$j.tmp
#   fi

#   echo 'trajectoires'
#   cat rtraj | awk '{if ( $1 == ">" || $1 <= "'$j'" ) print $2,$3}' > tempo
#   psxy tempo -R -A -JM -M -W1/150/150/150 -O -K >> ps$j.tmp
#   cat traj-objet | awk '{if ( $1 <= "'$j'" ) print $2,$3}' | psxy -R -A -JM -M -W3/255/150/150 -O -
#   K>> ps$j.tmp

#-----
# Dessin des probabilité calculées dans le fichier grille_proba
# fonctions utilisées : xyzgrd, grdimage, nearneighbor, grdcontour
# echo 'probabilités (couleurs)'
cat grille_proba | awk '/c'$j'/' > tempo
cat tempo | awk '{if ( NR > 1 && $2 != 480 ) print $2,$3,$4}' | xyz2grd -Ggrille_proba.grd -R
-I0.75m
grdimage grille_proba.grd -V -R -JM -Cproba_color_runs.cpt -S0.08 -E200 -O -K >> ps$j.tmp

# echo 'gouttes' (ici, dessin des points de grille_proba)
cat tempo | awk '{if ( NR > 1 && $4 < 5 ) print $2,$3}' | psxy -R -Sc0.03 -JM -G255/255/255 -O -K>>
ps$j.tmp

# echo 'probabilités (isolignes)'
if [ -s ps027.ps ] ; then
    cat tempo | awk '{if ( NR > 1 && $2 != 480 ) print $2,$3,$4}' | nearneighbor -R -I0.75m -E-9999
-Ggrille_proba.grd -S4m -N4
grdcontour grille_proba.grd -V -R -JM -W0.0 -Cproba_iso.cpt -Af6 -O -K>> ps$j.tmp
fi

#-----
# echo 'etoile'
echo $zlon $zlat | psxy -R -Sa0.15 -G255/0/0 -JM -O -K>> ps$j.tmp

# echo 'observation'
echo -8.3833 50.9528 | psxy -R -Sc0.1 -G255/0/0 -JM -O -K>> ps$j.tmp

# echo 'trait de cote'
pscoast -R -B -Dh -JM -W -Na -G255/162/0 -O -K >> ps$j.tmp
# pscoast -R -B -Df -JM -W -Na -G255/162/0 -O -K >> ps$j.tmp

# echo 'vents'
# cat ventdf | grep $ian" "$mois" "$jour" "$heure | awk '{print $5,$6,($7+180)%360,$8+1.2861}' |
# psxy -JM -R -SWB0.2i/0.4i/120/5.144 -W2 -O -K >> ps$j.tmp

# echo 'titre'
head -1 tempo | awk '{print " 0 11.6 20 0 25 5 MOTHY/'$MODELE' '$MODELE_OCEAN' '$SENS' :
Pr\345vision pour le " $5 "/" $4 "/" $3 " \344 " $6 " utc " }' | pstext -R0/10/0/10 -JX -O -G0 -N
-K>> ps$j.tmp

# echo 'legende'
```

```

cat bilang | awk '{if ( $1 == "Position" ) print " 8.2 10.5 15 0 25 5 " $1,$2,$3 }' | pstext -R
-JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat lacher | awk '{print " 8.2 10 15 0 25 5 le " $1 "/" $2 "/" $3 " \344 " $4 "h" $5 " utc" }' |
pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "Latitude" ) print " 8.2 9.5 15 0 25 5 " $1,$2,$3 "\217 " $4 "\054"
$5 "\251" }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "Longitude" ) print " 8.2 9.0 15 0 25 5 " $1,$2,$3 "\217 " $4 "\054"
$5 "\251" }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp

# ajout de la légende-----
echo 11.9 6.2 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G208/255/255 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 6.2 | psxy -R -Sc0.04 -JM -G255 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 5.75 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 5.3 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/230/170 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 4.8125 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/255/0 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 4.325 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G100/255/0 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 3.8375 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/180/0 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 3.35 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/0/0 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 2.8625 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G0/190/255 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 2.375 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G150/0/255 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 1.8875 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G0/0/100 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp

echo '8.2 7.32 12 0 25 5 Probabilit\345 de pr\345sence de runs dans' | pstext -R -JX -O -G0 -N
-K>> ps$j.tmp
echo '8.2 7.0 12 0 25 5 une maille de 1 minute' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 6.5 12 0 25 5 inf\345rieur \344 5 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 6.0 12 0 25 5 de 5 \344 10 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 5.5 12 0 25 5 de 10 \344 15 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 5.0 12 0 25 5 de 15 \344 25 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 4.5 12 0 25 5 de 25 \344 35 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 4.0 12 0 25 5 de 35 \344 45 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 3.5 12 0 25 5 de 45 \344 55 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 3.0 12 0 25 5 de 55 \344 65 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 2.5 12 0 25 5 de 65 \344 75 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 2.0 12 0 25 5 de 75 \344 100 %' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
#-----

cat bilang | awk '{if ( $1 == "Polluant" ) print " 8.2 8.5 15 0 25 5 " $1,$2,$3,$4,$5 }' | pstext
-R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "Masse" ) print " 8.2 8.0 15 0 25 5 " $1,$2,$3,$4,$5 }' | pstext -R
-JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $3 == "deversement" && $5 != 0) print " 8.2 7 15 0 25 5 " $1,$2,$3,$4,$5
"heures" }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "DOMAINE" ) print " 8.2 1.2 10 0 25 5 "
$3,$4,$5,$6,$7,$8,$9,$10,$11,$12 }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "RESOLUTION" ) print " 8.2 0.8 10 0 25 5 R\345solution: " $3 "
(minute)" }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '-0.9 -0.8 10 0 25 5 Attention : document technique de pr\345vision de d\345rive
d\047hydrocarbure, r\345alis\345 \344 partir d\047un seul point choisi dans un ensemble complexe de
nappes \050observ\345es ou non\051\056' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '-0.9 -1.2 10 0 25 5 Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point
out of a complex set of slicks \050observed or not\051\056' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.2 0.35 10 0 25 5 Syst\350me g\345od\345sique: WGS 84' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>>
ps$j.tmp

# echo 'logo'
echo 0.25 0.35 0.22 | psxy -R -JX -N -K -O -Skmflogo >> ps$j.tmp
echo 0.45 0.35 17 0 22 5 METEO FRANCE | pstext -R -JX -N -O -K -G0/0/255 >> ps$j.tmp
echo 0.46 0.15 8.28 0 1 LM Toujours un temps d'avance | pstext -R -JX -N -G255/0/0 -O >> ps$j.tmp

mv ps$j.tmp ps$j.ps
cp bilang bilani

# echo 'html'
echo '<font size=2><a href="traj$j'.html">' >> menu.html
head -1 tempo | awk '{print $5 "/" $4 "/" $3 " &agrave; " $6 " utc" }' >> menu.html
echo '</a></font><br>' >> menu.html

echo '<html><head><title>MOTHY echeance '$j'</title><base target="texte"></head>' > traj$j.html
echo '<body bgcolor="#C0C0C0"><font size="3" face="helvetica"><table border="5" width="100%"><tr>'
>> traj$j.html
echo '<td align="center"><strong><font size=+2>Modèle MOTHY<br>Carte produite le ' >> traj$j.html
LC_TIME=fr date >> traj$j.html
echo '</font></strong></td></tr><tr><td align="center"><font size=+1>' >> traj$j.html
echo '<a href="ps'$j'.ps">Télécharger en format Postscript</a></font></td></tr>' >> traj$j.html
echo '<tr><td align="center">' >> traj$j.html
echo '</td></tr></table></body></html>' >> traj$j.html

fi

```

Annexe 8 : : Script shell G hydro proba pts

```
# script de trace de MOTHY (hydrocarbures)
# auteur: P. Daniel (2007) modifié en juin 2009 pour représentation des densité de points avec la
# prévision d'ensemble
# version tenant compte du nombre de POINTS par maille

cat grille_proba_pts | awk '/c'$j'/' > tempo

cat tempo

if [ -s tempo ] ; then

    gmtset ANOT_FONT_SIZE 12
    gmtset CHAR_ENCODING Standard+
    gmtset PLOT_DEGREE_FORMAT ddd:mm:ssF
    gmtset FRAME_WIDTH 0.05c
    gmtset MEASURE_UNIT inch

    ian=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $3}'`
    imois=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $4}'`
    ijour=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $5}'`
    iheure=`cat tempo | awk '{if ( NR == 1 ) print $6}'`

    echo 'trace de echeance' $j':.' $ijour/'$mois/'$ian 'à' $iheure 'UTC'

#   echo 'cadre - couleurs'
#   pscoast -R$wlon/$elone/$slate/$nlate -Ba.5f.25g.25/a.25f.25g.25 -Dh -JM6.25h+ -W -G255/162/0
#   -S208/255/255 -K > ps$j.tmp
#   pscoast -R$wlon/$elone/$slate/$nlate -Ba.1f.05g.05/a.05f.05g.05 -Df -JM6.25h+ -W -G255/162/0
#   -S208/255/255 -K > ps$j.tmp

#   echo 'courants'
#   if [ $MODELE_OCEAN ] ; then
#       cat courantdf | grep $ian" "$mois" "$jour" "$heure | awk '{print $5,$6,$7,$8}' | psxy -JM -R
#   -SV0.0225c/0.09c/0.075c -W1,150/150/255 -O -K >> ps$j.tmp
#   fi

#   echo 'trajectoires'
#   cat rtraj | awk '{if ( $1 == ">" || $1 <= "'$j'" ) print $2,$3}' > tempo
#   psxy tempo -R -A -JM -M -W1/150/150/150 -O -K >> ps$j.tmp
#   cat traj-objet | awk '{if ( $1 <= "'$j'" ) print $2,$3}' | psxy -R -A -JM -M -W3/255/150/150 -O -
#   K>> ps$j.tmp

#-----
# Dessin des densités indiquées dans le fichier grille_proba_pts
cat grille_proba_pts | awk '/c'$j'/' > tempo
cat tempo | awk '{if ( NR > 1 && $2 != 480 && $4 < 2 ) print $2,$3,$4}' | psxy -R -Ss.075 -JM -G255
-O -K>> ps$j.tmp
cat tempo | awk '{if ( NR > 1 && $2 != 480 && $4 >= 2 ) print $2,$3,$4}' | psxy -R -Ss.225 -JM
-Cproba_color_pts.cpt -O -K>> ps$j.tmp

#-----
#   echo 'etoile'
#   echo $zlon $zlat | psxy -R -Sa0.15 -G255/0/0 -JM -O -K>> ps$j.tmp

#   echo 'observation'
#   echo -8.3833 50.9528 | psxy -R -Sc0.1 -G255/0/0 -JM -O -K>> ps$j.tmp

#   echo 'trait de cote'
#   pscoast -R -B -Dh -JM -W -Na -G255/162/0 -O -K >> ps$j.tmp
#   pscoast -R -B -Df -JM -W -Na -G255/162/0 -O -K >> ps$j.tmp

#   echo 'vents'
#   cat ventdf | grep $ian" "$mois" "$jour" "$heure | awk '{print $5,$6,($7+180)%360,$8+1.2861}' |
#   psxy -JM -R -SWB0.2i/0.4i/120/5.144 -W2 -O -K >> ps$j.tmp

#   echo 'titre'
#   head -1 tempo | awk '{print " 0 11.6 20 0 25 5 MOTHY/'$MODELE' '$MODELE_OCEAN' '$SENS' :
#   Pr\345vision pour le " $5 "/" $4 "/" $3 " \344 " $6 " utc " }' | pstext -R0/10/0/10 -JX -O -G0 -N
#   -K>> ps$j.tmp

#   echo 'legende'
#   cat bilang | awk '{if ( $1 == "Position" ) print " 8.2 10.5 15 0 25 5 " $1,$2,$3 }' | pstext -R
#   -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
#   cat lacher | awk '{print " 8.2 10.0 15 0 25 5 le " $1 "/" $2 "/" $3 " \344 " $4 "h" $5 " utc" }' |
#   pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
#   cat bilang | awk '{if ( $1 == "Latitude" ) print " 8.2 9.5 15 0 25 5 " $1,$2,$3 "\217 " $4 "\054"
#   $5 "\251" }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp
#   cat bilang | awk '{if ( $1 == "Longitude" ) print " 8.2 9.0 15 0 25 5 " $1,$2,$3 "\217 " $4 "\054"
#   $5 "\251" }' | pstext -R -JX -O -G0 -N -K>> ps$j.tmp

# ajout de la légende-----
echo 11.9 6.22 | psxy -R -Ss0.1 -JM -G255 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 5.75 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255 -W0.5 -O -N -K>> ps$j.tmp
```

```

echo 11.9 5.3 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/230/170 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 4.8125 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/255/0 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 4.325 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G100/255/0 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 3.8375 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/180/0 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 3.35 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G255/0/0 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 2.8625 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G0/190/255 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 2.375 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G150/0/255 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 1.8875 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G0/0/100 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo 11.9 1.4 | psxy -R -Ss0.2 -JM -G0 -W0.5 -0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.2 7.32 12 0 25 5 Nombre de points compris dans' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.2 7.0 12 0 25 5 une maille de 2,5 minutes' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 6.5 12 0 25 5 1 point' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 6.0 12 0 25 5 entre 2 et 5 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 5.5 12 0 25 5 entre 5 et 10 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 5.0 12 0 25 5 entre 10 et 15 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 4.5 12 0 25 5 entre 15 et 25 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 4.0 12 0 25 5 entre 25 et 50 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 3.5 12 0 25 5 entre 50 et 100 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 3.0 12 0 25 5 entre 100 et 200 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 2.5 12 0 25 5 entre 200 et 500 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 2.0 12 0 25 5 entre 500 et 1000 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.5 1.5 12 0 25 5 plus de 1000 points' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
#-----
cat bilang | awk '{if ( $1 == "Polluant" ) print " 8.2 8.5 15 0 25 5 " $1,$2,$3,$4,$5 }' | pstext
-R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "Masse" ) print " 8.2 8.0 15 0 25 5 " $1,$2,$3,$4,$5 }' | pstext -R
-JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $3 == "deversement" && $5 != 0) print " 8.2 7 15 0 25 5 " $1,$2,$3,$4,$5
"heures" }' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "DOMAINE" ) print " 8.2 0.8 10 0 25 5 "
$3,$4,$5,$6,$7,$8,$9,$10,$11,$12 }' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
cat bilang | awk '{if ( $1 == "RESOLUTION" ) print " 8.2 0.4 10 0 25 5 R\345solution: " $3 "
(minute)" }' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '-0.9 -0.8 10 0 25 5 Attention : document technique de pr\345vision de d\345rive
d\047hydrocarbure, r\345alis\345 \344 partir d\047un seul point choisi dans un ensemble complexe de
nappes \050observ\345es ou non\051\056' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '-0.9 -1.2 10 0 25 5 Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point
out of a complex set of slicks \050observed or not\051\056' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp
echo '8.2 0 10 0 25 5 Syst\350me g\345od\345sique: WGS 84' | pstext -R -JX -0 -G0 -N -K>> ps$j.tmp

# echo 'logo'
echo 0.25 0.35 0.22 | psxy -R -JX -N -K -O -Skmflogo >> ps$j.tmp
echo 0.45 0.35 17 0 22 5 METEO FRANCE | pstext -R -JX -N -O -K -G0/0/255 >> ps$j.tmp
echo 0.46 0.15 8.28 0 1 LM Toujours un temps d'avance | pstext -R -JX -N -G255/0/0 -O >> ps$j.tmp

mv ps$j.tmp ps$j.ps
cp bilang bilani

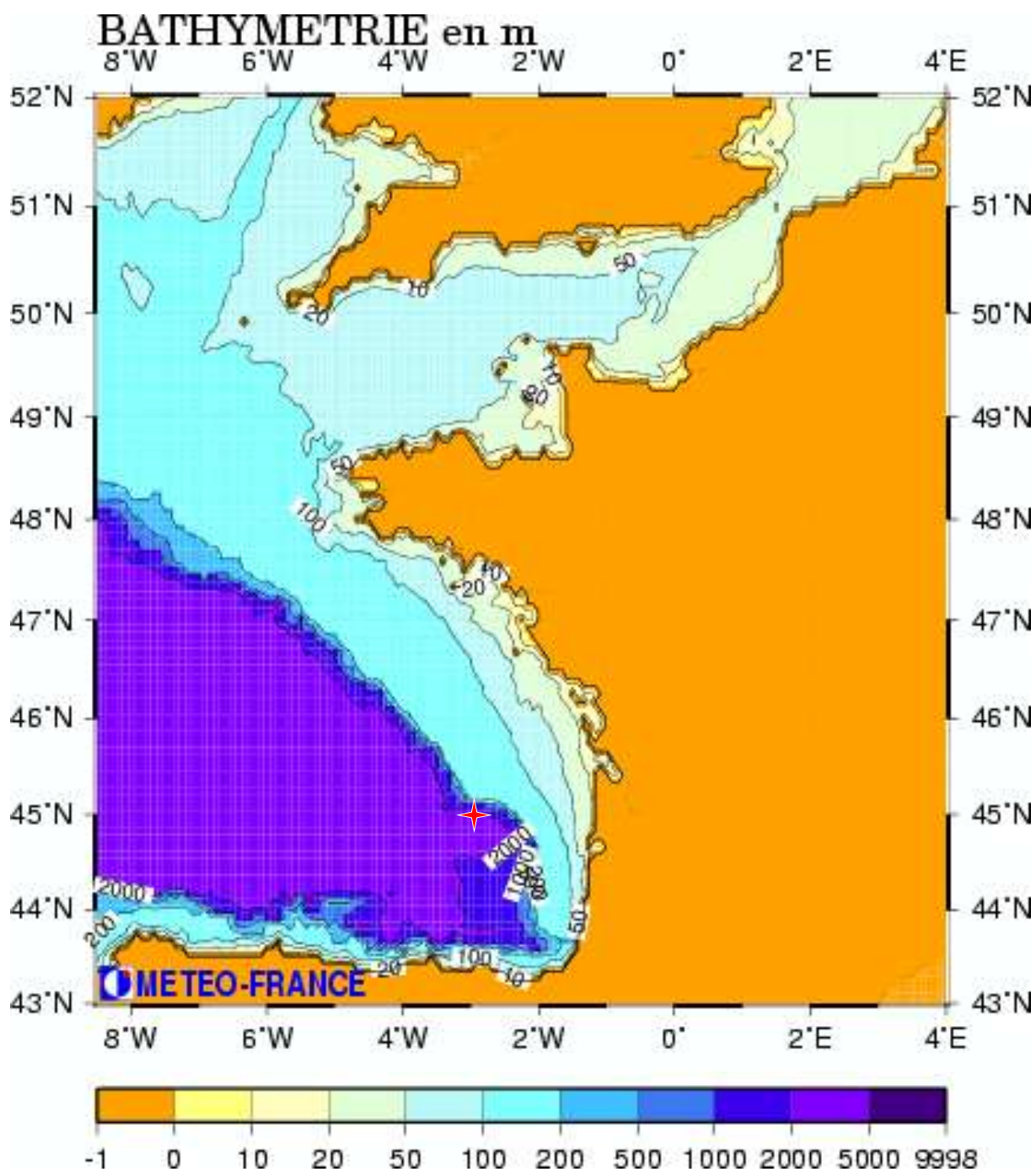
# echo 'html'
echo '<font size=2><a href="traj$j'.html">' >> menu.html
head -1 tempo | awk '{print $5 "/" $4 "/" $3 " &agrave; " $6 " utc" }' >> menu.html
echo '</a></font><br>' >> menu.html

echo '<html><head><title>MOTHY echeance '$j'</title><base target="texte"></head>' > traj$j.html
echo '<body bgcolor="#C0C0C0"><font size="3" face="helvetica"><table border="5" width="100%"><tr>'
>> traj$j.html
echo '<td align="center"><strong><font size=+2>Modèle MOTHY<br>Carte produite le ' >> traj$j.html
LC_TIME=fr date >> traj$j.html
echo '</font></strong></td></tr><tr><td align="center"><font size=+1>' >> traj$j.html
echo '<a href="ps'$j'.ps">Télécharger en format Postscript</a></font></td></tr>' >> traj$j.html
echo '<tr><td align="center">' >> traj$j.html
echo '</td></tr></table></body></html>' >> traj$j.html

fi

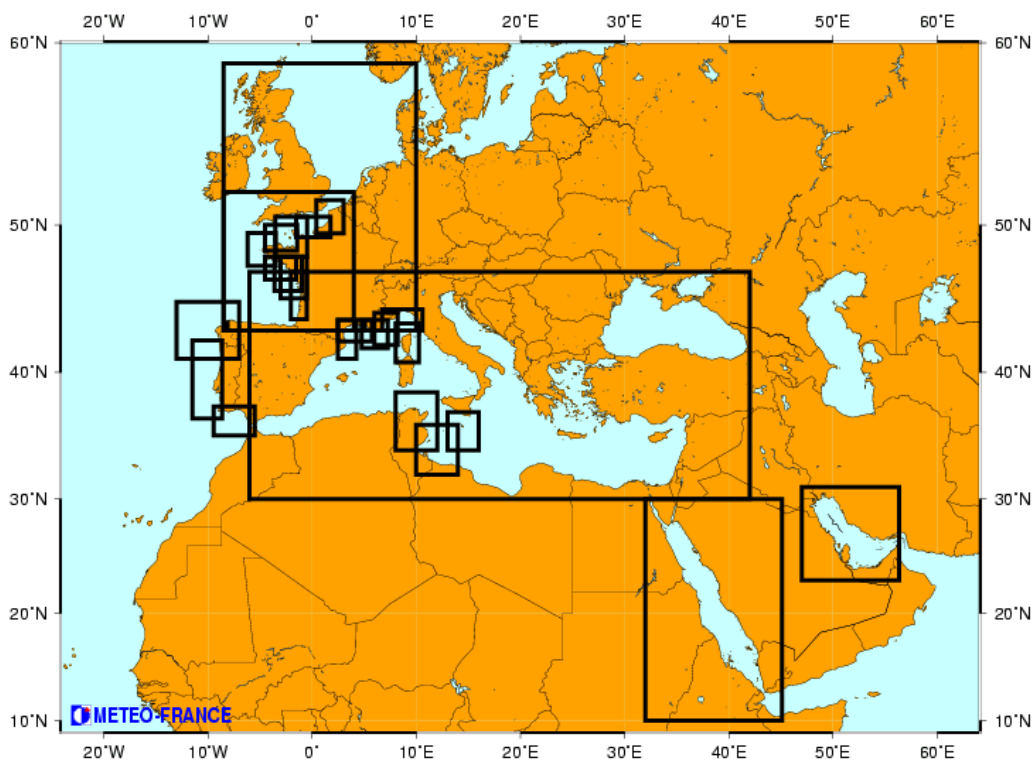
```

Annexe 9 : Bathymétrie du domaine étudié

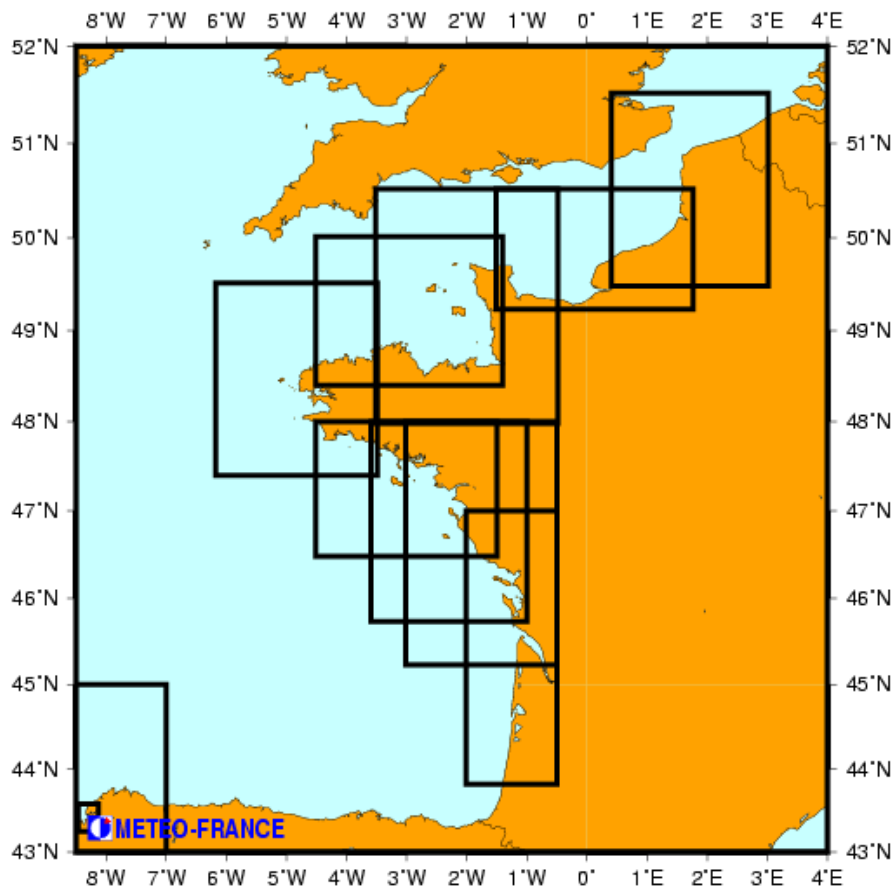


Annexe 10 : Exemples de domaines de bathymétrie pré-définis disponibles

Europe

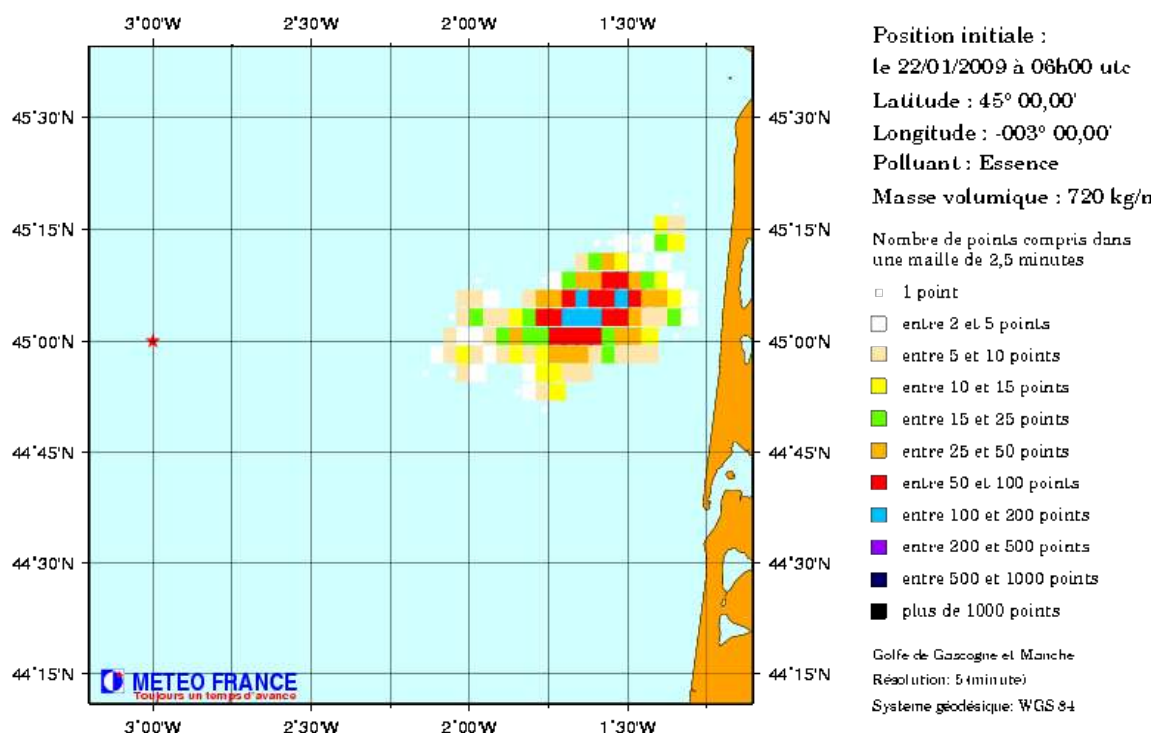


France



Annexe 11 : EPS échéance +96 - représentation du nombre de points (maille 2,5 minutes)

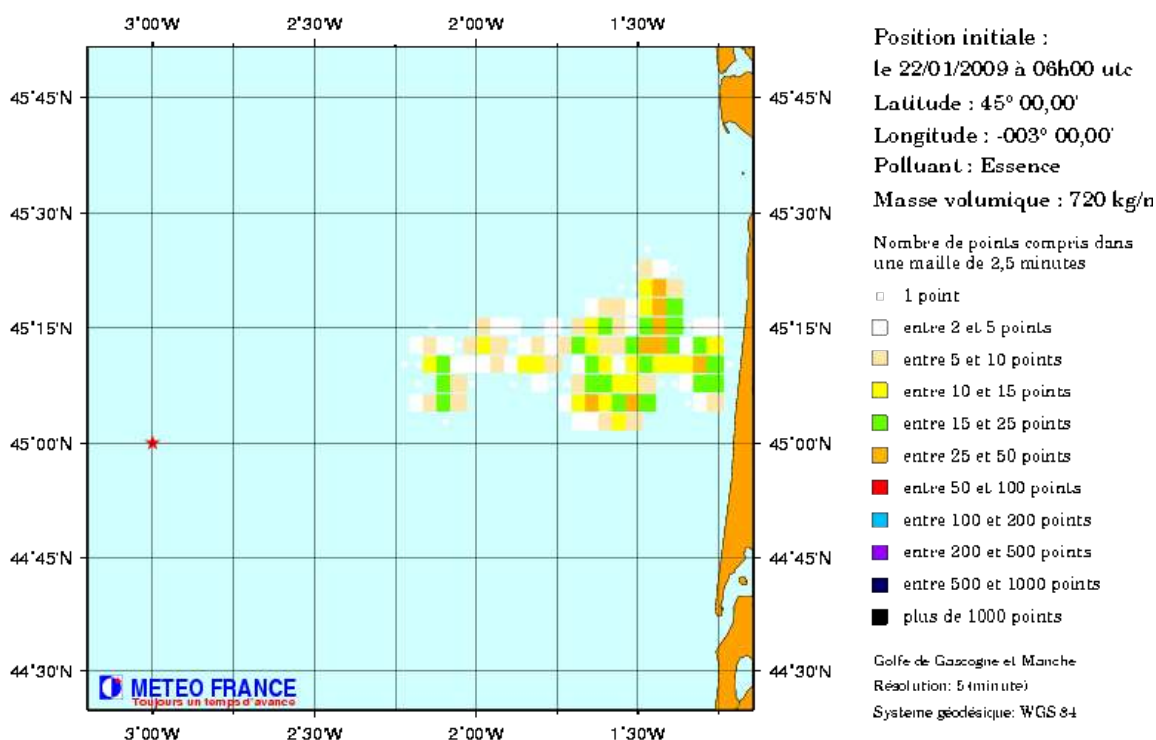
MOTHY/CEP : Prévion pour le 26/01/2009 à 0 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

PEARP échéance +96 - représentation du nombre de points (maille 2,5 minutes)

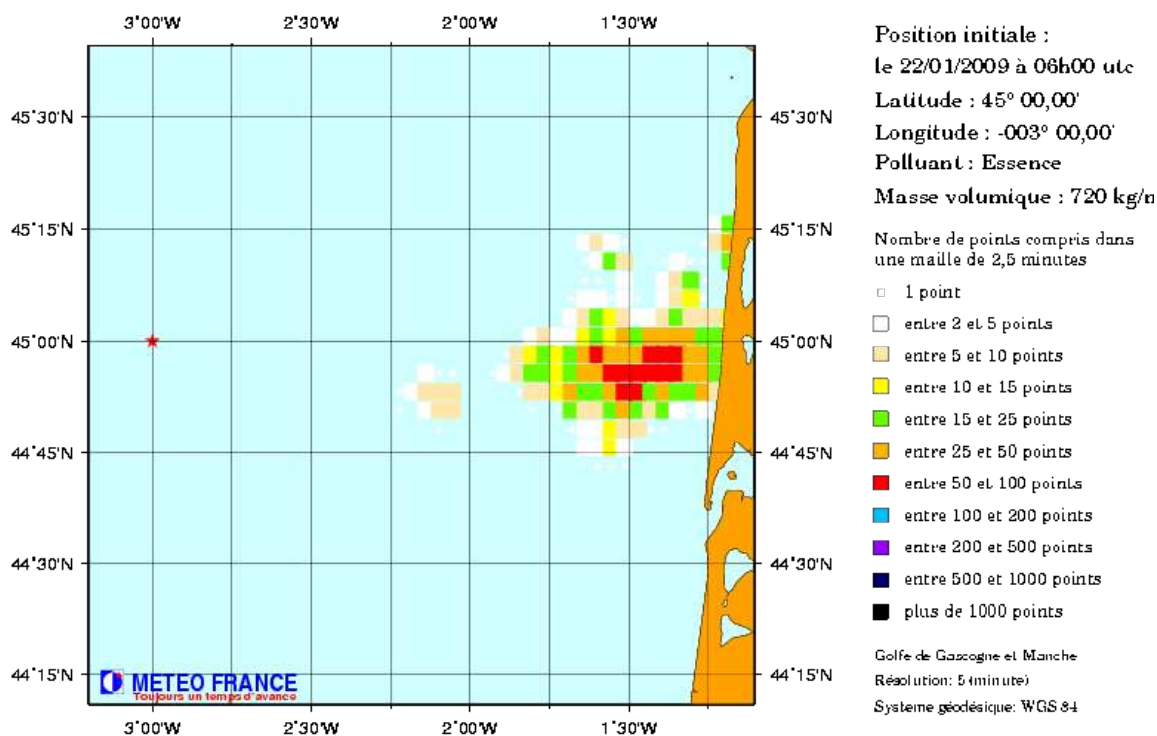
MOTHY/ARPEGE : Prévion pour le 26/01/2009 à 0 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

Annexe 12 : EPS échéance +120 - représentation du nombre de points (maille 2,5 minutes)

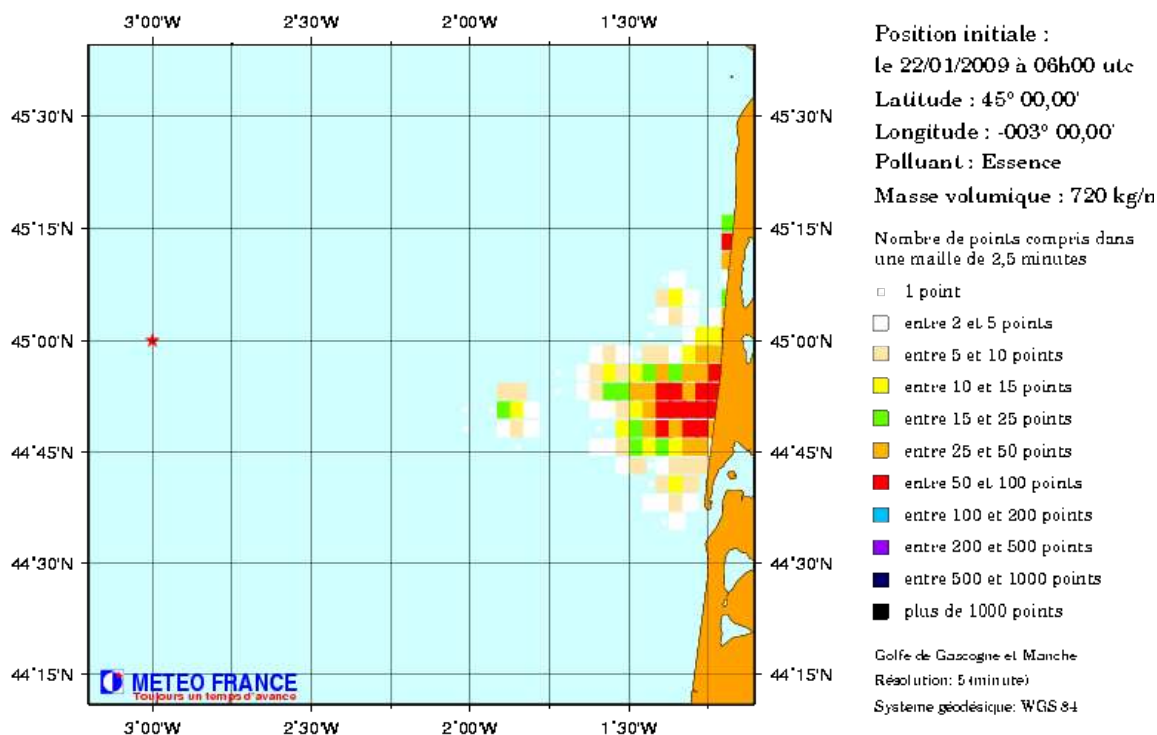
MOTHY/CEP : Prévion pour le 27/01/2009 à 0 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

EPS échéance +144 - représentation du nombre de points (maille 2,5 minutes)

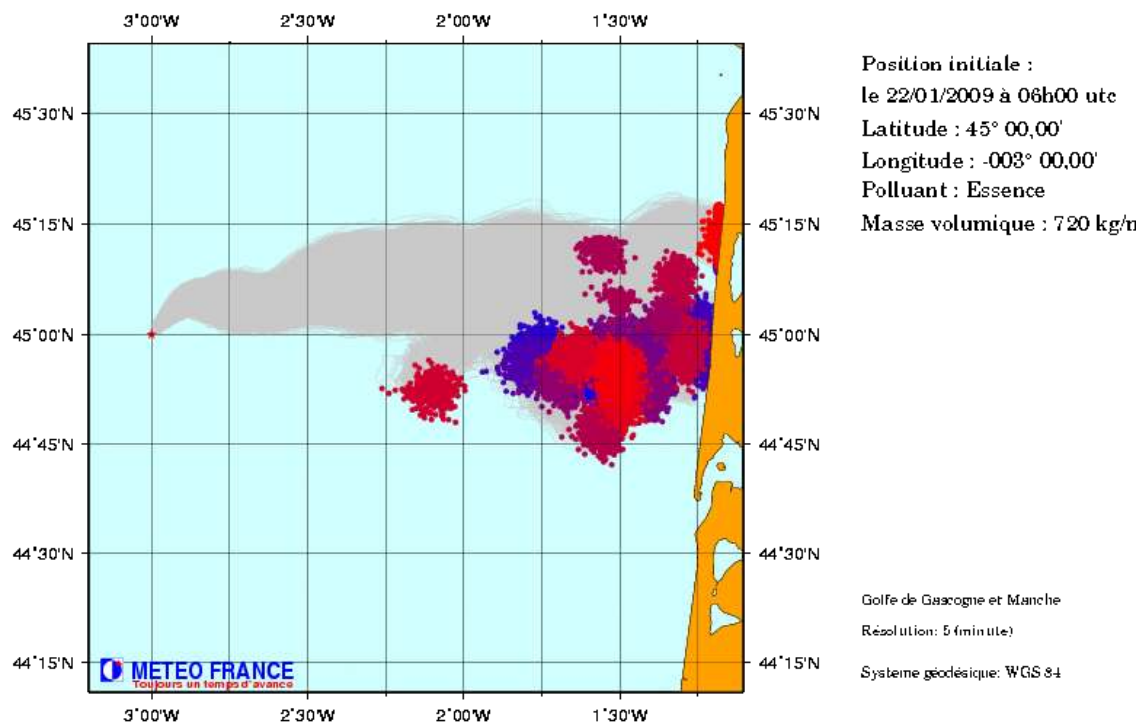
MOTHY/CEP : Prévion pour le 28/01/2009 à 0 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

Annexe 13 : EPS échéance +120 – superposition de l'ensemble des runs

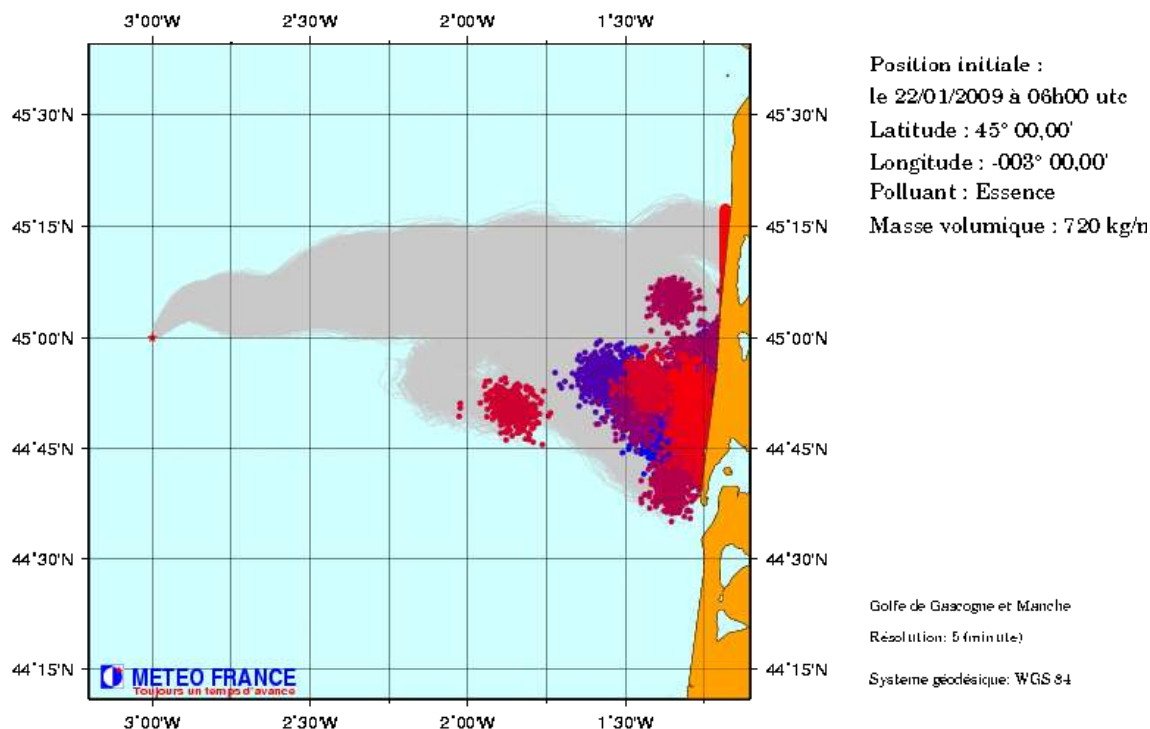
MOTHY/CEP : Prévission pour le 27/01/2009 à 00 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

PEARP EPS échéance +144 – superposition de l'ensemble des runs

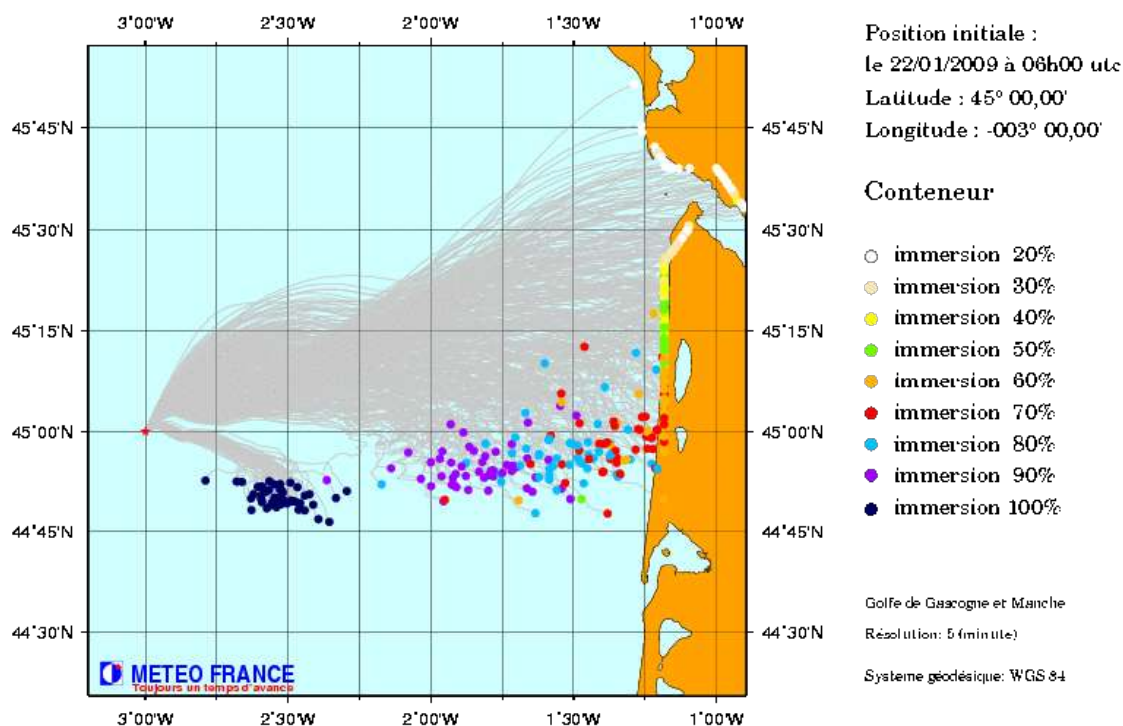
MOTHY/CEP : Prévission pour le 28/01/2009 à 00 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

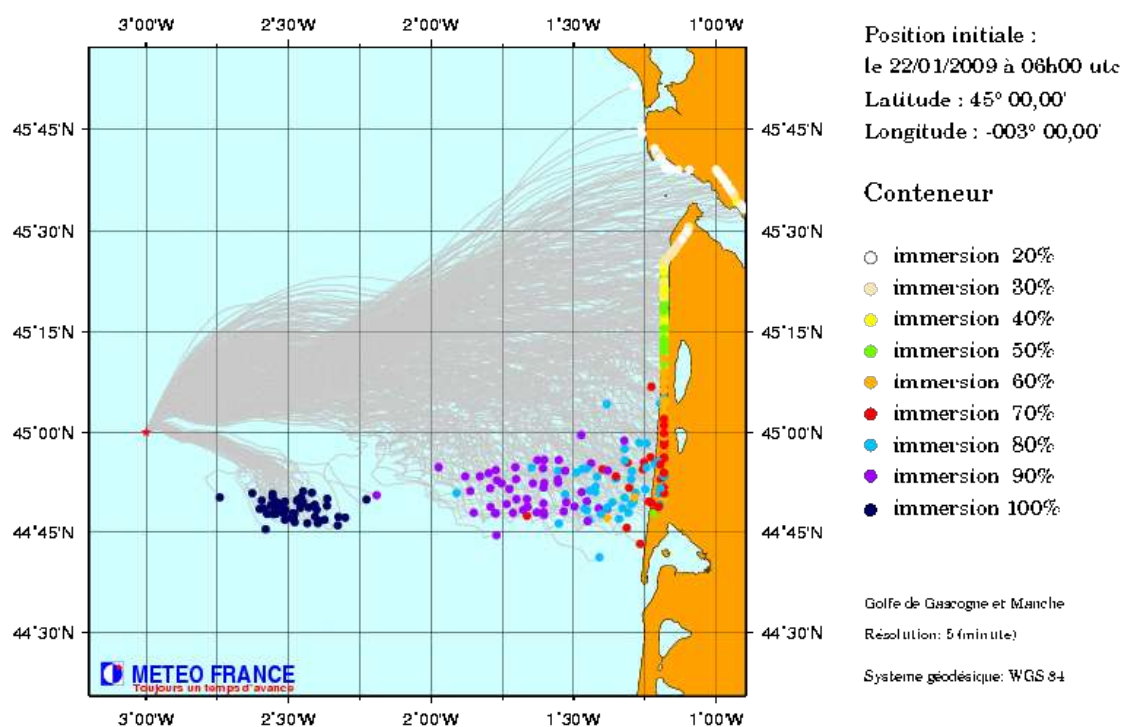
Annexe 14 : EPS échéance +120 – dérive Objets

MOTHY/CEP Prévision pour le 27/01/2009 à 00 utc



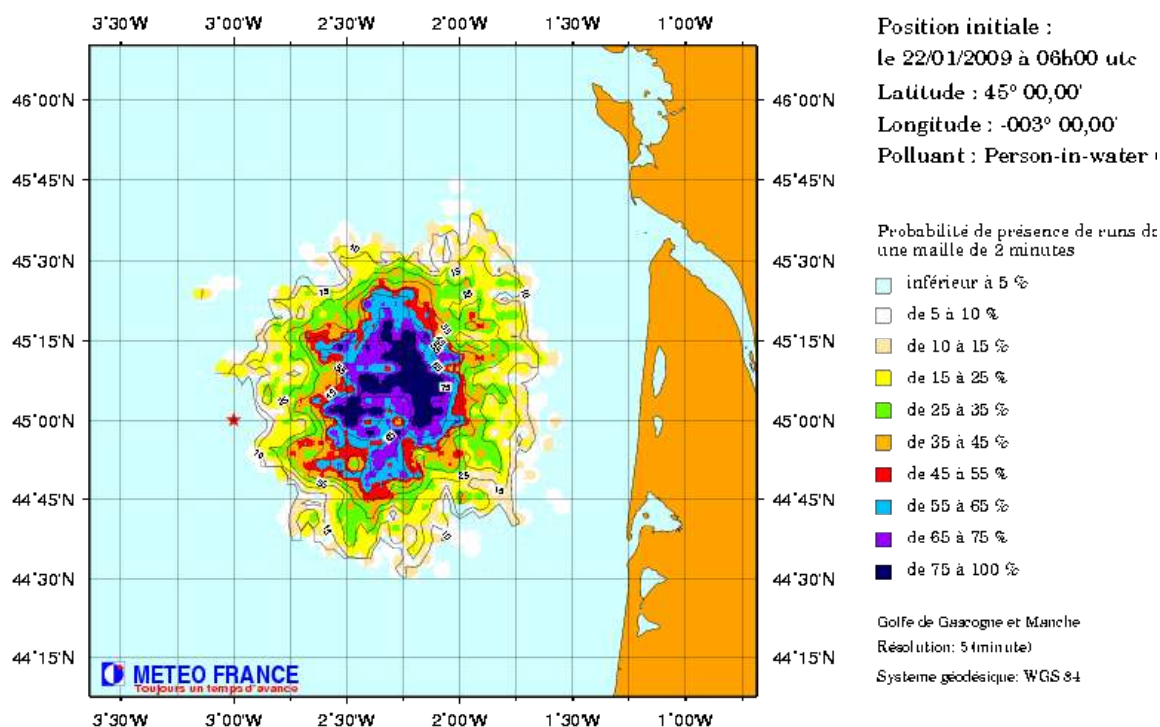
EPS échéance +144 – dérive Objets

MOTHY/CEP Prévision pour le 28/01/2009 à 00 utc



Annexe 15 : PEARP échéance +57 – mode objet *Leeway*

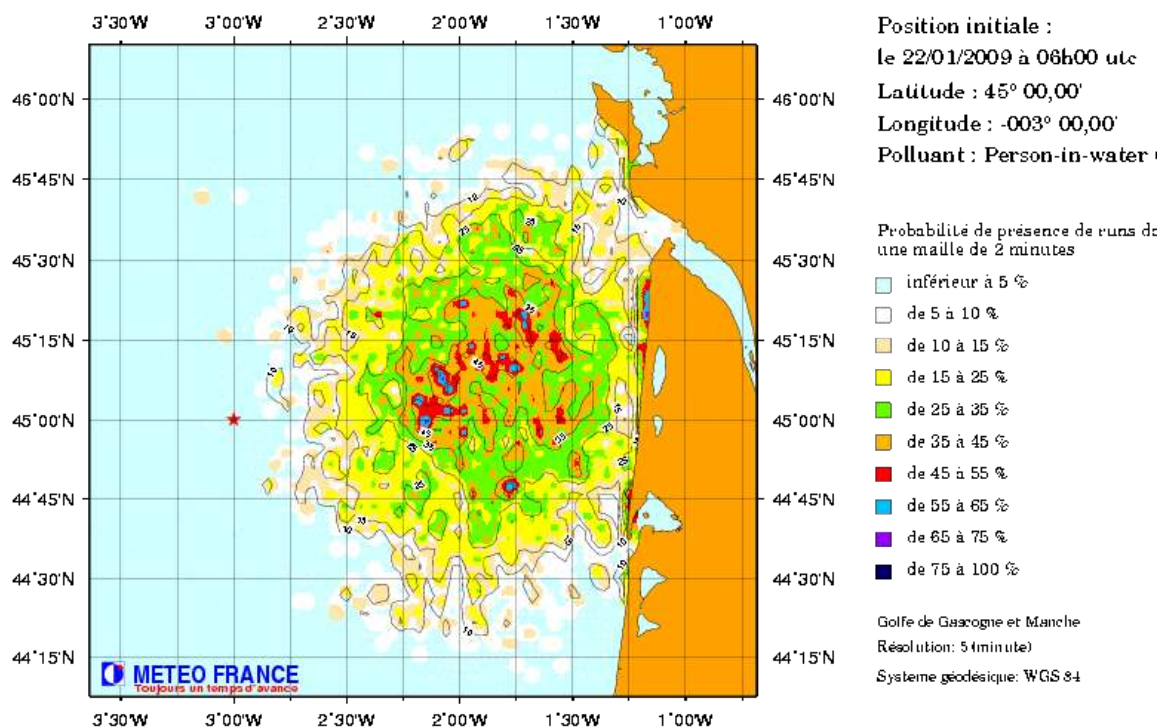
MOTHY/ARPEGE : Prédiction pour le 24/01/2009 à 12 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
 Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

PEARP échéance +96 – mode objet *Leeway*

MOTHY/ARPEGE : Prédiction pour le 26/01/2009 à 0 utc



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un ensemble complexe de nappes (observées ou non).
 Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).