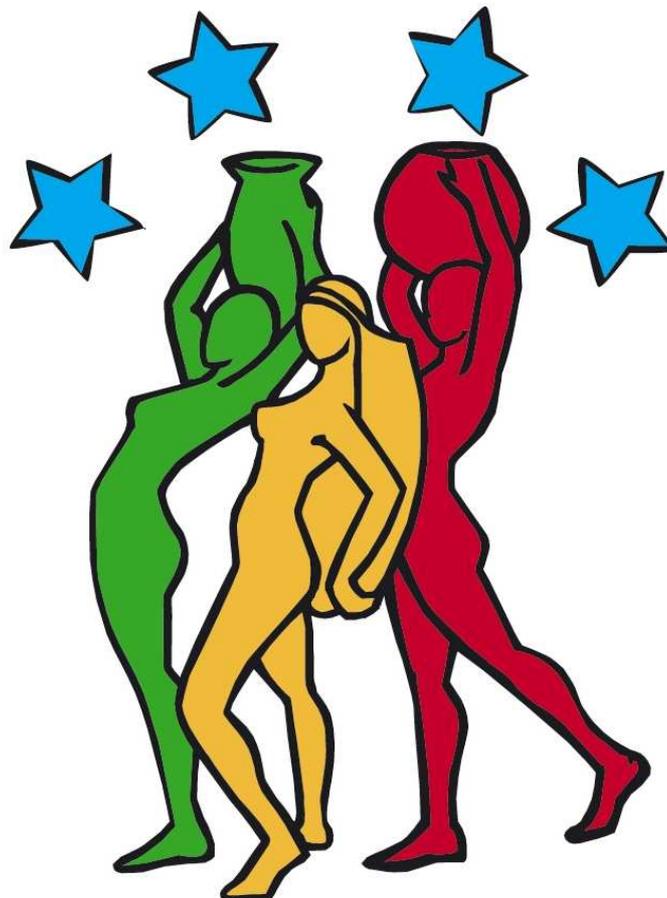




dans le cadre du programme BEACHMED-E
ATLAS HYDRODYNAMIQUE DU
LANGUEDOC-ROUSSILLON

Version française

Introduction



23 novembre 2009

Introduction à l'Atlas Hydrodynamique du Languedoc-Roussillon

Dans ce chapitre, on définit la notion d'Atlas Hydrodynamique et on présente la démarche mise en oeuvre pour créer un Atlas Hydrodynamique du littoral Languedoc-Roussillon.

1 Qu'est-ce qu'un Atlas Hydrodynamique du littoral Languedoc-Roussillon ?

On désigne par Atlas Hydrodynamique du littoral un ensemble d'informations présentées sous la forme de documents (textes explicatifs, diagrammes synthétiques et cartes de grandeurs physiques) utiles et pertinentes pour la compréhension de l'hydrodynamique en zone littorale. Plus précisément, un Atlas Hydrodynamique est aussi une base de données web permettant un accès à l'ensemble de ces informations au format numérique.

La fonction principale d'un Atlas Hydrodynamique du littoral est de permettre à tout gestionnaire du littoral de caractériser les effets du vents et de la houle à l'approche de la côte, sur un ensemble de littoraux.

Par ailleurs, l'idée est de réaliser un outil adapté aux besoins des gestionnaires :

- avoir une vision claire et rapide de l'ensemble des processus hydrodynamiques à différentes échelles spatiales ;
- avoir l'assurance que les informations produites reposent sur des données fiables, et non pas sur des données approximatives résultant sur des études anciennes, peu ou pas contraintes ; connaître exactement la fiabilité des documents constituant l'Atlas, sans complaisance pour les outils utilisés et les résultats obtenus ;
- obtenir des informations plus précises sur des zones littorales essentielles. Les zones portées dans l'Atlas doivent être représentatives des différents types de segments littoraux sur lesquels les gestionnaires travaillent : littoral en érosion, littoral soumis à l'envahissement de la terre par la mer, littoral en accrétion, littoral aménagé ou en cours d'aménagement, littoral naturel soumis à de fortes contraintes environnementales.

Le travail de conception d'un tel Atlas Hydrodynamique s'organise autour :

- de la réalisation de campagnes de mesure hydrodynamique en zone littorale en Languedoc-Roussillon ;
- de la mise en oeuvre de plusieurs outils de modélisation hydrodynamique à ces différentes échelles spatiales.

Les campagnes de mesure servent d'une part à valider les résultats issus de la modélisation, et d'autre part à déterminer quels sont les climats de houle et les conditions de circulation les plus caractéristiques sur les différentes zones considérées. Dans l'Atlas, on parle de **conditions académiques** pour désigner ces climats de houle et ces conditions de vent qui ne sont pas nécessairement mesurées à un moment donné sur le littoral, mais sont **représentatives des tendances hydrodynamiques** sur une portion de littoral.

Les simulations numériques permettent de caractériser l'hydrodynamique à l'échelle des différentes zones étudiées, et de proposer des résultats pour des conditions académiques pour lesquelles on ne dispose pas de données mesurées.

Un Atlas Hydrodynamique est à la fois un **ouvrage** répondant aux exigences mentionnées ci-dessus, et une **base de données web** permettant un accès transparent à l'ensemble des cartes ayant permis la réalisation du document. La base de données web est diffusée par la plateforme technologique GLADYS à l'adresse suivante :

www.gladys-littoral.org

Un accès aux données brutes en entrée et sortie des modèles numériques (DEM, forçages, résultats bruts,...) est tout à fait possible. Pour cela, contacter GLADYS (contact@gladys-littoral.org).

On a résumé sur la figure 1 la démarche adoptée pour la conception d'un Atlas Hydrodynamique du littoral.

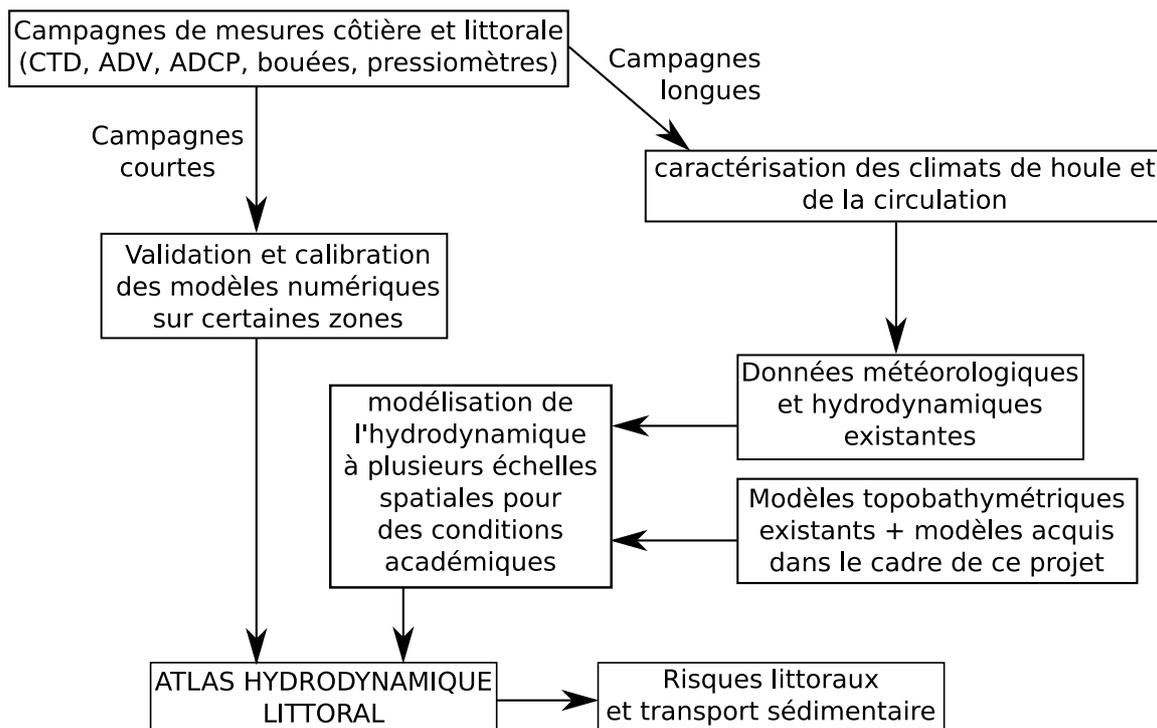


FIG. 1 – Le protocole de réalisation de l'Atlas Hydrodynamique du littoral en Languedoc-Roussillon. L'Atlas repose tout d'abord sur l'acquisition de mesures hydrodynamiques lors de campagnes court terme (quelques jours) et de campagnes long terme (quelques semaines à quelques mois). Il repose par ailleurs sur la réalisation de campagnes topobathymétriques permettant d'acquérir des données convenables et actualisées. Les données issues des campagnes de mesures courtes servent de forçages réalistes et de points de comparaison pour la validation des modèles numériques : on compare les résultats mesurés et simulés, et on quantifie la fiabilité des différents modèles pour ces conditions. Les données issues des campagnes de mesures longues permettent de mieux caractériser les conditions hydrodynamiques moyennes sur un site donné. Elles participent à une amélioration de la définition des conditions académiques mentionnées dans le texte. Les modèles numériques correctement validés sont utilisés avec ces **conditions académiques confortées** pour donner une vision exhaustive de l'hydrodynamique sur les sites retenus. L'Atlas et d'autres documents adaptés sont conçus à partir de ces derniers résultats pour aider le gestionnaire dans l'analyse d'un problème d'aménagement ou de risque.

2 Contenu de l'Atlas Hydrodynamique

Les modèles numériques retenus initialement pour la réalisation de l'Atlas Hydrodynamique permettent de simuler un large éventail de grandeurs physiques utiles dans toute étude d'ingénierie en zone littorale :

- les caractéristiques de la houle et de ses effets propagatifs (amplitude, nombre d'onde, période, profil des vitesses de Stokes, angle d'incidence) ;
- les caractéristiques de la circulation 2D (vitesse moyennée sur la verticale, transport, élévation de la surface libre sous l'action des différents forçages considérés) ;
- les caractéristiques de la circulation 3D (vitesse sur le fond, vitesse en surface).

Ces grandeurs physiques sont présentées sous forme de cartes et de coupes associées à un commentaire succinct pour les différentes zones étudiées. Le commentaire permet de porter un regard critique sur les résultats numériques, et montre les caractéristiques essentielles de l'hydrodynamique. Ces documents constituent le coeur de l'Atlas Hydrodynamique, une **cartographie numérique de l'hydrodynamique sur le proche plateau continental et la zone littorale**, forcée par les régimes hydro-météorologiques typiques du Languedoc-Roussillon.

Les figures 2 et 3 montrent un exemple commenté de la présentation choisie pour la restitution des résultats de l'Atlas dans l'ouvrage. D'autres restitutions sont accessibles via le site web. De nouvelles restitutions peuvent être proposées sur demande avec l'outil de visualisation CRT (Coastal Rendering Tool) développé dans le cadre de ce projet.

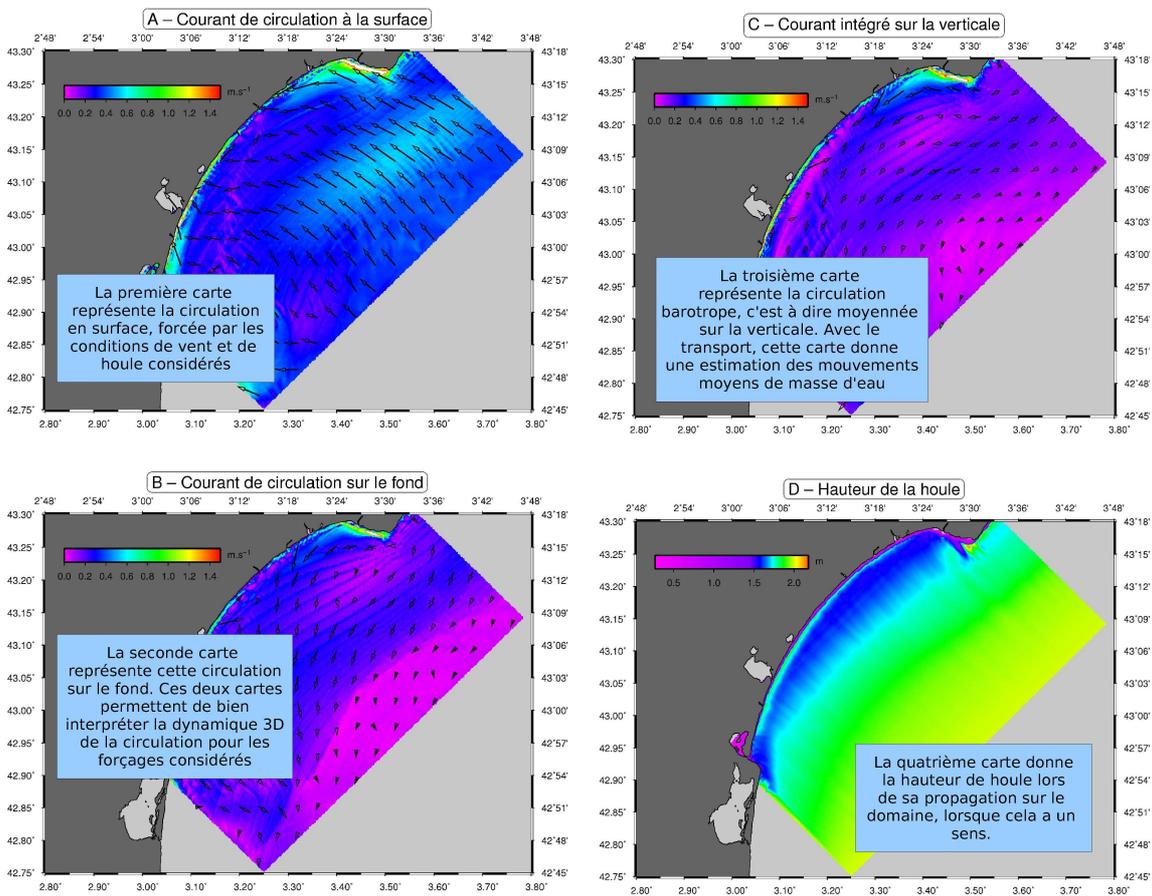


FIG. 2 – Exemple de page impaire de l'atlas

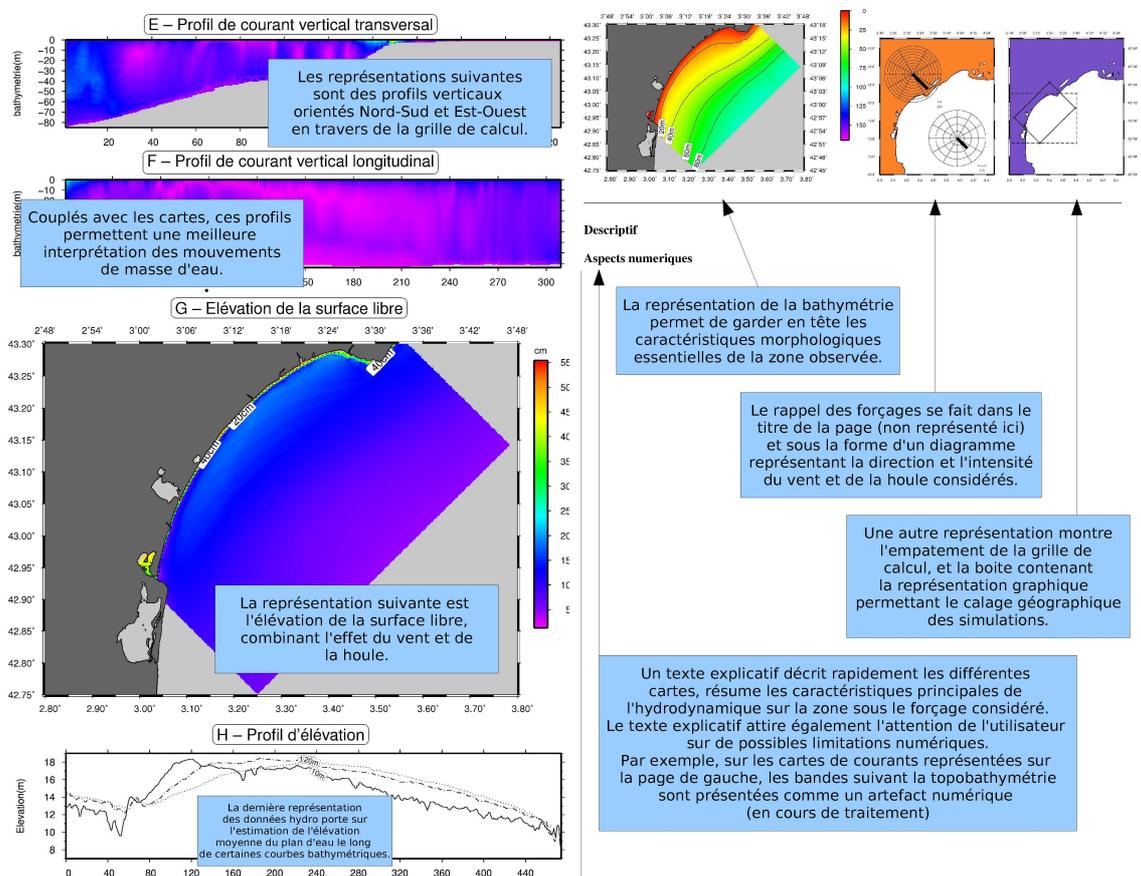


FIG. 3 – Exemple de page impaire de l'atlas

L'Atlas contient des informations complémentaires qui permettent de connaître la pertinence et les limitations des simulations réalisées, afin de garder un regard critique lors de toute utilisation de l'Atlas. En particulier, il est complété par des annexes concernant :

- Une présentation rapide des outils numériques utilisés dans le cadre de ce projet d'Atlas, avec mise en évidence de leurs avantages et limitations, afin d'éclairer l'utilisateur de l'Atlas sur la qualité et les limites des résultats présentés ;
- Une présentation d'un exemple de validation de l'Atlas hydrodynamique sur un site expérimenté. L'exemple choisi a été réalisé dans le cadre de la thèse de Cléa Denamiel (2006). Les campagnes de mesure in-situ réalisées sur la période correspondant à la réalisation de l'Atlas (2007-2008) sont utilisées de la même manière pour caractériser la fiabilité de l'outil numérique.
- Une présentation résumée des données bibliographiques et des mesures qui ont été à l'origine de la définition des climats de houle et les vents académiques utilisés comme forçages dans les simulations.

Enfin, l'Atlas est un document en perpétuelle évolution. Les activités de recherche menées dans le cadre de GLADYS en Languedoc-Roussillon aboutissent à l'étude de nouvelles configurations de simulation. A chaque fois que l'occasion se présente, un ensemble de simulations académiques est réalisé pour une intégration dans l'Atlas. Le numéro reporté sur la première page de l'Atlas est fondamental pour se repérer dans les différentes versions.

2.1 Points forts, points faibles et précautions générales d'utilisation

L'Atlas Hydrodynamique repose sur l'utilisation d'un modèle de circulation 3D appelé Symphonie (Marsaleix et al., 2008), couplé à un modèle de propagation de vague RefDif (Kirby & Dalrymple, 1995) modifié pour la réalisation de l'Atlas. Le couplage entre la circulation et la houle a été réalisé selon l'approche de Mellor (2003) dans le cadre des travaux de Denamiel (2006). Ces modèles simulent une circulation 3D, et une houle monochromatique. C'est le point fort de l'Atlas : on peut étudier des exemples de couplage 3D vrai entre houle et courant. Par contre, les simulations ne prennent pas en compte la génération des vagues par le vent local (comme dans un modèle du type Wave Watch III).

Les résultats obtenus montrent que l'outil est bien adapté à l'objectif fixé, notamment au niveau du couplage entre les effets de vents et les effets de houle. Par contre, on observe en général deux limitations majeures qui doivent être gardées à l'esprit lors de l'exploitation des résultats :

- les modèles employés s'attachent à rendre compte de l'hydrodynamique à l'échelle d'une portion de cellule sédimentaire. Ils ne travaillent pas à l'échelle de la barre sédimentaire d'avant-côte, et ne sont pas pertinents après la zone de déferlement, directement sur la plage.
- le couplage 3D houle / courant est un développement scientifique récent et représente une amélioration significative de la simulation en zone littorale des effets combinés de la houle et des courants. Mais le code de couplage renferme encore quelques imperfections qui créent parfois des artefacts visibles sur les cartes représentant les simulations. Ces artefacts sont systématiquement signalés, et ne gênent pas l'interprétation globale de l'hydrodynamique.

Les simulations incluses dans les versions à venir de l'Atlas (notamment la migration sur un outil de couplage 3D houle/courant plus performant) amélioreront progressivement ces deux points.

L'Atlas Hydrodynamique n'est pas un outil qui permet de reproduire exactement un événement météorologique et ses conséquences exactes en terme d'hydrodynamique. Toutefois, il propose une validation des modèles numériques sur des exemples réalistes comme une succession de tempêtes en décembre 1999, ou celle du 3-4 janvier 2008. Pour ces scénarios, on peut accéder à l'évolution temporelle de l'hydrodynamique via la version web de l'Atlas.

L'Atlas hydrodynamique repose sur des simulations à différentes échelles, emboîtées les unes dans les autres. Pour chaque forçage académique considéré, des simulations ont été réalisées sur 4 à 5 échelles différentes (en partant du Golfe du Lion et du plateau externe). Seules les échelles les plus locales sont exploitées sous forme de cartes (plateau interne et littoral). Cette technique d'emboîtement permet de prendre en compte les effets à l'échelle du Golfe du Lion (comme l'effet des fleuves sur la circulation) jusque dans les simulations très littorales tout en gardant une très bonne résolution spatiale à la côte.

3 Différentes échelles de travail

Le littoral du Golfe du Lion est essentiellement sableux, avec quelques promontoires rocheux découpant le littoral en cellules sédimentaires dans lesquelles l'hydrodynamique est déterminée approximativement. L'ensemble du Golfe est soumis aux vents dominants d'Ouest à Nord et aux entrées maritimes, ainsi qu'aux houles de tempêtes de Est à Sud et occasionnellement Sud-Ouest dans le Nord du Golfe, et aux houles de Nord-Est à Sud-Est dans l'Ouest du golfe. L'orientation des courants de dérive le long du littoral est variable de l'Ouest au Nord du golfe, avec des inversions régulières selon les forçages. En tenant compte de ces contraintes générales, on a retenu deux types de domaines à

caractériser sur le plan hydrodynamique :

- **Domaine de proche plateau interne [plateau interne]** : dans l'Atlas, on distingue trois domaines couvrant de manière exhaustive le Golfe du Lion, de la frontière espagnole à l'exutoire du Petit Rhône, avec un certain recoupement entre zones.
- **Domaine sub-littoral** : cette échelle est intermédiaire. Elle correspond à des simulations menées sur des portions de cellule sédimentaire, le long d'un littoral de quelques kilomètres de long.

Les domaines de plus grande taille permettent d'interpréter les résultats dans les petits domaines sans se déconnecter du contexte hydrodynamique général.

Actuellement, les domaines sub-littoraux simulés et reportés soit dans le document, soit sur le site web, soit sur les deux sont les suivants (figure 4) :

- **Pointe de l'Espiguette** [code référence SIM5A1]
- **Plage de Carnon Est / Petit Travers** [code référence SIM5A2]
- **Système Dent Creuse à plage de Maguelone** [code référence SIM5A3]
- **Lido Ouest de Sète** [code référence SIM5A4]
- **Site de Agde / Tamarissière** [code référence SIM5B2]
- **Lido de Gruissan / Saint-Pierre-la-mer**
- **Lido de l'étang de Leucate** [code référence SIM5C1]
- **Baie de Banyuls** [zone de validation ; code de référence SIM5C2]

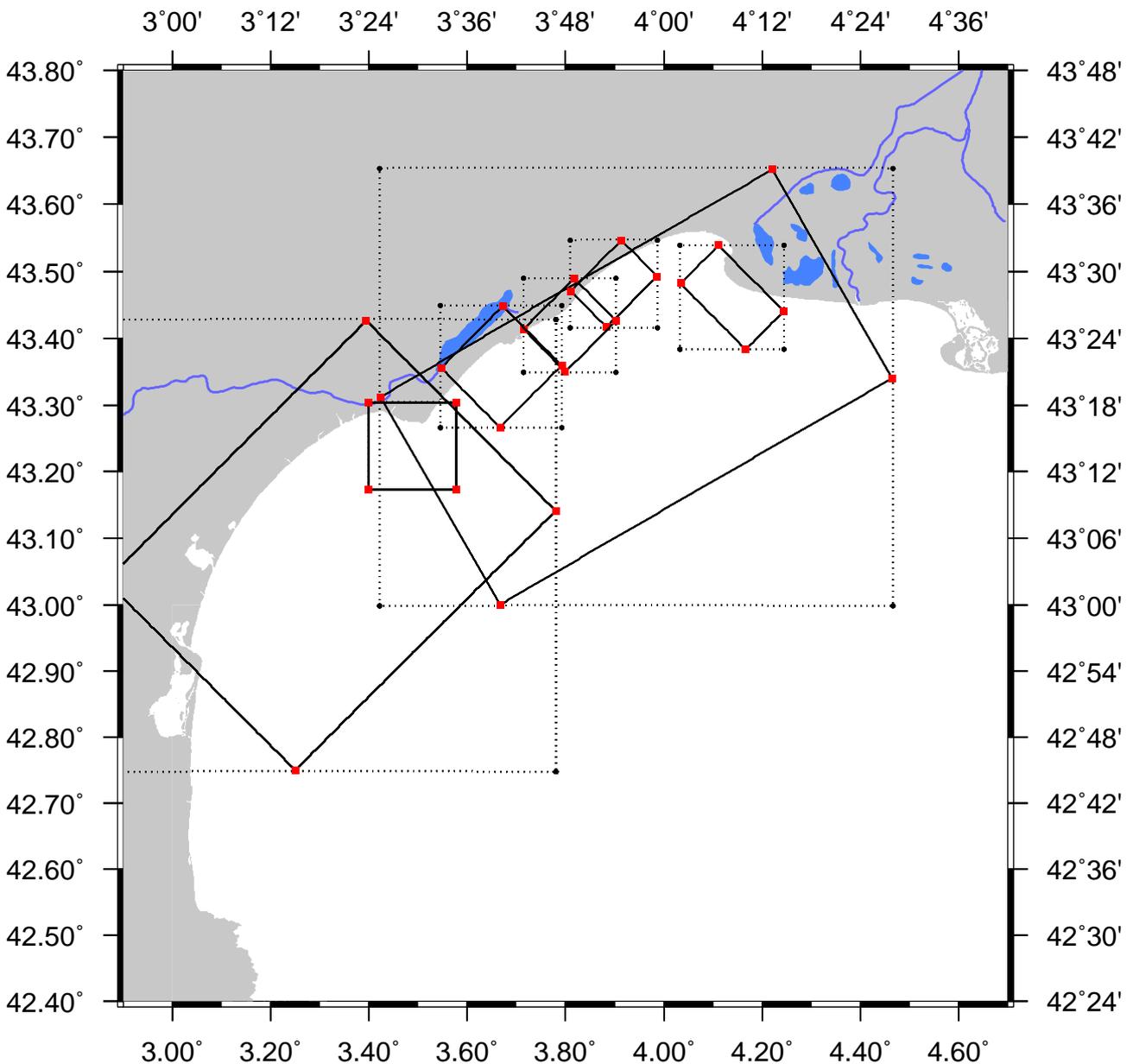


FIG. 4 – Les grilles utilisées pour les simulations reportées dans l'Atlas (version papier / PDF), ainsi que leur empaquetement cartographique.

3.1 Présentation des domaines de proche plateau interne

Les trois domaines de proche plateau interne couvrent le Golfe du Lion de la frontière espagnole à l'exutoire du Petit Rhône (figure 5).

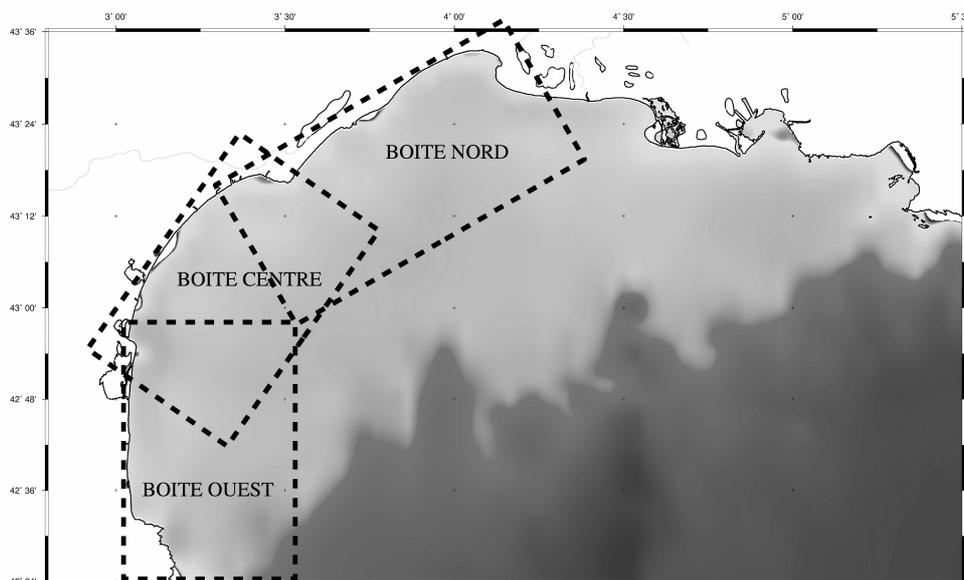


FIG. 5 – Représentation des trois domaines pré-littoraux à l'échelle du Golfe du Lion. Ces domaines pré-littoraux sont utilisés comme grille pour la modélisation à l'échelle du plateau interne

Les trois domaines concernent la zone du trait de côte à approximativement la ligne bathymétrique -90 mètres, et sont limités latéralement de la manière suivante :

DOMAINE NORD : du lido de Sète Ouest aux épis de la grande plage de l'Espiguette, avant la plage de Beauduc.

DOMAINE CENTRE : de l'Est du promontoire rocheux de Sète à la partie Sud de l'étang de Leucate.

DOMAINE OUEST : de la frontière espagnole à l'étang de Leucate.

Le découpage des domaines à l'échelle du plateau interne a été fait de telle sorte que les linéaires de littoral sur chaque domaine sont globalement rectilignes. Ceci facilite grandement la visualisation des résultats sur des cartes orientées dans l'axe d'allongement principal du littoral.

3.2 Présentation des chantiers littoraux

Sur l'ensemble des sites, on se propose de caractériser l'hydrodynamique de manière systématique, en utilisant les climats hydro-météo typiques. L'utilisateur sera attentif au fait qu'une zone présentée dans l'Atlas peut servir de modèle ou de comparatif pour une autre zone.

3.2.1 Pointe de l'Espiguette

Le chantier de la pointe de l'Espiguette s'étend des 10 premiers épis Ouest à la flèche littorale de la grande digue de Port-Camargue, sur une distance le long de la côte d'environ 6 km.

Ce site est globalement en accrétion, parfaitement exposé aux houles affectant le Nord-Est du Golfe du Lion, et sous l'influence directe du Mistral. De l'Est à l'Ouest de ce chantier, l'orientation du trait de côte change, de telle sorte que pour une houle pré-littorale d'incidence donnée, l'angle d'incidence à la côte varie sur la longueur du site. La dérive longshore contrôle le transport sédimentaire et la construction de la flèche littorale. Il y a des ouvrages traditionnels présents dans l'Est du domaine. Le phénomène de surcôte est problématique dans l'Est du domaine.

Points importants sur le domaine : transferts longshore, construction de flèche littorale, invasion par la mer de l'arrière pays lors de tempêtes dans l'Est du domaine.

3.2.2 Plage de Carnon Est / Petit Travers

Le chantier de la plage de Carnon Est s'étend à l'Est du système à épis de la promenade de Carnon, jusqu'à la limite Ouest de la plage du Grand Travers, au delà de la plage du Petit Travers.

Ce site est totalement aménagé dans sa partie Ouest, avec de nombreux ouvrages de protection du littoral de taille réduite. Il est soumis aux houles affectant le Nord-Est du Golfe du Lion, et sous l'influence du Mistral et de la Tramontane. Au delà du système littoral sableux, on trouve rapidement de nombreux affleurements rocheux (Pléistocène) et des ouvrages artificiels immergés. Coté terre, la plage est longée par des habitations et une route dans sa partie Ouest, et une route sur le reste du site. Hors Carnon, le système dunaire est rapidement remplacé par des remblais et terrains en place, localement assez élevés (altitude +5 mètres en certains endroits), avec quelques pinèdes. La lagune est située à plusieurs centaines de mètres en retrait. Ce site est important pour la caractérisation de l'hydrodynamique en présence d'ouvrages émergés et immergés traditionnels.

Points importants sur le domaine : impact sur les ouvrages, relation transferts longshore / transfert cross-shore en fonction de l'angle d'incidence de la houle, effet d'enrochements en zone sub-littorale sur la propagation de la houle à la côte.

3.2.3 Grand système Dent Creuse à Maguelone

L'exposition de ce chantier est la même que le précédent. La partie Ouest du domaine (système des Aresquiers) est connue pour la présence d'un plateau rocheux modifiant l'hydrodynamique. Sur le littoral dans la même zone, on trouve une plage de galets (beach-rocks, morceaux de substrat carbonaté, allochtone alpin et allochtone des bassins versants Montpellierains). Cette structure correspond plus ou moins à une limite de cellule sédimentaire, puisque la dérive à l'Ouest est estimée vers l'Ouest, et la dérive à l'Est est estimée vers l'Est sur la plupart des documents s'étant intéressés à la cartographie des dérives littorales à partir des accumulations sableuses long terme. Le site est non protégé, sauf dans sa partie extrême Ouest, au niveau de l'Est de la ville de Frontignan. Cette extrémité est une zone à enjeux très élevés. L'objectif spécifique sur ce site est la caractérisation de l'hydrodynamique en présence d'un plateau rocheux, et l'étude du rôle de ce plateau rocheux sur la circulation locale forcée par le vent et/ou la houle. La partie plus à l'Est (dite plage de Maguelone) présente un grand intérêt pour la compréhension des processus de débordement de tempête en lagune (passage d'eau et de sédiment de l'avant-côte vers la lagune). Dans cette partie du domaine, on trouve un linéaire côtier de type lido, très peu anthropisé sauf à l'extrême limite Est. Ce lido est régulièrement éventré par des graus temporaires formés lors de tempêtes. Dans l'avant-côte, on a une partie entièrement sableuse jusqu'à 15 mètres de bathymétrie, et une partie où on trouve de nombreux affleurements rocheux Pléistocène.

Points importants sur le domaine : relations entre ouvrages et plateau, relation entre processus hydrodynamique et formation des cônes de débordement de tempête, transferts longshore/cross-shore, étude de la dynamique d'une bordure de cellule sédimentaire.

3.2.4 Lido Ouest de Sète

Le domaine du lido de Sète est situé à l'Ouest du promontoire rocheux de Sète, au début de la plage sableuse.

Il est soumis au vent de Nord et à la Tramontane. Les houles sont de Est-Sud-Est à Sud-Ouest. Le lido est totalement rectiligne, avec deux barres d'avant-côte. Actuellement, le cordon dunaire et la route bordière sont systématiquement détruits pendant les fortes tempêtes. Ainsi, ce site est actuellement l'objet d'un réaménagement complet programmé pour l'horizon 2010, avec déploiement de structures géotextiles immergées, réaménagement de la plage,...

Ce site est important car c'est un site historique pour l'instrumentation, sur lequel la communauté scientifique française a réalisé des campagnes (PNEC, PATOM, voir thèse Certain, 2002), ce qui permet de disposer sur la zone d'une base de mesures existantes.

Points importants sur le domaine : seul site sur lequel il existe de réelles données hydrodynamiques sur la plage immergée depuis plusieurs années. Chantier à deux barres rectilignes bien exprimées. Très forts enjeux. Implantation à venir de nouveaux types de structures de protection.

3.2.5 Lido de la Tamarissière

Le chantier du Lido de la Tamarissière est situé sur la rive Ouest de l'embouchure du fleuve Hérault, au niveau du Grau d'Agde.

Il est soumis au vent de Nord et à la Tramontane. Les houles sont de Est-Sud-Est à Sud-Ouest. Mais le site est protégé des houles les plus Est. Ce site présente la singularité d'être placé juste à coté de l'exutoire de l'Hérault, dont la charge sédimentaire va modifier l'hydrodynamique à proximité de la plage. La morphologie de plage est complexe. En effet, les barres sédimentaires ne sont ni rectilignes ni festonnées, mais forment des barres perpendiculaires à la plage, sortes de sillons ouverts vers le large. L'ensemble de la plage est aménagé avec des petits épis localement démantelés. Ce site fait l'objet de réaménagements, qui vont modifier complètement la morphologie de cette plage.

Points importants sur le domaine : chantier à morphologie complexe. Possibilité d'étude des interactions entre flux sortant à l'embouchure d'un fleuve et hydrodynamique de la plage.

3.2.6 Lido de Gruissan / Saint-Pierre-la-mer

Le chantier du Lido de Gruissan s'étend de la base conchilicole au grau de la vieille nouvelle. Ce site est exposé aux houles de fond de golfe, et à la tramontane essentiellement. C'est un système à 2 ou 3 barres et lido de très basse altitude à l'arrière duquel se trouvent de grandes zones humides.

3.2.7 Lido de l'étang de Leucate

Ce chantier est situé au niveau de l'étang de Leucate. Ce site est essentiellement exposé aux vents type Tramontane, et reçoit les houles d'Est à Sud-Est. Il est caractérisé par la présence de barres en feston, et a été retenu pour ce point précis.

3.2.8 Pointe du Racou

Le chantier de la pointe du Racou s'étend de l'embouchure de la Tech au Racou. Ce site est situé à la limite Nord des littoraux à dominante rocheuse.

Il est caractérisé par le fait que la pente de la plage est extrêmement forte et que des jets de rives à plus de 4 mètres d'altitude ont été observés. Les forçages sont ceux de l'Ouest du Golfe du Lion (vent de Nord, houles d'Est à Nord-Nord-Est voire Sud-Est du fait de diffraction sur le cap), intrusion de la circulation générale en zone littorale du fait de l'étroitesse du plateau continental dans ce secteur). L'objectif spécifique sur ce site est la caractérisation de l'hydrodynamique dans le but de comprendre des jets de rives d'une telle importance.

Points importants sur le domaine : relations entre pointement rocheux et surcôte, rôle de la pente dans la génération de la surcôte.

3.2.9 Baie de Banyuls

Le chantier de la Baie de Banyuls est situé dans la partie rocheuse du littoral du Golfe du Lion. La baie de Banyuls est une baie sableuse de petite taille encadrée au Nord et au Sud par des promontoires rocheux. Ce site permet de caractériser l'hydrodynamique d'une plage sableuse encadrée par des promontoires. Les forçages sont ceux de l'Ouest du Golfe du Lion (vent de Nord, houles d'Est à Nord-Nord-Est voire Sud-Est du fait de diffraction sur le cap), intrusion de la circulation générale en zone littorale du fait de l'étroitesse du plateau continental dans ce secteur).

Points importants sur le domaine : fonctionnement d'une plage captive, influence directe de la circulation générale sur la l'hydrodynamique littorale.