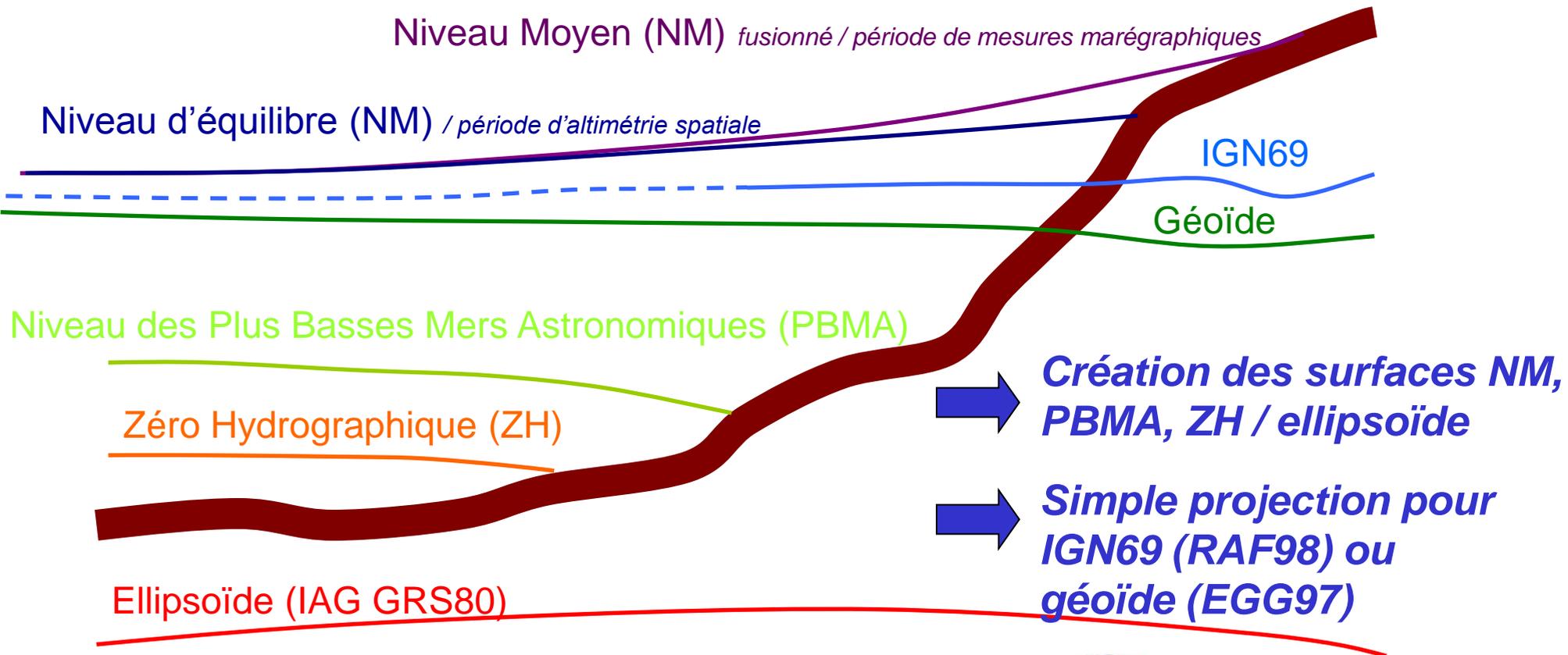


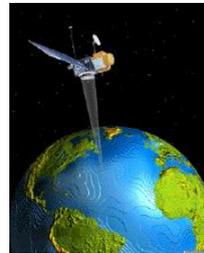
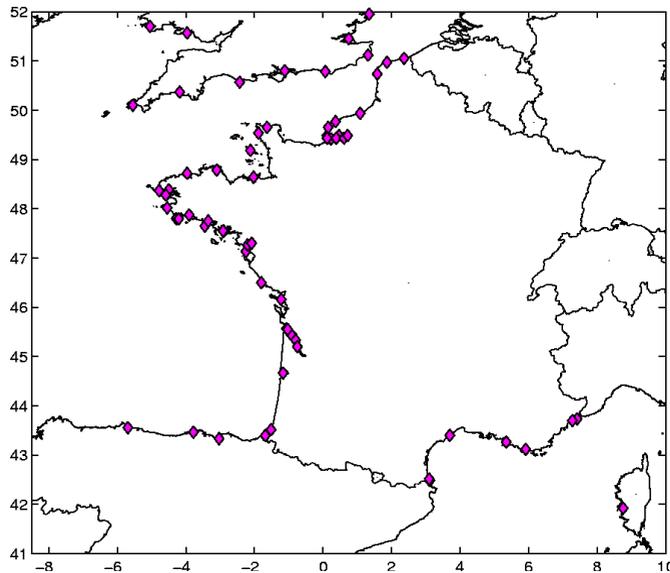
Point de départ : Références verticales maritimes

- BATHYELLI = BATHYmétrie rapportée à l'ELLIпсоïde
- 1. Mise en place de modèles (surfaces) de référence verticale en métropole
- 2. Outil permettant le changement de référence verticale



Calcul du zéro hydrographie via Bathyelli

- Détermination du **niveau moyen**
- A la côte : Marégraphie : Analyse des observations de marée
- Au large : Altimétrie spatiale – Dégradation de la SMH près des côtes : Perte de précision liée aux limitations techniques de l'altimétrie .
- Entre ces 2 zones : Mesures GPS en mer pour combler le « trou » de données valides
- Interpolation de ces 3 sources de données



➤ **Clef de voûte = ZH Tri techniques, rendues cohérentes entre elles.**



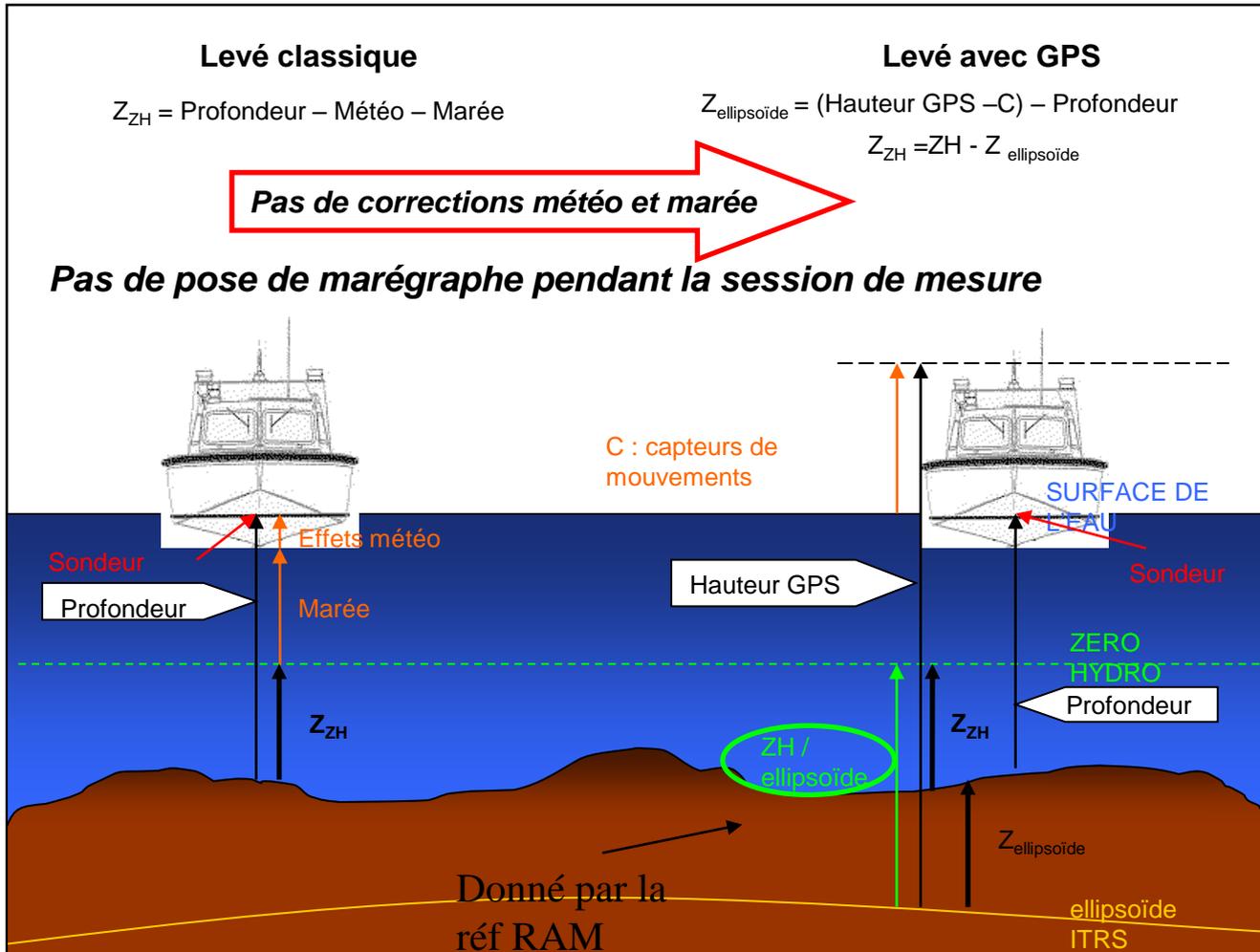
Produits final = zéro hydro sur une ellipsoïde

Ramener les zéros hydro sur GRS80 (ref ITRS dans RGF93)

Calcul rapide quand le SHOM veut changer de niveau de référence.

- Info: pour traiter 1.10^6 sondages, il faut 51sec de cpu

Utilisation du GPS



Intérêt de Bathylli

Utilisation du GPS
cinématique pour la réalisation
des sondages

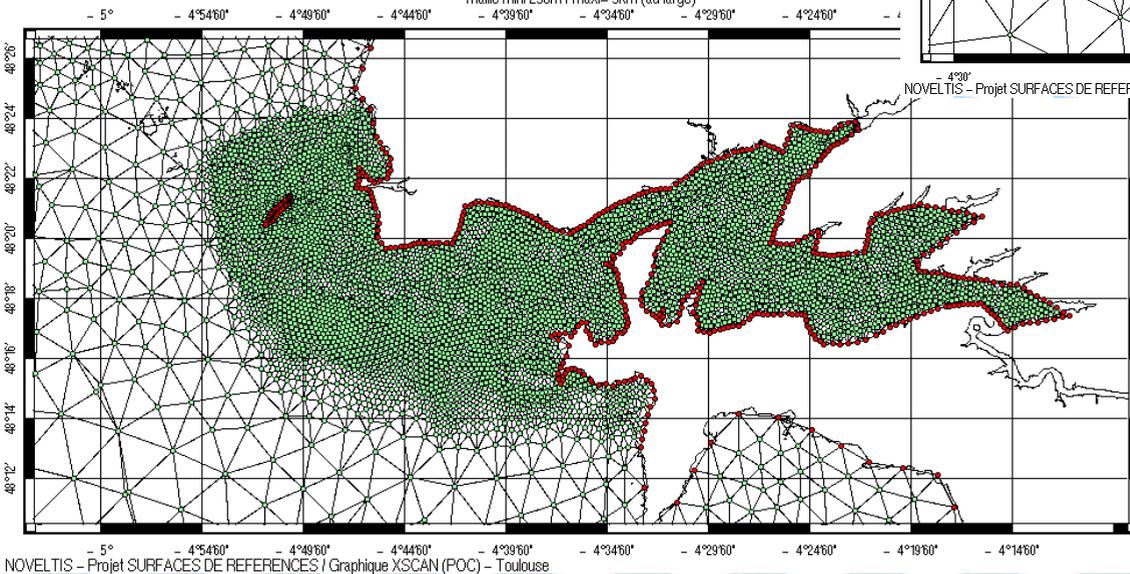
Plus besoin de corrections de
marée ni météo

Plus besoin de poser
un marégraphe pendant la
session de mesure

Construction de la grille ATLANTIQUE ET MANCHE

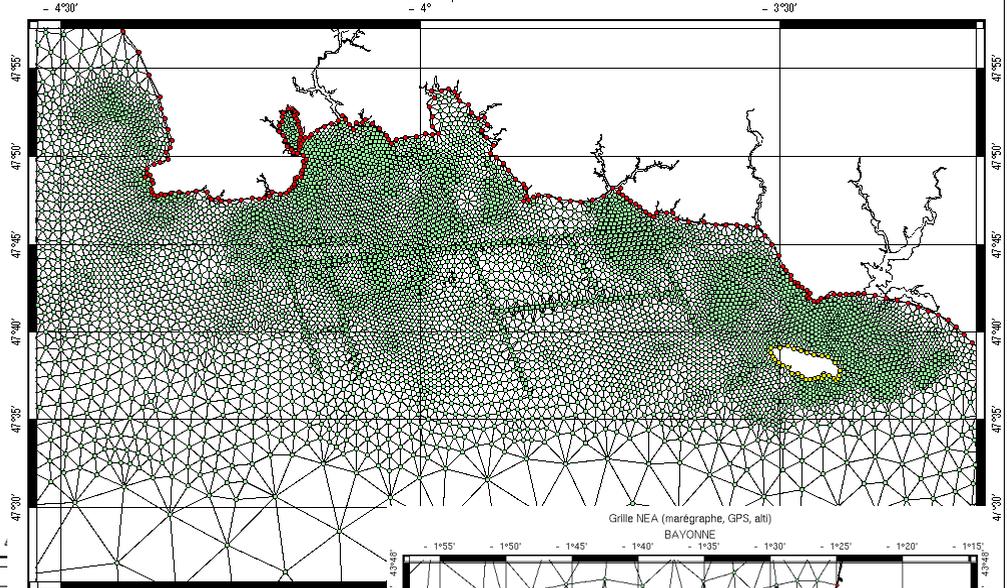
Grille NEA / BREST

maille mini 250m / maxi= 5km (au large)



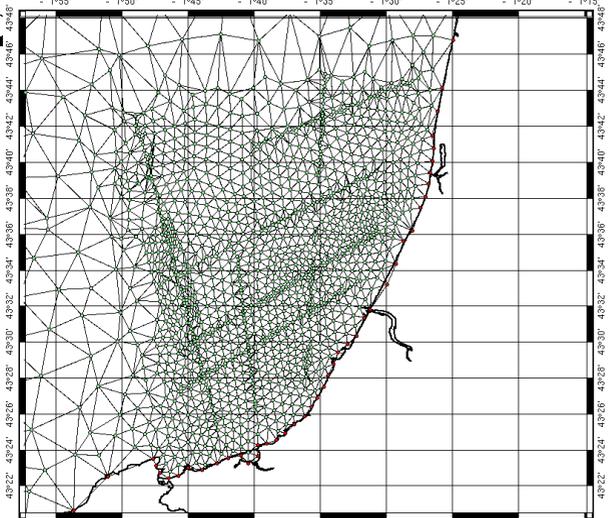
Grille NEA TRACES GPS et maregraphe

distance mini pour 1 maille : 400m / maxi : 8.5 km



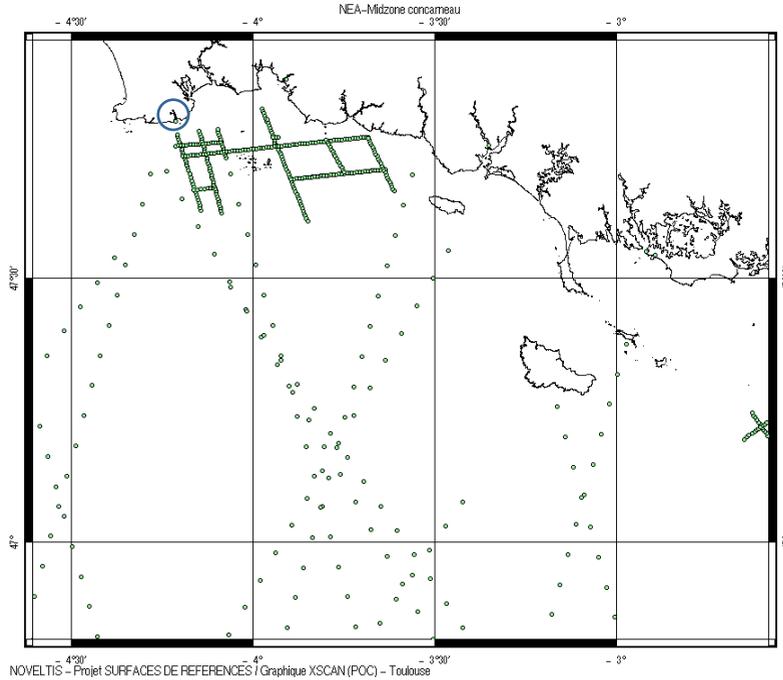
Grille NEA (maregraphe, GPS, alt)

BAYONNE

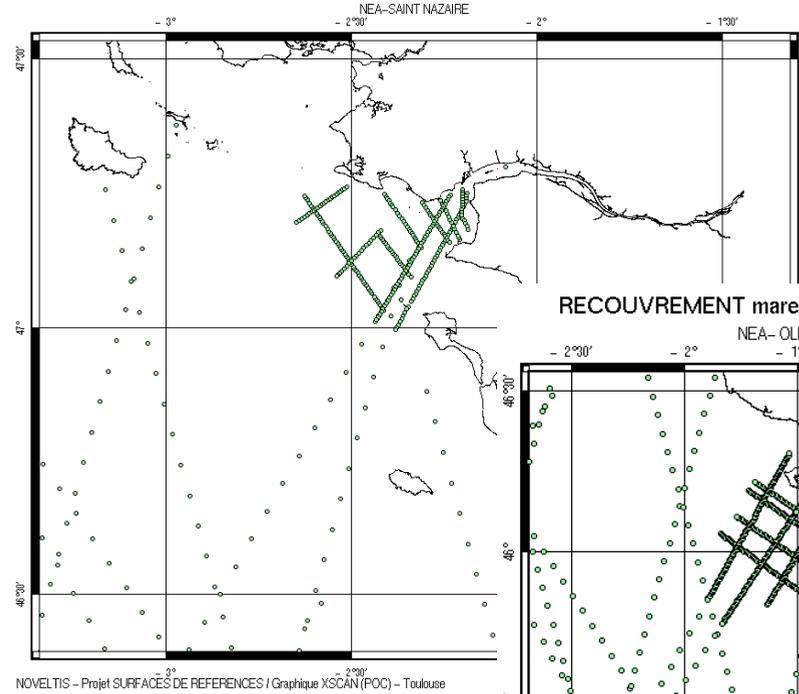


ATLANTIQUE ET MANCHE

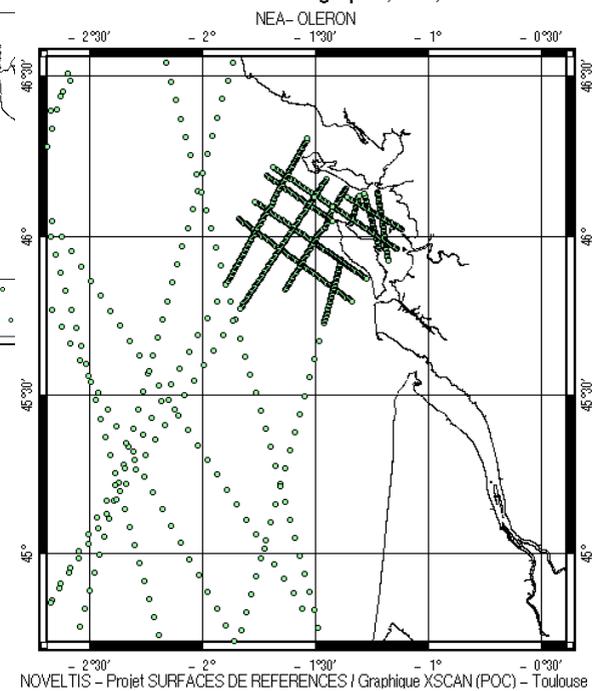
RECOUVREMENT maregraphe, GPS, altimetres



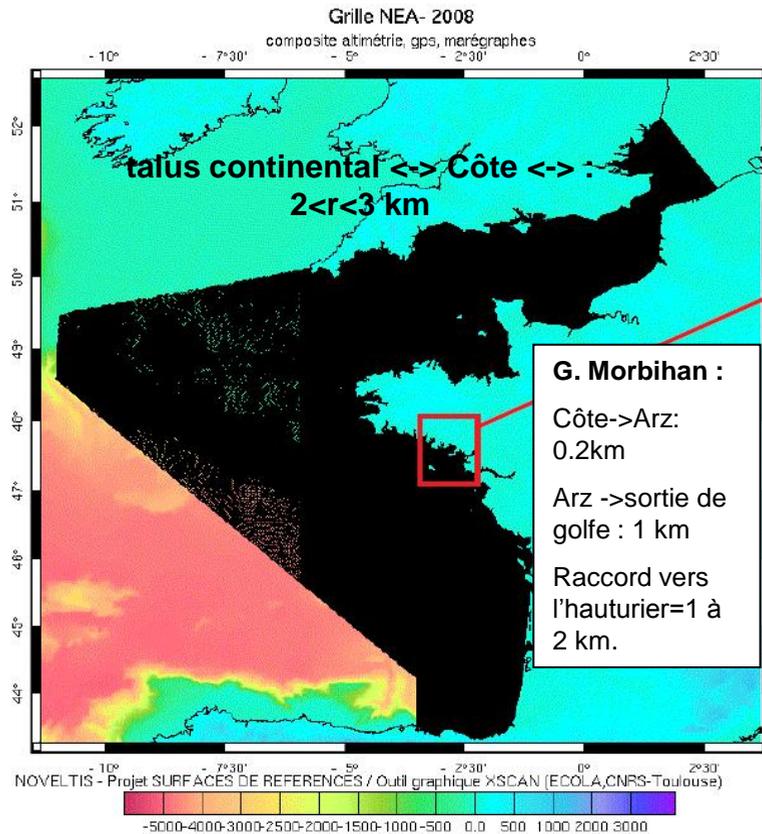
RECOUVREMENT maregraphe, GPS, altimetres



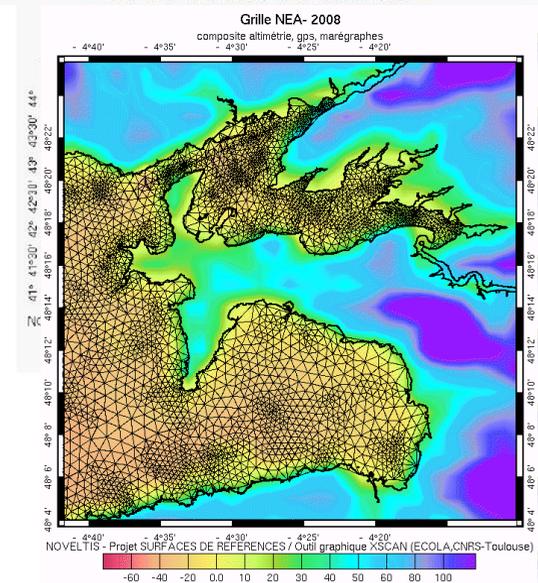
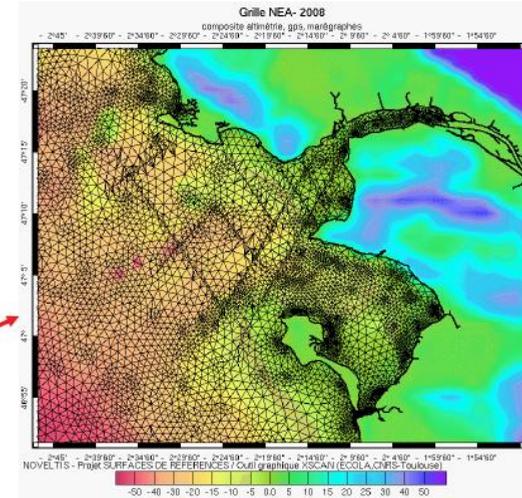
RECOUVREMENT maregraphe, GPS, altimetres



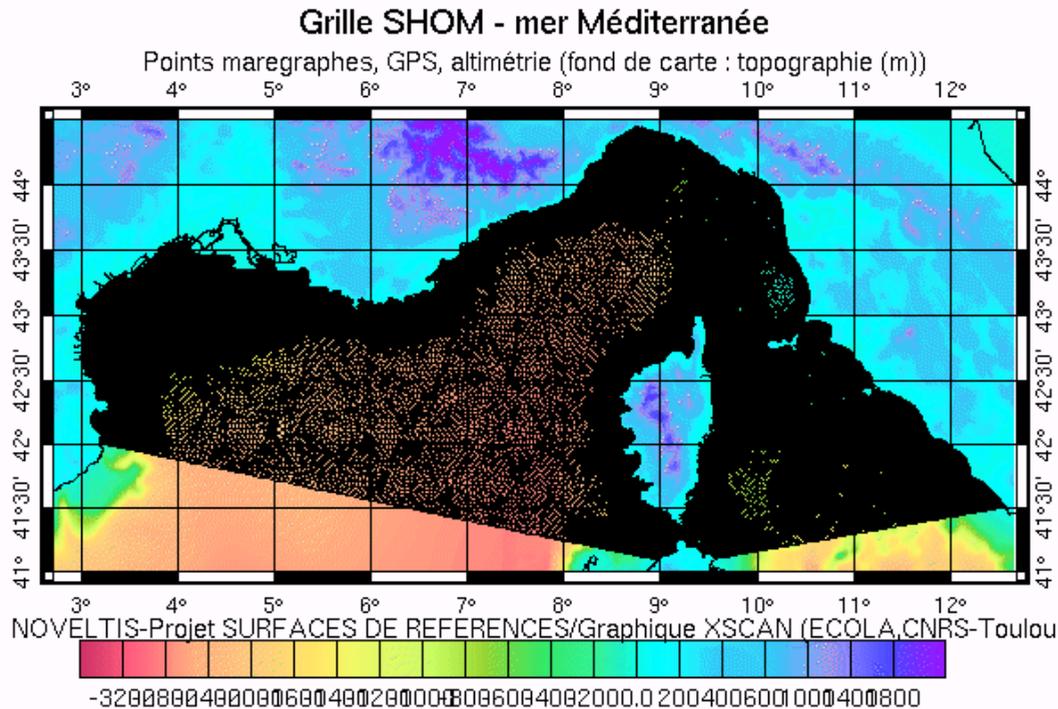
Nouvelle résolution pour les surfaces de référence



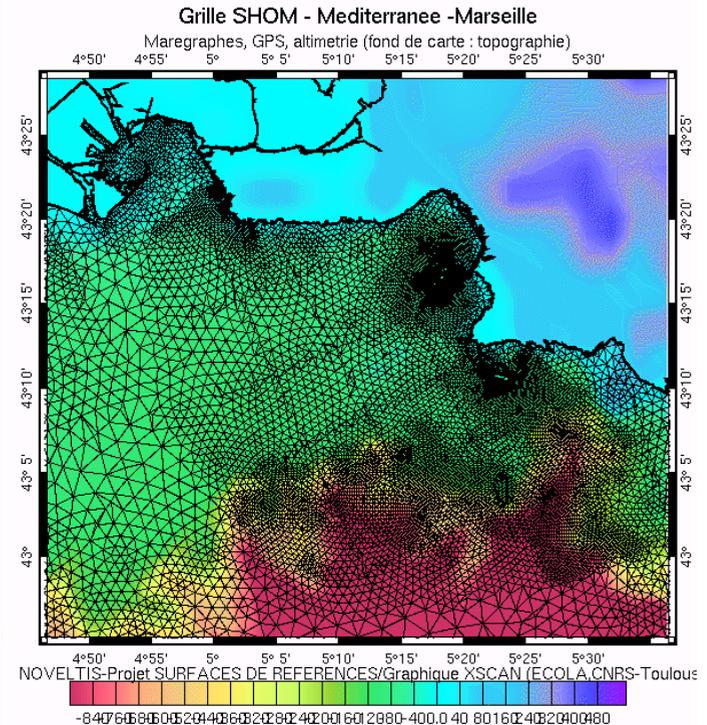
270726 points de grille



Grille de référence Mer Méditerranée

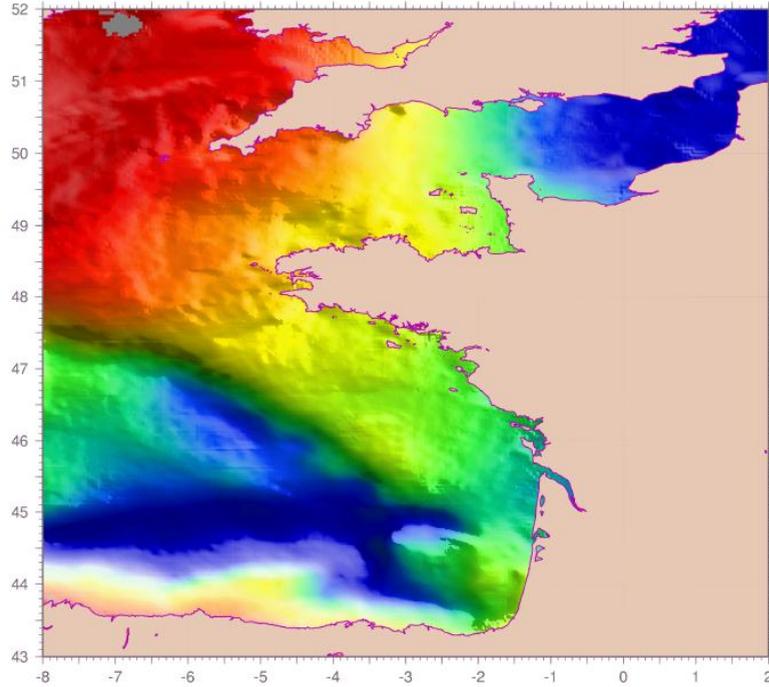
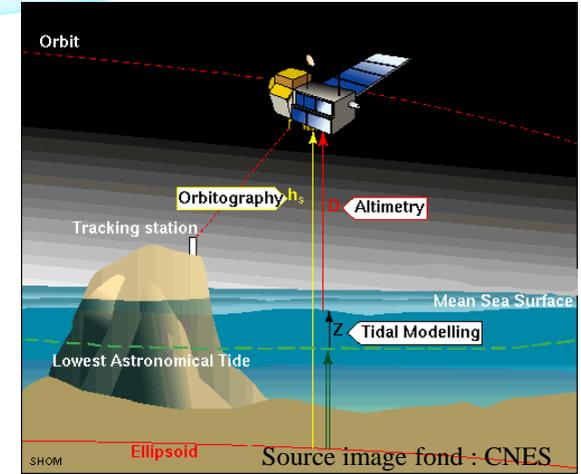


54725 points de grille

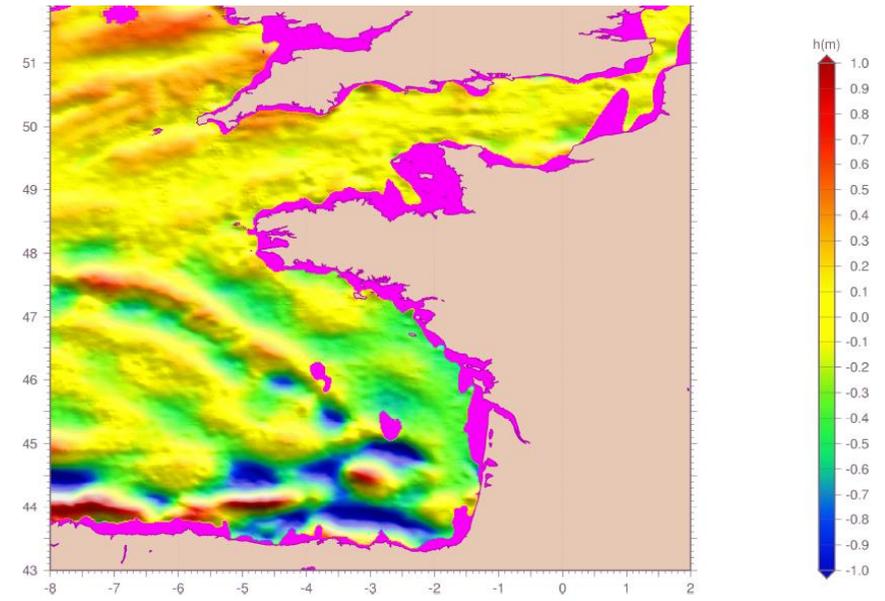


Altimétrie spatiale

Surface Moyenne Hydrographique de départ



Smh/ GRS80 (source CLS) Topex-Poséidon, ERS



Erreur associée Smh/ GRS80 seuillée à 5cm (Source CLS)

Une fois la SMH alti construite : Précaution de calcul: **Homogénéisation des échelles de temps** des diverses mesures (GPS, Altimétrie, marégraphes)

Pour fusionner ces différents types de mesures, il faut rester cohérent dans le conditionnement des mesures. Il faut fixer des critères communs comme la période de référence.

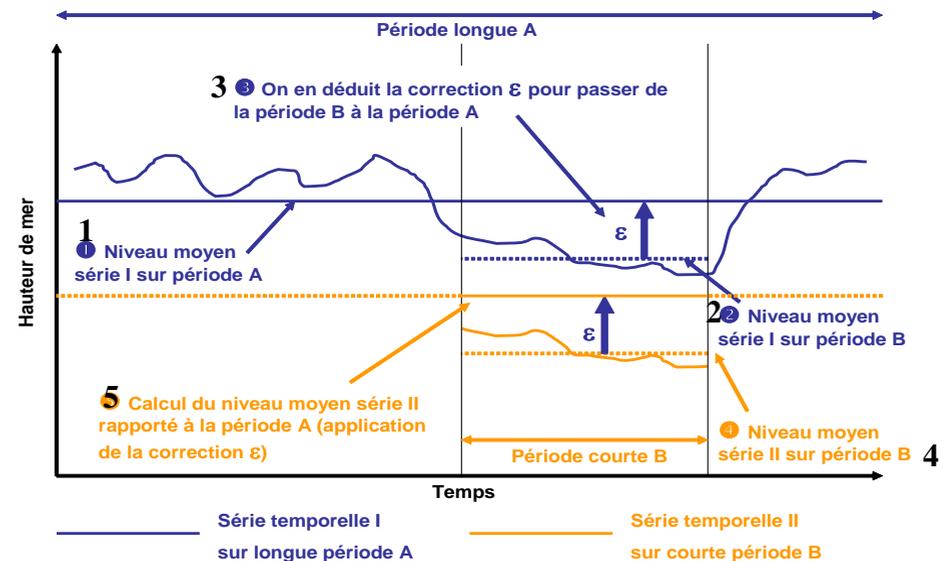
⇒ Méthode : T référence ici, **1993-2002** en Atlantique Manche (référence ici : Période altimétrie) 1993-2008 pour la zone Méditerranée.

⇒ Il faut noter que les levés GPS ont été réalisés après cette période altimétrique.

⇒ Calcul de l'écart entre niveaux moyens respectifs, pour projeter les niveaux moyens GPS (généralement représentatifs de quelques jours, le temps de la campagne de mesures en mer) sur l'espace temporel de référence (Figure 1: Homogénéisation de la mesure GPS).

La différence entre la mesure marégraphe basse fréquence et le niveau moyen de référence est soustraite de la mesure basse fréquence du GPS.

Figure 1: Schéma explicatif du traitement de la donnée GPS pour homogénéiser les mesures sur la période de la SMH altimétrique



Surface Moyenne Hydrographique (SMH)

Construction d'une SMH par fusion de mesures altimétriques et GPS

- **En atlantique et Manche :**
 - Nous disposons d'une grille SMH altimétrique
 - Nous disposons de profils GPS
 - **En Méditerranée :**
 - Nous disposons de profils altimétriques moyens
 - Nous disposons de profils GPS
-
- ⇒ 1) Calcul d'une SMH côtière sur les zones des levés GPS à partir des mesures GPS et des marégraphes
 - ⇒ 2) Création d'une SMH altimétrique en Méditerranée
 - ⇒ 3) Fusion des SMH altimétriques et GPS par interpolation optimale avec bulles d'influence

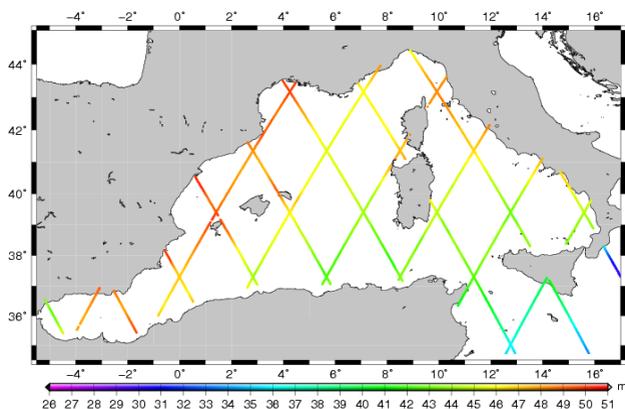
Avantage : Lors de l'ajout ou de la modification de levés GPS, permet de ne pas avoir à recalculer la SMH sur tous les points de grille (~60.000 en Méditerranée et ~260.000 en Atlantique-Manche)

Traitement des mesures altimétriques en Méditerranée

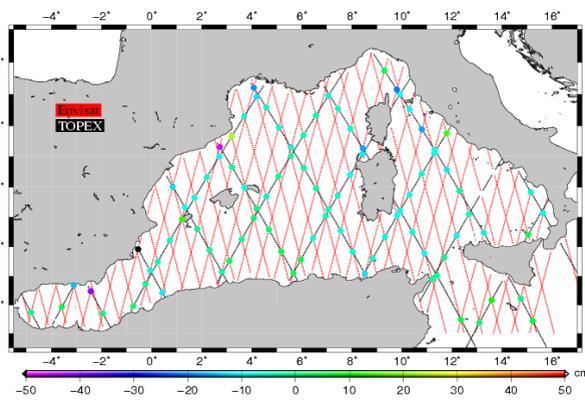
- *Missions = Topex-Poseidon, Jason-1, Envisat, GFO et Topex 2 (orbite décalée)*
- *Mission de référence = Topex-Poseidon 1993-2008 en Mer Méditerranée.*
- *Traitement de Topex (1488 mesures)*
 1. **Découpage en 19 profils rectilignes**
 2. **Ajustement d'un biais par profil aux points de croisement préféré à l'ajustement de biais + pente car s'écarte moins des mesures initiales**
- *Traitement des missions Jason -1, GFO, Topex 2 et EnviSat*
 1. **Découpage en profils rectilignes**
 2. **Ajustement d'un biais + pente par profil aux points de croisement avec les profils Topex ajustés.**

Dernière étape de la construction de la SMH purement altimétrique en mer Méditerranée

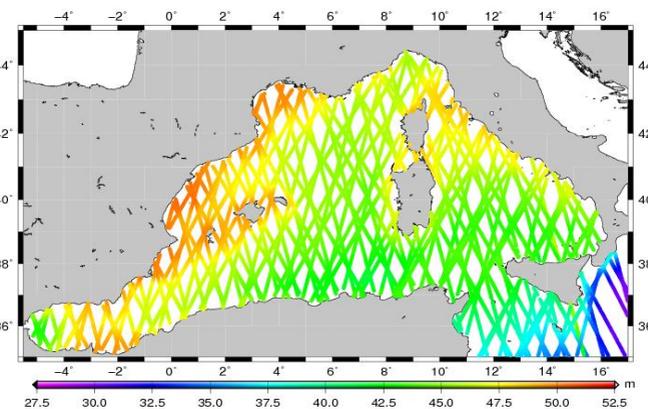
Ajustements ont été réalisés pour les satellites : Topex-Poseidon (1 et 2), Jason-1, GFO, Envisat



Mesures TOPEX après ajustement.



Ecarts des mesures ENVISAT aux points de croisement avec TOPEX avant ajustement.



Mesures altimétriques ajustées

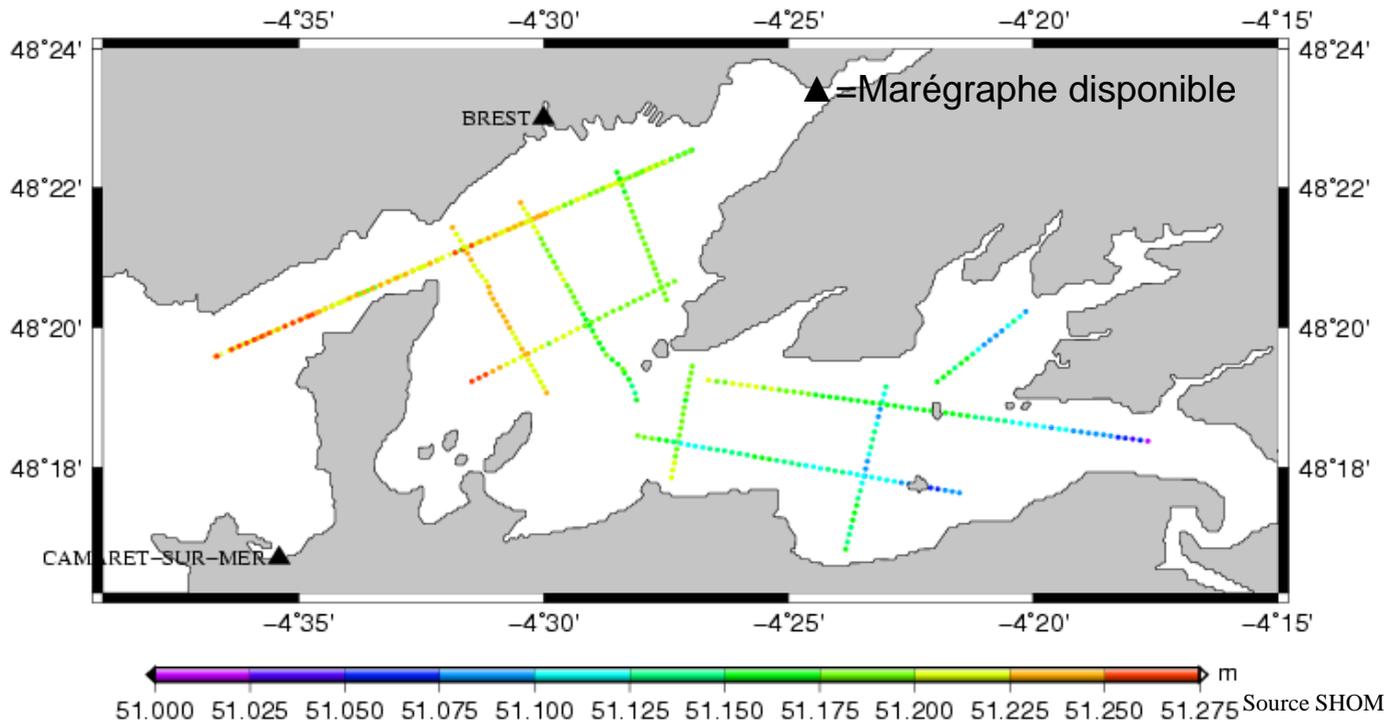
Fusion des SMH côtières et altimétriques

- En mer Méditerranée
- En Atlantique et Manche

Intégration des programmes de calculs des niveaux de références dans l'outil final.

Exploitation des Levés GPS

Point de départ = profils GPS



Vers une SMH GPS:

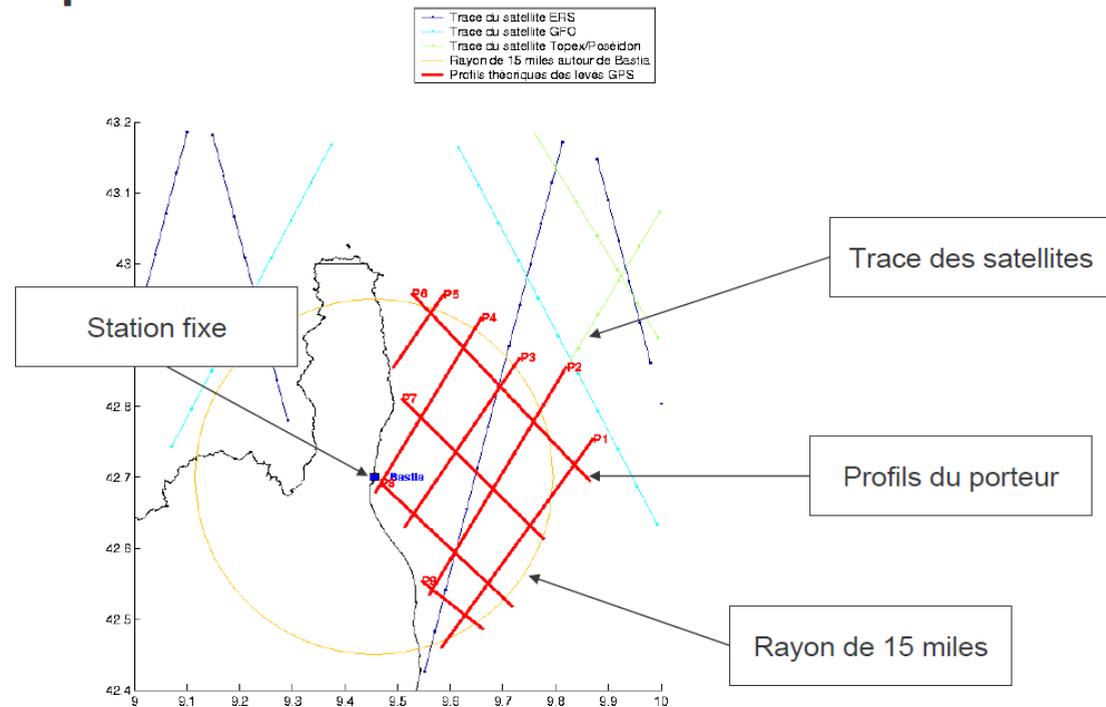
- Techniques de minimisation des écarts aux points de croisement.
- Travail sur résidus de hauteur GPS.
- Optimisation du calcul pour conditionner les matrices à inverser lors de la création de la SMH GPS.

Nb de pts	Min [m]	Max [m]	Moyenne [m]	Ecart-type [m]	Distance intra profil [m]
421	51.0080	51.2810	51.1826	0.0488	187

Mesure du niveau moyen de la mer en zone côtière

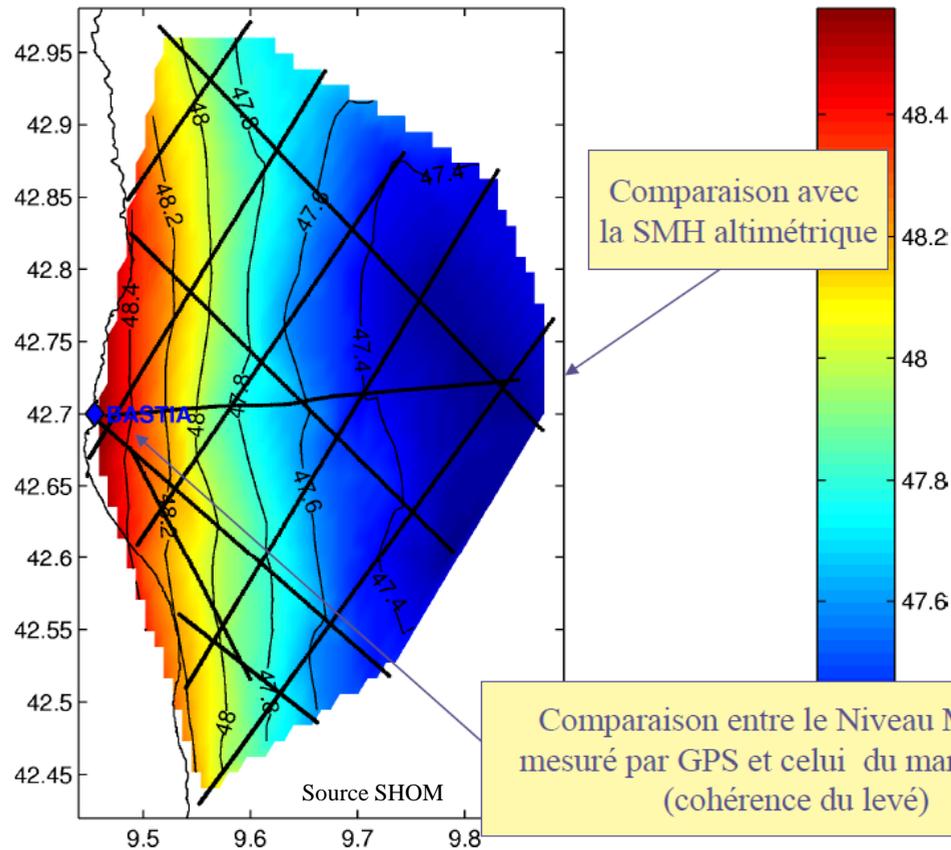
- Méthode : mesures GPS le long des profils
- Objectif : cartographie du niveau moyen avec une précision de l'ordre de 5 cm

Exemple de Bastia



Précision des mesures

Niveau Moyen / Ellipsoïde (m) aux abords de BASTIA



Précision des mesures

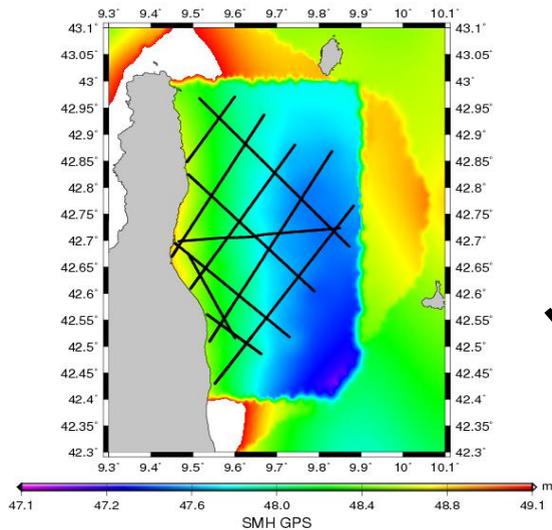
Écarts aux point de croisements

- Moyenne : 3 cm
- Écart type : 2 cm

Cohérence du levé

- Mesure GPS : 48,571 m
- Marégraphe : 48,576 m
- < 1 cm

Méthode de fusion des SMH GPS/ALTI

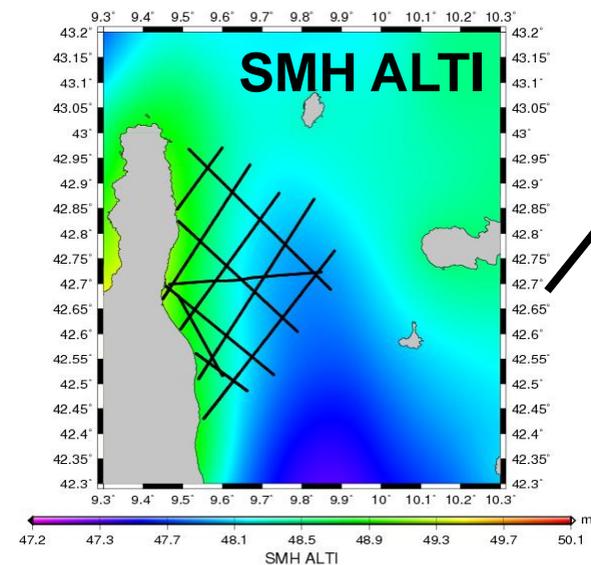
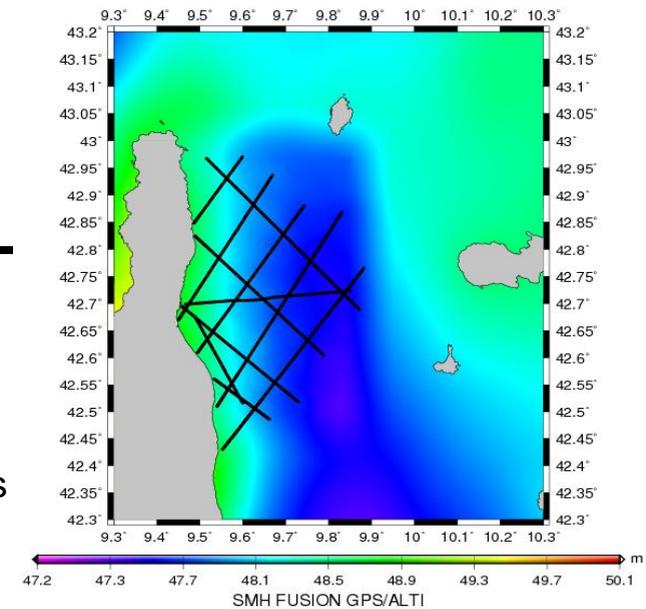


SMH GPS

INTERPOLATION
OPTIMALE

➤ INTERPOLATION OPTIMALE :

- Définition de la sélection des observations
- Définition des covariances
- Définition de la validation



Principe de la méthode de fusion de données

Interpolation optimale sur des ensembles d'observations différents

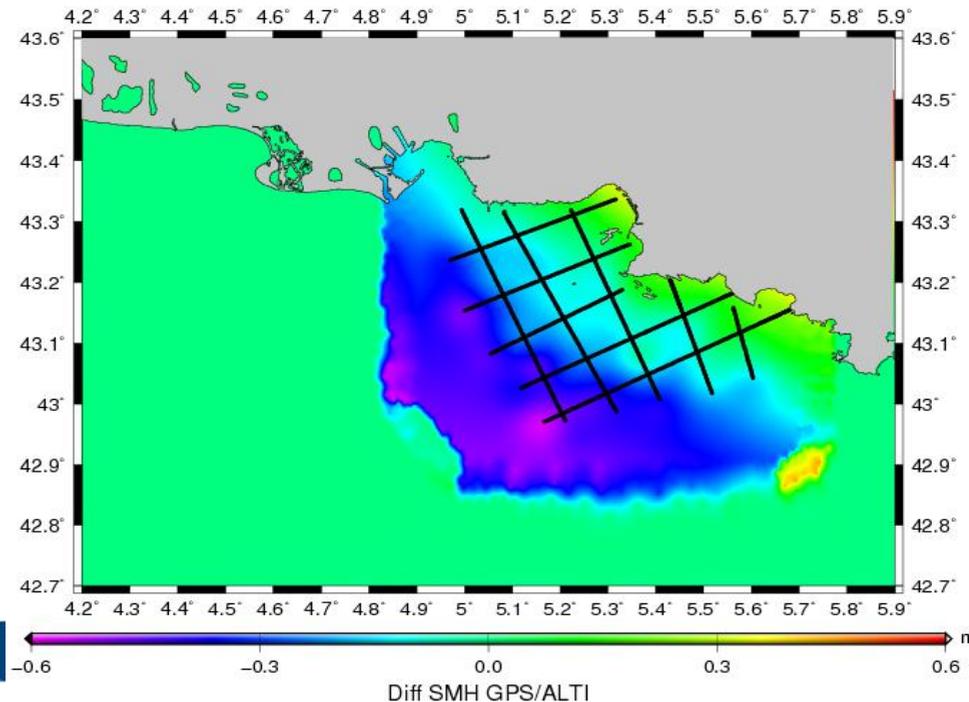
Hypothèse :

L'altimètre est la référence et donne les variations grandes échelles.

Le GPS donne les variations courtes échelles, la haute fréquence de la hauteur de mer

Méthode de fusion des SMH GPS/ALTI

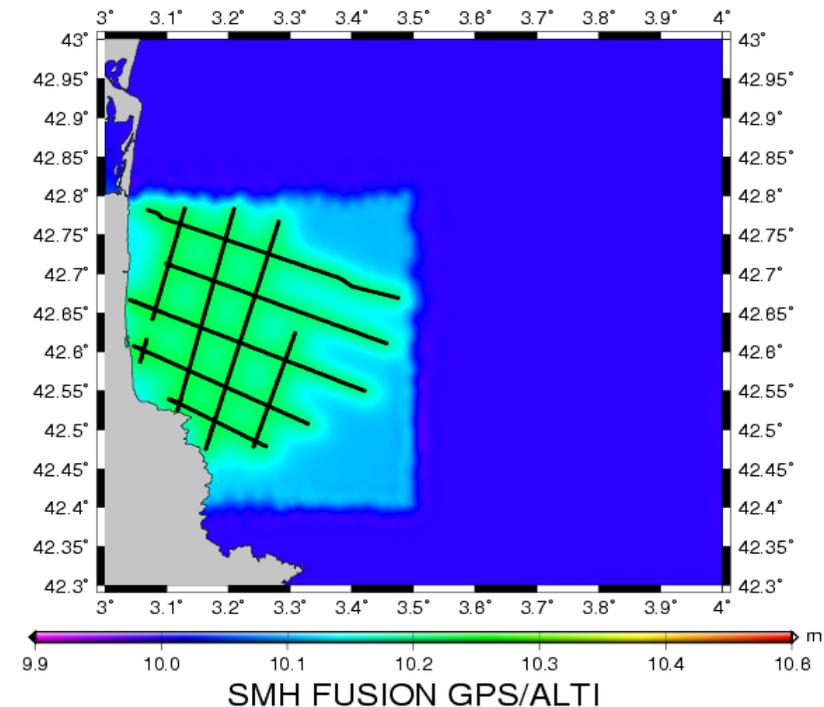
- Définition de la sélection des observations (SMH GPS et SMH ALTI)
- La différence entre les SMH GPS et SMH ALTI peut atteindre plusieurs dizaines de cm.
- L'incertitude sur les SMH est de l'ordre de quelques cm.
- D'où une inhomogénéité, incohérence.



Interpolation optimale sur des ensembles d'observations différents

- *ECARTS SMH ALTI et SMH GPS : >10 cm et < 1m*
- *Lorsque la SMH ALTI et SMH GPS couvrent des zones différentes => Problème sur les bords*

L'interpolation optimale de deux ensembles d'observation **non cohérents** et **couvrant des régions différentes** conduit à des discontinuités non physiques (non réalistes)



Méthode de fusion des SMH GPS/ALTI

➤ Définition de la sélection des observations (SMH GPS et SMH ALTI)

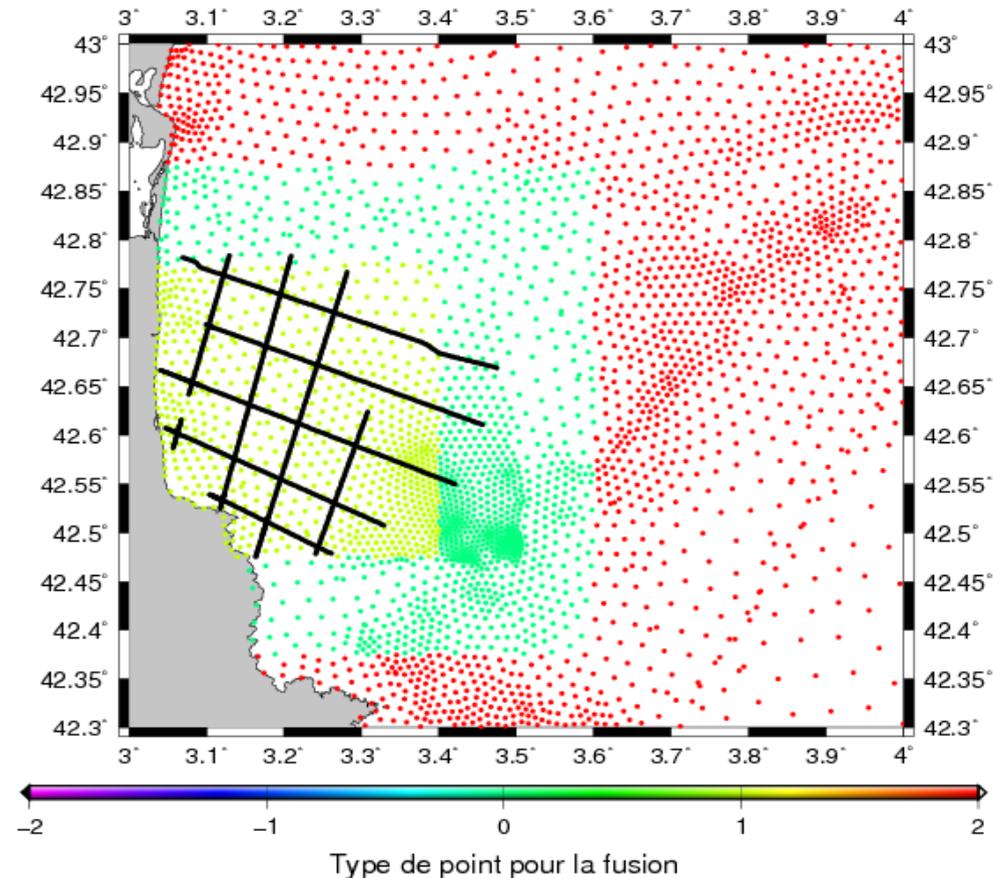
➤ But de la recherche: « raccorder » les SMH GPS avec la SMH ALTI

- On définit la zone de raccord (0)
- On définit la zone GPS valide (1)
- On définit la zone ALTI valide (2)

➤ Etape de fusion uniquement dans la zone de raccord en utilisant les obs. des zones valides.

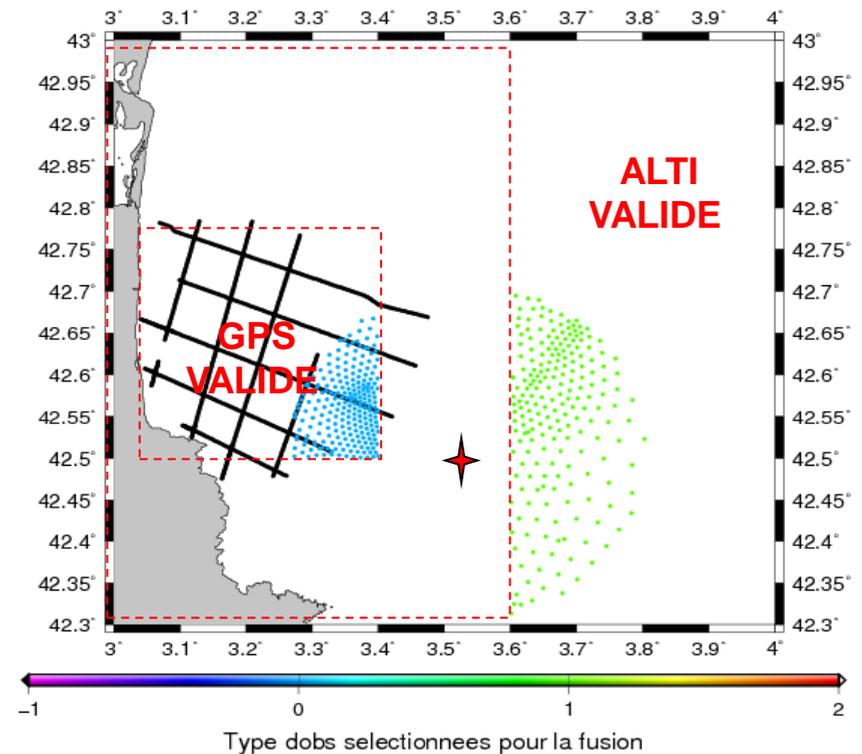
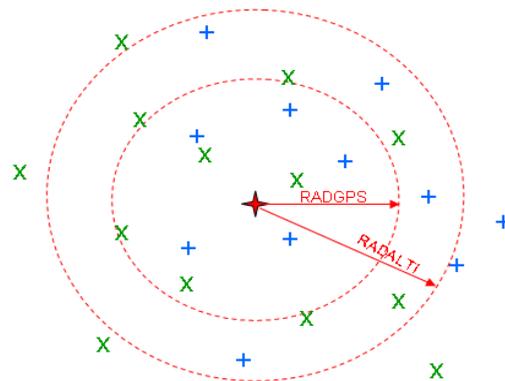
CAR il n'est pas possible de faire de l'interpolation optimale avec des observations co-localisées présentant des différences $> 40-60$ cm avec chacune des incertitudes de quelques cm.

(Techniquement possible mais le résultat présente une discontinuité autour de chaque zone GPS => non réaliste)



Méthode de fusion des SMH GPS/ALTI

- Définition de la sélection des observations (SMH GPS et SMH ALTI)
- Pour chaque point de grille appartenant à la zone de raccord, la fusion est réalisée en sélectionnant les obs. (SMH GPS ET ALTI) appartenant aux zones valides et contenues dans les bulles d'influence.
- Les rayons des bulles d'influence sont RADGPS et RADALTI (définis automatiquement dans BATHYELLI (1.1 fois la largeur de la zone de raccord) ou par l'utilisateur)).



Méthode de fusion des SMH GPS/ALTI

➤ Définition des covariances

➤ On choisit une fonction de covariance multi quadrique de la forme:
$$\text{cov}(d) = \frac{1}{(r^2 + d^2)^u} * f$$
 avec $u = \frac{1}{2}$, f le facteur de covariance et $r = (\text{rad_gps} + \text{rad_alti}) / 2$

➤ Il faut aussi définir les incertitudes des observations

Erreurs = erreurs des SMH lues en entrée

ou

Erreurs = erreurs des SMH lues en entrée –
moyenne(erreurs des SMH lues en entrée) +
erreur moyenne a priori

Erreur moy. est définie par l'utilisateur comme
entrée pour chaque zone GPS et pour la SMH
ALTI.

L'erreur moyenne a priori choisie est l'écart moyen entre
le levé GPS et le marégraphe lorsque cette information a
été fournie

sinon

pas d'erreur moyenne a priori

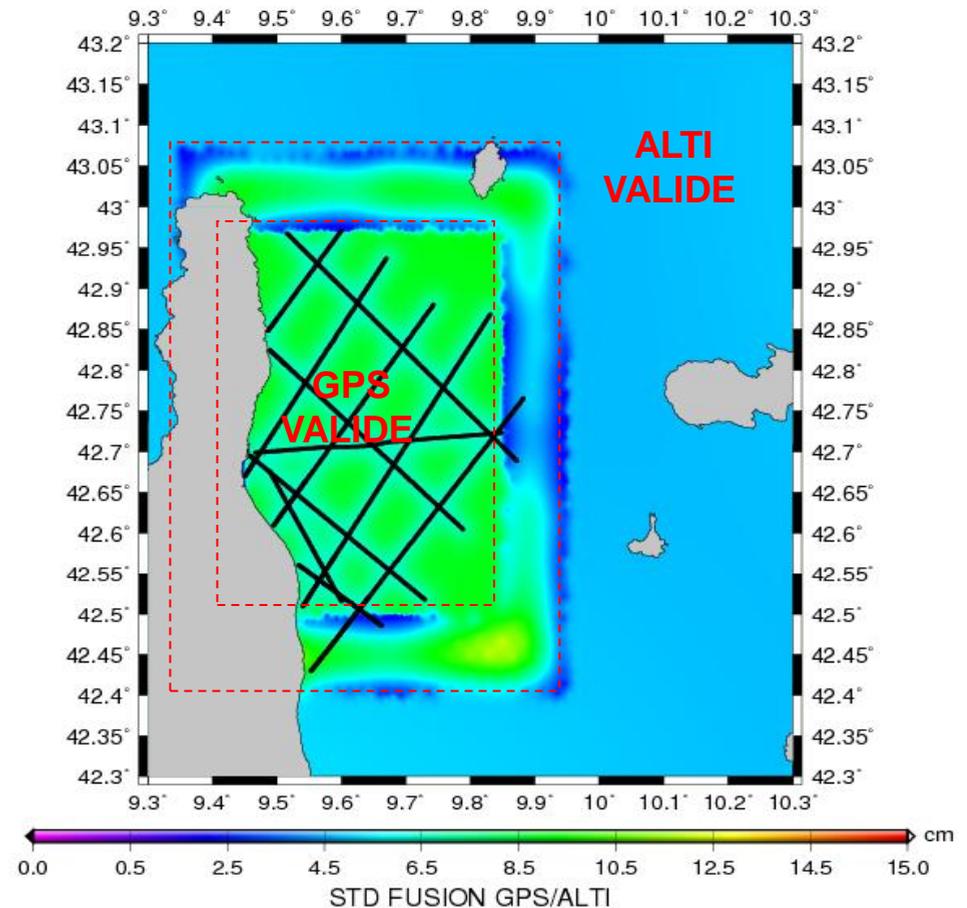
➤ Ceci permet de définir l'erreur moyenne est de conserver les
variations de l'erreur fournie avec les SMH GPS et SMH ALTI

Méthode de fusion des SMH GPS/ALTI

➤ Définition de la validation

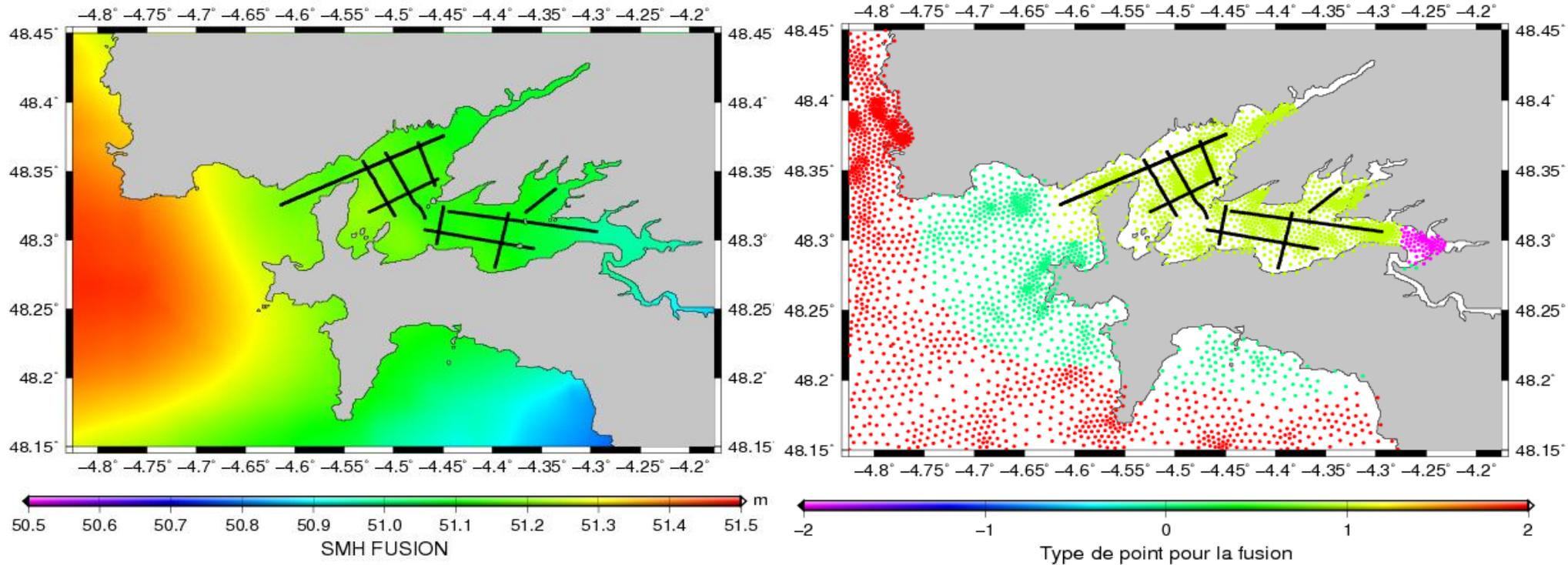
via l'erreur a posteriori fournie par l'interpolation optimale.

+
Pour les zones GPS valides et ALTI valides, les erreurs a priori, qui ont été définies précédemment



Résultat de la fusion

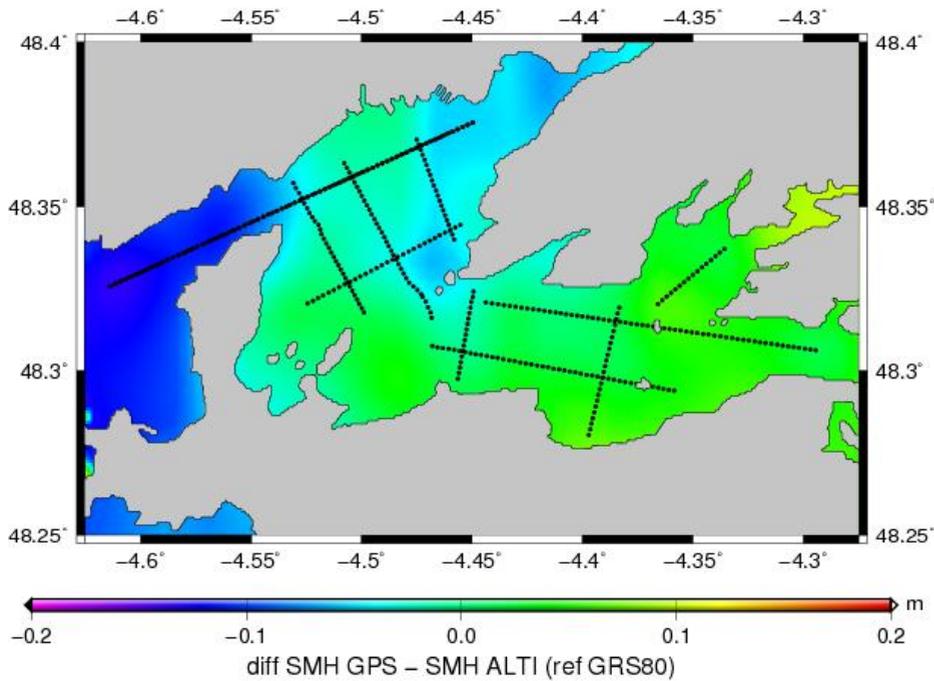
- BREST**



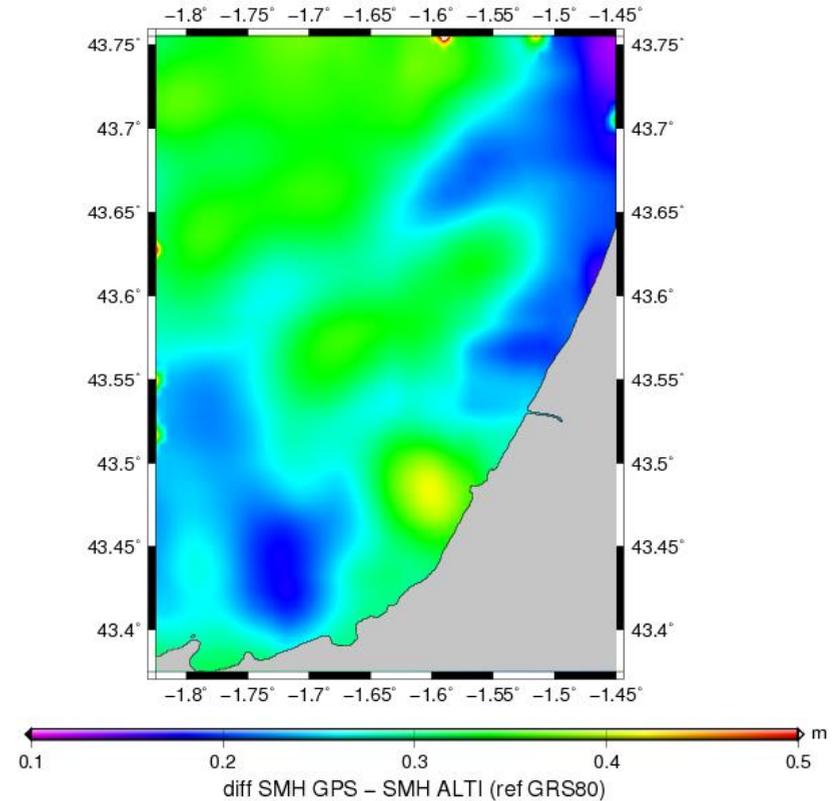
Code couleur pour la méthode de fusion de données.
 zone de raccord (0)
 zone GPS valide (1)
 zone ALTI valide (2)

Interpolation optimale sur des ensembles d'observations différents

- *Cohérence entre SMH ALTI et SMH GPS*



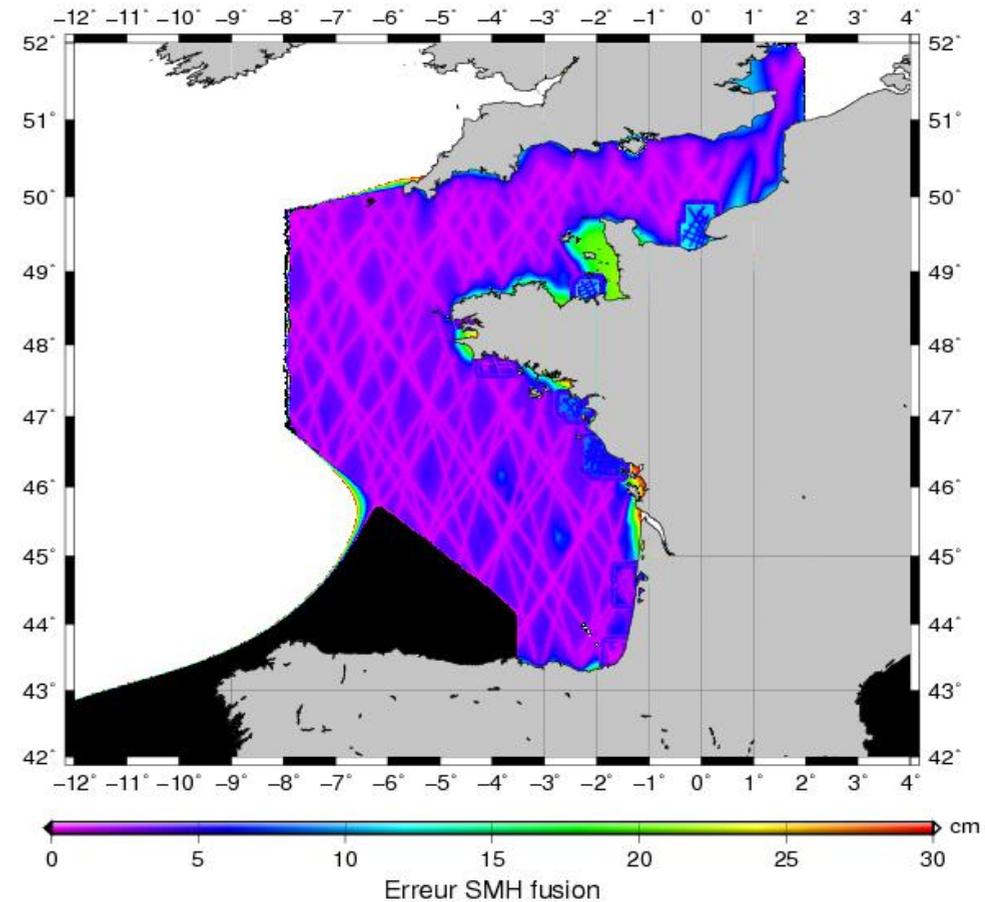
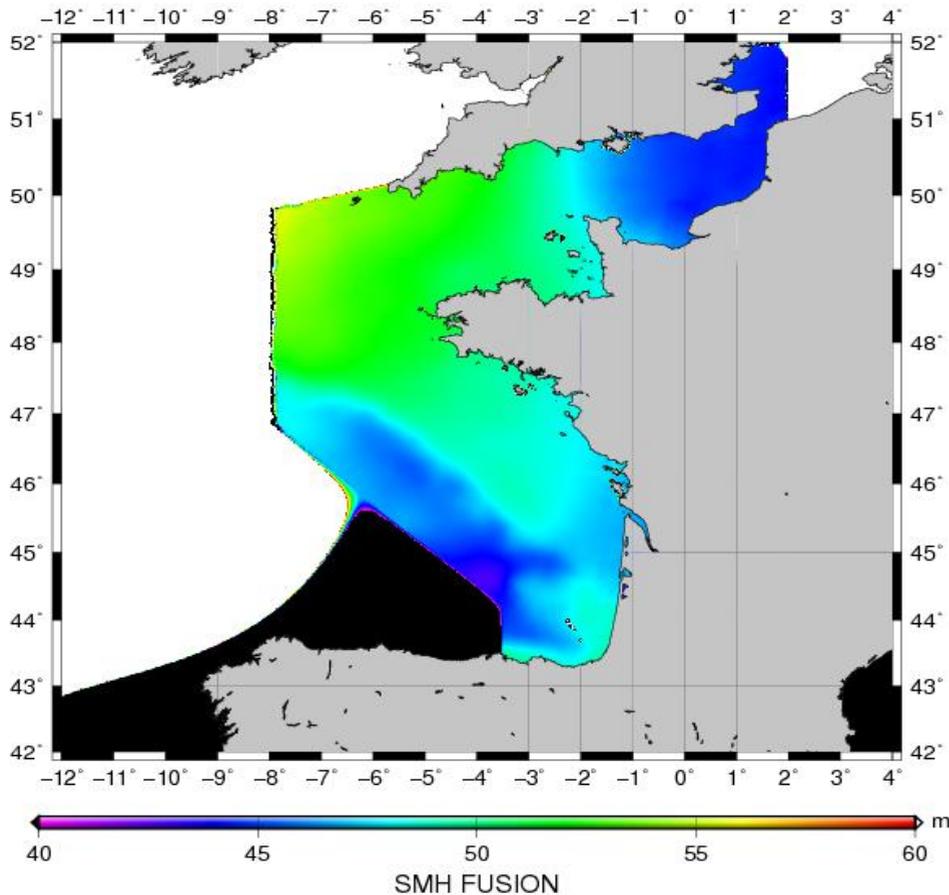
Différence entre SMH GPS et SMH ALTI pour BREST



Différence entre SMH GPS et SMH ALTI pour BAYONNE

Résultat de la fusion

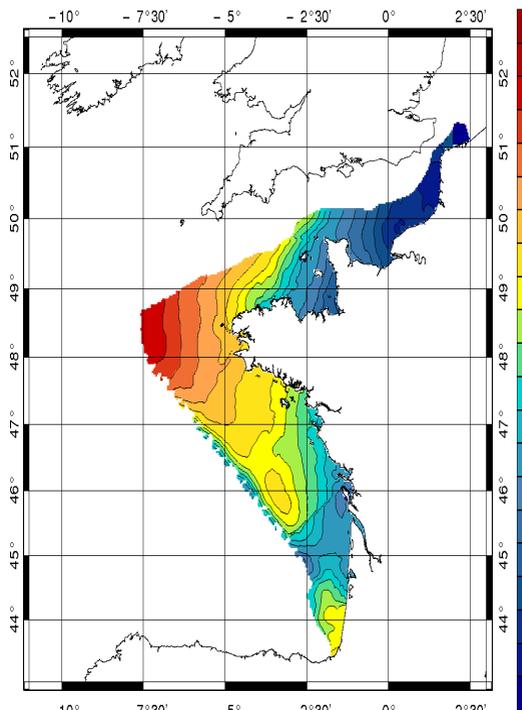
- Atlantique: Bayonne, Brest, Cap Ferret, Concarneau, Le Havre, Sables d'Olonnes, Saint Malo, Saint Nazaire



Résultats BATHYELLI

ZERO-HYDRO ref. GRS80

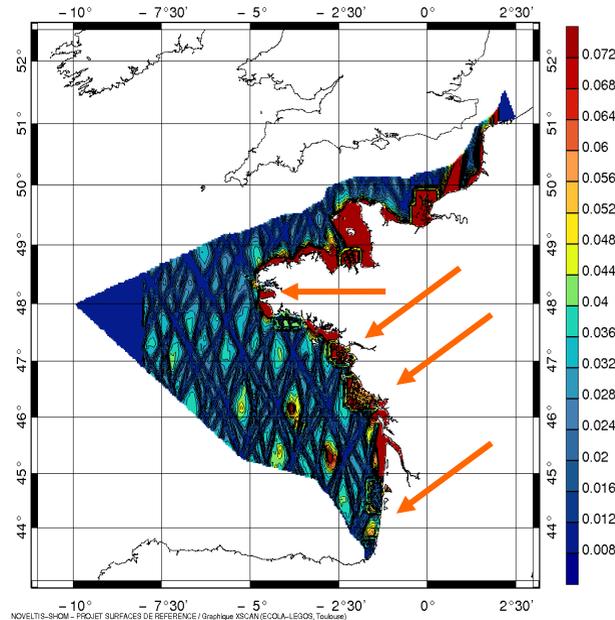
atlantique



NOVELTIS-SHOM - PROJET SURFACES DE REFERENCE / Graphique XISAM (ECOLA-LEOS, Toulouse)

ERREUR ZERO-HYDRO

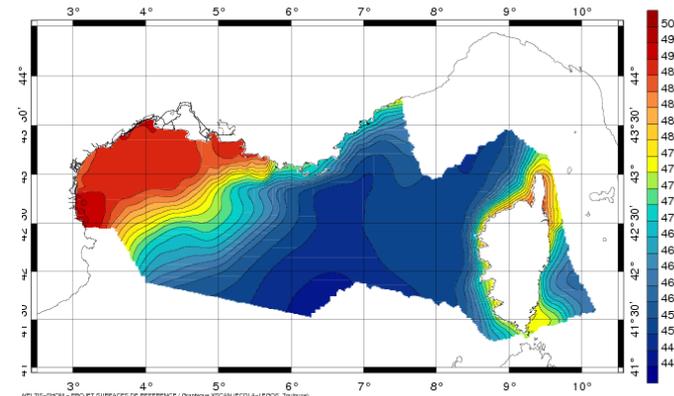
atlantique



NOVELTIS-SHOM - PROJET SURFACES DE REFERENCE / Graphique XISAM (ECOLA-LEOS, Toulouse)

ZERO-HYDRO ref. GRS80

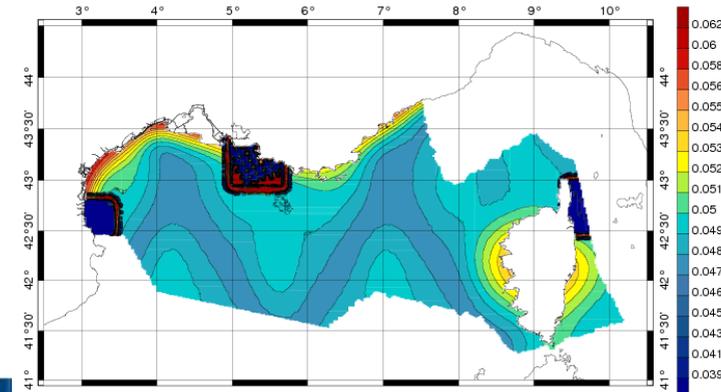
mediterranee



NOVELTIS-SHOM - PROJET SURFACES DE REFERENCE / Graphique XISAM (ECOLA-LEOS, Toulouse)

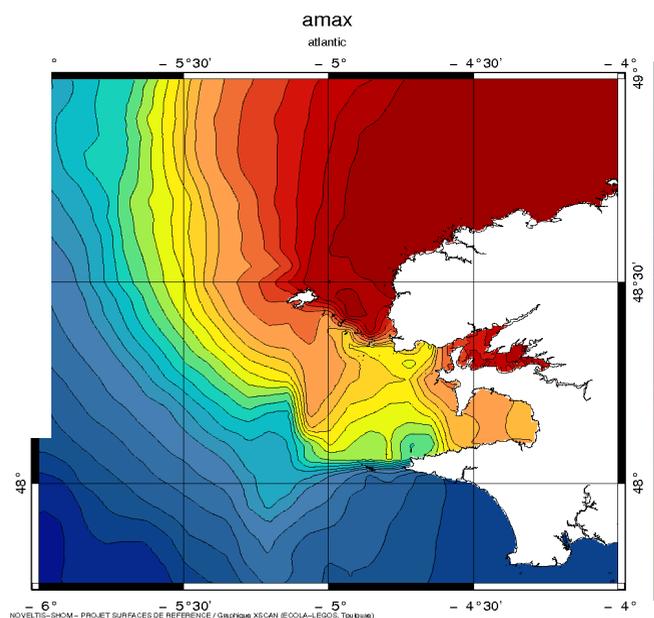
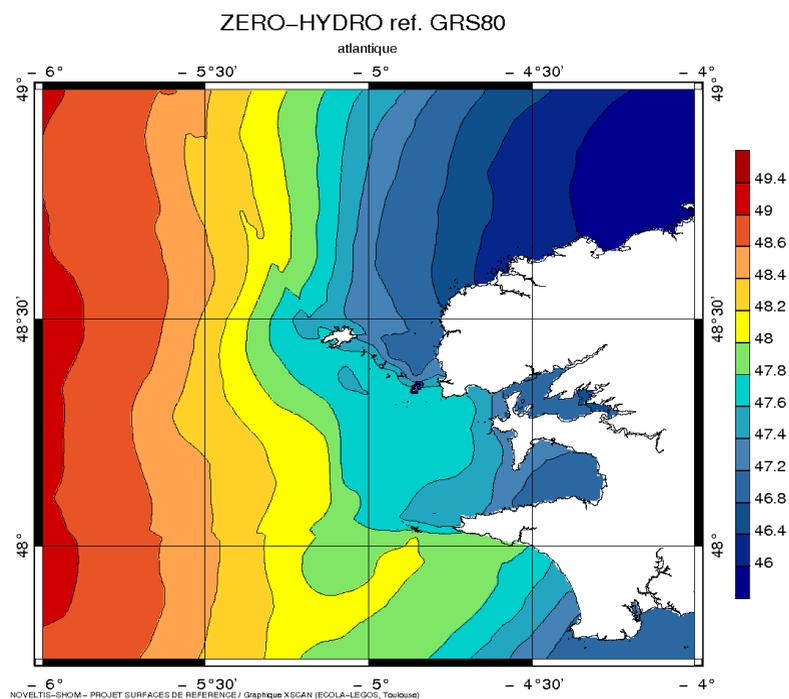
ERREUR ZERO-HYDRO

mediterranee

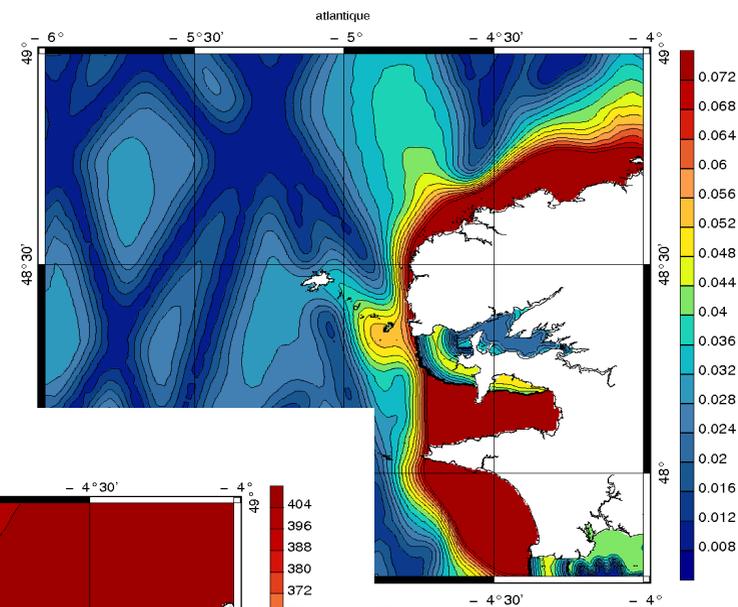


NOVELTIS-SHOM - PROJET SURFACES DE REFERENCE / Graphique XISAM (ECOLA-LEOS, Toulouse)

Exploitation des surfaces de référence. Ex à Brest

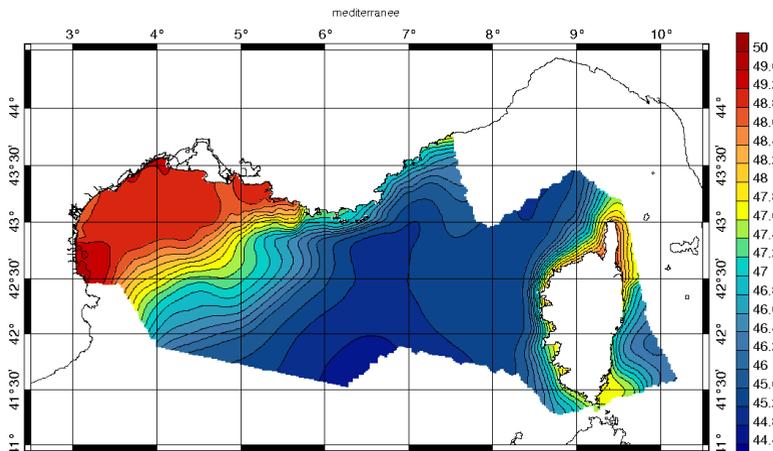


ERREUR ZERO-HYDRO

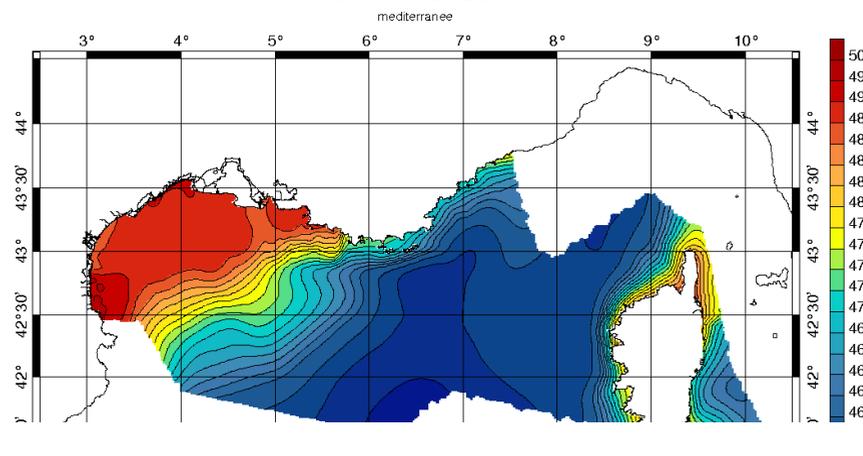


Exploitation des surfaces de référence. Dans la zone de marée Mer Méditerranée

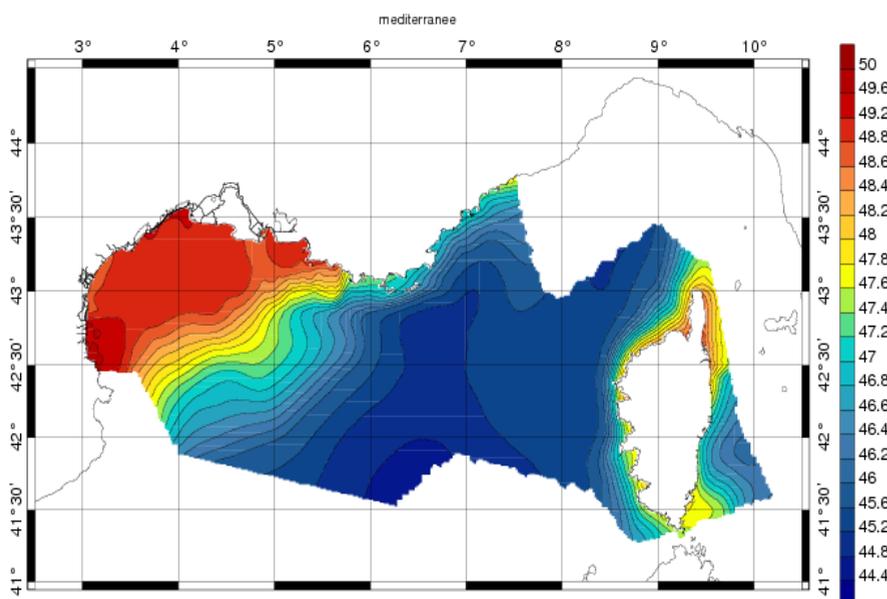
NIVEAU D'EQUILIBRE ref. GRS80



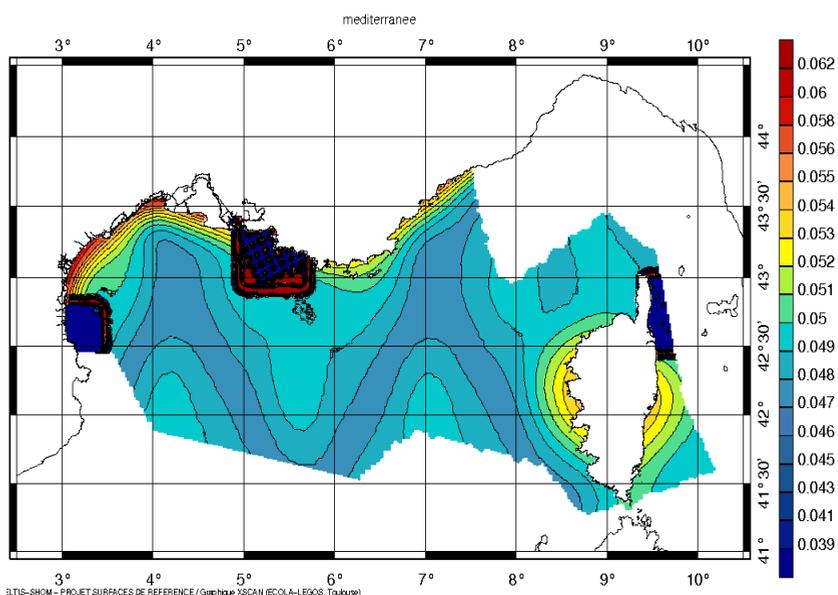
PBMA ref. GRS80



ZERO-HYDRO ref. GRS80



ERREUR ZERO-HYDRO



ILTIS-SHOM - PROJET SURFACES DE REFERENCE / Graphique XSCAN (ECOLA-LEOGOS, Toulouse)

Conclusions

2009 : MNT des surfaces de référence en hydrographie (Etape 1)

Zéro hydrographique

Niveau d'équilibre (niveau moyen)

Niveau des plus basses mers

IGN69

Géoïde

Ellipsoïde GRS80 de l'ITRS

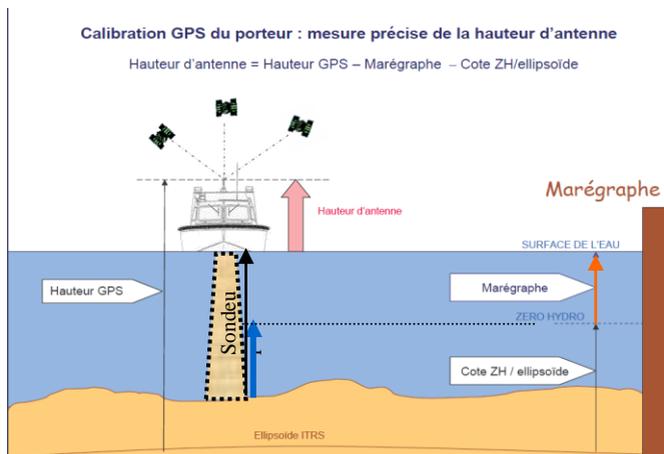
2010-2012 : validation de ses surfaces et mesures complémentaires

Ajout de 7 sites de mesures GPS

Comparaison levé classique/levé GPS

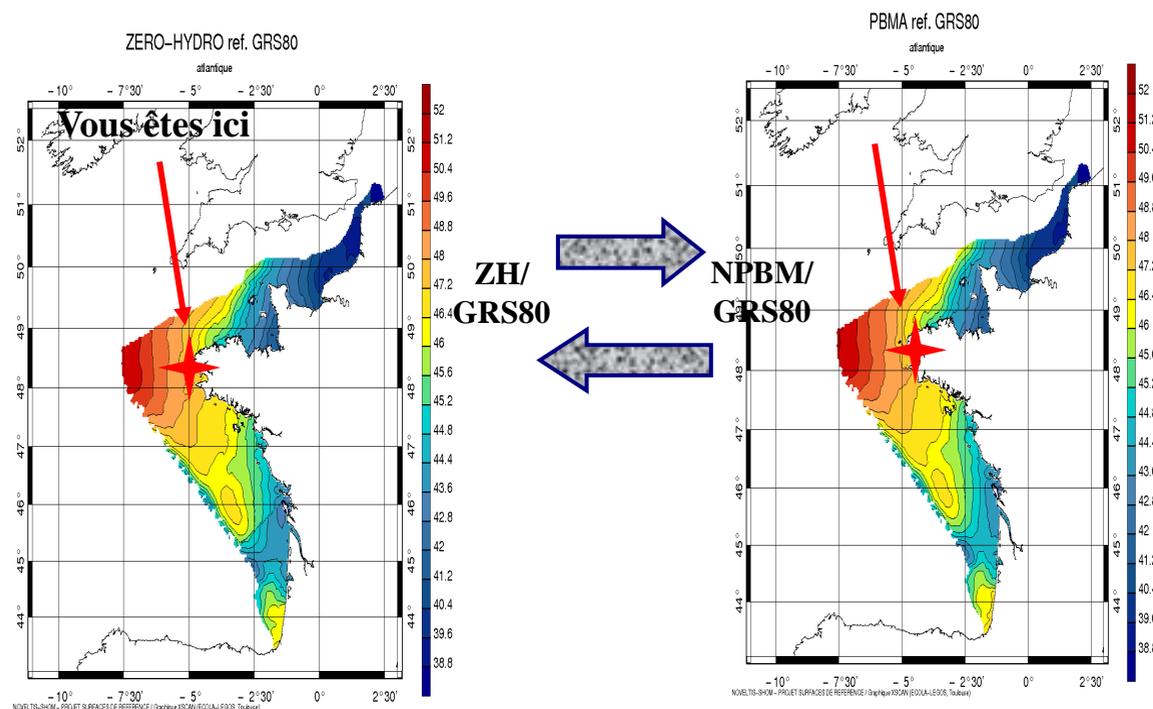
Logiciel prévu pour permettre aux utilisateurs de changer simplement de référence verticale

➤ Technique de réduction de sondage avant bathyelli



- Bathymétrie par rapport au ZH
- Référence ZH locale
- Marégraphe à proximité

➤ Exploitation des surfaces de références avec bathyelli.



Idem pour les autres niveaux de références définis pour l'hydrographie => Exprimer sur l'ellipsoïde GRS80:

ZHydro, NPBM, NMoyen, Geoïde, et toutes ces surfaces entre elles.

Précaution sur l'ellipsoïde de référence

- ITRS (International Terrestrial Reference System) devrait être utilisé pour toute application qui requiert **une précision meilleure que le mètre**.
- WGS84, autre système de référence du GPS, plus populaire .
- L'ITRS est réalisé à partir d'une couverture géographique très dense de plusieurs centaines de points, contre seulement une vingtaine pour le WGS84, et à l'aide de différentes techniques (VLBI, SLR, GPS, DORIS), contre une seule pour le WGS84 (GPS).
- **RGF93** réalisation française de l'ITRS (aussi appelé GRS80).

Le GRS80 (dans la réalisation géodésique RGF93) est différent de WGS84 dont la précision < 1 m.

Pour les études SHOM en hydro, il est recommandé d'utiliser GRS80 (⇔ RGF93)