



Laboratoire de Morphodynamique
Continentale et Côtière
UMR CNRS 6143 M2C



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

Surveillance morpho-sédimentaire automatisée des petits et moyens estuaires

Résultats des tests de faisabilité

Guillaume MICHEL et Xavier PELLERIN LE BAS

Projet AUPASED

Collaborateurs et coordination

- Sophie LE BOT
- Laurent FROIDEVAL
- Sandric LESOURD
- Robert LAFITE

Contexte scientifique

- ▶ Estuaires = domaines de transition, systèmes complexes
- ▶ Bathymétrie et nature des fonds = paramètres fondamentaux pour habitats benthiques (Blanchet al., 2014)

- ▶ Cadre DCE, DCSMM, mission Inter-Estuaire
- ▶ Etat initial et étude de suivi de ces domaines
- ▶ Éléments hydro-morphologiques

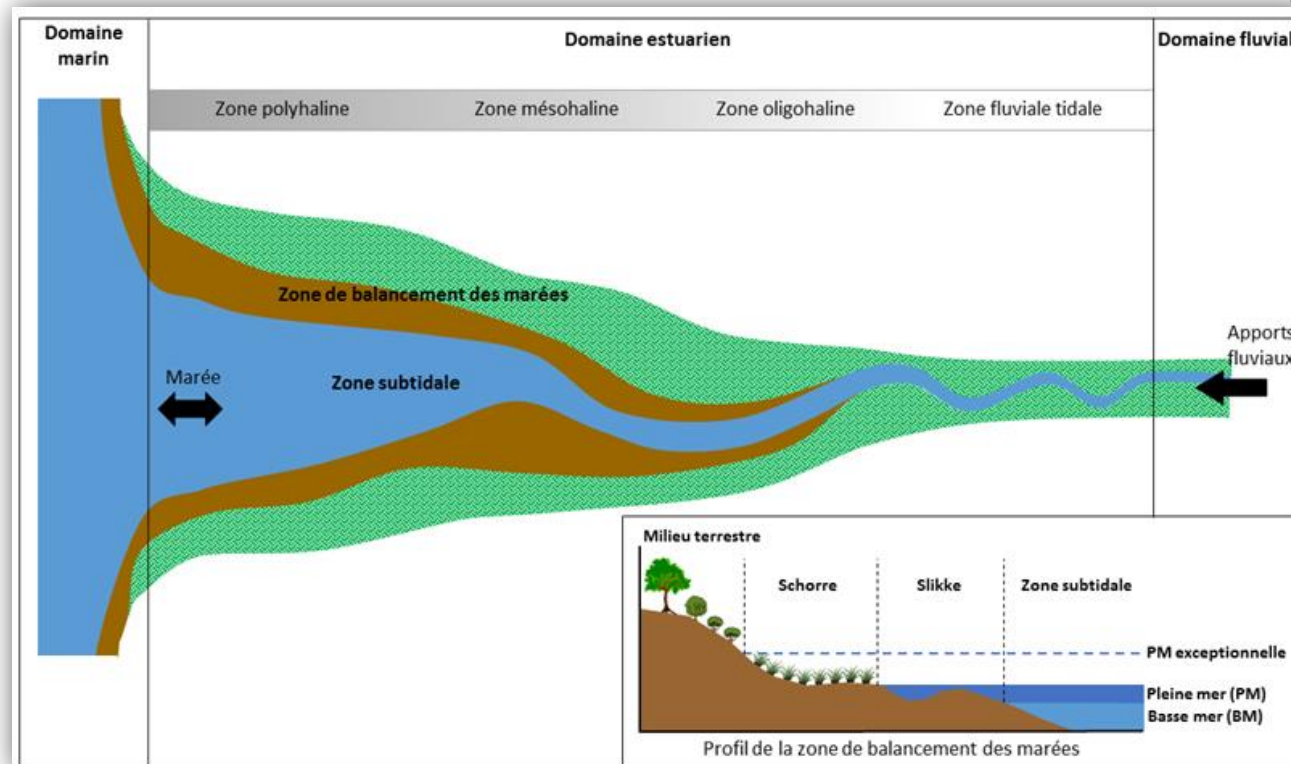
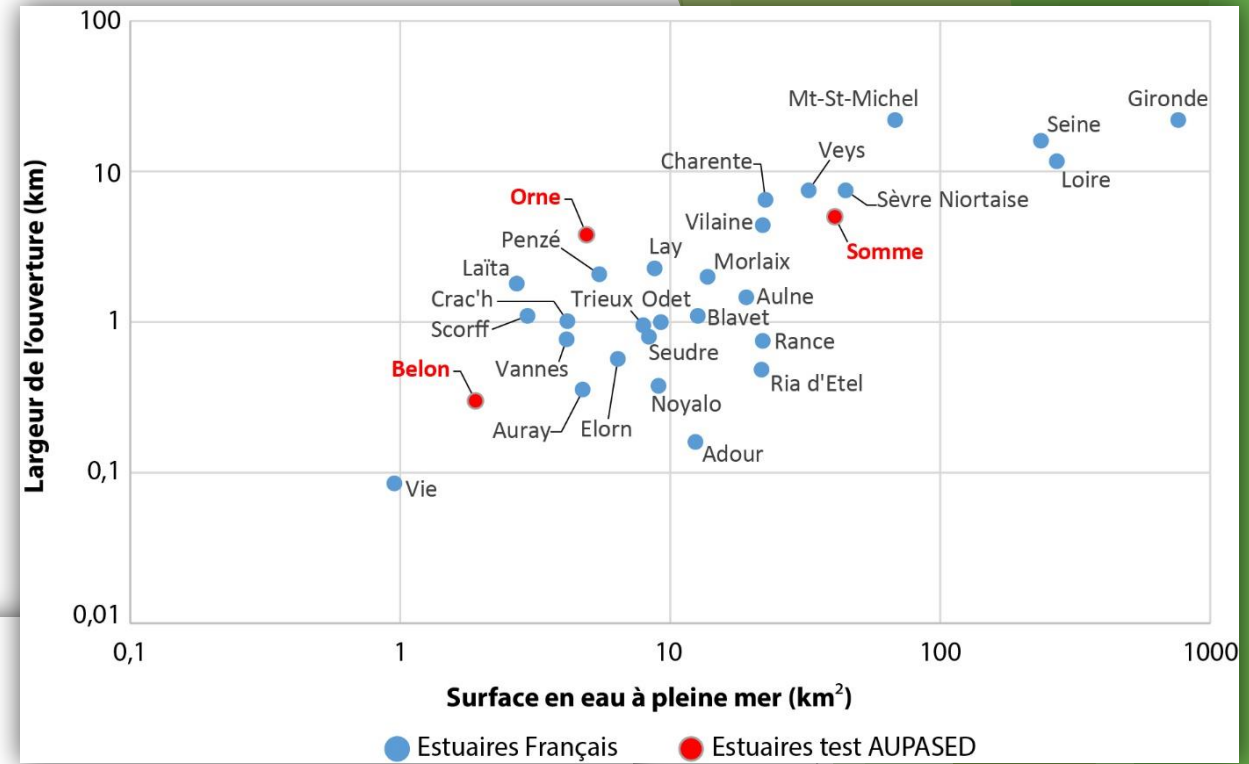
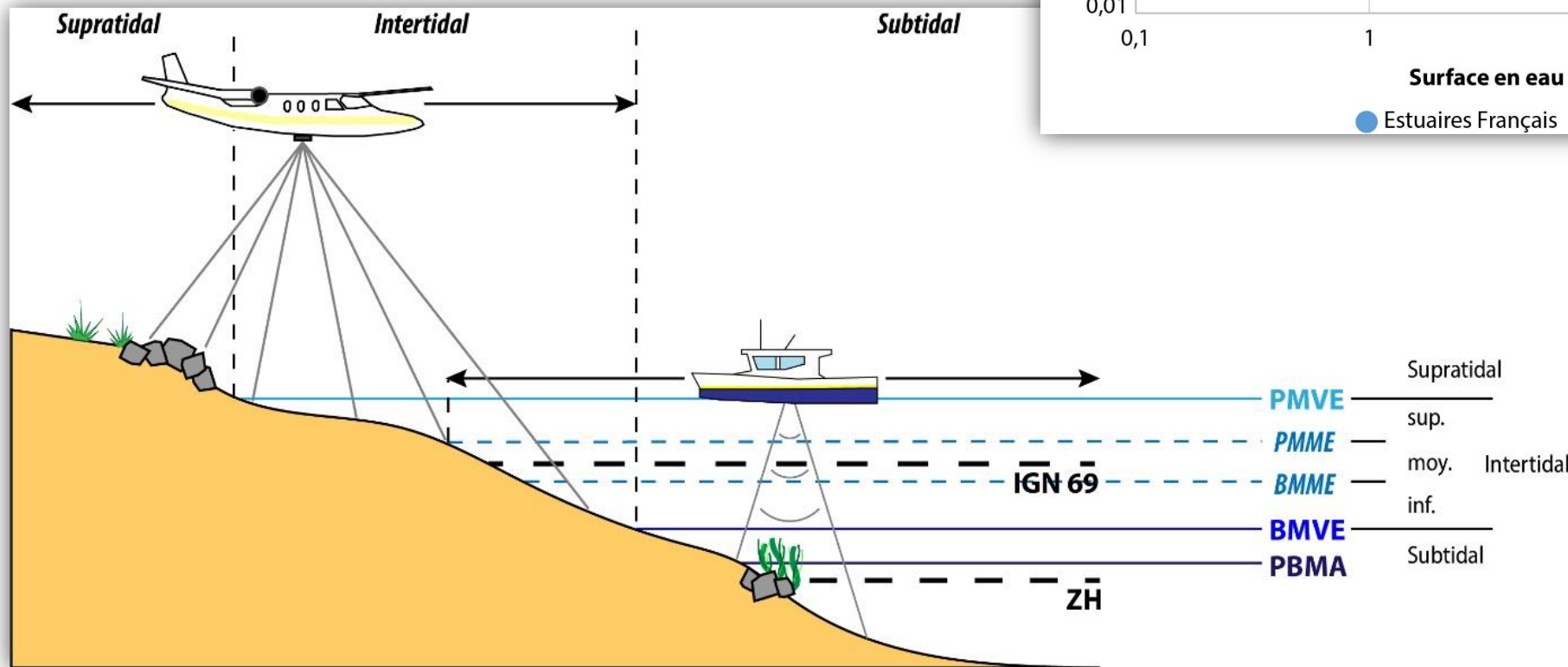



Schéma : V. Foussard, Coordination inter-estuaire
Crédits photos : GIP Seine-Aval

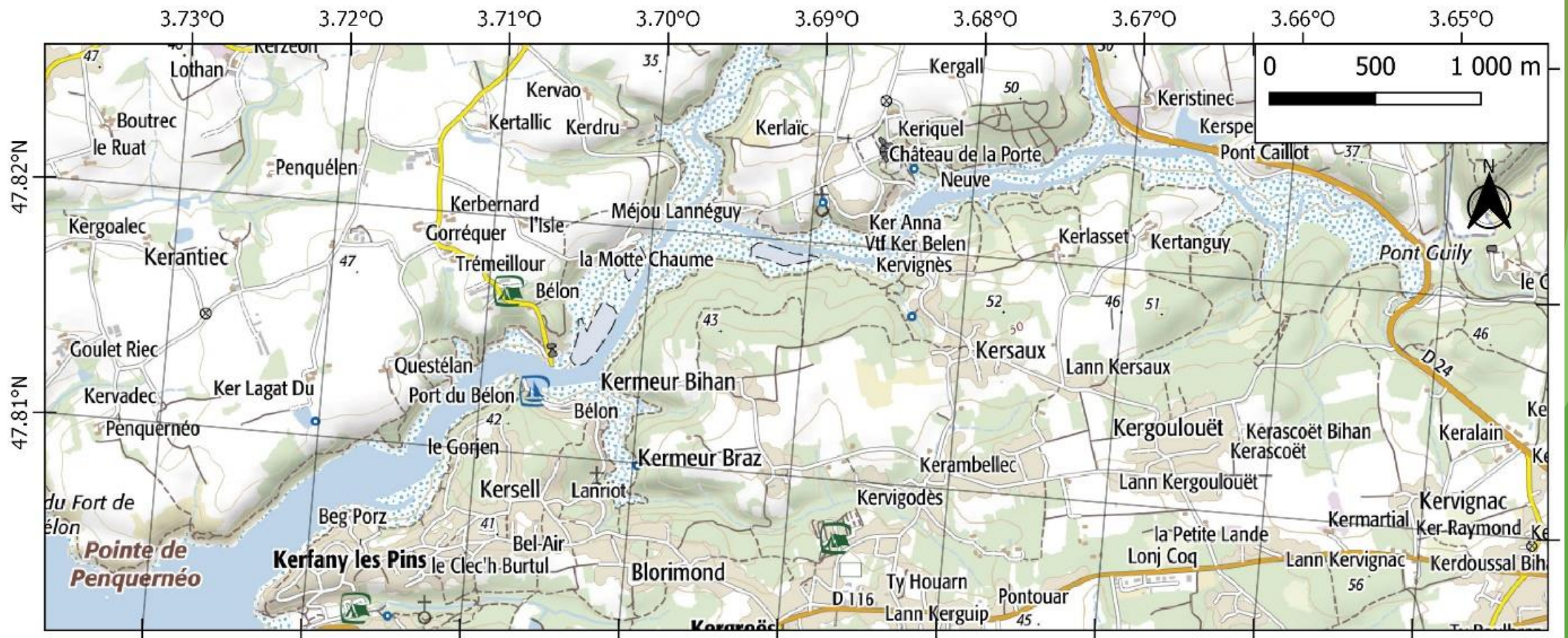
Contexte des sites étudiés

- ▶ **AUPASED** : Etude sur des petits et moyens estuaires
- ▶ Sur des estuaires différenciés d'un point de vue morpho-sédimentaire
- ▶ Sur les domaines intertidaux et subtidaux



Estuaire du Belon

- ▶ Estuaire de type ria – Sud du Massif Armoricain | Influence forte de contexte géologique
- ▶ Surfaces intertidale : 1,34 km² | subtidale : 0,56 km²  ■ Subtidale ■ Intertidale
- ▶ Débits fluviaux moyens : 0,3 et 2,2 m³/s en étiage et crue | 5,5 m marnage VE



Estuaire de l'Orne

► **Embouchure tidale** – Côte du Calvados

► Surface subtidale : 0,7 km²

Surface intertidale : 3,5 km²



■ Subtidale

■ Intertidale

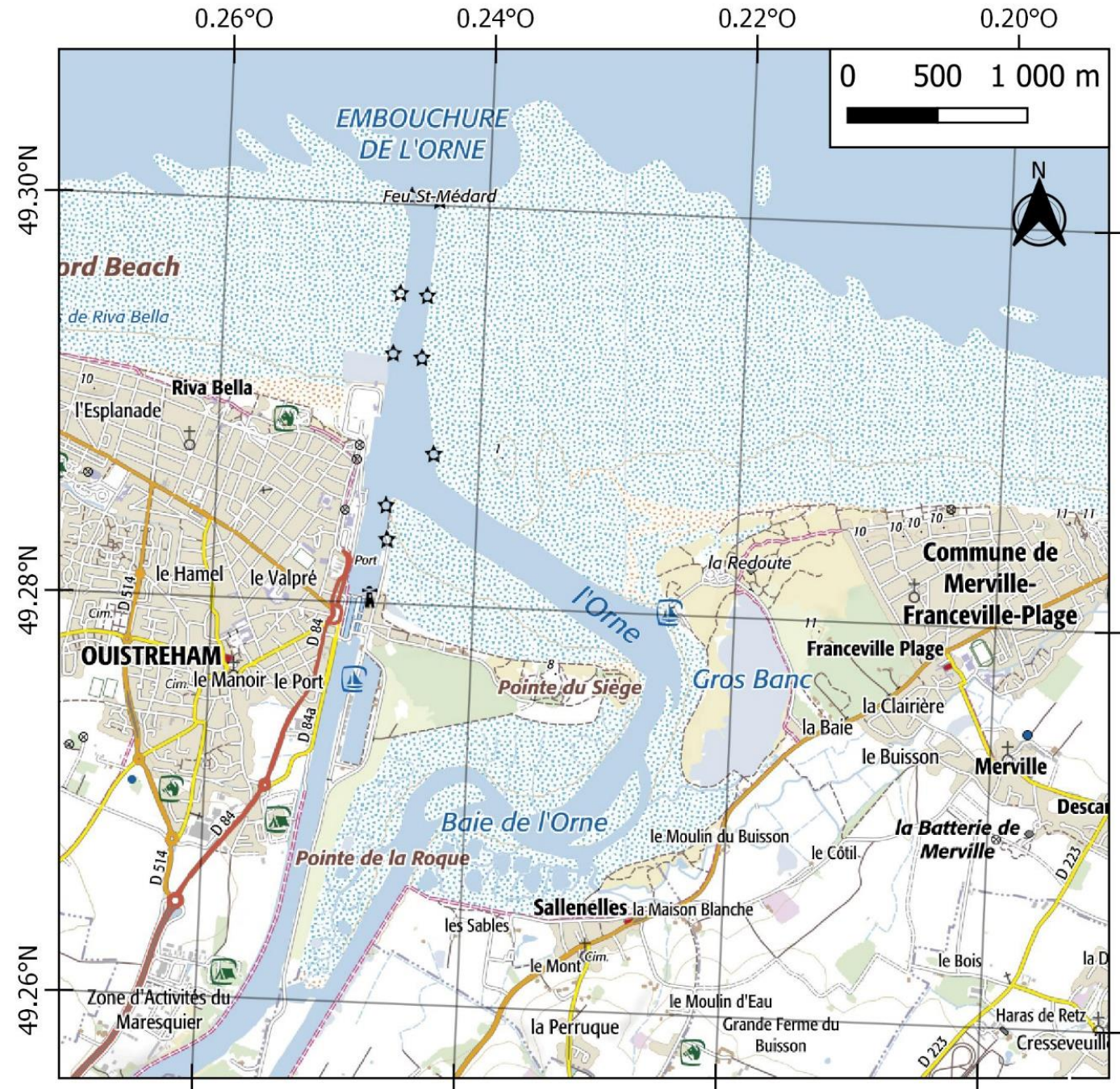
► Débits fluviaux moyens :

3 et 120 m³/s en étiage et crue

► Macrotidal : 6,7 m marnage en VE

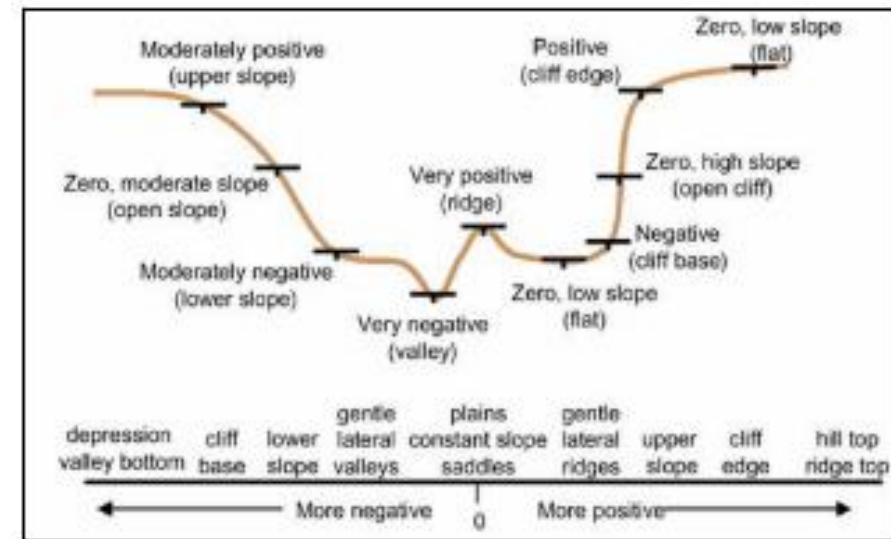
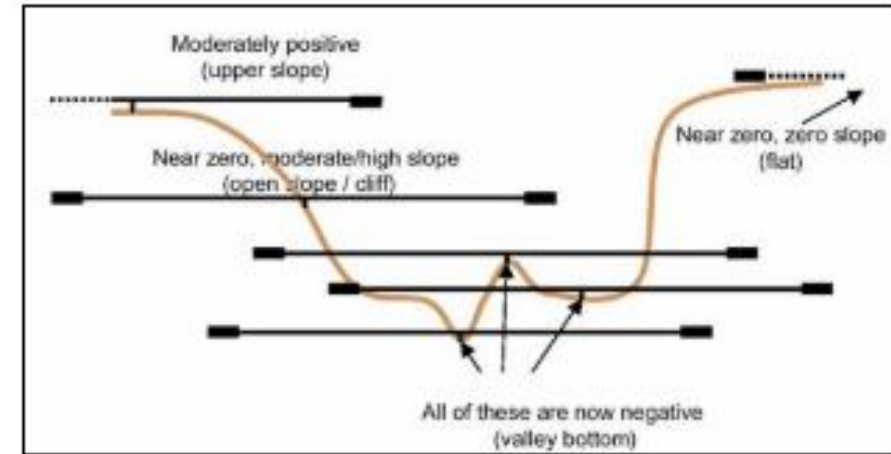
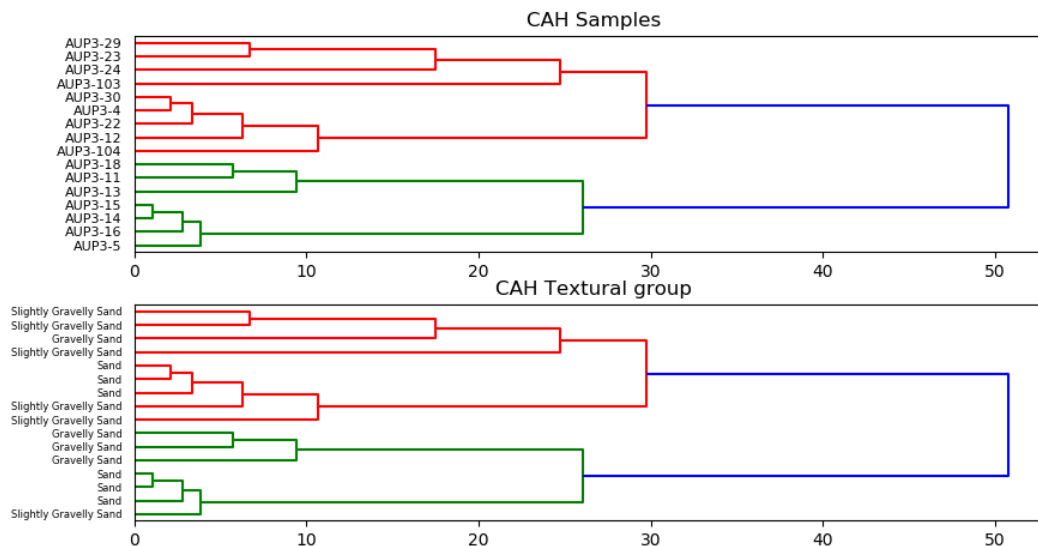
► **Bien étudié :**

LCHF 1976, Dubrulle 1982, Avoine 1992,
SOGREAH 1992, GRESARC 1996 et 2003,
Cador 2005, Pellerin Le Bas 2018...



Méthodes de classifications

- ▶ Différentes méthodes testées (2 retenues) qui sont comparées à une carte manuelle de référence
- ▶ **BPI** (Bathymetric Position Index)
 - ▶ Calcul d'index pour différents rayons de recherche (échelle locale et étendue)
 - ▶ Caractérisation des index sur la base de classeurs de classification
- ▶ **Statistiques**
 - ▶ Principe simple: recherche de relation statistique entre paramètres granulométriques et valeurs de rétrodiffusion (plot 2D, ACP, CAH)



Morphologie par BPI

► Cartographie manuelle

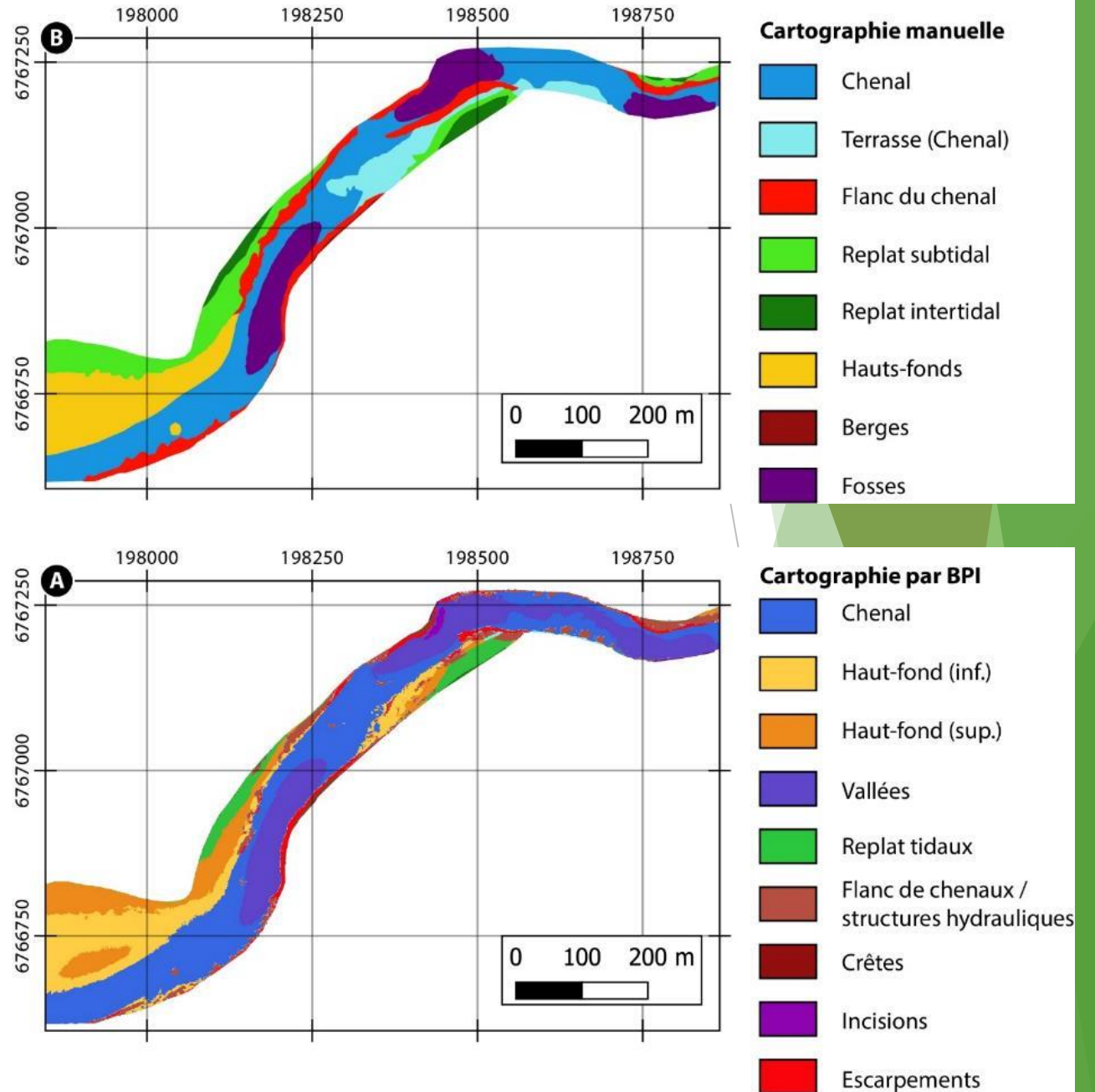
- 8 classes
- Définies sur la base de la bathymétrie et ses dérivées (pente, courbure, index de terrain divers)

► Cartographie automatique par BPI

- **BPI** : Bathymetric Position Index
- 9 classes génériques
- Établies pour différentes échelles de cartographie (large ou localisée)

► Comparaison

- Classes BPI très similaires aux classes manuelles
- BPI > cartographie plus fine des morphologie pour estuaires complexes



Sédimentologie - Statistiques

▶ Cartographie manuelle:

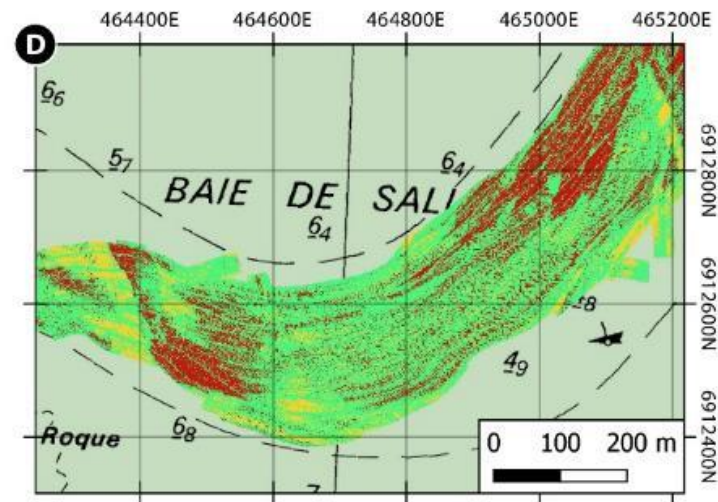
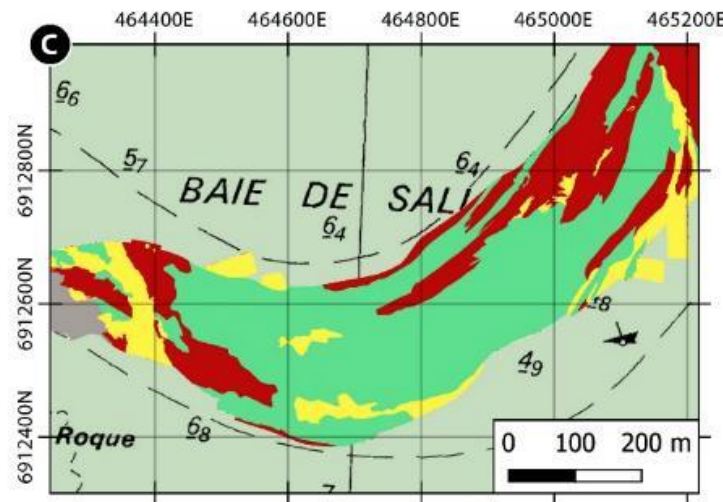
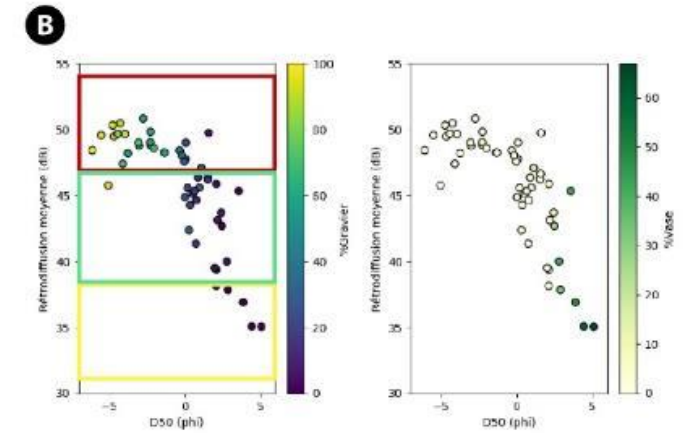
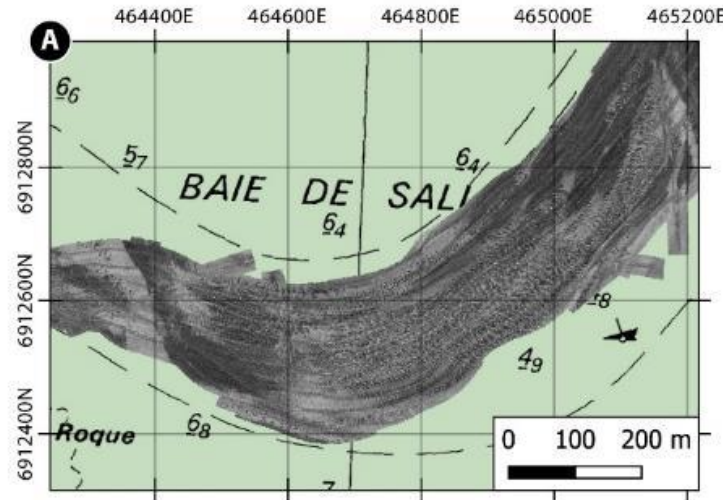
- ▶ 7 classes > 3 classes plus générales

▶ Cartographie automatique approche statistique

- ▶ 3 classes
- ▶ Existence d'une « relation » statistique entre rétrodiffusion (dB) et D50 (phi)

▶ Comparaison

- ▶ Résultats satisfaisant même avec une relation statistique simple et une segmentation basique.
- ▶ Définition des classes auto restreinte à des classes générales (3)
- ▶ **Amélioration:** plus d'échantillons? Meilleure segmentation ?

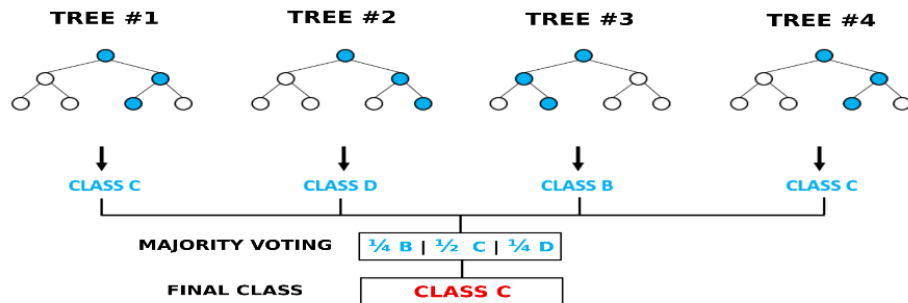


Méthodes de classifications

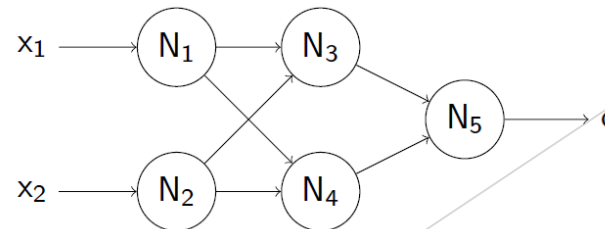
- ▶ Classification supervisée > Phase d'apprentissage
 - ▶ Jeu entraînement > Données labélisées (classées) à la main
 - ▶ Entraînement sur données labélisées
 - ▶ Évaluation avec données sans les labels
- ▶ Satisfaisant > Prédiction sur données non labélisées
- ▶ Algorithmes testés :
Plus proches voisins, SVM, **Random Forest**, **Gradient Boosting**, **Réseaux de neurones**
- ▶ Plusieurs types de données testés :
Photographies aériennes (orthophotos), LiDAR topographique, Imagerie hyperspectrale

} 80%-20% ou 50%-50%

Random Forest et Gradient Boosting



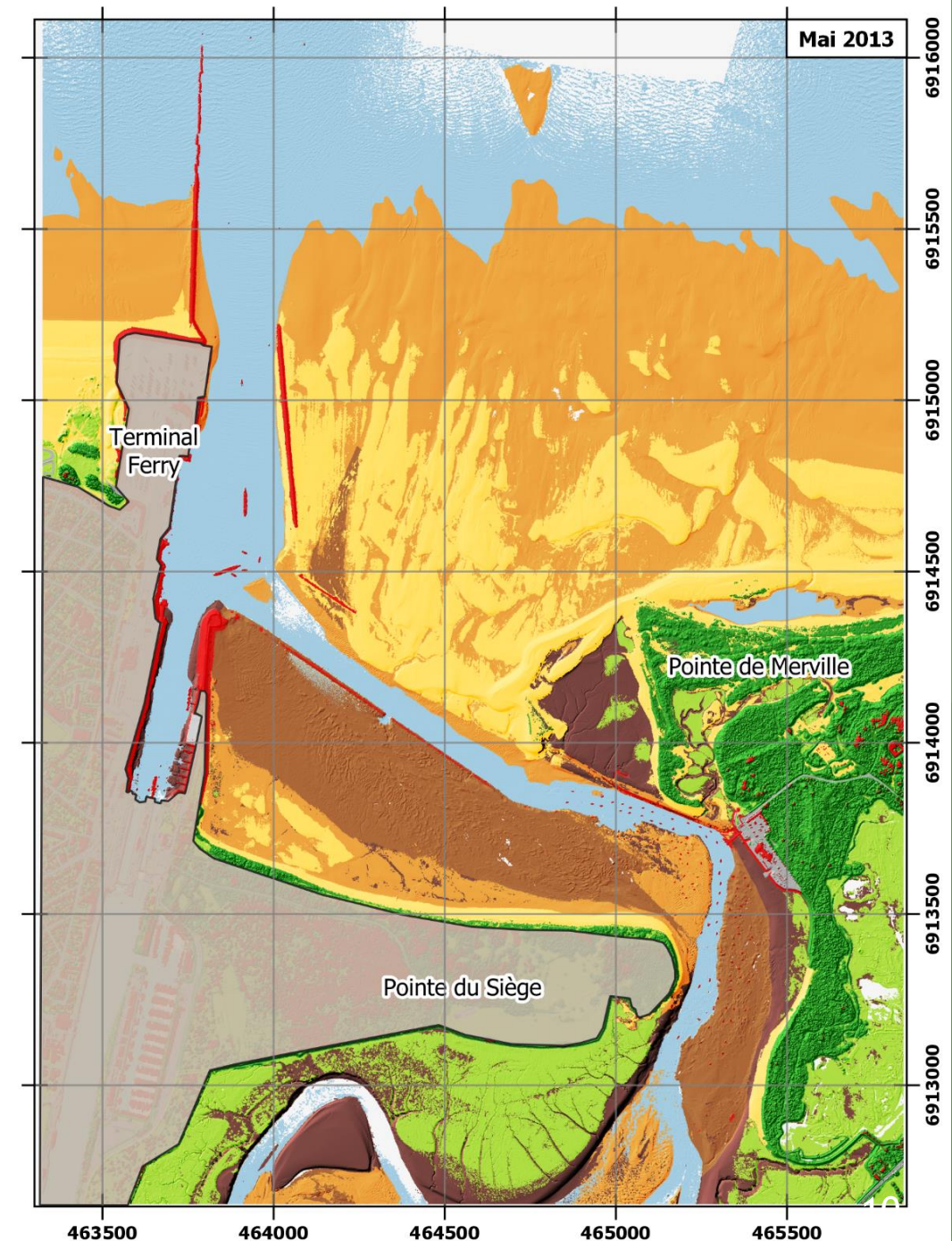
Réseau de neurones



Orne - Intertidal - Manuelle

► Cartographies manuelles (2013 et 2015)

- 9 classes
- LiDAR topographique + Orthophotos
- Utilisation de seuils + interprétations visuelles
- Caractéristiques spectrales
 - Rouge, Vert, Bleu, Teinte, Luminosité, Saturation
 - Intensité retour LiDAR (0, 2 et 5 m)
- Caractéristiques géométriques
 - Planéité, Linéarité, Sphéricité... (2, 5 et 10 m)



Orne - Intertidal - Automatique

► Essais préliminaires (25 kpts)

► Gradient Boosting > Random Forest

GB = version amélioré de RF

► Réseau de neurones très simple

► LiDAR + ortho toujours meilleur

Natures et morphologies

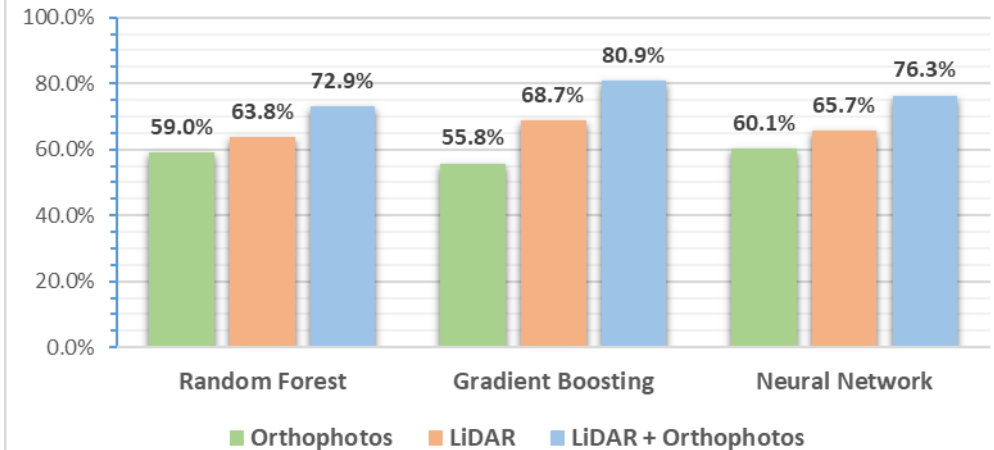
► Prédictions - Estuaire de l'Orne

► Données labélisées < 1% du total

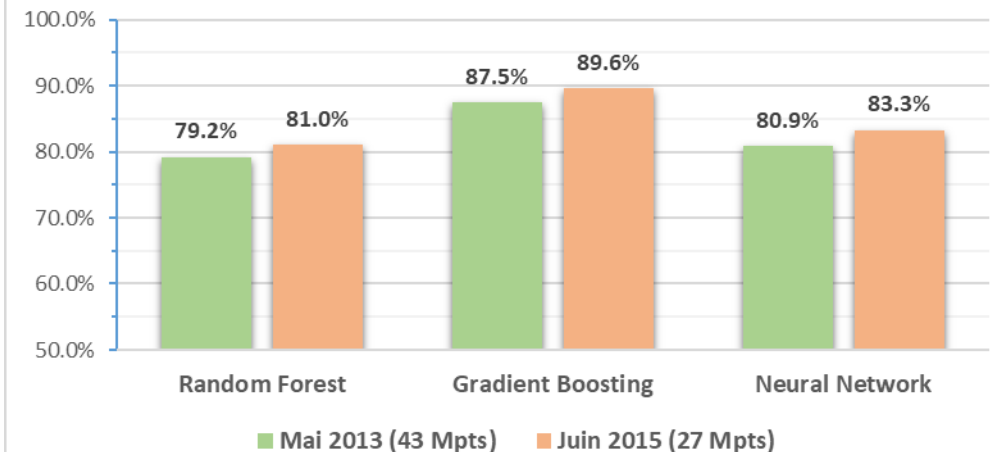
► Entre 85 et 90 % d'exactitude pour GB

(modèles peu optimisés – pour rester généraux)

Précisions globales des modèles en fonction des données utilisées



Performances LiDAR + Orthophotos Orne - mai 2013 et juin 2015



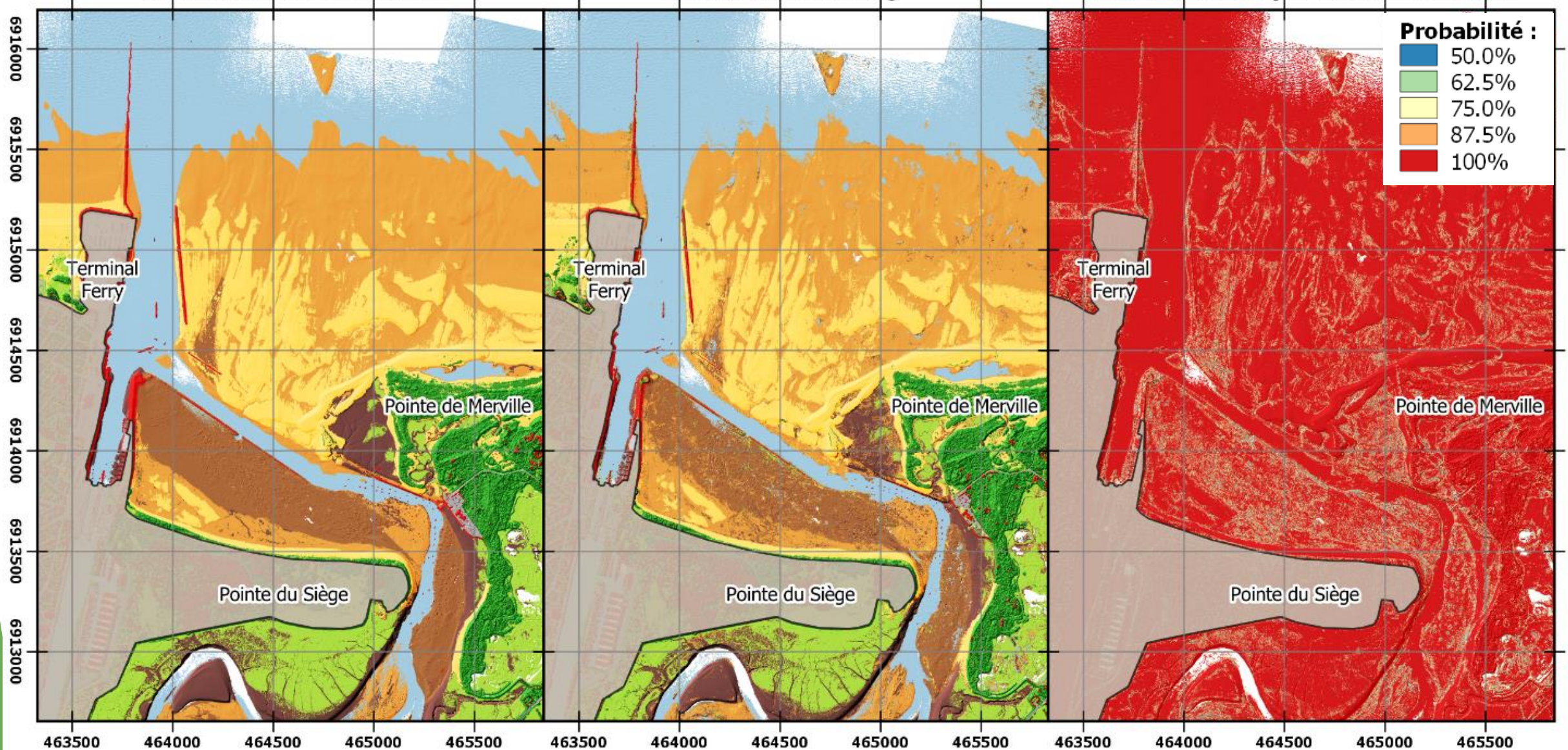
Orne mai 2013 - LiDAR + Orthos

- | | | |
|--|---|---|
|  Eau |  Mélange |  Routes |
|  Sable sec |  Vase |  Végétation basse |
|  Sable humide |  Schorre |  Bâtiments et Végétation haute |

Classification Manuelle

Gradient Boosting

Probabilité de prédiction correcte

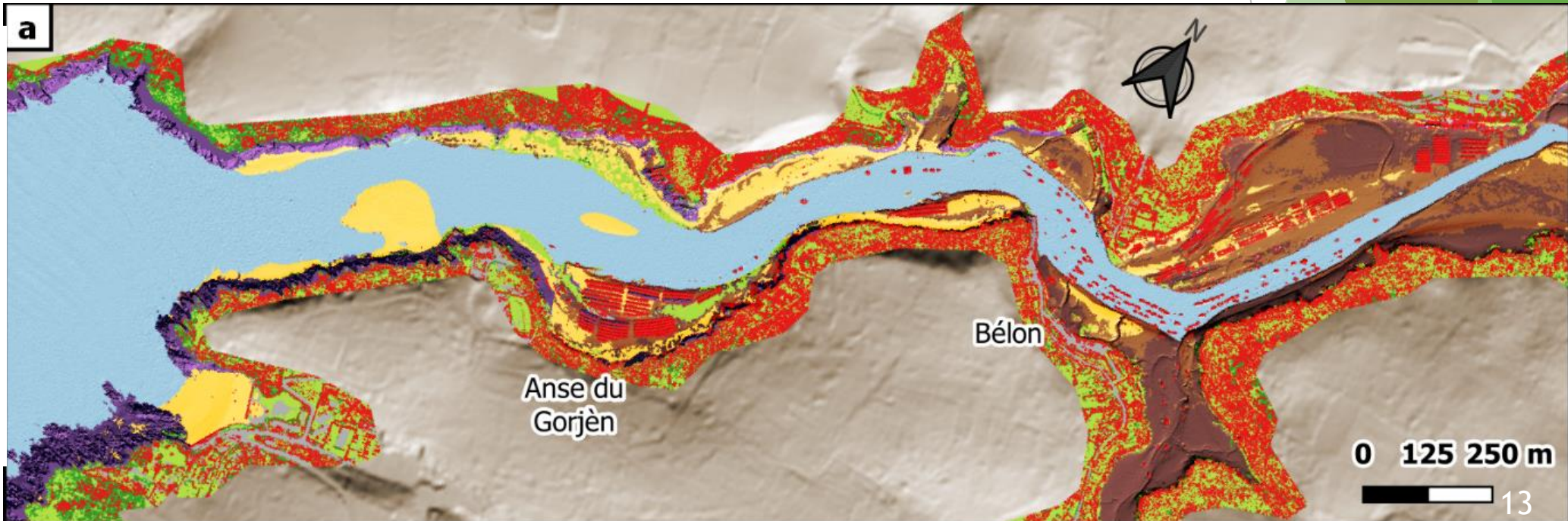


Belon - Intertidal - Manuelle

► Cartographie manuelle (2019)

- 9 classes
- LiDAR topographique + Mosaïque reconstituée
- Utilisation de seuils + interprétations visuelles
- Caractéristiques spectrales
 - Intensité retour LiDAR (0, 2 et 5 m)
- Caractéristiques géométriques
 - Planéité, Linéarité, Sphéricité... (2, 5 et 10 m)

-  Eau
-  Roche
-  Sable
-  Mélange
-  Vase
-  Schorre, algue, champ, prairie
-  Végétation basse
-  Bâtiments et Végétation haute
-  Routes



Belon - Intertidal - Automatique

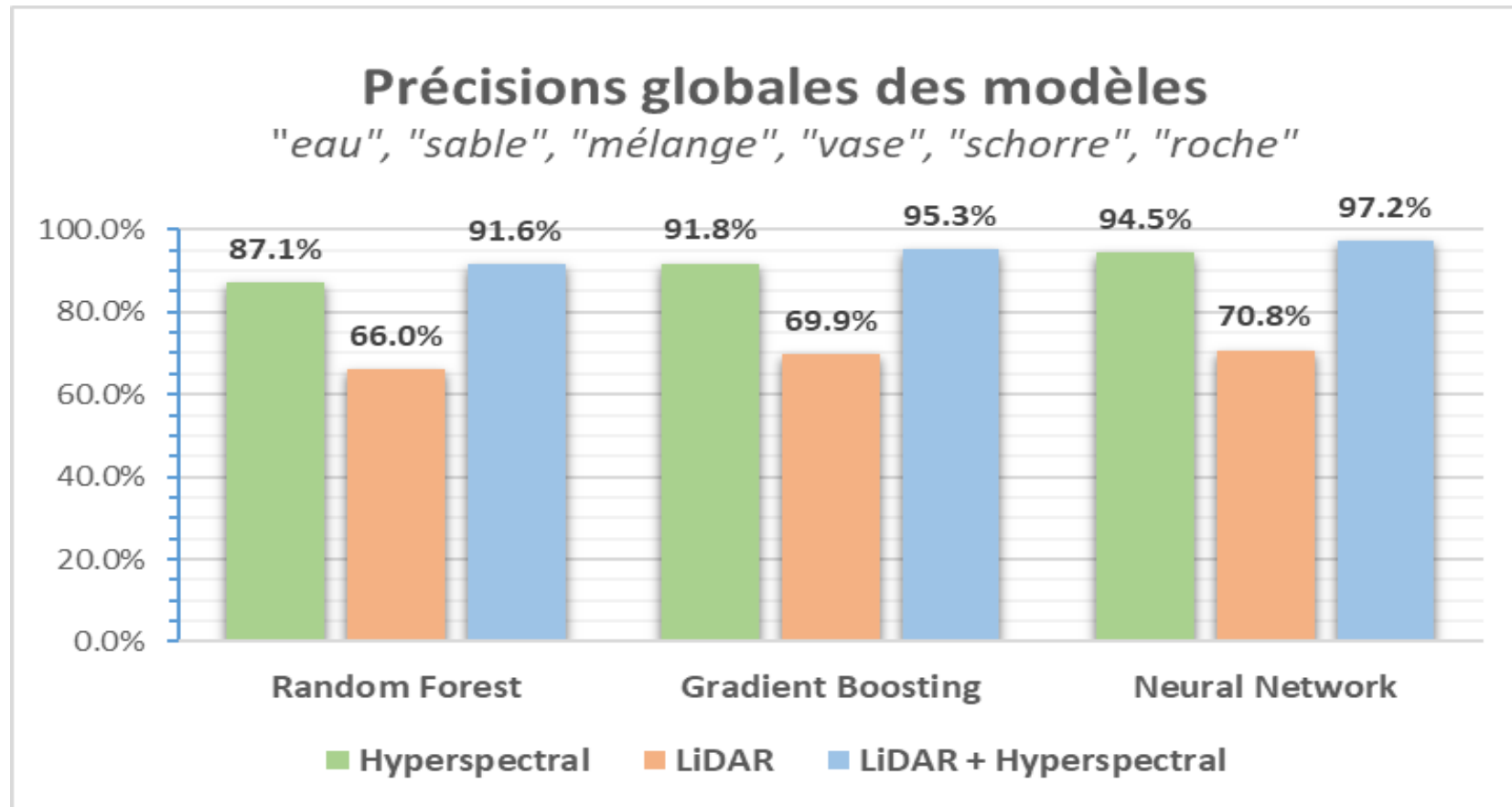
► Essais préliminaires (50 ou 250 kpts)

- Hyperspectral -> entraînements 50 kpts
- Réseau de neurones très simple (97.5%)

► Hyperspectral seul -> très bons résultats

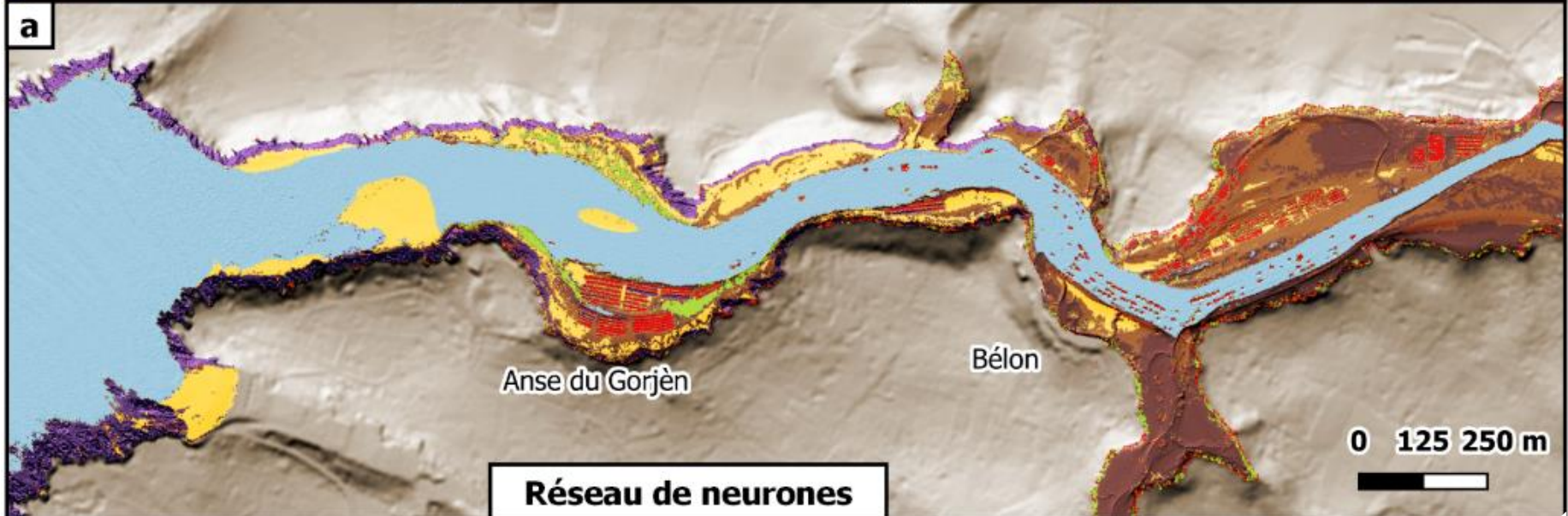
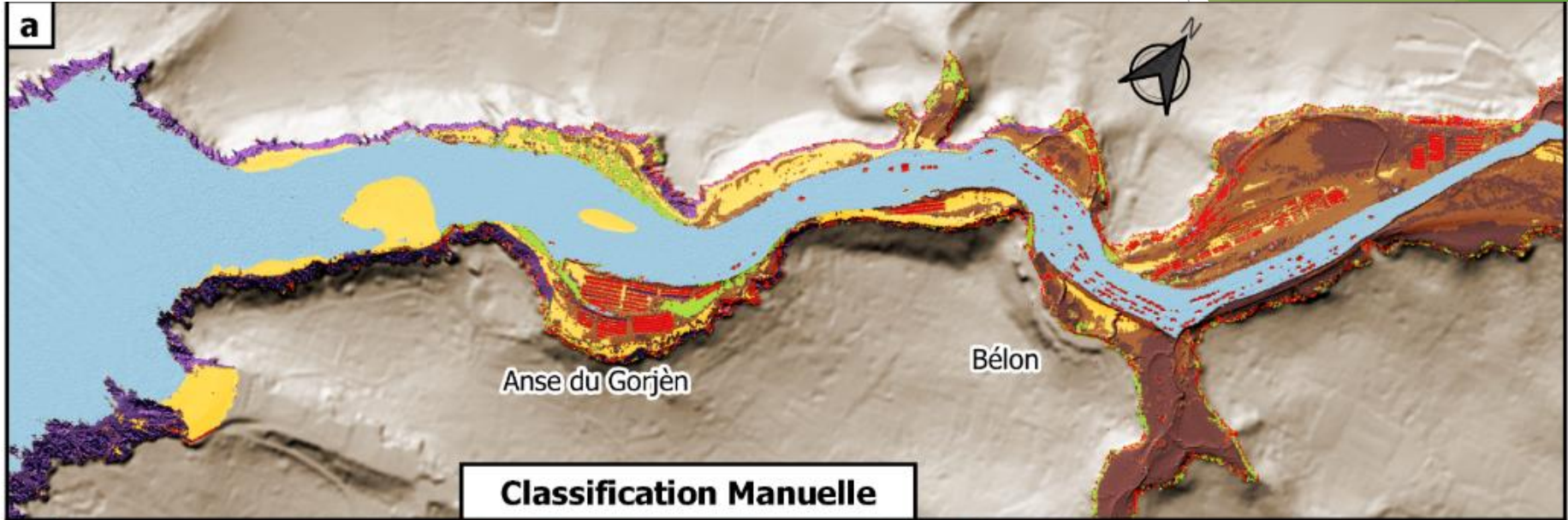
► LiDAR + Hyperspectral toujours meilleur

Natures et morphologies



Belon - Intertidal - LiDAR + Hyperspectral

- Eau
- Roche
- Sable
- Mélange
- Vase
- Schorre, algue, champ, prairie
- Végétation basse
- Bâtiments et Végétation haute
- Routes



Conclusion

Méthodes automatisées de cartographies morpho-sédimentaires :

- ▶ Adaptées à la cartographie **initiale** et **de suivie** (DCE).
- ▶ Dépendant fortement du **type de données** (Imagerie et Topographie).
- ▶ Méthodes généralisables à plusieurs estuaires de même type.

Méthodes puissantes d'aide à la cartographie :

- ▶ Cartographie complète en un jour (3 semaines en manuel).
- ▶ Vérités terrains **nécessaires** (prélèvements, photographies, vidéos).
- ▶ Objectivité accrue : critères de précision, d'exactitude et de reproductibilité.
- ▶ Méthode doit être adaptée aux objectifs et cas d'études.

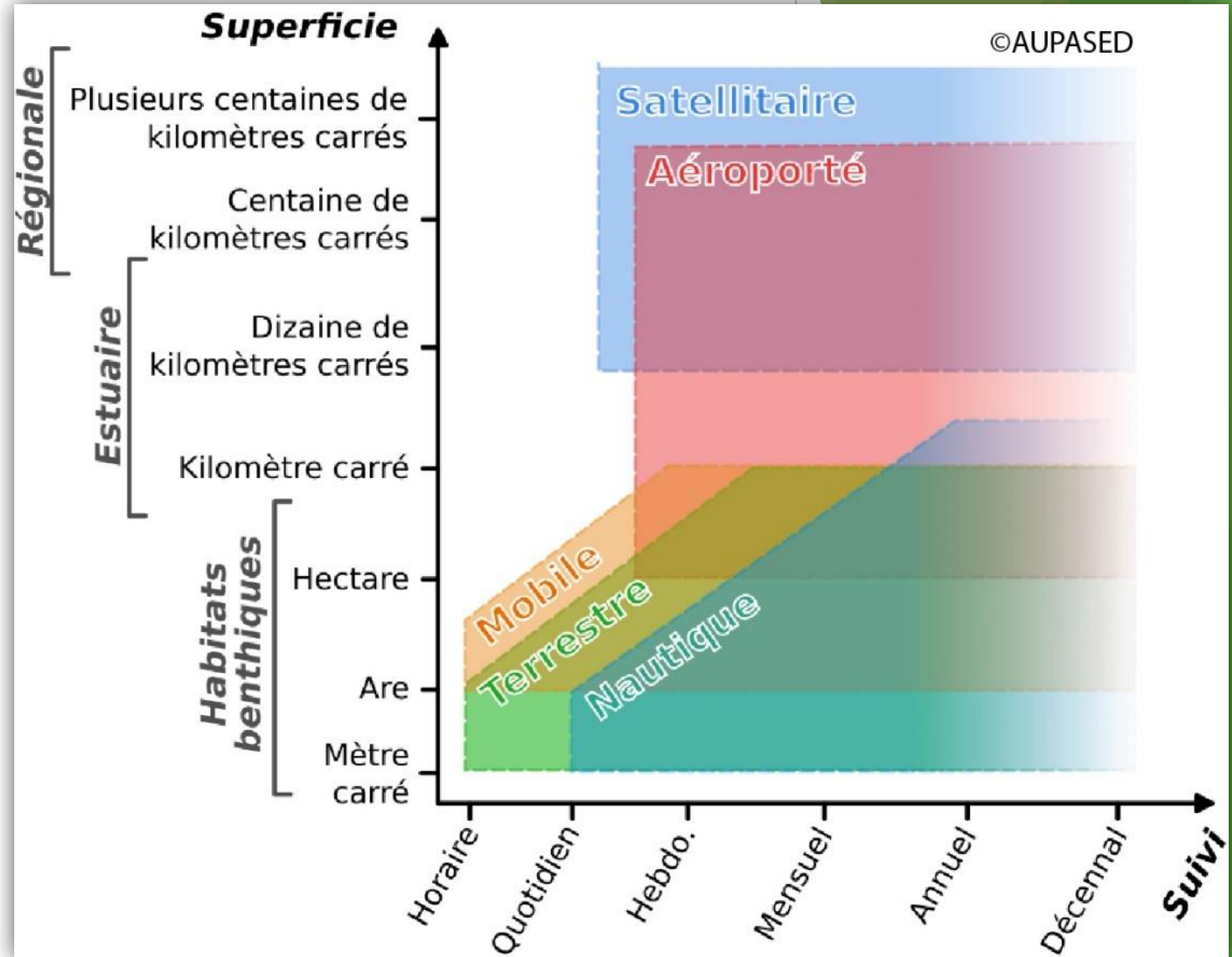
Perspectives

Réponses aux objectifs de la mission inter-estuaire

- ▶ Généralisation à plusieurs estuaires > mise en place de **bases de données**, **classeurs**, **modèles** pour différents types d'estuaires (ria, baie...).

Plateformes

- ▶ **Biblio** : Le nombre d'outils et protocoles pour la cartographie des estuaires varie autant qu'il y a d'études différentes
 - ▶ **Pas de protocole harmonisé pour les estuaires**
- ▶ **Plateformes** : Multitude de supports disponibles permettant de répondre à des objectifs cartographiques précis, fonction de la superficie et de la fréquence d'actualisation
- ▶ **AUPASED** : déploiement de différents capteurs sur deux plateformes:
 - ▶ Aéroportée
 - ▶ Nautique



Sédimentologie - Statistiques - Belon

▶ Cartographie manuelle:

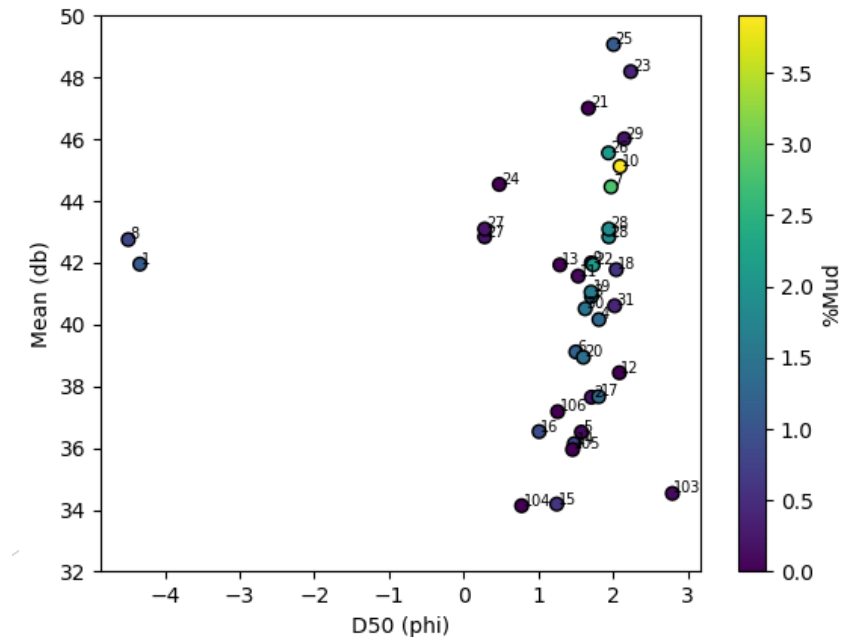
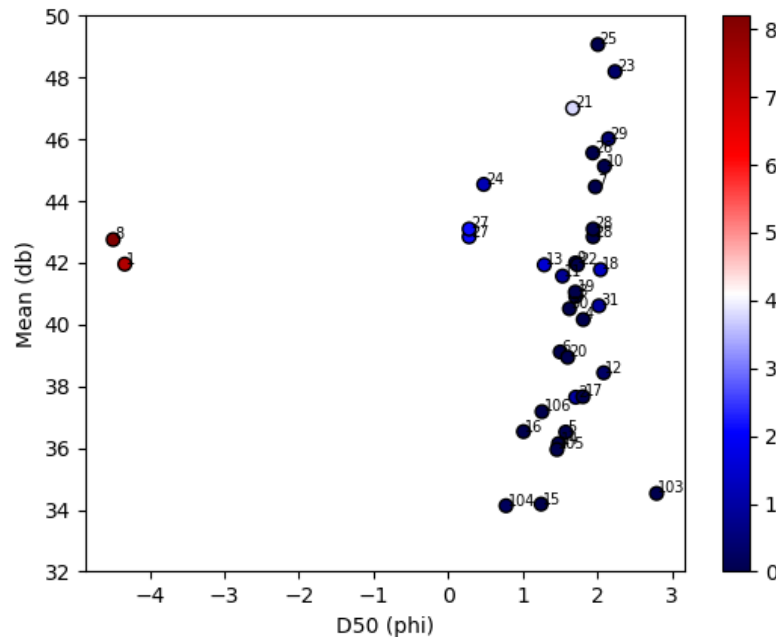
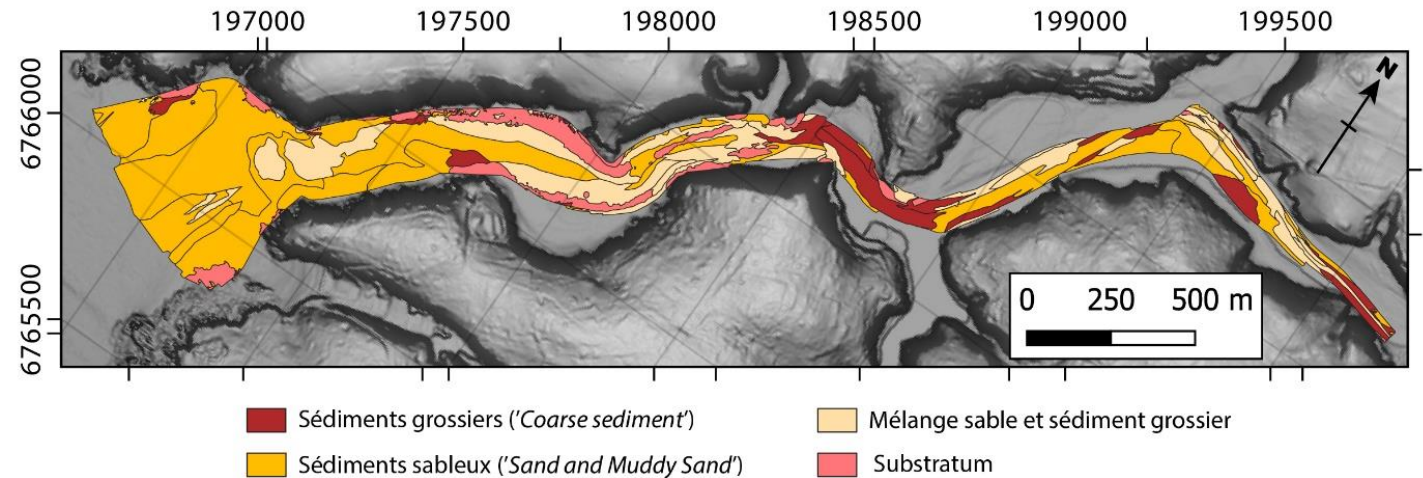
- ▶ 3 classes générales

▶ Cartographie automatique approche statistique

- ▶ 3 classes
- ▶ Aucune relation statistique établie malgré une recherche poussée (ACP, CAH, etc.)

▶ Comparaison

- ▶ Résultats non satisfaisant
- ▶ L'approche statistique ne semble pas convenir aux estuaires complexes
- ▶ **Amélioration:** davantage d'échantillons et données permettant de découpler l'impact de la morphologie



Belon - Intertidal - LiDAR + Hyperspectral

Valeurs Prédites									
Valeurs Cibles	Bélon 2019 1 207 154 pts	Eau	Sable	Mélange	Vase	Schorre	Bâtiment et Vég. haute	Roche	Rappel
	Eau	414 916	1 067	5	766	11	100	2 186	99.0%
	Sable	284	95 242	428	1 502	60	38	2 213	95.5%
	Mélange	6	818	122 510	98	20	362	238	98.8%
	Vase	530	1 311	440	300 047	1 172	820	1 539	98.1%
	Schorre	40	945	222	4 648	104 588	40	2 398	92.7%
	Bâtiment et Vég. haute	758	289	578	2 267	13	19 359	1 769	77.3%
	Roche	627	1 065	179	798	521	715	116 606	96.8%
	Précision	99.5%	94.5%	98.5%	96.8%	98.3%	90.3%	91.9%	97.2%

Belon - Intertidal - LiDAR + Hyperspectral

- Eau
- Roche
- Sable
- Mélange
- Vase
- Schorre, algue, champ, prairie
- Végétation basse
- Bâtiments et Végétation haute
- Routes

