



SEMANTIC TS



Bureau d'études en Environnement Océanographie Acoustique

# Segmentation des fonds marins par Deep Learning

**Claire NOEL**

Docteur & Ingénieur  
Directeur scientifique

Simon MARCHETTI

Jean-Marc TEMMOS  
Éric BAUER

Lionel PIBRE

Jérôme PASQUET  
Vincent DOUZAL



Claire NOEL  
Directeur Scientifique



Simon MARCHETTI  
Responsable Régulation et



Jean-Marc TEMMOS  
Directeur



Eric BAUER  
Responsable Mission et Matériel





SEMANTIC TS



Bureau d'études en Environnement Océanographie Acoustique

## Segmentation des fonds marins par Deep Learning

Projet RAPID-DGA ADELE  
Acoustic DEep LEarning

Système de détection de changement des fonds marins basé sur l'apprentissage profond des signaux acoustiques issus de multi-capteurs sonars

Le projet ADELE ambitionne de fournir de nouvelles technologies permettant **d'optimiser la détection d'objets immergés** grâce à une **meilleure segmentation** des fonds marins.

# Bureau d'Études en Océanographie Acoustique

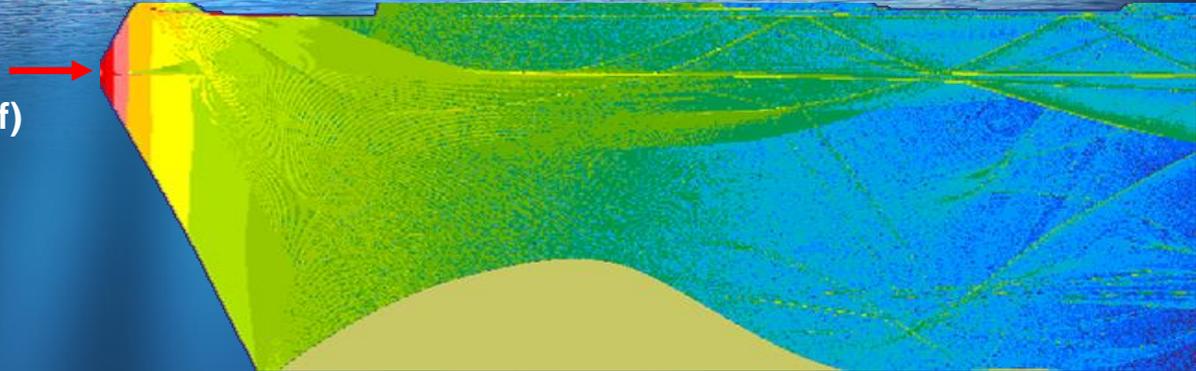
L'équipe de SEMANTIC TS  
des professionnels de la technique et de la mer...



**SEMANTIC TS – Sanary (Var)**    Docteur-Ingénieurs Opérateurs sonars Pilotes et plongeurs PRO  
Modélisation... Traitement du signal... Instrumentation... Logiciels... Mesures in-situ ... depuis 1993

# Bureau d'Études en Océanographie Acoustique

Utilise le son  
(émission = actif)  
pour inférer  
le milieu marin.



Spécialisé en Acoustique Sous-marine et en Traitement du Signal



Défense



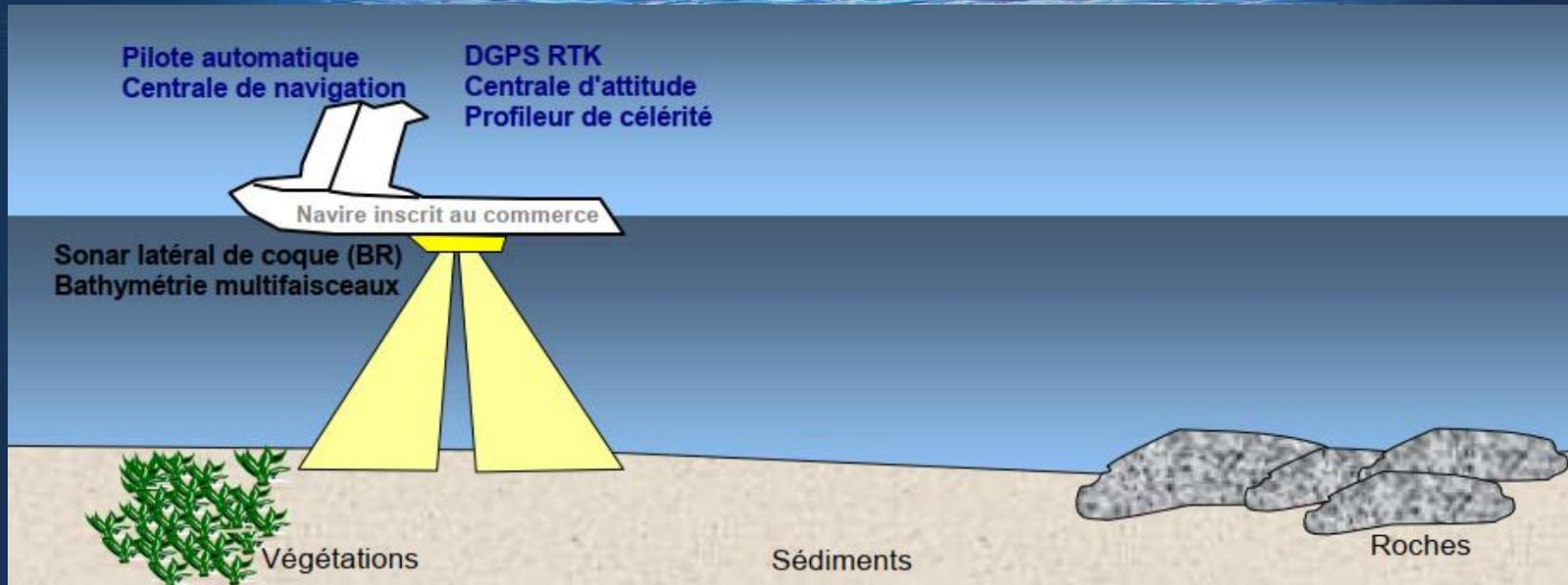
Civil & Environnement



Infrastructures Privées

Expression d'un besoin commun de monitoring

# Monitoring acoustique de l'environnement

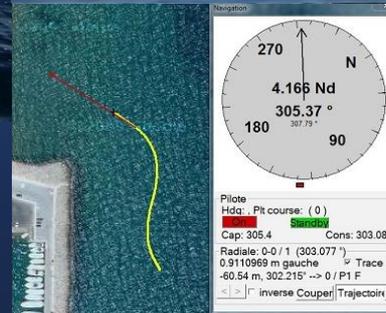


- Petites unités océanographiques dédiées
- Side scan sonar et interféromètre → **imagerie sonar et topographie fine**

# Plate-formes légères pour l'acquisition multi-capteurs

Mise au point d'un N. O. spécialement dédié aux sondages des fonds marins

Mini Navire Océanographique



# Moyens pour l'acquisition des data exploitées dans ADELE

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|   | Centrale Attitude :<br>2 GPS RTK<br>couplés à une<br>Centrale Inertielle   |  | <br>Centrale de navigation<br>Centrale d'acquisition  |
|  |  |  | <b>Le SEMANTIC :</b><br>Navire de Charge<br>4 <sup>e</sup> cat. Professionnelle<br>Charge utile : 1000 kg<br>Tirant d'eau : 30 cm<br>Longueur : 6.40 m<br>Moteur : 135 CV<br>Puissance : 1kW (24/24) |
|   | Senseurs acoustiques<br>Mono faisceau Simrad ES 60<br>Interféromètre Geoaswath+<br>Capteur célérité Valeport<br>Profileur de célérité Valeport P |  | <b>Gabarit Routier<br/>Automobile</b><br>   |

Positionnement dynamique précis du navire

→ Centrale d'attitude inertielle CODA Octopus couplée à 2 GPS RTK centimétriques

Utilisation de sonars de nouvelle génération → ping rate élevé → haute résolution

# Acquisition & fusion multi-capteurs



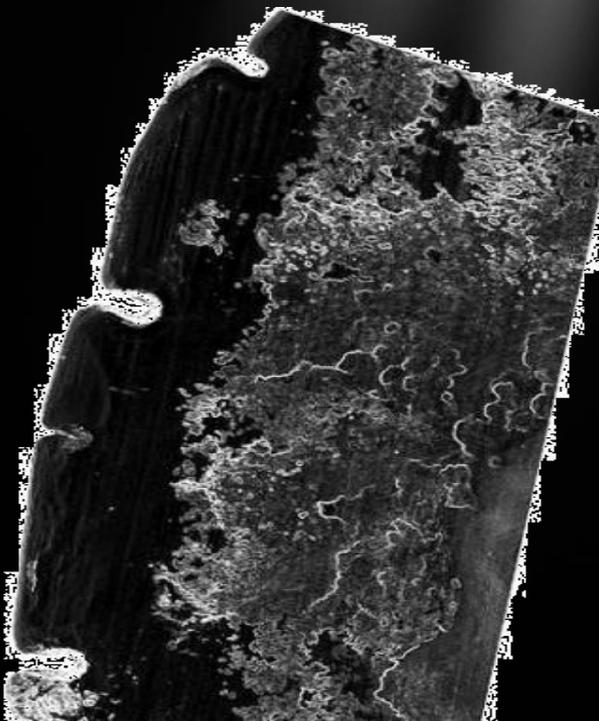
**Développement d'un logiciel « Chef d'orchestre »** : son rôle : cadencer les mesures : acquisitions, communications, enregistrements

**Développement d'un SIG spécifique** intégrant

- le traitement des différentes données acoustiques
- le géo-référencement, avec même base-temps
- la fusion des informations acoustiques, de positionnement et d'attitude

Données :  
Haute Résolution  
Haute précision

Rugosité bathymétrique



Bathymétrie  
Topographie 3D du fond



Imagerie  
Sonar latéral



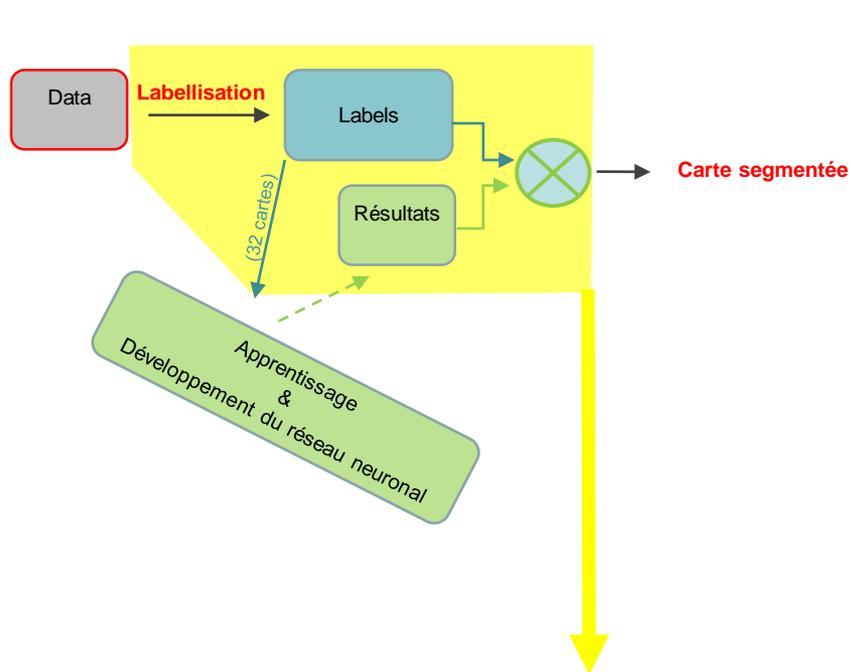
Données acquises

# # 7 ans de données

| DATE | NOM                          | TIF BATHY                           | TIF SONAR                           |
|------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2015 | SteMaxime_Croisette          | 566.00m x 792.50m @ 0.25m x 0.25m   | 561.00m x 791.75m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2015 | SteMaxime_Garonette          | 463.50m x 477.00m @ 0.25m x 0.25m   | 463.50m x 474.25m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2015 | SteMaxime_Nartelle           | 945.00m x 1067.00m @ 0.25m x 0.25m  | 945.25m x 1067.25m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2015 | SteMaxime_StHilaire          | 290.00m x 227.50m @ 0.25m x 0.25m   | 289.75m x 226.75m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2016 | SteMaxime_NartelleSud        | 504.50m x 448.50m @ 0.25m x 0.25m   | 502.50m x 448.25m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2016 | SteMaxime_PortBaie           | 1324.50m x 630.50m @ 0.25m x 0.25m  | 1324.50m x 630.25m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2017 | BaiePampelonne_Herbiers      | 1503.00m x 2598.50m @ 0.25m x 0.25m | 1488.75m x 2508.00m @ 0.25m x 0.25m |
| 2017 | Cannes_Croisette             | 1023.00m x 478.75m @ 0.25m x 0.25m  | 1022.75m x 478.50m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2017 | Cannes_DiguePort             | 840.75m x 466.50m @ 0.25m x 0.25m   | 841.00m x 467.00m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2017 | CotiChiavari_Portigliolo     | 509.75m x 469.75m @ 0.25m x 0.25m   | 508.75m x 469.00m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2017 | Hyeres_Bona                  | 408.75m x 1004.50m @ 0.25m x 0.25m  | 408.50m x 1004.25m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2017 | Hyeres_Capte                 | 210.00m x 546.25m @ 0.25m x 0.25m   | 209.75m x 546.25m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2017 | Hyeres_Gare                  | 202.50m x 229.75m @ 0.25m x 0.25m   | 202.25m x 229.50m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2017 | Lecci_BaieSaintCyprien       | 531.50m x 1046.25m @ 0.25m x 0.25m  | 537.00m x 1046.50m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2017 | StRaphael_PlageVeillat       | 382.00m x 314.25m @ 0.25m x 0.25m   | 385.25m x 314.25m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2017 | StRaphael_PortSantaLucia     | 1074.50m x 1094.25m @ 0.25m x 0.25m | 1054.00m x 1059.50m @ 0.25m x 0.25m |
| 2018 | Cannes_Croisette             | 1021.50m x 478.75m @ 0.25m x 0.25m  | 1021.50m x 478.75m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2018 | Menton_PlagesS1S2            | 1369.50m x 1286.00m @ 0.25m x 0.25m | 1340.75m x 1246.25m @ 0.25m x 0.25m |
| 2018 | Menton_PlagesS3              | 501.50m x 560.50m @ 0.25m x 0.25m   | 480.00m x 608.00m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2018 | Roquebrune_Plages            | 643.50m x 1144.00m @ 0.25m x 0.25m  | 672.00m x 1184.00m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2019 | Hyeres_Bona                  | 448.00m x 1088.00m @ 0.25m x 0.25m  | 448.00m x 1088.00m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2019 | Hyeres_Canalisation          | 4171.50m x 2653.00m @ 0.25m x 0.25m | 4170.50m x 2653.00m @ 0.25m x 0.25m |
| 2019 | Hyeres_Capte                 | 210.00m x 546.25m @ 0.25m x 0.25m   | 209.50m x 546.25m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2019 | Hyeres_Gare                  | 200.00m x 226.25m @ 0.25m x 0.25m   | 199.50m x 226.00m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2019 | Marseille_ParcBalneairePrado | 860.50m x 700.00m @ 0.25m x 0.25m   | 858.50m x 699.75m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2019 | SaintCyr_Emissaire           | 1165.50m x 923.00m @ 0.25m x 0.25m  | 1165.25m x 922.75m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2019 | SaintLaurent_Port            | 1735.50m x 698.00m @ 0.25m x 0.25m  | 1735.00m x 697.50m @ 0.25m x 0.25m  |
| 2019 | StTropez_Cimetiere           | 189.75m x 249.25m @ 0.25m x 0.25m   | 167.50m x 199.00m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2019 | Theoules_ParcMarin           | 2624.00m x 4032.00m @ 0.50m x 0.50m | 2624.00m x 4000.00m @ 0.25m x 0.25m |
| 2019 | Theoules_Port                | 303.25m x 191.75m @ 0.25m x 0.25m   | 301.50m x 191.75m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2020 | Hyeres_LittoralCeinturon     | 985.50m x 1417.50m @ 0.25m x 0.25m  | 643.00m x 835.25m @ 0.25m x 0.25m   |
| 2020 | LaSeyne_BaieSablette         | False                               | 525.75m x 1547.50m @ 0.25m x 0.25m  |



# Objectifs : Carte segmentée des fonds marins dédiée à la GDM et au suivi environnemental

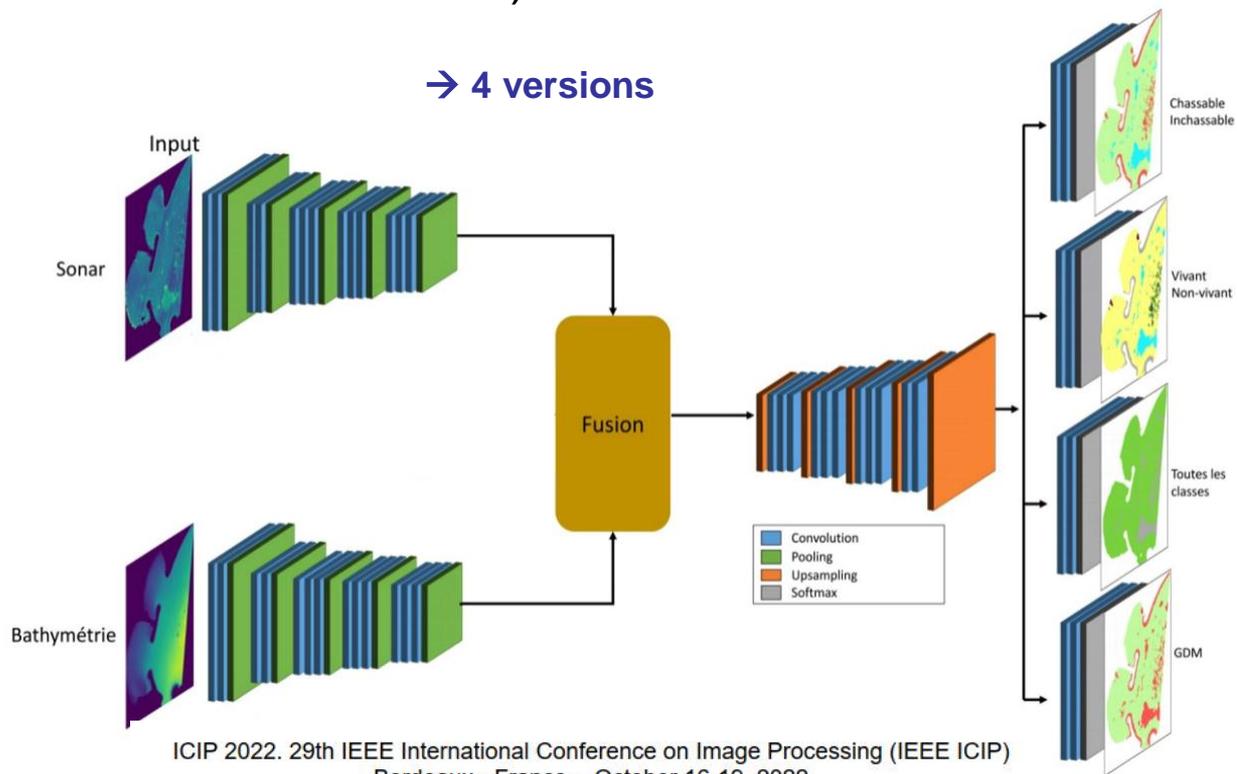


Cette présentation se focalise sur les aspects suivants :

- **Labellisation**
- **Expertise cartographie acoustique** des fonds marins
- **Cercle vertueux Experts IA – Experts sonaristes** milieu marin



# → Développement du Réseau de Neurones (CF Conférence ICIP Oct 2022)



## NEW ACTIVE LEARNING APPROACH FOR SEABED SEGMENTATION

*Lionel Pibre<sup>++†</sup> Jérôme Pasquet<sup>++†</sup> Vincent Douzal<sup>†</sup> Claire Noël<sup>\*</sup>*

<sup>+</sup>AMIS, Université de Montpellier 3, Montpellier, France

<sup>†</sup>TETIS - Inrae, AgroParisTech, Cirad, CNRS, Univ. Montpellier, Montpellier, France

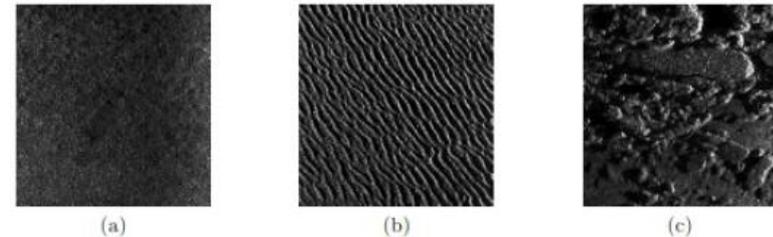
<sup>\*</sup> Semantic TS, Sanary-sur-Mer, France



# Analyse des données par rapport aux enjeux GDM & Environnement

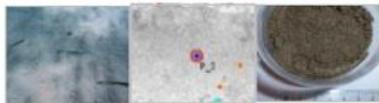
Classification selon les 3 grandes catégories de fonds marins impactant de manière distinctes les performances d'une chaîne ATR (Automatic Target Recognition)

| Code | Classe / Libellé | Couleur |
|------|------------------|---------|
| 1    | Homogène         | Vert    |
| 2    | Anisotrope       | Bleu    |
| 3    | Complexe         | Rouge   |

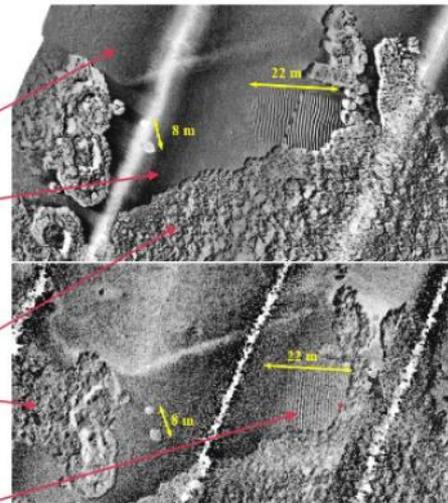
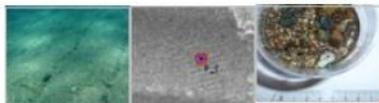
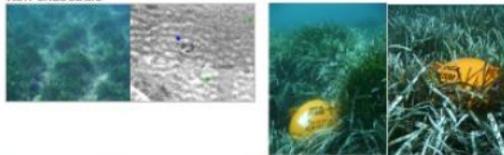


Exemple d'un fond homogène (a) - anisotrope (b) - complexe (c) (Extrait de [Picard 2017])

Chassable



Non chassable



# Enjeux / environnement

9 classes d'habitat

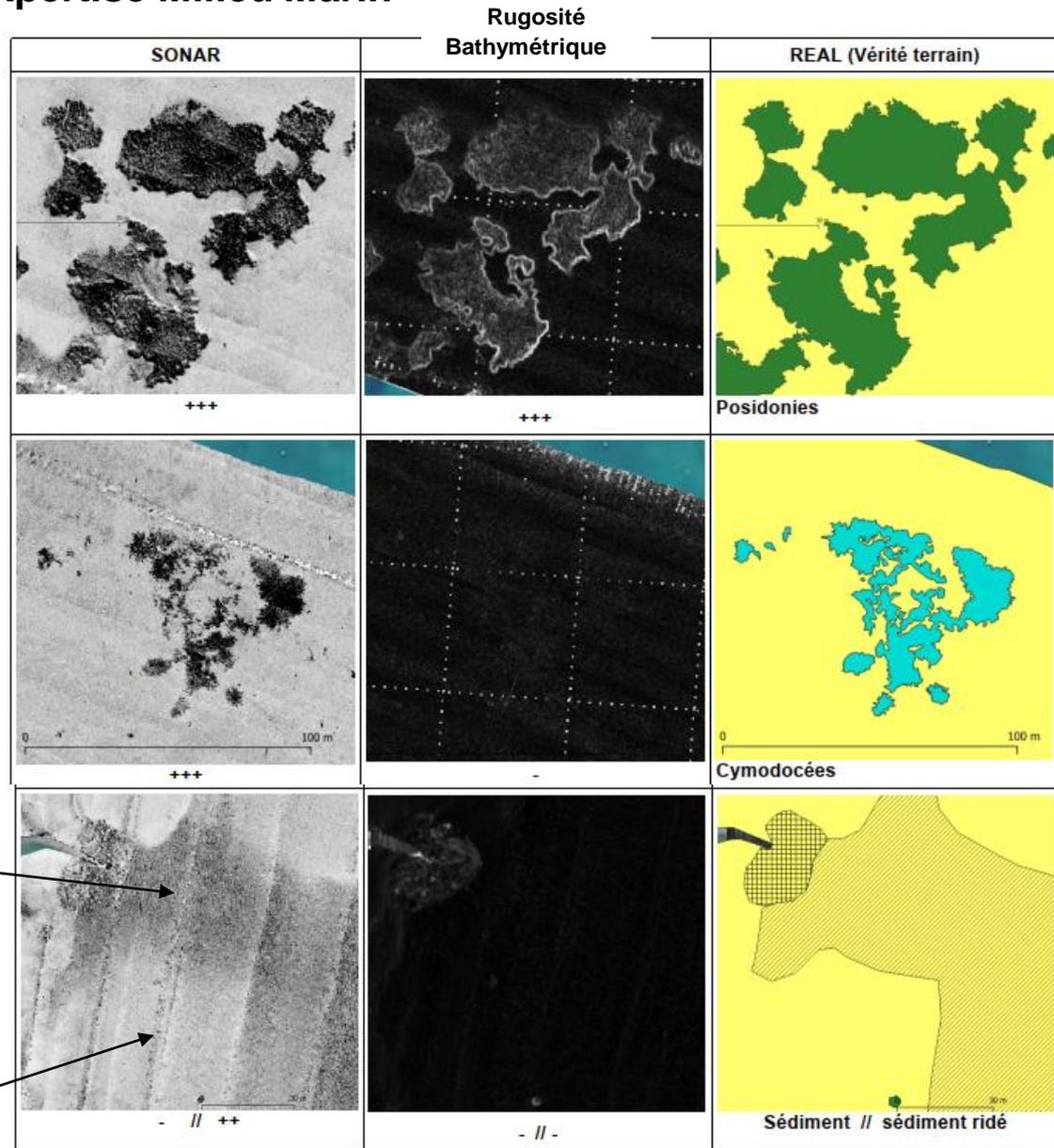
| Libellé          | Code REAL | Code GDM<br>1-Homogene<br>2-Anisotrope<br>3-Complexe | Code LIFE |
|------------------|-----------|--|-----------|
| Posidonie        | 0         | 3  | 1         |
| Enrochement      | 1         | 3  | 0         |
| Matte            | 2         | 3  | 1         |
| Anthropique      | 3         | 3  | 0         |
| Cymodocee        | 4         | 3  | 1         |
| Sediment         | 5         | 1  | 0         |
|                  |           | 1  | 0         |
|                  |           | 1  | 0         |
| Roche            | 6         | 3  | 0         |
| BlocGaletGravier | 7         | 3  | 0         |
| SedimentRide     | 8         | 2  | 0         |



## Spécifications / labellisation

Bilan:  
9 classes ENV  
3 classes GDM

# Analyse des données & Expertise Milieu Marin

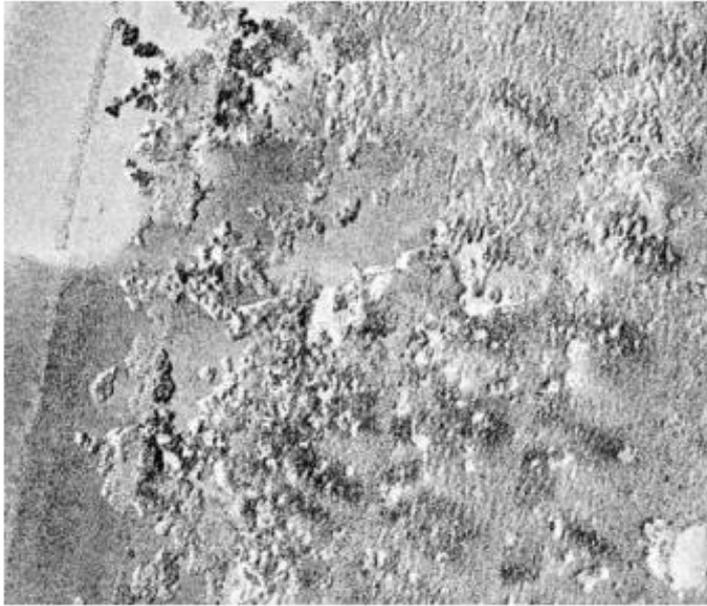


Forte signature sur SONAR & BATHY

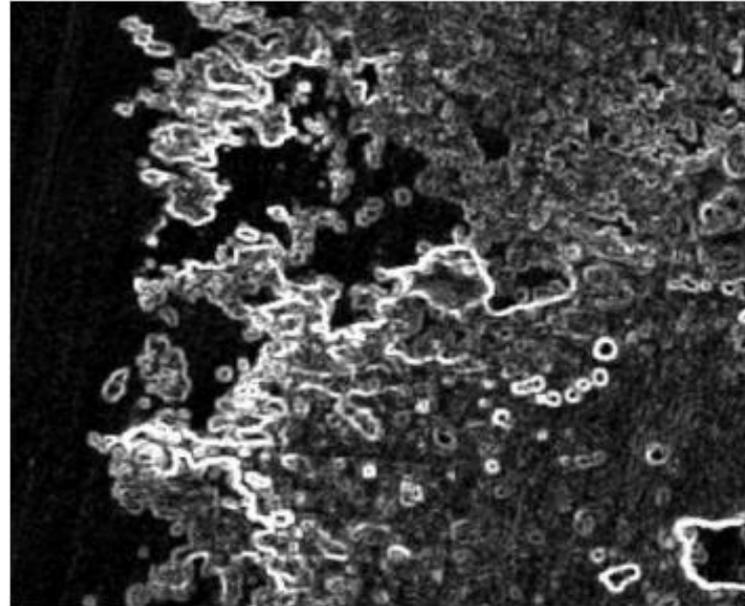
Forte signature sur SONAR

++ ou - forte signature sur SONAR

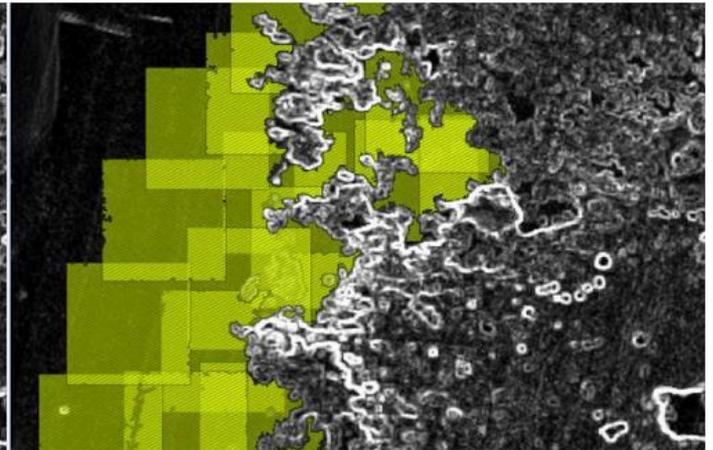
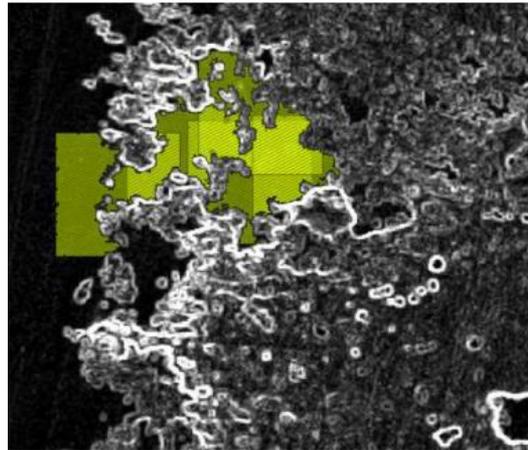
# Outil de segmentation pour la labellisation



Imagerie sonal



Rugosité



# Développement outils de visualisation des vidéos géo-référencées en post traitement sur un jeu de données bathymétriques et sonar latéral



Figure 22 : Système ENO SEMANTIC



Figure 23 : Système tracté de vidéo sous-marine géo-référencée

# Développement outils de visualisation des vidéos géo-référencées en post traitement sur un jeu de données bathymétriques et sonar latéral

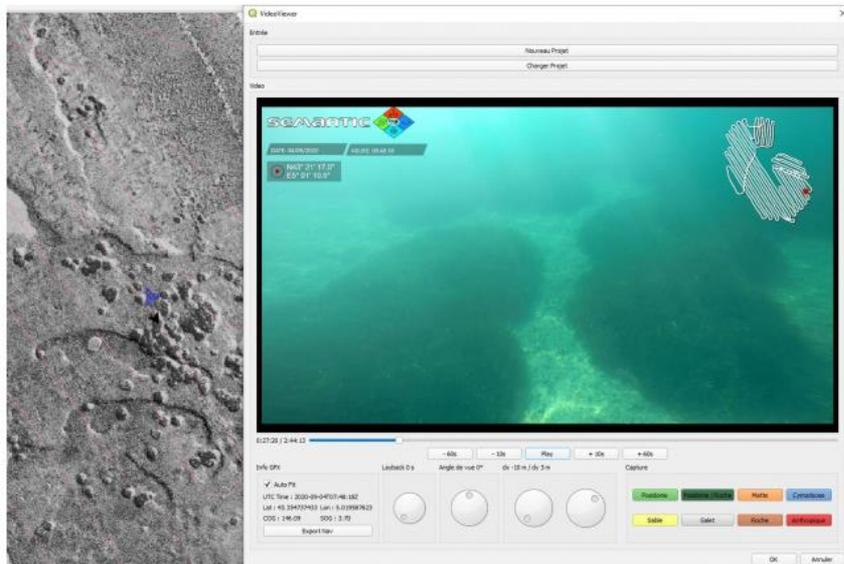
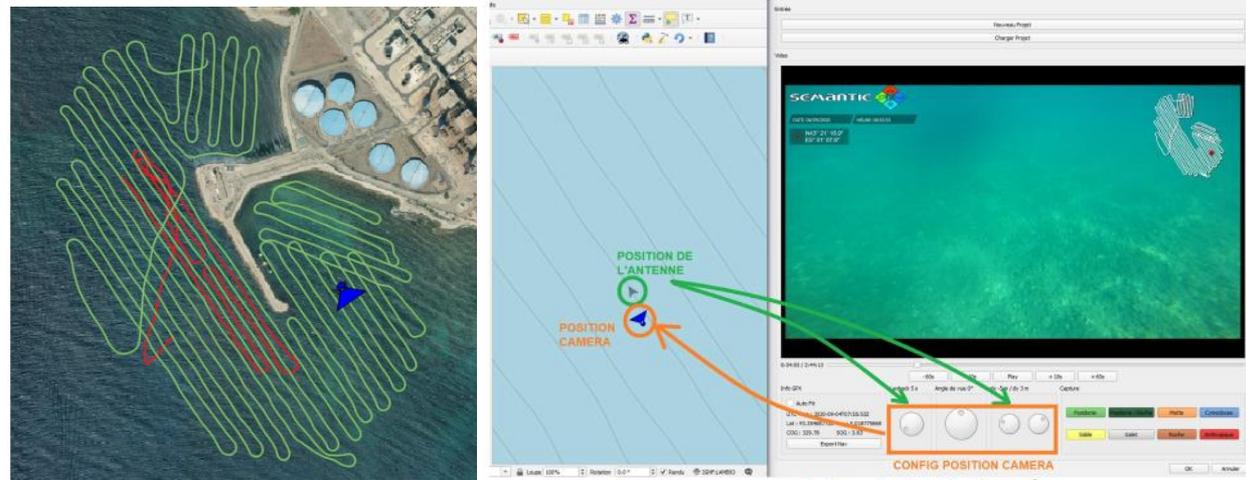


Illustration des vidéos géoréférencées sur la zone d'herbier

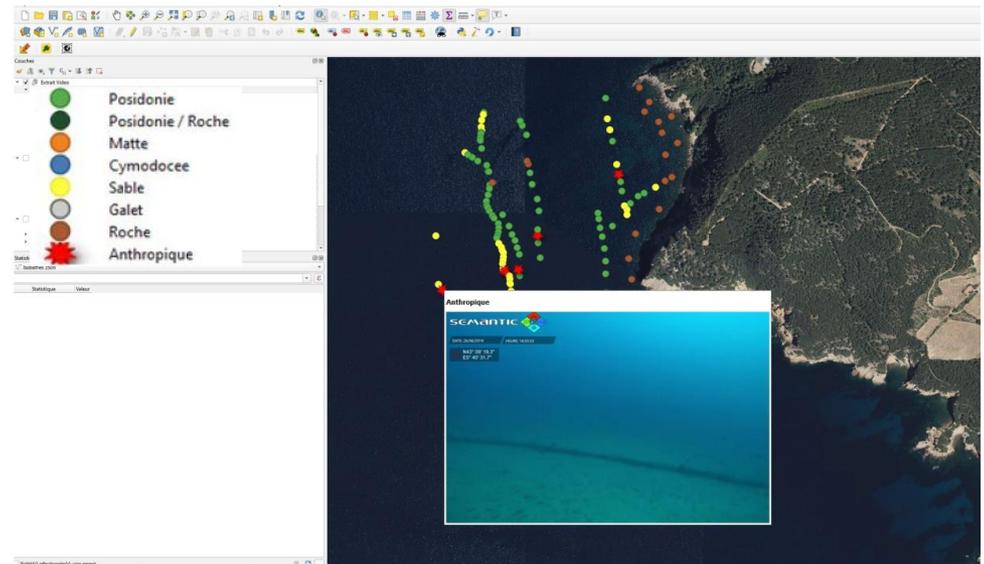
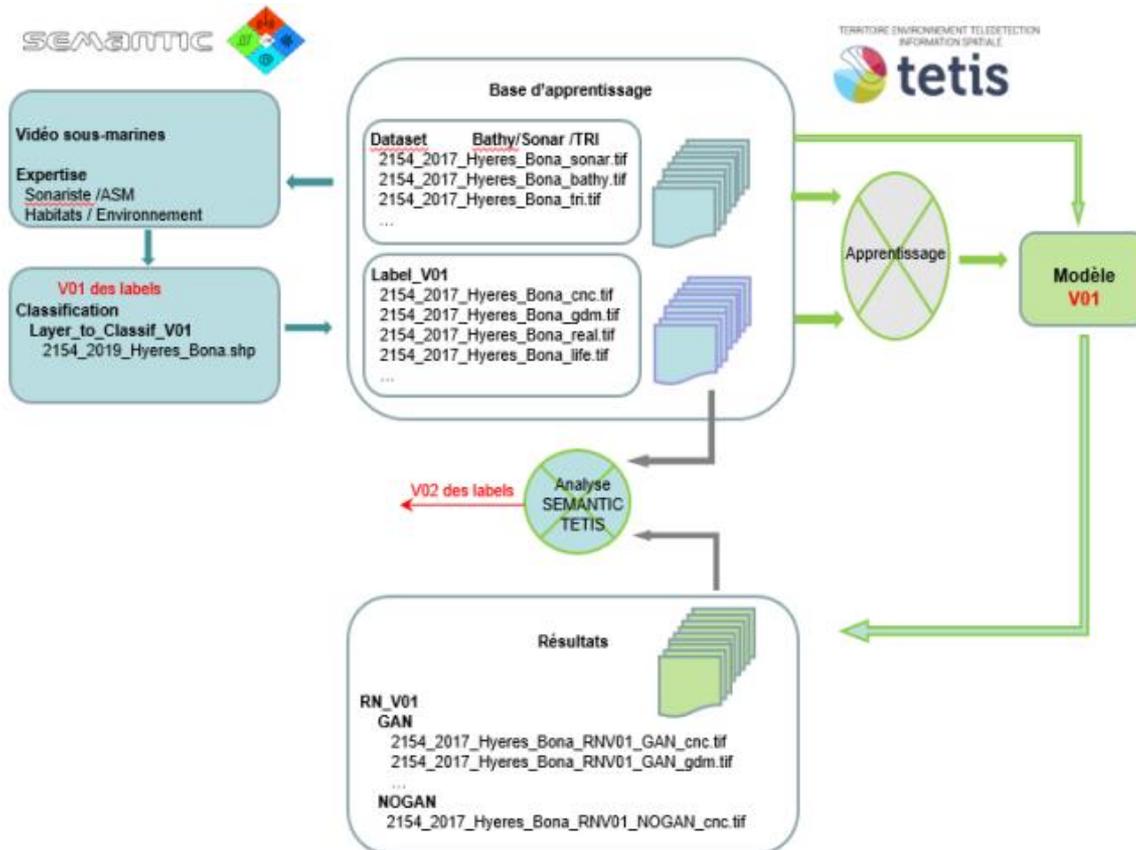


Illustration de points de labellisation par observation vidéo et report cartographique

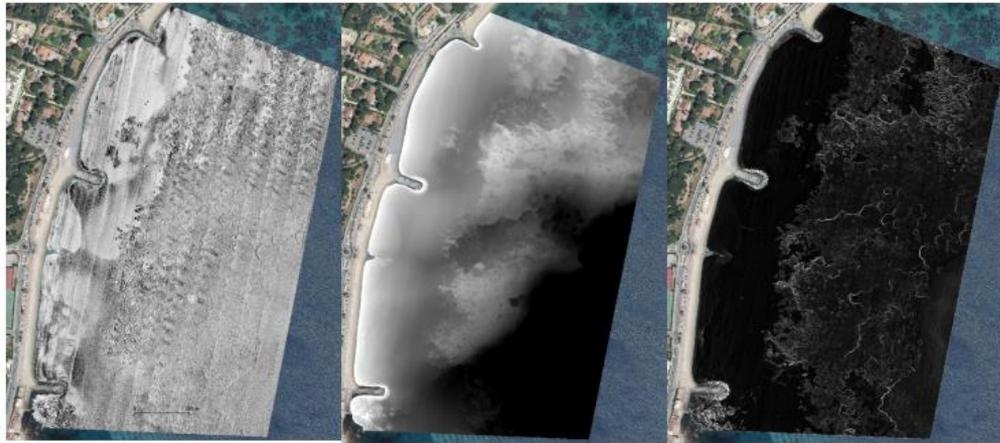
Le protocole d'alimentation des réseaux de neurones a été établi sur la boucle vertueuse suivante :

Labellisation Version n → Analyse résultats du RN → Labellisation Version n +1

flux de données relatifs à l'alimentation du RN après la V01 de la labellisation



# Labellisation



SONAR

BATHY

TRI

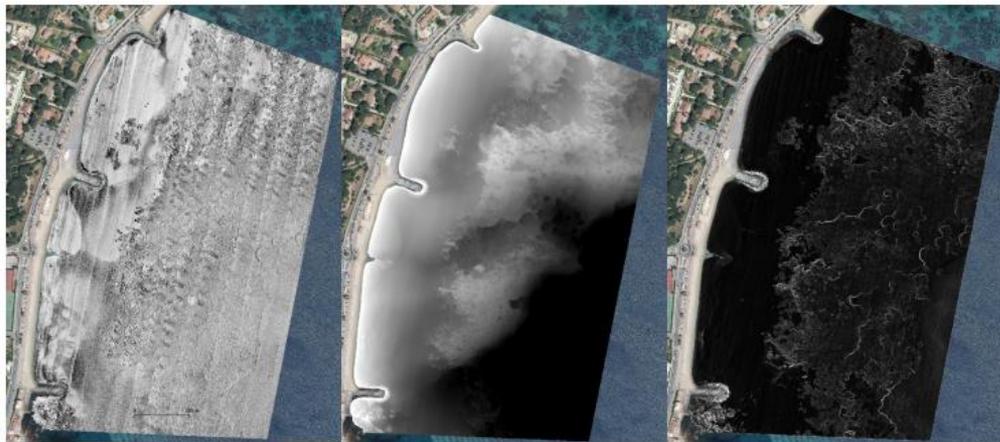
LABEL V01

- Posidonie
- Enrochement
- Anthropique
- Matte
- CymodoceeZostere
- Sediment

REAL



# Labellisation



SONAR

BATHY

TRI

LABEL V01



REAL

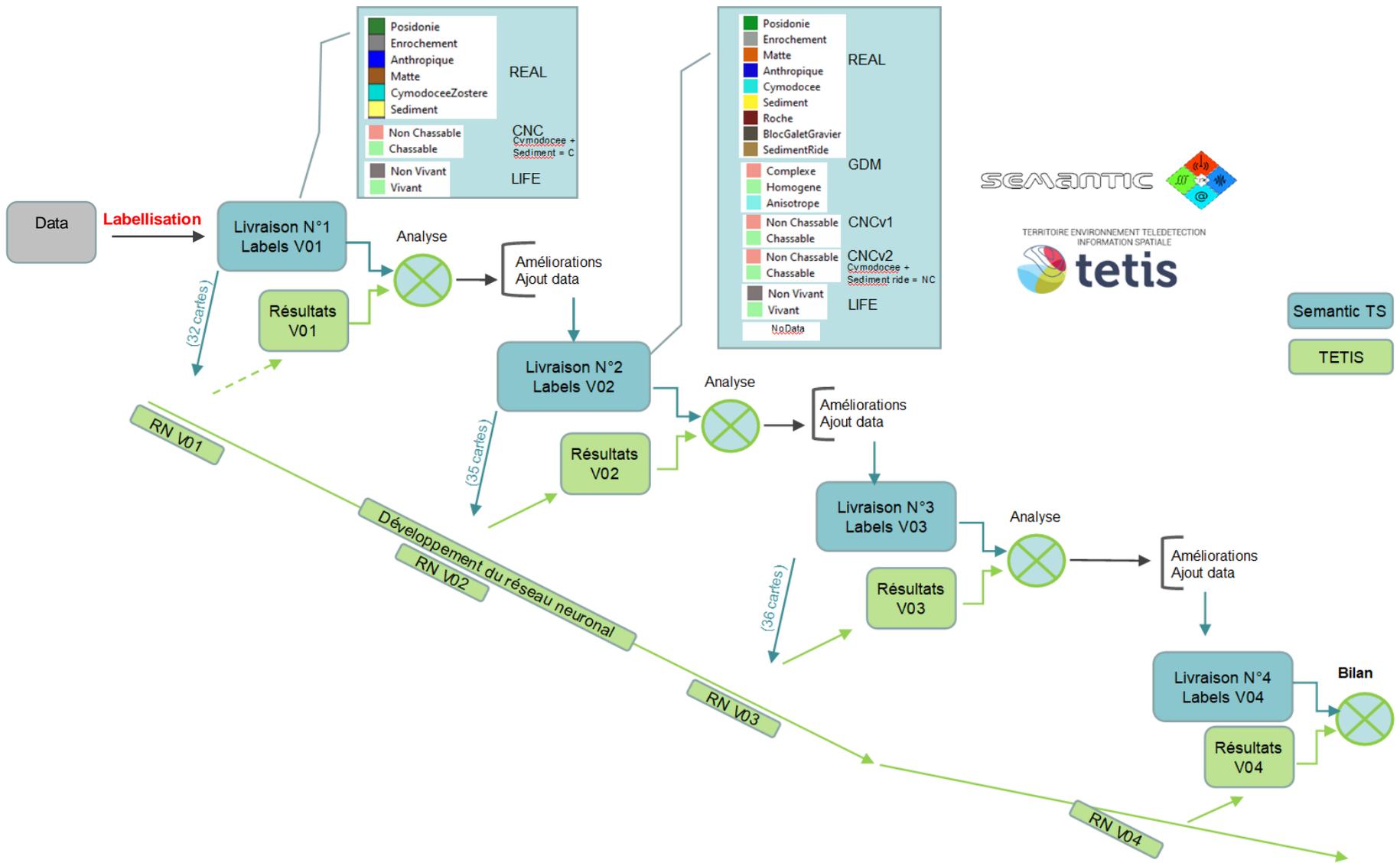
LABEL V03

GMD



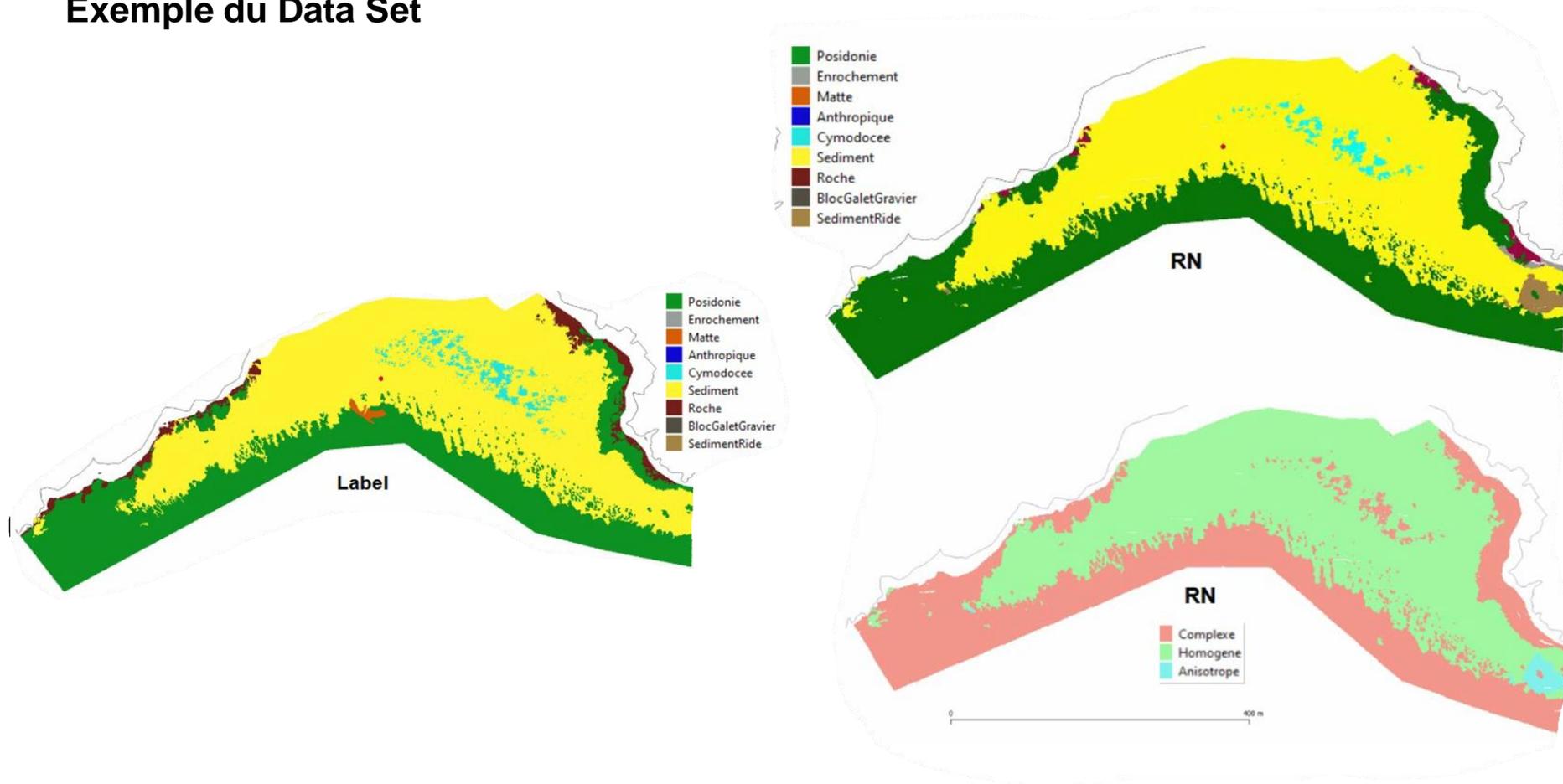
Des taux d'accuracy/pixels de 80% sont rapidement atteints sur les classes les plus représentées

Mais :  
- Erreurs d'interprétations globales → la définition de classes supplémentaires



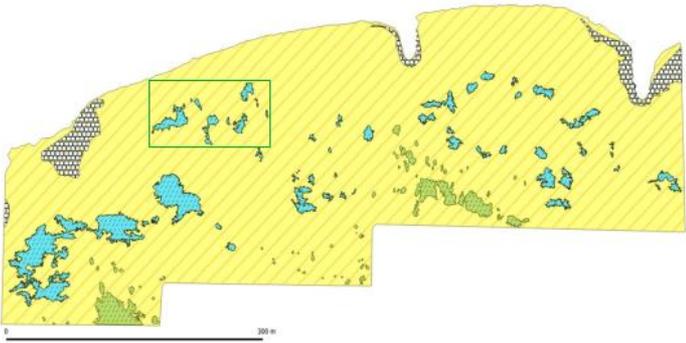
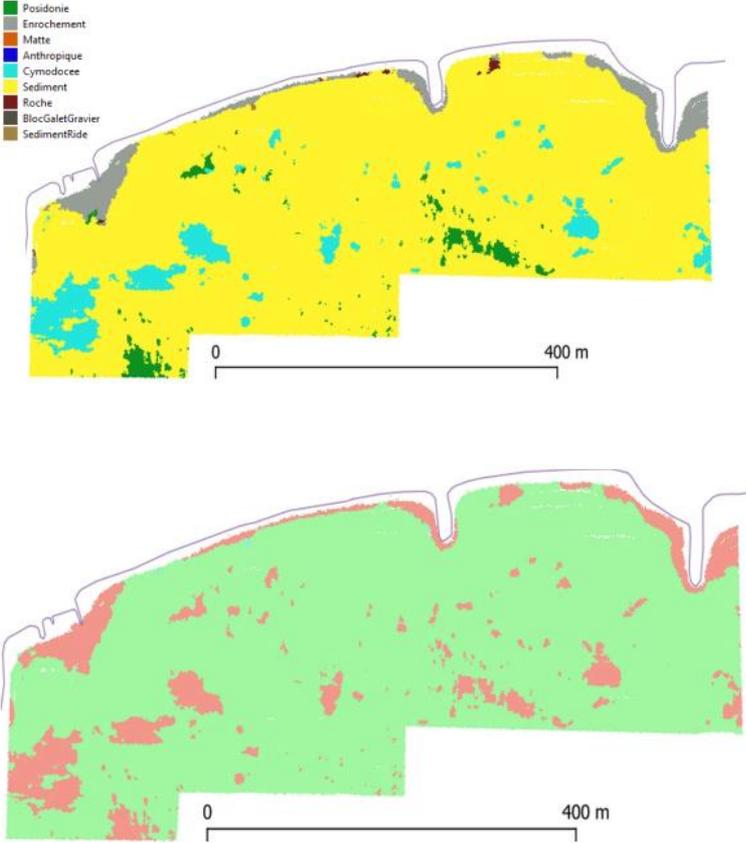
# Résultats

## Exemple du Data Set



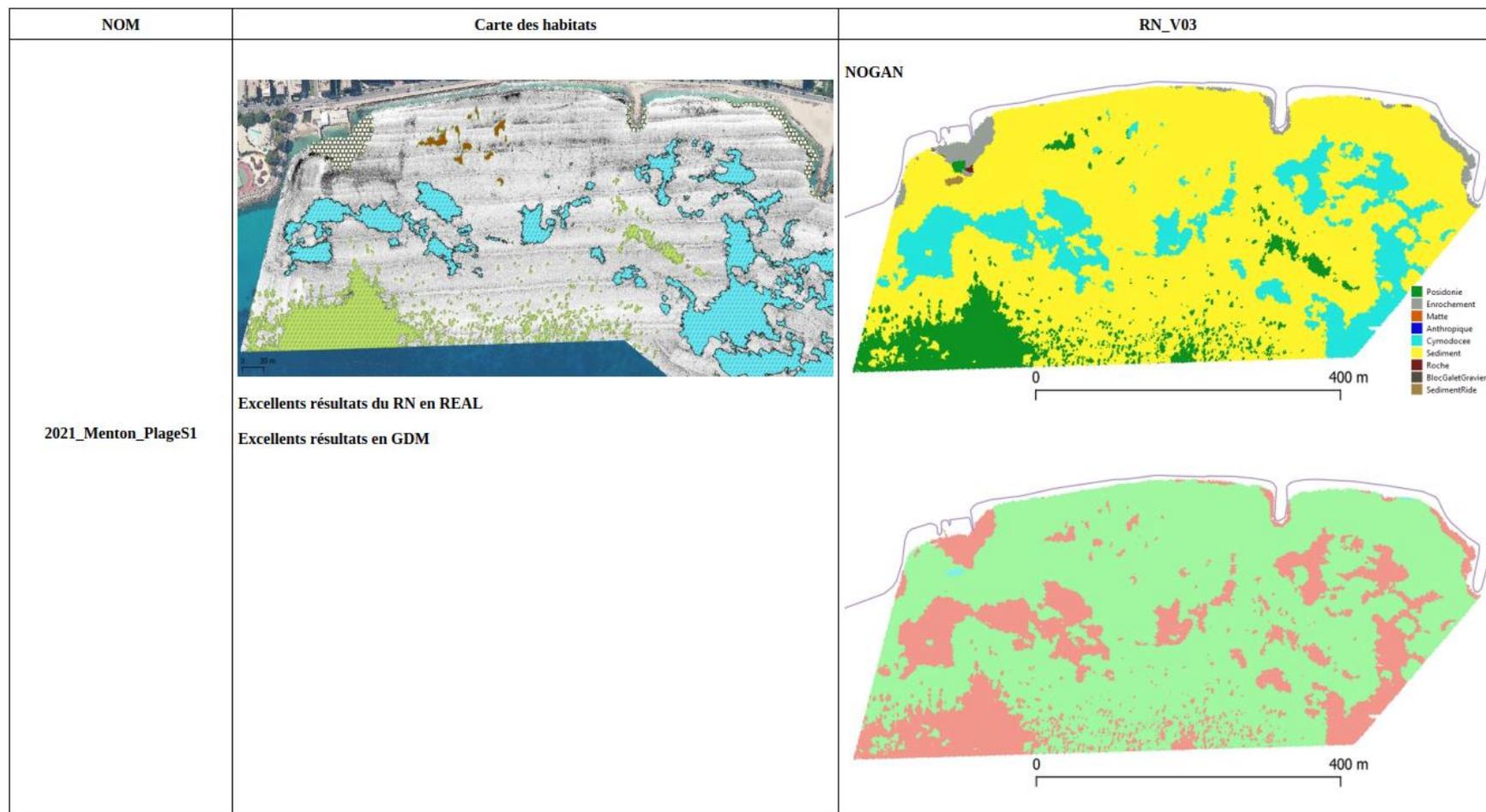
# Résultats

## Exemple du Data Test

| NOM                 | Carte des habitats   | RN_V03  |
|---------------------|--|---|
| 2020_Menton_PlageS1 |  <p data-bbox="409 649 1095 735">Excellents résultats du RN en REAL<br/>*sauf petite tache de cymodocées identifiée en posidonies par le RN, interprétée en cymodocées en 2020, et qui s'avérera (en 2021) être en réalité de la matte morte<br/>– RN très perspicace donc</p> <p data-bbox="409 792 1095 821">Excellents résultats en GDM</p> |  <p data-bbox="1110 249 1856 392">Legend for RN_V03:<br/>Posidonie (Green)<br/>Enrochement (Grey)<br/>Matte (Red)<br/>Anthropique (Blue)<br/>Cymodoceae (Cyan)<br/>Sédiment (Yellow)<br/>Roche (Dark Red)<br/>BlocGaletGravier (Dark Grey)<br/>SédimentRide (Brown)</p> |

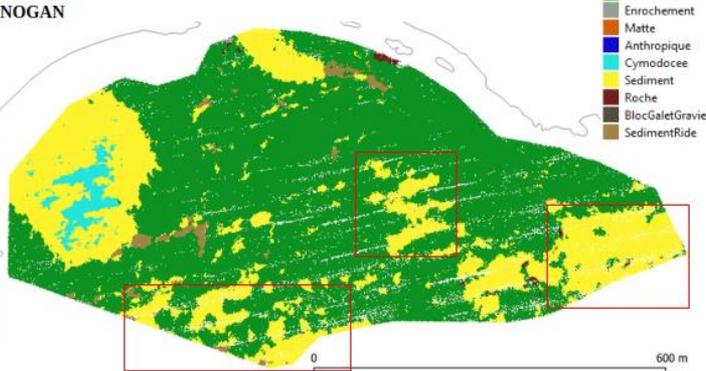
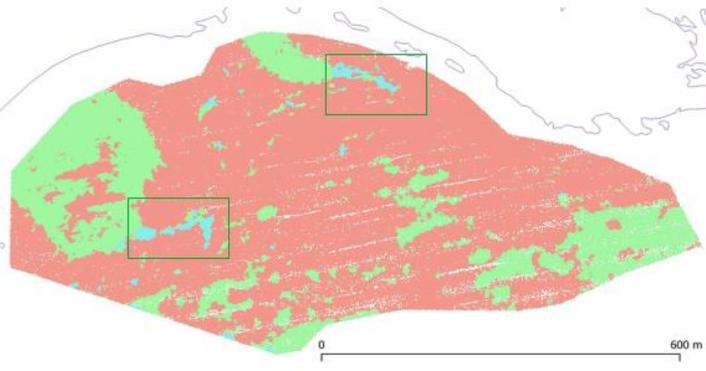
# Résultats

## Exemple du Data Test



# Résultats

## Exemple du Data Test

| NOM                   | Carte des habitats  | RN_V03  |
|-----------------------|---|---|
| 2021_Cavalair_Briande |  <p data-bbox="405 649 1062 756">RN trouve plus de sédiment que VT<br/>Globalement correct sauf en bas de zone<br/>Le RN détecte bien le sable ridé<br/>La densité de l'herbier de posidonies n'est pas homogène sur ce secteur<br/>Le secteur est complexe (fortes diversité et inhomogénéité)</p>  |  <p data-bbox="1081 285 1787 314">NOGAN</p>  |

# Conclusions

108 Go de données.

Un dossier architecturé a été réalisé sous QGIS.

Le dossier comprend :

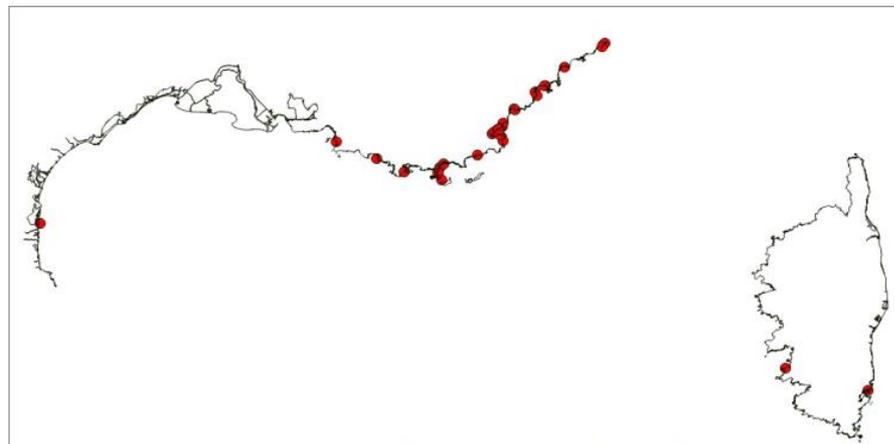
- 33 cartes avec résultats complets du RN-V03

et en moyenne pour chaque carte :

- Label : 4 couches
- Classification : 2 couches
- Data source : 3 couches
- Résultats
  - GAN : 4 couches
  - NOGAN : 4 couches

Le nombre de cartes analysées est d'environ 560 cartes (33 \* 17 = 561)

Chaque carte présente entre 9 et 3 classes.



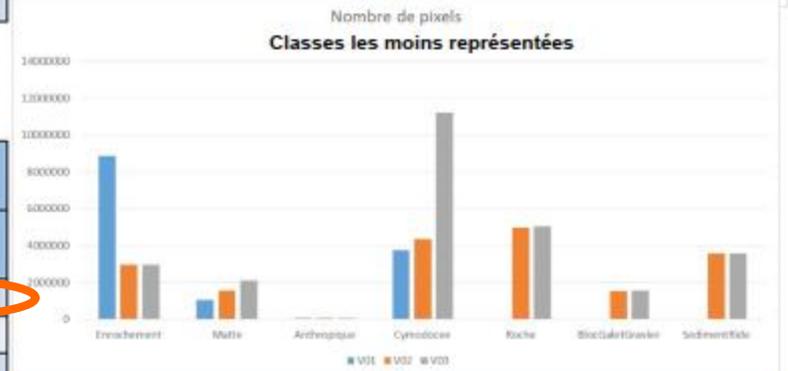
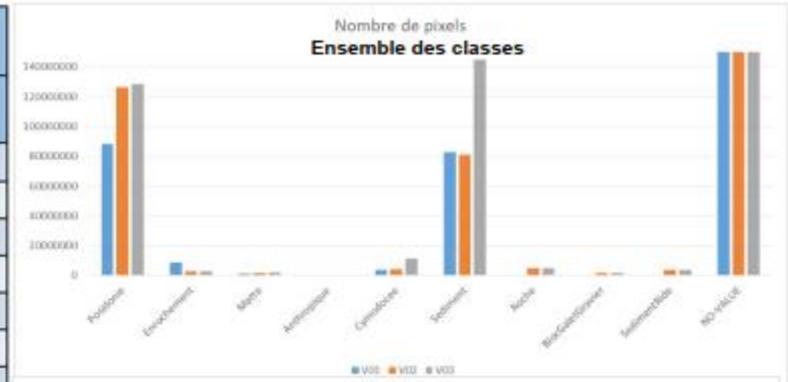
Localisation des data constituant le DataSet

- 2015\_SteMaxime\_Croisette
- 2015\_SteMaxime\_Garonette
- 2015\_SteMaxime\_Nartelle
- 2015\_SteMaxime\_StHilaire
- 2016\_SteMaxime\_NartelleSud
- 2016\_SteMaxime\_PortBaie
- 2017\_BaiePampelonne\_Herbiers
- 2017\_Cannes\_Croisette
- 2017\_Cannes\_DiguePort
- 2017\_CotiChiavari\_Portigliolo
- 2017\_Hyeres\_Bona
- 2017\_Hyeres\_Capte
- 2017\_Hyeres\_Gare
- 2017\_Lecci\_BaieSaintCyprien
- 2017\_StRaphael\_PlageVeillat
- 2018\_Cannes\_Croisette
- 2018\_Menton\_PlagesS1S2
- 2018\_Menton\_PlagesS3
- 2018\_Roquebrune\_Plages
- 2019\_Hyeres\_Bona
- 2019\_Hyeres\_Capte
- 2019\_Hyeres\_Gare
- 2019\_SaintCyr\_Emissaire
- 2019\_SaintLaurent\_Port\_noRNV3
- 2019\_StRaphael\_PortSantaLucia\_noRNV3
- 2019\_StTropez\_Cimetiere
- 2019\_Theoules\_ParcMarin
- 2019\_Theoules\_Port
- 2019\_Marseille\_ParcBalneairePrado
- 2020\_Hyeres\_LittoralCeinturon
- 2021\_Canadel\_Plage
- 2021\_Grimaud\_StPons
- 2021\_Grimaud\_VM
- 2021\_Leucate\_Herbier

# Conclusions

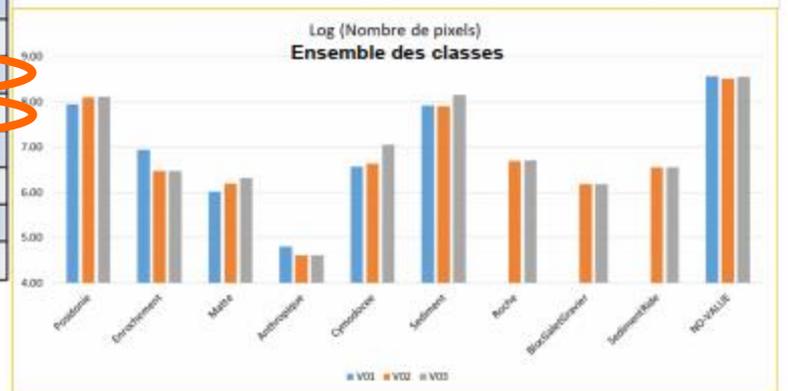
| V01         |             |
|-------------|-------------|
| CLASSES     | #PIXELS     |
| Posidonie   | 88,362,461  |
| Enrochement | 8,199,706   |
| Matte       | 1,056,044   |
| Anthropique | 62,772      |
| Coralligene | 674,676     |
| Zostere     | 11,088      |
| Cymodocee   | 3,738,292   |
| Sediment    | 82,657,688  |
| NO-VALUE    | 373,119,672 |

| V01 regroupe |             |
|--------------|-------------|
| CLASSES      | #PIXELS     |
| Posidonie    | 88,362,461  |
| Enrochement  | 8,874,382   |
| Matte        | 1,056,044   |
| Anthropique  | 62,772      |
| Cymodocee    | 3,749,380   |
| Sediment     | 82,657,688  |
| NO-VALUE     | 373,119,672 |



| V02              |             |
|------------------|-------------|
| CLASSES          | #PIXELS     |
| Posidonie        | 126,375,219 |
| Enrochement      | 2,941,260   |
| Matte            | 1,569,278   |
| Anthropique      | 40,611      |
| Cymodocee        | 4,343,787   |
| Sediment         | 81,245,321  |
| Roche            | 4,956,349   |
| BlocGaletGravier | 1,531,863   |
| SedimentRide     | 3,559,600   |
| NO-VALUE         | 331,319,111 |

| V03              |             |
|------------------|-------------|
| CLASSES          | #PIXELS     |
| Posidonie        | 128,337,503 |
| Enrochement      | 2,941,621   |
| Matte            | 2,118,059   |
| Anthropique      | 40,645      |
| Cymodocee        | 11,226,658  |
| Sediment         | 145,111,715 |
| Roche            | 5,056,930   |
| BlocGaletGravier | 1,540,421   |
| SedimentRide     | 3,565,197   |
| NO-VALUE         | 361,517,967 |



Evolution du nombre de pixels par classe à l'issue du remplissage du Dataset et des différentes versions de labellisation

# Conclusions

## Taux d'accuracy

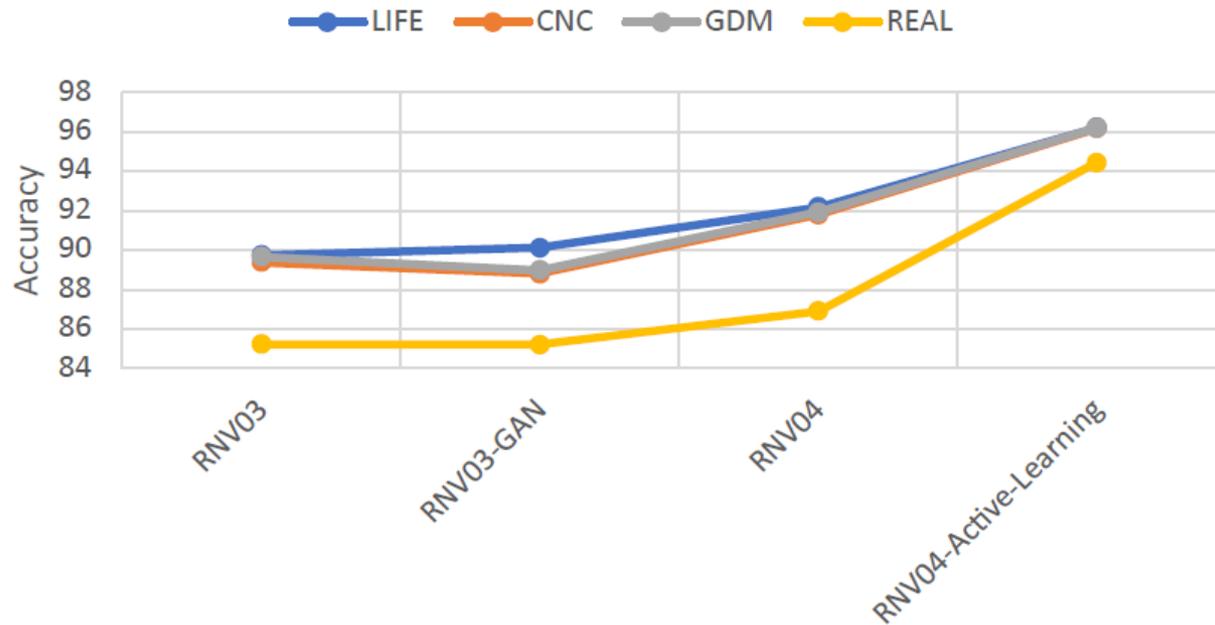
V04

Apprentissage actif

RESULTAT (ACCURACY) SUR UN ENSEMBLE DE 3 MODELES AVEC LES IMAGES S'ORIGINES + GAN

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| LIFE | 90,12 | 92,18 | 96,22 |
| CNC  | 88,80 | 91,81 | 96,19 |
| GDM  | 88,99 | 91,92 | 96,20 |
| TRUE | 85,19 | 86,90 | 94,44 |

## Évolution des résultats



# Conclusions

## Taux d'accuracy

### En termes de d'objectifs de classification pour la GDM

- Très bons résultats en GDM Homogène-Anisotrope-Complexe
- Excellents sur Homogène-Complexe
  - Les seuls problèmes constatés concernent le sable ridé, parfois non détecté et pourtant présent sur les data labellisées. Sur rides de faible amplitude → ne constitue pas un problème opérationnel. Il faudrait tester le RN sur des secteurs de sable comportant des rides plus marquées, pour pouvoir mieux le qualifier.

# Conclusions

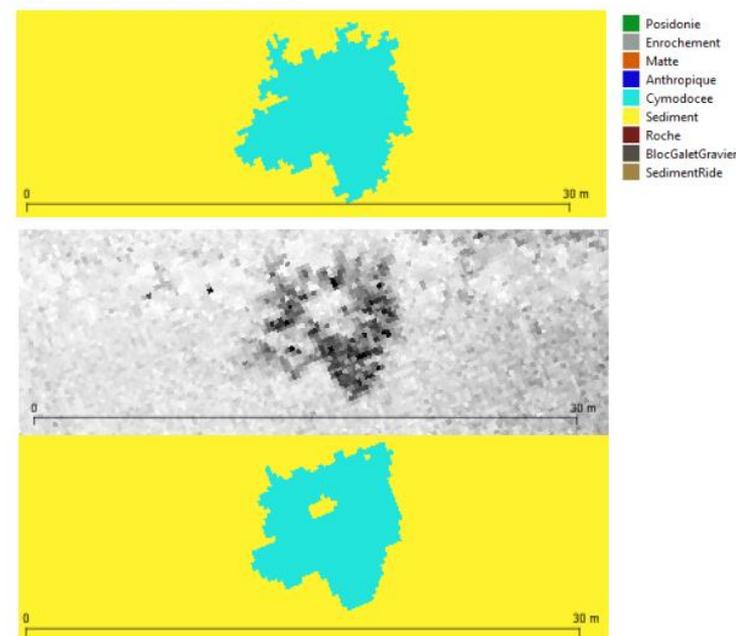
- **En termes de d'objectifs de classification pour les habitats (REAL)**

- Excellents résultats sur les classes posidonies, sédiment et cymodocées (classes les plus représentées dans les data source).

- Excellentes performances sur la classe cymodocées pour lequel le RN est capable d'atteindre un meilleur niveau de segmentation que les labels. (Le RN est en capacité de restituer la prairie avec des zones d'exclusion intérieures, pour peu que le contraste sur la mosaïque sonar latéral soit suffisant. Dans ce cas le RN peut même apporter des informations meilleures que la labellisation, ce que le taux d'accuracy calculé par pixel ne met pas en évidence.)

- Résultats moyens à mauvais sur les autres classes comme la matre morte ou pour la différentiation posidonies & roche, liés au fait de la faible représentativité de ces classes dans la base d'apprentissage et/ou à l'insuffisance d'informations intrinsèques contenues dans les données acoustiques sources.

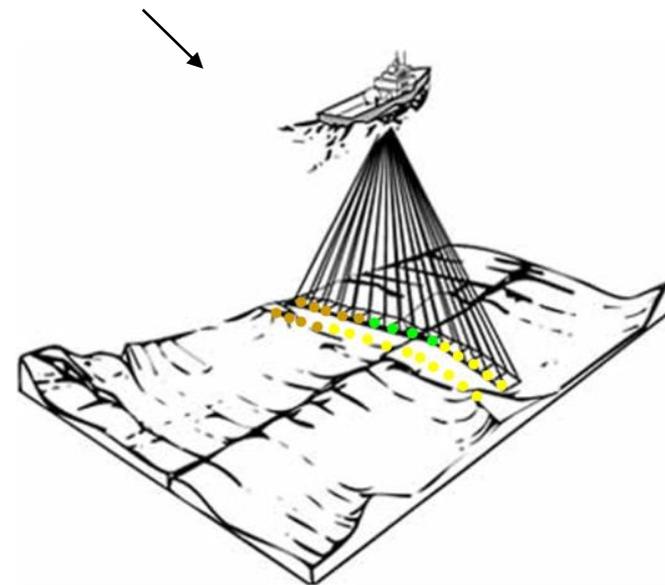
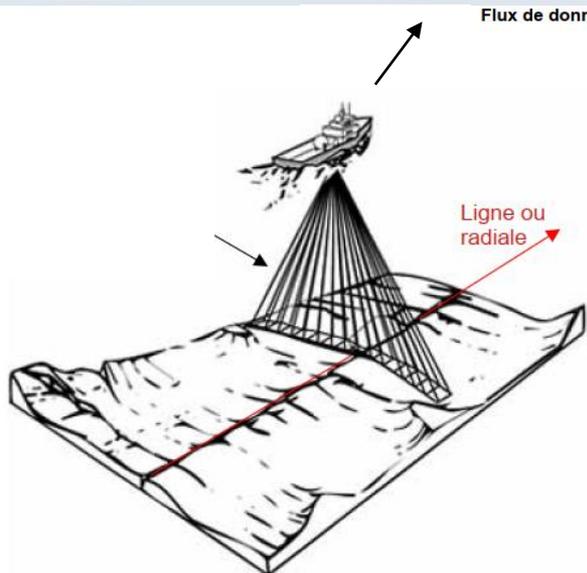
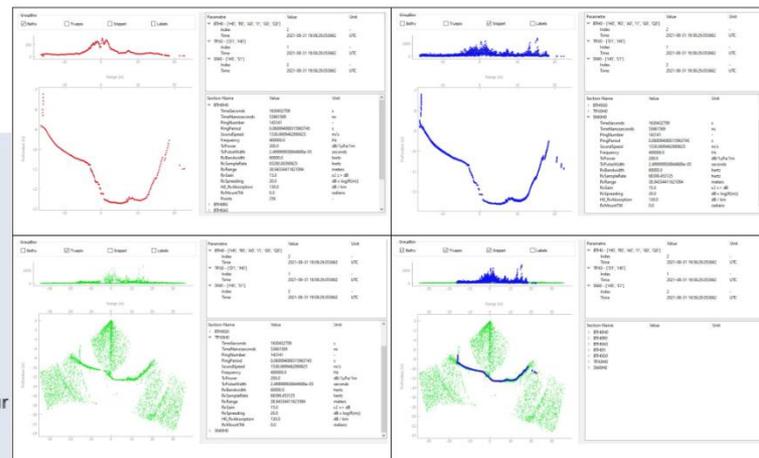
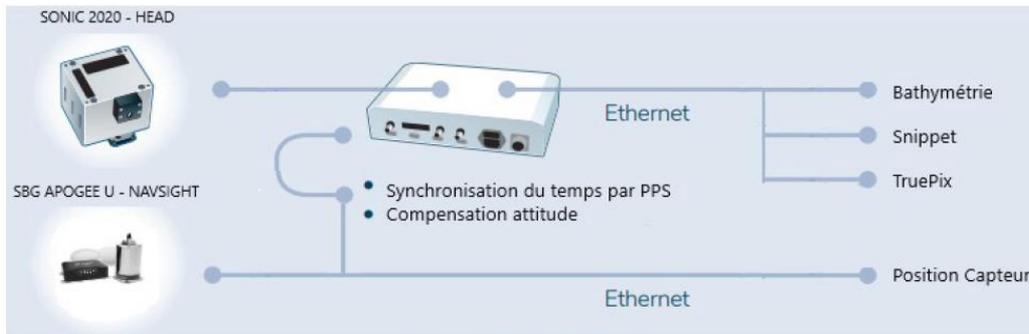
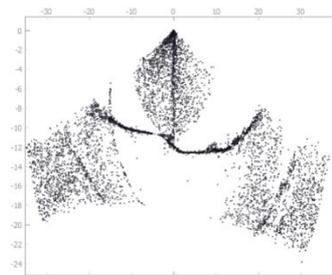
Le RN peut être même meilleur que le label ( capable de segmenter une tache de sable au centre de tache de cymodocées)



# Objectifs Travaux en cours

## Détection changement

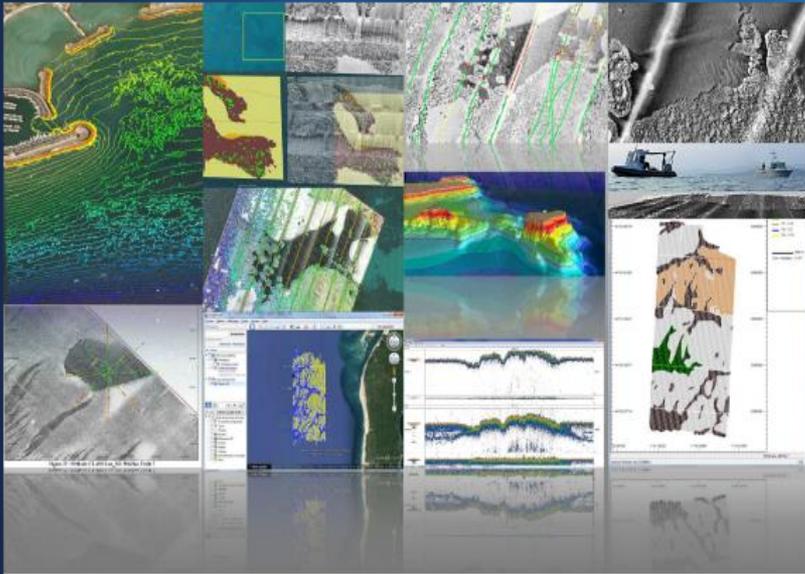
### Raw data & Temps-réel



# Merci de votre attention !

## SEMANTIC TS

### Bureau d'Études en Océanographie Acoustique




**tetis**

**Territoires, Environnement,  
Télédétection et  
Information Spatiale**

Unité Mixte de Recherche  
AgroParisTech - Cirad  
CNRS - INRAE