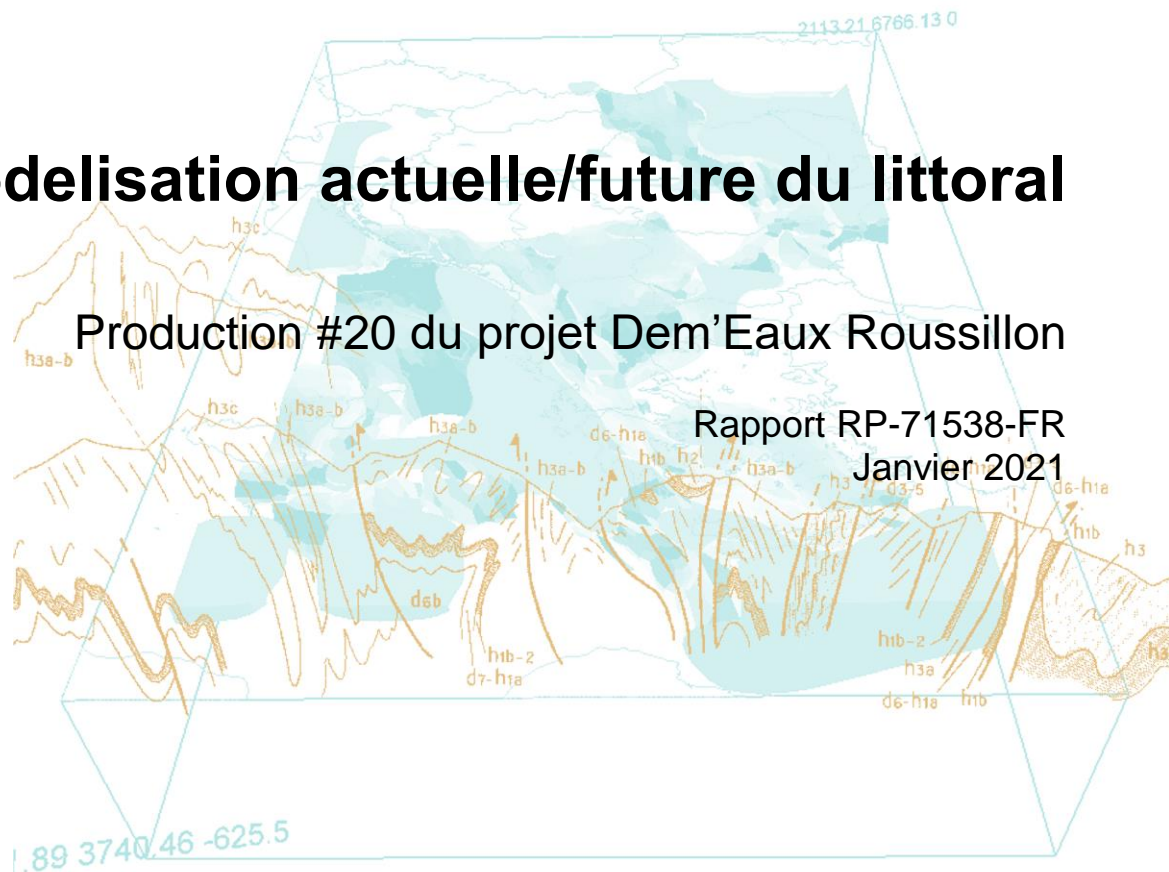


Modelisation actuelle/future du littoral

Production #20 du projet Dem'Eaux Roussillon

Rapport RP-71538-FR
Janvier 2021



Réalisée avec le concours financier de l'Etat et de la Région Occitanie (dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020), du FEDER, de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, de Perpignan Méditerranée Métropole et de Conseil Départemental des Pyrénées Orientales



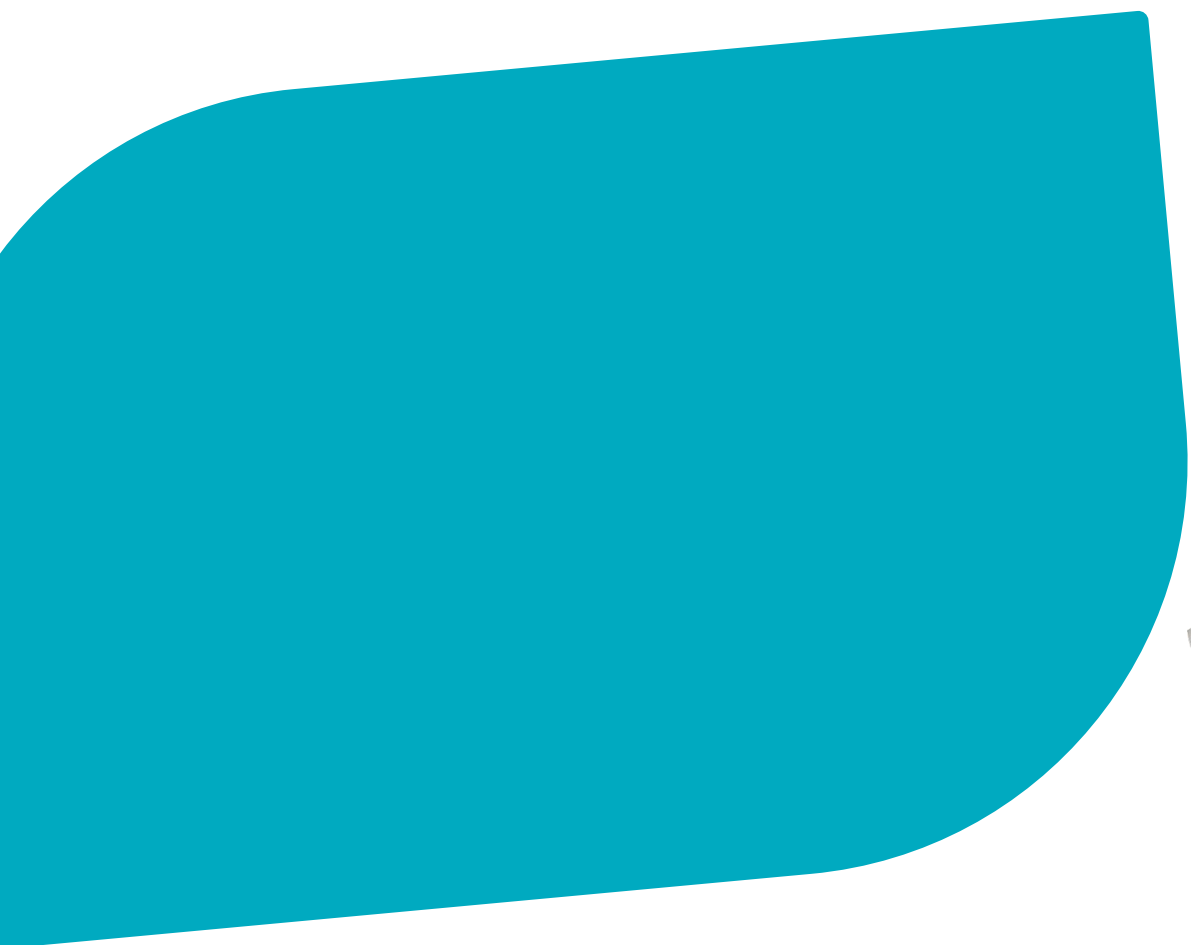
Projet cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

Mots-clés : Modèle physique ; Milieu littoral ; Houle ; Submersion marine ; Pyrénées Orientales ; Plaineu Roussillon ; Canet en Roussillon.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Proust N. (2021), Modélisation actuelle/future du littoral. Production #20 du projet Dem'Eaux Roussillon. Rapport RP-71538-FR, 22p., 23 fig. 2 tab.

MODELISATION ACTUELLE/FUTURE DU LITTORAL

Production #20 du projet DEM'EAUX ROUSSILLON



Version Finale – Janvier 2021



BRL ingénierie

1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001
30001 NIMES CEDEX 5

Date du document	Mars 2020
Contact	Nicolas PROUST

Titre du document	Modélisation actuelle/future du littoral - Production #20 du projet DEM'EAUX ROUSSILLON
Référence du document :	Rapport_littoral_modelisation.docx
Indice :	A

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
25/03/2020	A	Version de travail	NPR	FCA
20/01/2021	B	Version finale – intégration simulations avec changement climatique	NPR	FCA

MODELISATION ACTUELLE/FUTURE DU LITTORAL

Production #20 du projet DEM'EAUX ROUSSILLON

PREAMBULE	1
1 CONSTRUCTION DU MODELE	3
1.1 DONNEES DISPONIBLES	3
1.1.1 Bathymétrie / topographie.....	3
1.1.2 Niveau d'eau.....	4
1.1.3 Houle	6
1.2 STRATEGIE DE MODELISATION	7
1.3 LOGICIELS UTILISES	8
1.4 COMPARAISON MODELE / DONNEES.....	10
1.4.1 Préambule	10
1.4.2 Niveau d'eau.....	10
1.4.3 Houle	10
2 RESULTATS	13
2.1 SITUATION ACTUELLE	13
2.2 ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER LIE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	16
2.2.1 Données du GIEC.....	16
2.2.1.1 5 ^{ème} rapport d'évaluation – GIEC, 2014	16
2.2.1.2 Le changement climatique, les océans et la cryosphère – GIEC, 2019.....	17
2.2.2 Implémentation dans les modélisations	18
2.3 CONCLUSION.....	22

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'intérêt	1
Figure 2 : Données Lidar Litto3D 2014-2015.....	3
Figure 3 : Données Homonim.....	4
Figure 4 : Localisation des marégraphes proches du site d'étude.....	5
Figure 5 : Série temporelle de niveau d'eau (marégraphe de Port Vendres).....	5
Figure 6 : Point d'extraction de la houle	6
Figure 7 : Série temporelle de houle.....	6
Figure 8 : Emprise de la zone modélisée	7
Figure 9 : Taille des mailles du modèle	8
Figure 10 : Comparaison modèle / marégraphe	10
Figure 11 : Comparaison modèle / données MARC (heure UTC)	11
Figure 12 : Localisation des extractions des résultats	13
Figure 13 : Profil en long houle et niveau d'eau	14
Figure 14 : Séries temporelles houle et niveau d'eau.....	14
Figure 15 : Caractérisation du wave setup	15
Figure 16 : Scénarios d'élévation du niveau marin sous l'effet du changement climatique - GIEC 2014	17
Figure 17 : Scénarios d'élévation du niveau marin sous l'effet du changement climatique - GIEC 2019	18
Figure 18 : Profil en long houle et niveau d'eau (avec changement climatique).....	19
Figure 19 : Différence résultats profils en long (actuel – changement climatique).....	19
Figure 20 : Séries temporelles houle et niveau d'eau (avec changement climatique)	20
Figure 21 : Différence résultats séries temporelles (actuel – changement climatique)	20
Figure 22 : Caractérisation du wave setup (avec changement climatique).....	21
Figure 23 : Différence résultats setup (actuel – changement climatique)	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs d'élévation du niveau marin pour différents horizons par rapport à l'année 2020 - GIEC 2014.....	17
Tableau 2 : Valeurs d'élévation du niveau marin pour différents horizons par rapport à l'année 2020 - GIEC 2019.....	18

PREAMBULE

Le projet DEM'EAUX Roussillon propose d'associer des compétences régionales en géologie, géophysique, géochimie, hydraulique, économie, électronique, imagerie spatiale et informatique pour débloquer des verrous de compréhension du comportement de l'aquifère plio-quaternaire du Roussillon, en intégrant l'ensemble des enjeux naturels et anthropiques qui lui sont associés et leur évolution future.

Le présent rapport s'inscrit dans la tâche T4 : interactions sédimentaires et hydraulique de manière à alimenter la tâche T5 : modèle hydrodynamique plio-quaternaire. Il a pour objet de décrire les modélisations du littoral qui vont servir d'appui à la validation d'un modèle de comportement de la nappe phréatique (qui fait l'objet de mesures). L'objectif est de pouvoir à terme modéliser la réponse de la nappe phréatique sur la frange littorale à divers forcing océaniques (houle, hauteur d'au...). BRLi a réalisé un modèle hydrodynamique local reproduisant les variations des paramètres météo-océaniques sur la zone côtière. Cette modélisation fournit l'évolution des paramètres physiques (niveau d'eau, houle) sur le littoral de la zone d'étude.

La zone d'intérêt se situe juste au Nord de Saint Cyprien Plage, sur un profil en travers d'un peu plus d'un kilomètre (cf figure 1 ci-dessous).

Figure 1 : Localisation de la zone d'intérêt



Source : BRLi



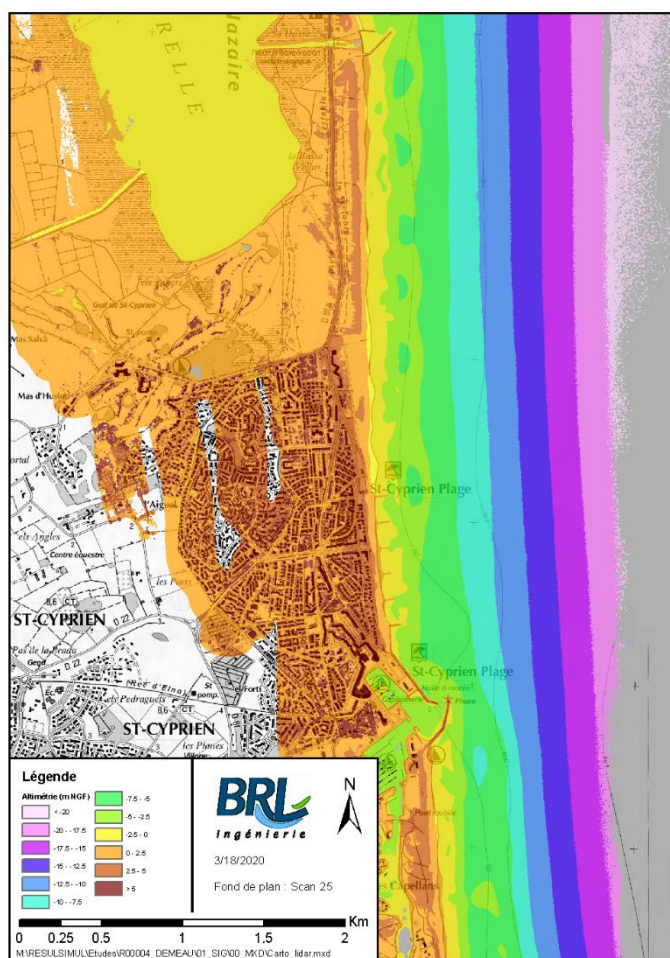
1 CONSTRUCTION DU MODELE

1.1 DONNEES DISPONIBLES

1.1.1 Bathymétrie / topographie

Au niveau du trait de côte, des données topo-bathymétriques précises (résolution planimétrique 1m) sont disponibles à travers le levé lidar Litto3D de 2014-2015. La zone couverte s'étend de quelques kilomètres en terre jusqu'à la profondeur 20 m environ au large.

Figure 2 : Données Lidar Litto3D 2014-2015



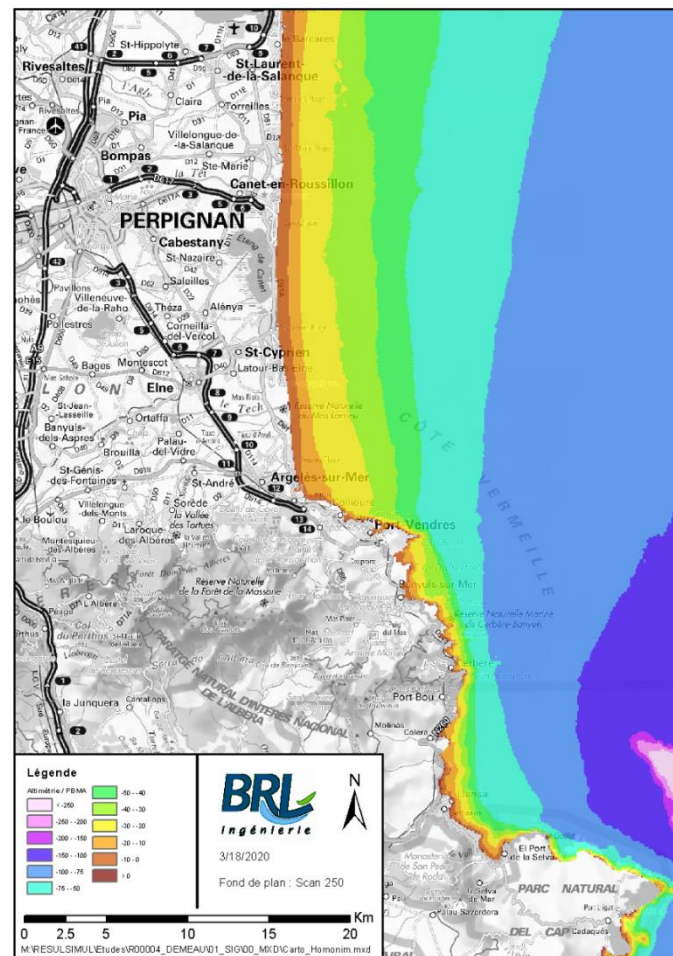
Source : SHOM

On observe une pente du fond relativement régulière entre les isobathes -7.5 et -20 près du site d'étude. Au niveau des petits fonds la bathymétrie est plus irrégulière, avec la présence de barres sédimentaires et un impact visible des éléments morphologiques (épis, digue, etc.).

Les données « Homonim » sont également disponibles. Ce sont des données bathymétriques uniquement, de résolution spatiale 100m environ et sans limitation au large. La figure à suivre illustre ces données.



Figure 3 : Données Homonim



Source : SHOM

Devant le site d'étude la bathymétrie est régulière, avec une pente douce vers le large. Plus au Sud, une forte rupture est présente au large du cap Creus avec des fonds qui dépassent 250m.

1.1.2 Niveau d'eau

Des mesures de niveau d'eau sont disponibles sur des marégraphes près du site d'étude : un à Port la Nouvelle (40km au Nord de la zone d'intérêt) et un à Port Vendres (15km au Sud Sud-Est de la zone d'intérêt). Ce dernier est retenu car plus proche du site d'étude. Une série d'une semaine de mesure a été extraite (données validées à 1H) correspondant à la période de réalisation des mesures au niveau de la nappe phréatique. Les deux figures à suivre présentent ces données.

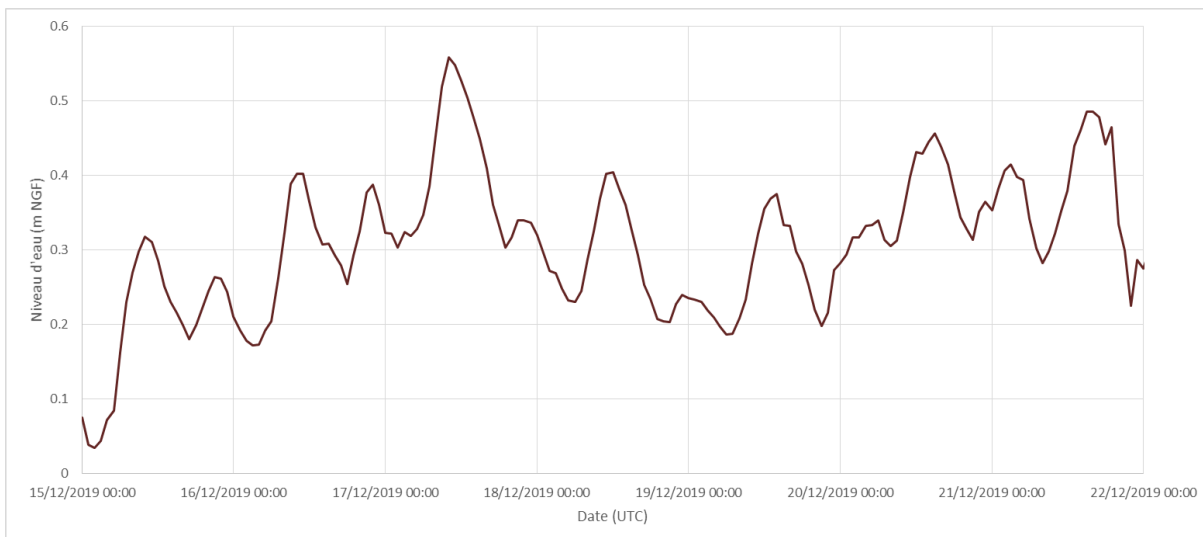


Figure 4 : Localisation des marégraphes proches du site d'étude



Source : SHOM

Figure 5 : Série temporelle de niveau d'eau (marégraphie de Port Vendres)



Source : SHOM



1.1.3 Houle

Pour la houle, des données du site MARC produites par l'Ifremer sont disponibles. Les figures à suivre présentent la localisation du point d'extraction des données (au droit de la zone d'intérêt) et les séries extraites : hauteur significative, période pic et direction. La période d'extraction retenue est identique à celle du niveau d'eau et fait partie de la période de mesure de la nappe phréatique.

Figure 6 : Point d'extraction de la houle

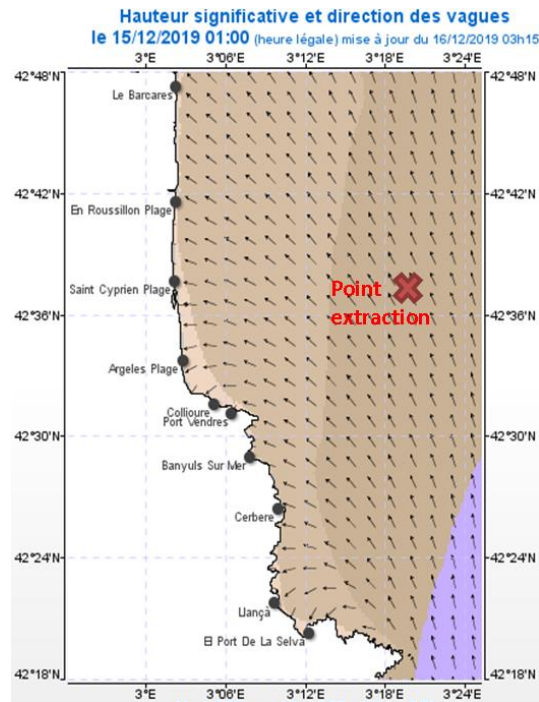
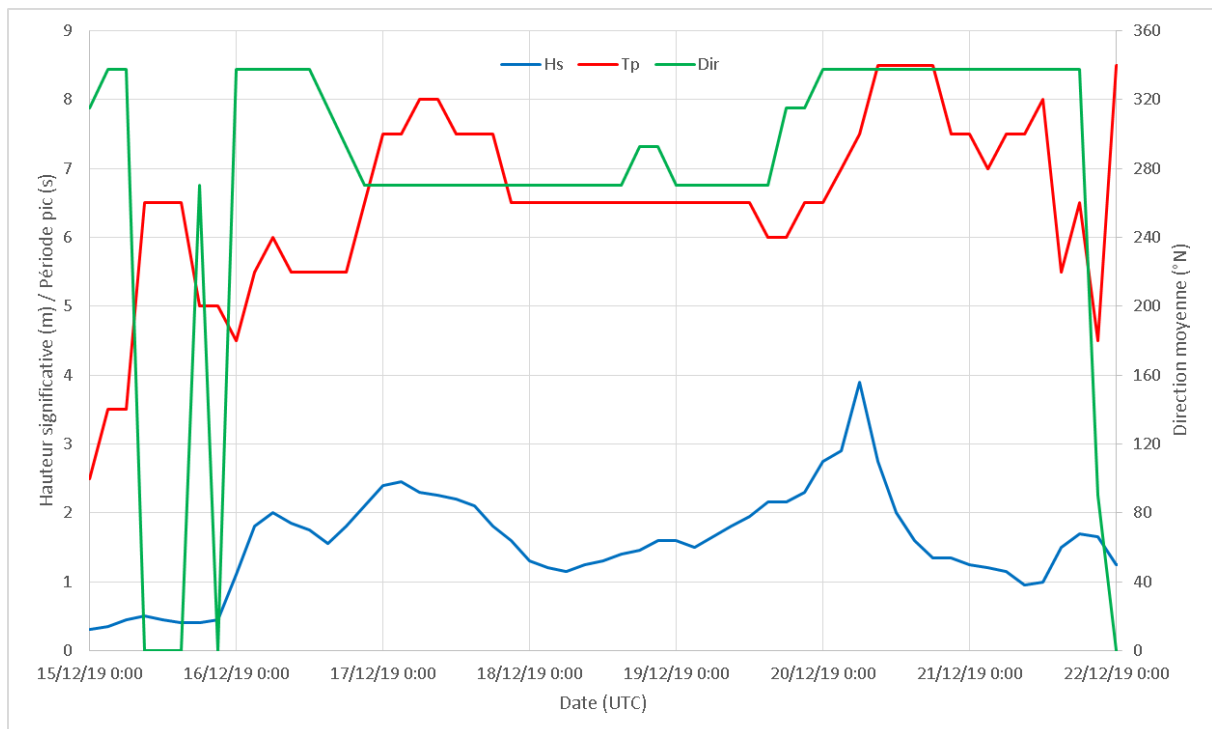


Figure 7 : Série temporelle de houle





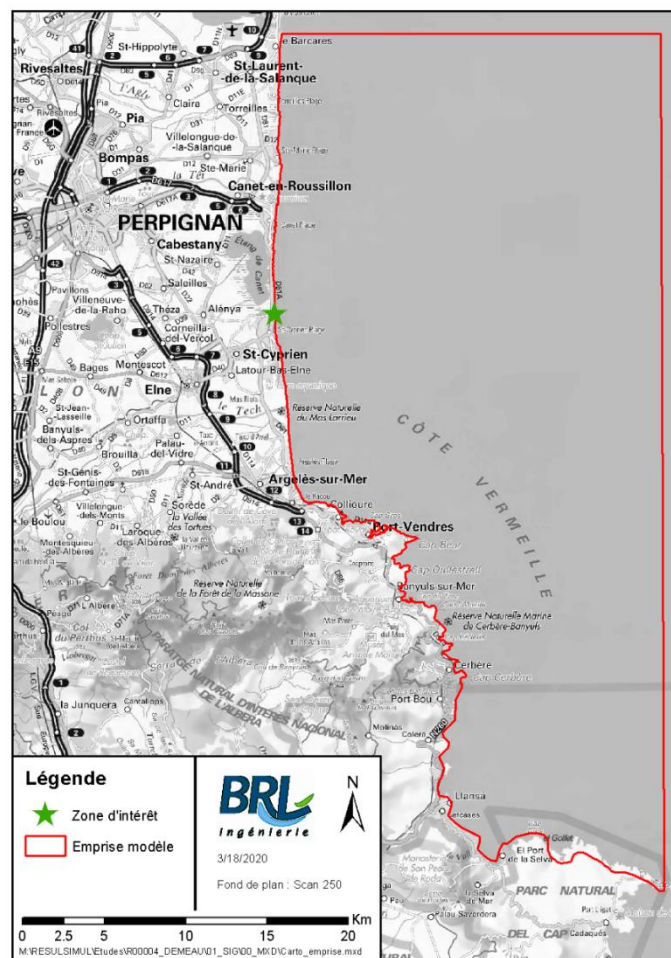
1.2 STRATEGIE DE MODELISATION

L'objectif de la modélisation est d'avoir des données cohérentes de niveau d'eau et de houle sur le profil en travers de la zone d'intérêt. Ainsi, un modèle couplé niveau d'eau / houle est mis en place avec la suite logiciel Telemac.

Les données de forçage sont appliquées uniquement sur la frontière Est du modèle. Les frontières Nord (Barcarès) et Sud (cap Creus) sont pris suffisamment loin de la zone d'intérêt pour éviter les effets parasites des effets de bord. Les données de forçage sont des séries temporelles prises en un point (marégraphe ou point d'extraction MARC). Il ne s'agit pas ici de chercher une précision maximale et un réalisme poussé, des données cohérentes sont suffisantes.

La figure à suivre présente l'emprise modélisée.

Figure 8 : Emprise de la zone modélisée

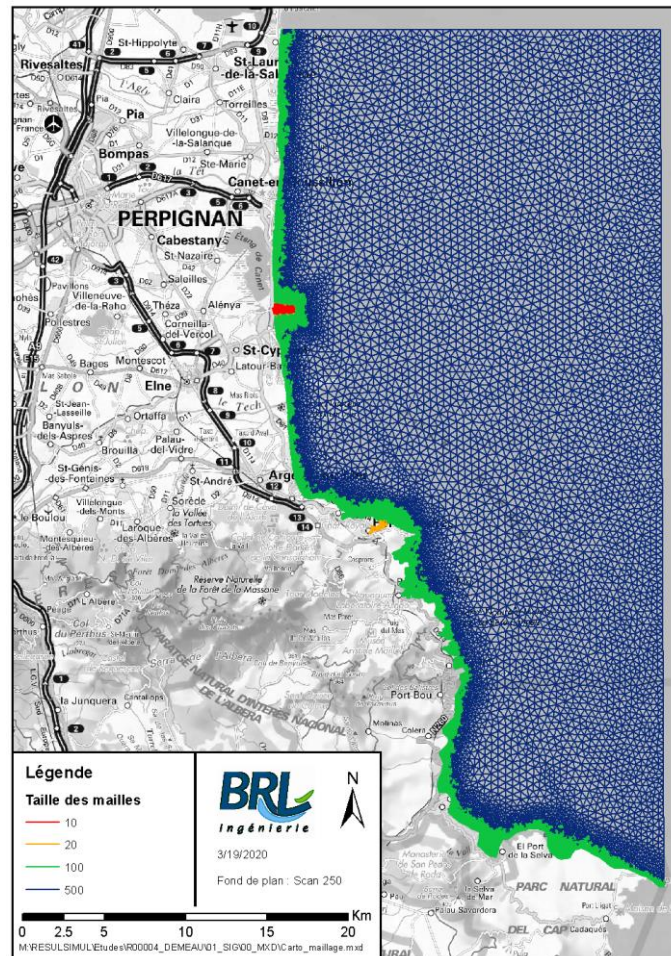


Source : BRLi

Concernant les tailles de maille, l'accent est mis sur la zone d'intérêt, avec une taille de maille de l'ordre de 10m autour du profil en travers. La zone du marégraphe de Port Vendres est modélisée avec une maille pas trop grossière de l'ordre de 20m pour comparer le modèle aux données. Le trait de côte est maillé avec des mailles de l'ordre de 100m et le reste du modèle avec des mailles de l'ordre de 500m. Ceci permet un bon compromis entre précision des résultats sur le secteur d'intérêt et temps de calcul raisonnable pour le couplage. La figure à suivre présente les tailles de maille du modèle utilisé.



Figure 9 : Taille des mailles du modèle



Source : BRLi

1.3 LOGICIELS UTILISES

La modélisation est réalisée avec un couplage de deux logiciels : TELEMAC-2D et TOMAWAC. Ces logiciels appartiennent au système de modélisation en éléments finis TELEMAC, développé initialement par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF et actuellement par un consortium qui comprend les entités suivantes : EDF, CEREMA, BAW, laboratoire de Daresbury, HR Wallingford et Artélia.

TELEMAC regroupe un ensemble de logiciels dédiés aux problèmes de mécanique des fluides de l'environnement : courantologie bi et tridimensionnelle, houle, sédimentologie, qualité d'eau.

Les principaux avantages que présente le système TELEMAC en regard de la présente étude sont les suivants :

- Le terrain est représenté par un assemblage d'éléments triangulaires de tailles et de formes variables formant le maillage de calcul. Cette technique « éléments finis » procure trois avantages essentiels :
 - le maillage épouse avec fidélité les géométries complexes que l'on rencontre dans la nature : les côtes rocheuses, les îles éventuelles et les chenaux creusés dans les vasières sont ainsi représentés avec précision,
 - elle autorise de densifier le maillage,
 - et donc d'affiner les résultats fournis par le modèle dans les zones d'intérêt.



- L'outil de génération de maillage intégré au système TELEMAC adapte la densité du maillage à différents critères comme la profondeur ou la pente des fonds. Il réalise un compromis entre les besoins en précision dans les régions où l'hydraulique est complexe (estrans, berges d'un chenal, etc.) et le nombre total de points. Cette caractéristique est essentielle pour maintenir au modèle son caractère opérationnel en termes de précision et de temps de réponse.
- Tous les modules du système sont fondés sur la méthode des éléments finis. Ils partagent la même architecture, les mêmes structures de données et la même chaîne de traitement. Ils présentent donc une grande compatibilité et le transfert de données d'un code à l'autre est facile.

Utilisé par de nombreux centres de recherche et bureaux d'étude dans le monde, TELEMAC figure actuellement parmi les outils les plus performants du marché.

Le logiciel TELEMAC-2D résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espace horizontal. Ses résultats principaux sont, en chaque point du maillage de résolution, la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale.

TELEMAC-2D trouve ses applications en hydraulique à surface libre, maritime ou fluviale et est capable de prendre en compte les phénomènes physiques suivants :

- Propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires,
- Frottement sur le fond,
- Influence de la force de Coriolis,
- Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent,
- Turbulence,
- Ecoulements torrentiels et fluviaux,
- Influence de gradients horizontaux de température ou de salinité sur la densité,
- Coordonnées cartésiennes ou sphériques pour les grands domaines,
- Zones sèches dans le domaine de calcul : bancs découvrant et plaines inondables,
- Entraînement par le courant et diffusion d'un traceur, avec des termes de création ou de disparition,
- Suivi de flotteurs et dérives lagrangiennes,
- Traitement de singularités : seuils, digues, buses,
- Prise en compte des forces de traînée des structures verticales,
- Prise en compte des phénomènes de porosité,
- Prise en compte des courants de houle (par couplage avec les modules ARTEMIS et TOMAWAC).

TOMAWAC est l'acronyme de « TELEMAC-based Operational Model Addressing Wave Action Computation ». C'est un logiciel qui modélise l'évolution en espace et en temps du spectre directionnel de variance de la surface de la mer. L'interaction avec les processus suivants est prise en compte :

- Interaction houle – bathymétrie : prise en compte de la réfraction, diffraction propagation, rapprochement des vagues (shoaling), frottement sur le fond et déferlement bathymétrique,
- Interaction houle – atmosphère : prise en compte de la génération et de la propagation de la houle par le vent ainsi que du moutonnement,
- Interaction houle – courant : modification de la propagation et de la réfraction de la houle due aux courants.



1.4 COMPARAISON MODELE / DONNEES

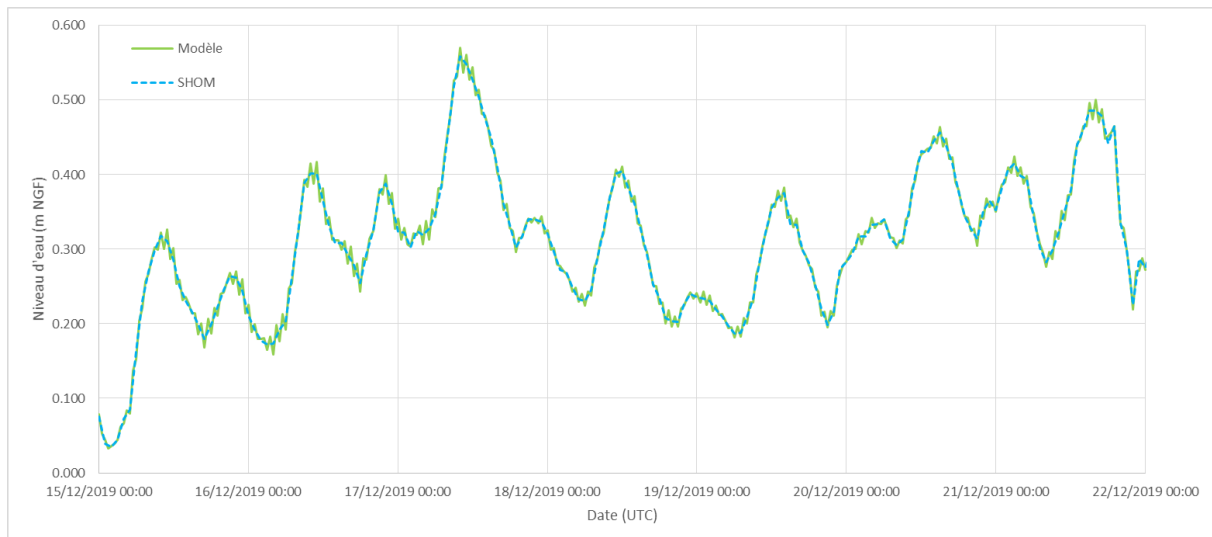
1.4.1 Préambule

Il n'a pas été réalisé de calage ou de calibration dans « les règles de l'art » pour ce modèle car l'objectif est d'avoir des données cohérentes sans forcément chercher à représenter la réalité au plus juste. Ce sont plutôt des comparaisons qui ont été réalisées pour le niveau d'eau et la houle.

1.4.2 Niveau d'eau

Le modèle est forcé sur sa frontière Est en niveau d'eau par une série issue du marégraphe de port Vendres. Le signal propagé par le modèle est extrait au niveau de la position du marégraphe, de manière à voir s'il est déformé ou non et à valider la donnée de forçage. La figure à suivre illustre ces propos.

Figure 10 : Comparaison modèle / marégraphe



Source : SHOM, BRLi

La courbe pointillée en bleu correspond à la mesure du marégraphe (données validées à 1H). La courbe verte correspond au signal extrait du modèle à l'endroit du marégraphe. Le modèle reproduit très fidèlement le signal au niveau du marégraphe, seules quelques oscillations centimétriques apparaissent ici et là notamment sur les « pics » et les « creux » du signal.

Le forçage avec le signal du marégraphe semble donc approprié pour avoir des données cohérentes de niveau d'eau sur le domaine modélisé.

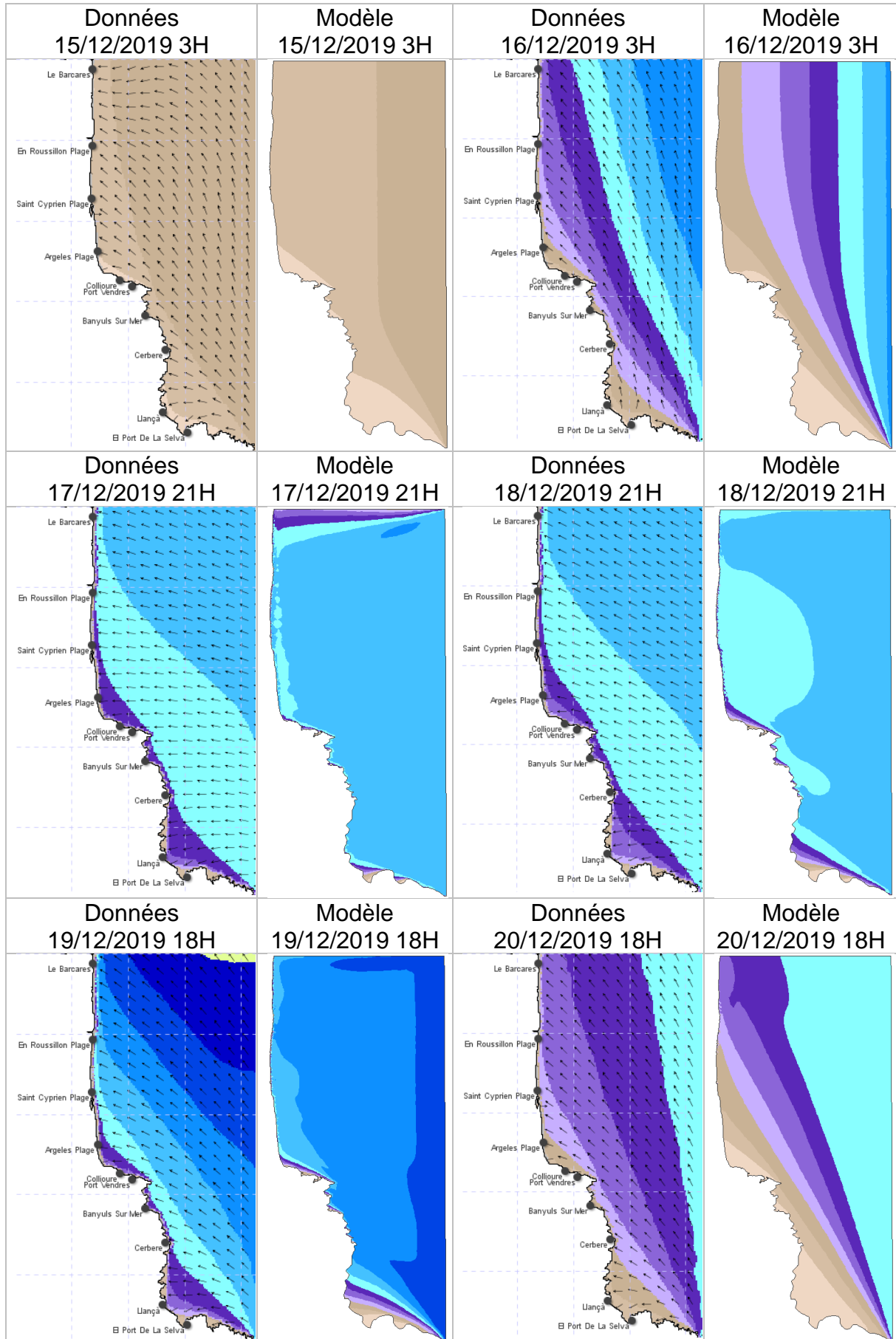
1.4.3 Houle

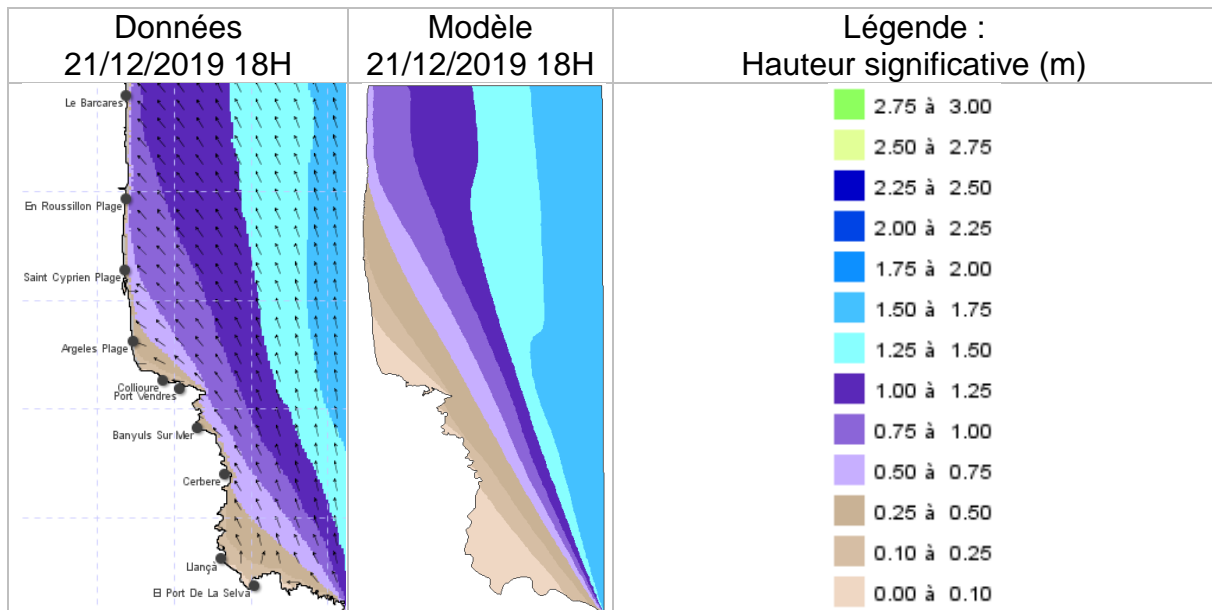
Concernant la houle, le modèle est forcé uniquement sur sa frontière Est par une série temporelle extraite en un point de la donnée MARC de l'IFREMER.

Les figures ci-dessous présentent une comparaison (en divers instants de la simulation) entre la « donnée » issue du modèle MARC de l'Ifremer et notre modèle local pour la hauteur significative.



Figure 11 : Comparaison modèle / données MARC (heure UTC)





Source : IFREMER, BRLi

Le modèle donne des résultats assez cohérents avec la donnée Ifremer malgré un forçage unique sur toute la frontière Est. Suivant les moments de la simulation, on obtient des valeurs de houle un peu plus forte (21/12 par exemple) ou peu plus faible (16/12 par exemple) avec notre modèle local. On observe également un effet de bord sur la frontière Nord (17/12 par exemple) mais celui-ci n'est pas gênant car il est suffisamment éloigné de la zone d'intérêt.

Le forçage avec la donnée MARC en un point semble donc approprié pour avoir des données cohérentes de houle sur la zone d'intérêt.

2 RESULTATS

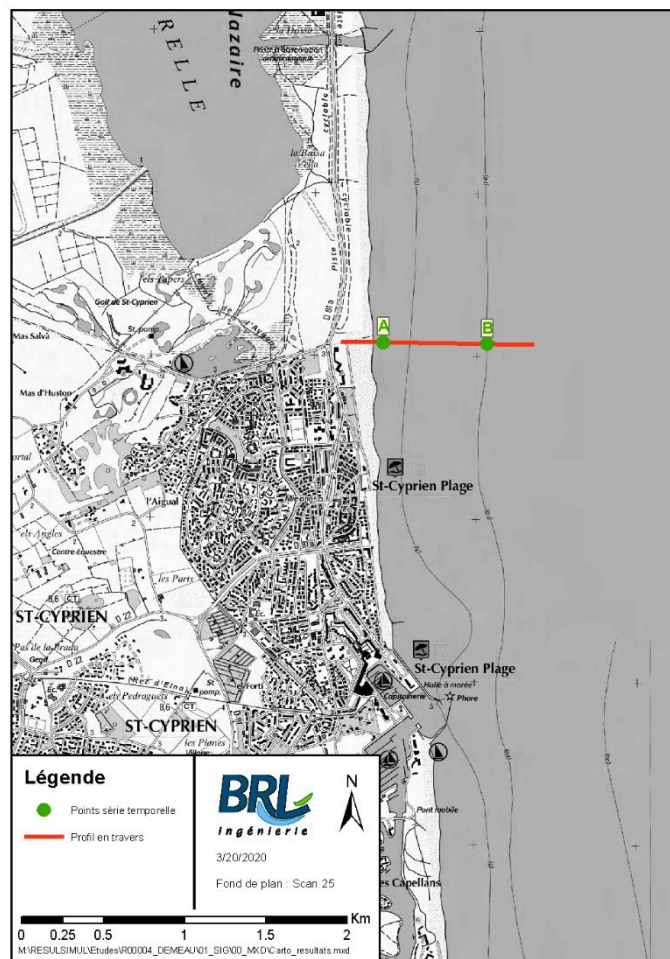
2.1 SITUATION ACTUELLE

Les résultats de la simulation d'une semaine (décembre 2019) sont présentés sous deux formes :

- les résultats à un instant donné sur le profil en travers rouge
- les résultats en deux points (A et B en vert) sous forme de série temporelle

La figure à suivre illustre ces propos.

Figure 12 : Localisation des extractions des résultats



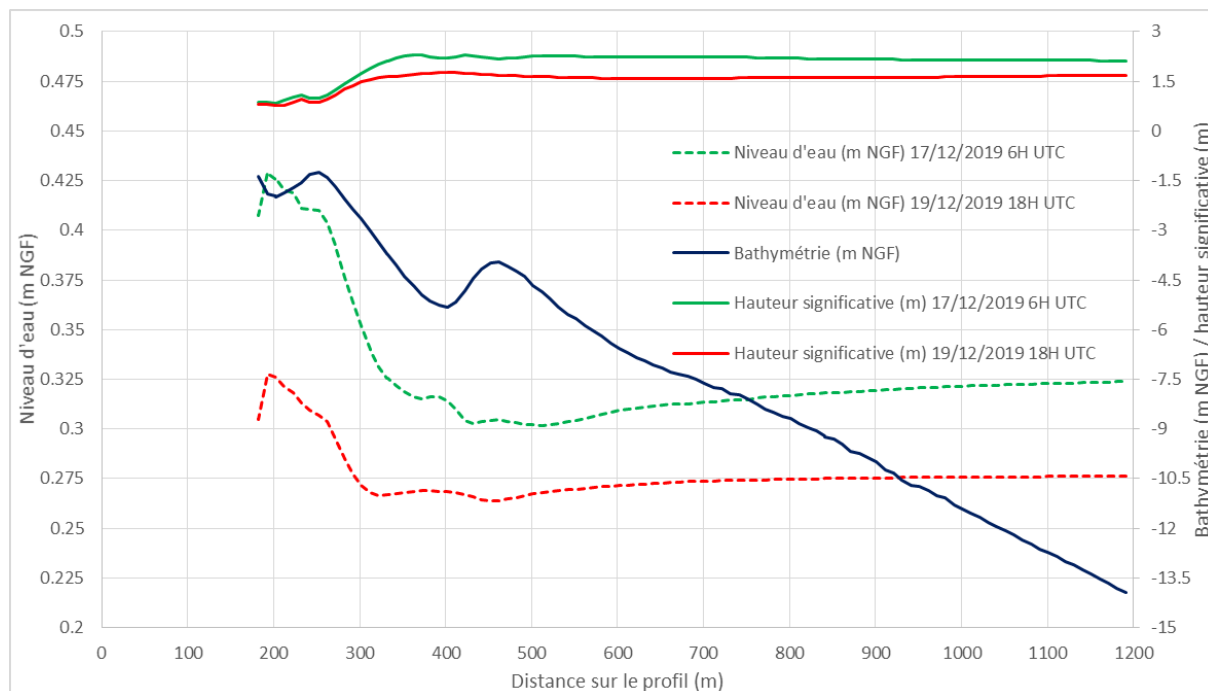
Source : BRLi

La bathymétrie est de -1.5 m NGF au point A et de -10 m NGF au point B.

La figure à suivre présente les résultats sur le profil en long, à deux instants donnés : 17/12/2019 6H UTC (en vert) et 19/12/2019 18H UTC (en rouge).



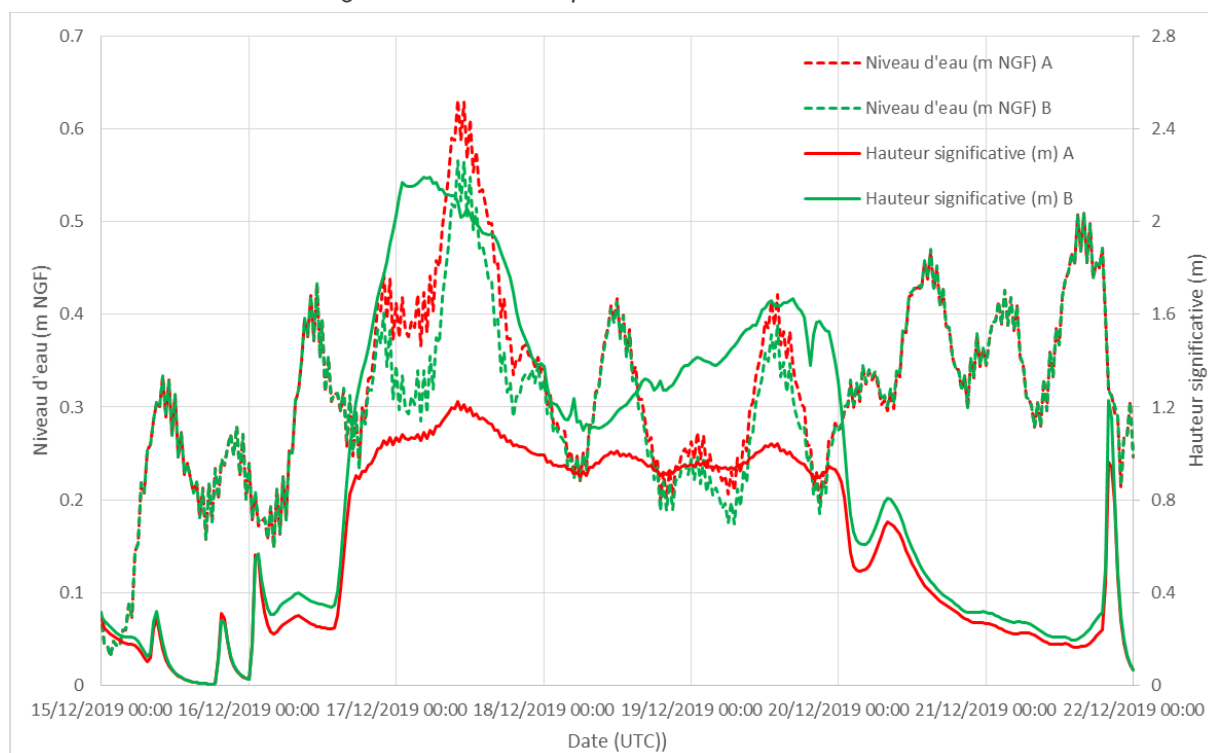
Figure 13 : Profil en long houle et niveau d'eau



Source : BRLi

L'analyse qui peut être faite est la même pour les deux dates étudiées. La hauteur significative de la houle est relativement constante en partant du large (PM1200) et en venant vers la côte jusqu'au PM500. Ensuite la houle gonfle au niveau de la barre sableuse externe (remontée bathymétrique au PM450) puis elle diminue brusquement (déferlement bathymétrique) au niveau de la barre sableuse interne (remontée bathymétrique au PM250). Concernant le niveau d'eau, il diminue très légèrement en partant du large vers la côte jusqu'au PM400 environ. Ensuite, on observe un wave setup lié au déferlement de la houle, d'autant plus marqué que la houle est forte.

Figure 14 : Séries temporelles houle et niveau d'eau

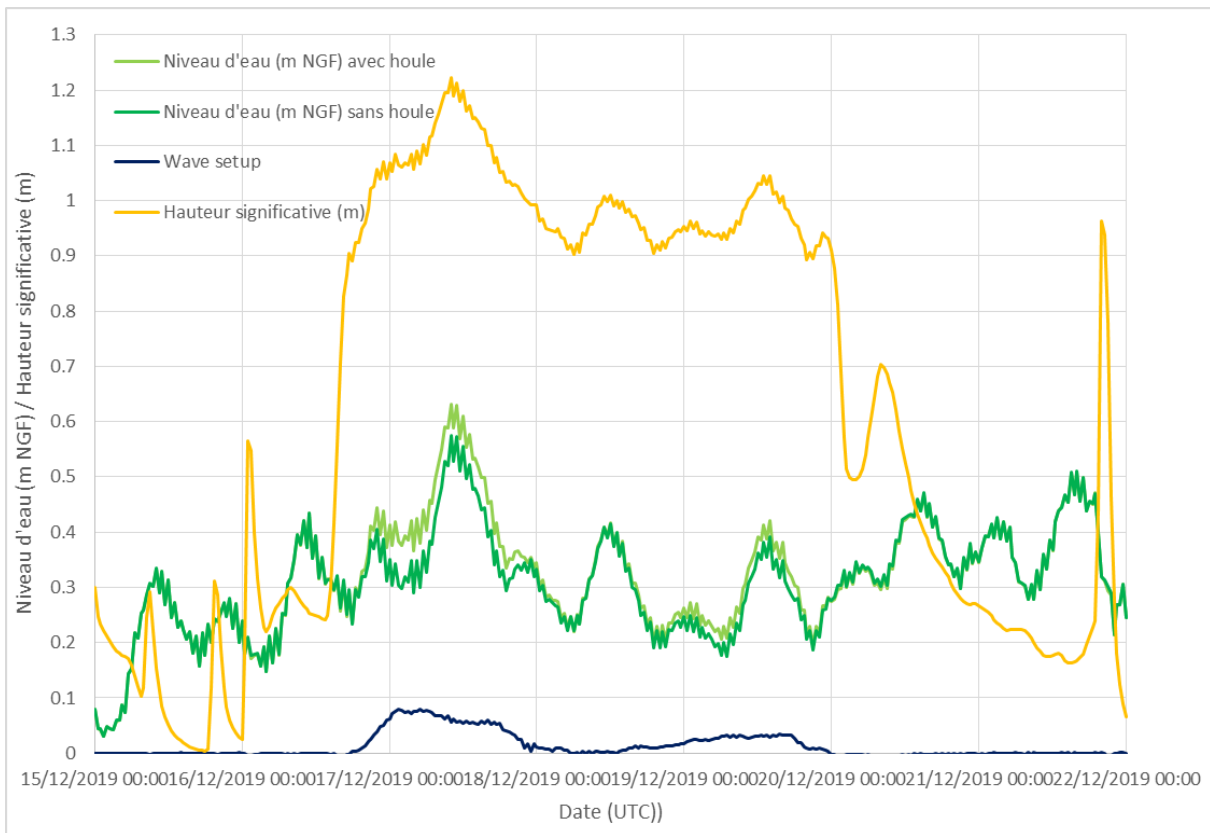


Source : BRLi

Concernant les séries temporelles, il est intéressant de comparer les deux points entre eux. Pour la houle, la hauteur significative est sensiblement identique aux deux points quand la hauteur significative est faible (inférieure à 1m). Au plus fort de la tempête (17/12 au 20/12) la houle est plus forte au large (point B) qu'à terre (point A), naturellement du fait du déferlement bathymétrique. En ce qui concerne le niveau d'eau, il faut relier les différences entre les points à l'écart de houle entre les deux points. Ainsi, quand l'écart entre la houle au large et la houle en terre est faible (avant le 17/12 et après le 20/12) les niveaux d'eau sont identiques en A et en B. Au plus fort de la tempête, la différence de niveau d'eau est d'autant plus importante que l'écart de houle est important. Ceci est une conséquence du déferlement bathymétrique qui génère du wave setup.

Pour mieux visualiser l'influence du wave setup, une simulation sans couplage avec la houle est réalisée, tous les autres paramètres restant identiques. La figure à suivre présente les résultats (séries temporelles) au point A, où l'influence du setup est visible (de par la faible profondeur d'eau).

Figure 15 : Caractérisation du wave setup



Source : BRLi

Le setup est visible au point A (profondeur 1m50 environ) quand la houle dépasse 90cm. Les surcotes obtenues atteignent presque 10cm. Encore plus près du bord (dernier points en eau), le setup maximum atteint 15cm.



2.2 ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER LIÉE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

2.2.1 Données du GIEC

L'élévation du niveau moyen de la mer liée au changement climatique est étudiée par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC). Le GIEC a publié en 2014 le « 5^{ème} rapport d'évaluation » dans lequel des projections d'élévation du niveau d'eau sont réalisées en fonction de différents scénarios d'émission des gaz à effet de serre. La publication du prochain rapport officiel « 6^{ème} rapport d'évaluation » est prévue au cours de l'année 2021. Entre temps, un rapport appelé « Le changement climatique, les océans et la cryosphère » a été publié en septembre 2019, dans lequel de nouvelles projections d'élévation du niveau marin ont été réalisées. Nous présentons donc ci-dessous les principales conclusions des deux rapports du GIEC à disposition.

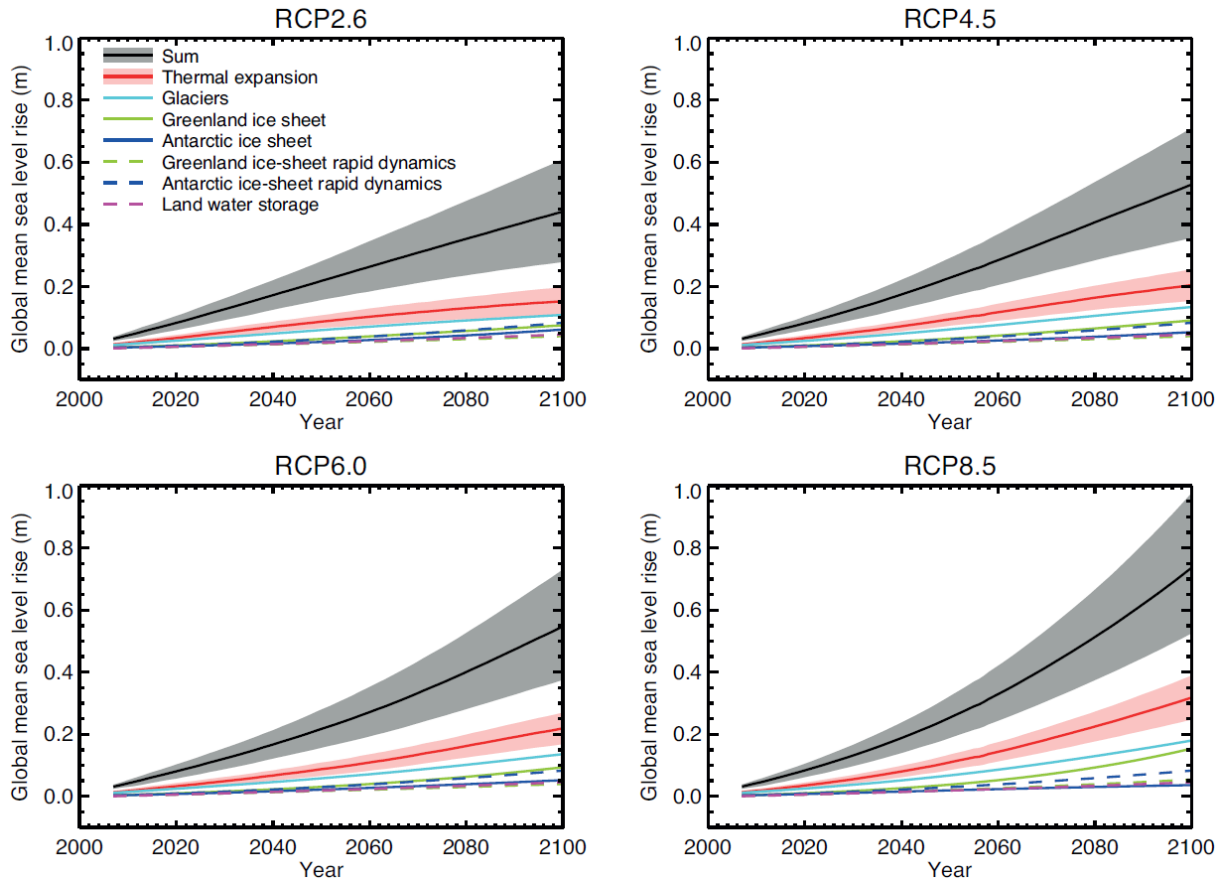
2.2.1.1 5^{ème} rapport d'évaluation – GIEC, 2014

Dans ce rapport, quatre scénarios sont étudiés :

- RCP2.6 : scénario « optimiste » basé sur une diminution de l'émission des gaz à effet de serre ;
- RCP4.5 et RCP6.0 : scénarios « moyens » basés sur une stabilisation de l'émission des gaz à effet de serre ;
- RCP8.5 : scénario « pessimiste » basé sur une augmentation de l'émission des gaz à effet de serre.

Pour chaque scénario, plusieurs modèles de prévisions sont utilisés, les résultats sont présentés sur la figure ci-dessous. L'élévation totale du niveau moyen de la mer est représentée par la courbe noire : elle représente la somme de toutes les composantes participant à l'élévation du niveau de la mer (comme l'expansion thermique des océans, la fonte des glaciers continentaux et la fonte des calottes glaciaires antarctique et du Groenland). La zone grisée représente les intervalles de confiance du modèle de prédiction.

Figure 16 : Scénarios d'élévation du niveau marin sous l'effet du changement climatique - GIEC 2014



Source : GIEC 2014

Les projections de ce rapport s'arrêtent à 2100, nous pouvons donc présenter les valeurs d'élévation du niveau marin pour les horizons 20 ans, 50 ans et 80 ans, correspondant respectivement aux années 2040, 2070 et 2100. Les scénarios RCP4.5 et RCP6.0 étant très proches, nous présentons uniquement les valeurs pour le scénario RCP6.0. **Dans le tableau suivant, les élévations de niveau d'eau sont présentées par rapport à 2020.**

Tableau 1 : Valeurs d'élévation du niveau marin pour différents horizons par rapport à l'année 2020 - GIEC 2014

Horizon	Année	Scénario RCP2.6			Scénario RCP6.0			Scénario RCP8.5		
		bas	médiane	haut	bas	médiane	haut	bas	médiane	haut
20 ans	2040	+0.05m	+0.10m	+0.15m	+0.05m	+0.10m	+0.15m	+0.06m	+0.11m	+0.16m
50 ans	2070	+0.15m	+0.25m	+0.35m	+0.17m	+0.27m	+0.37m	+0.22m	+0.33m	+0.46m
80 ans	2100	+0.20m	+0.37m	+0.52m	+0.27m	+0.45m	+0.62m	+0.44m	+0.66m	+0.89m

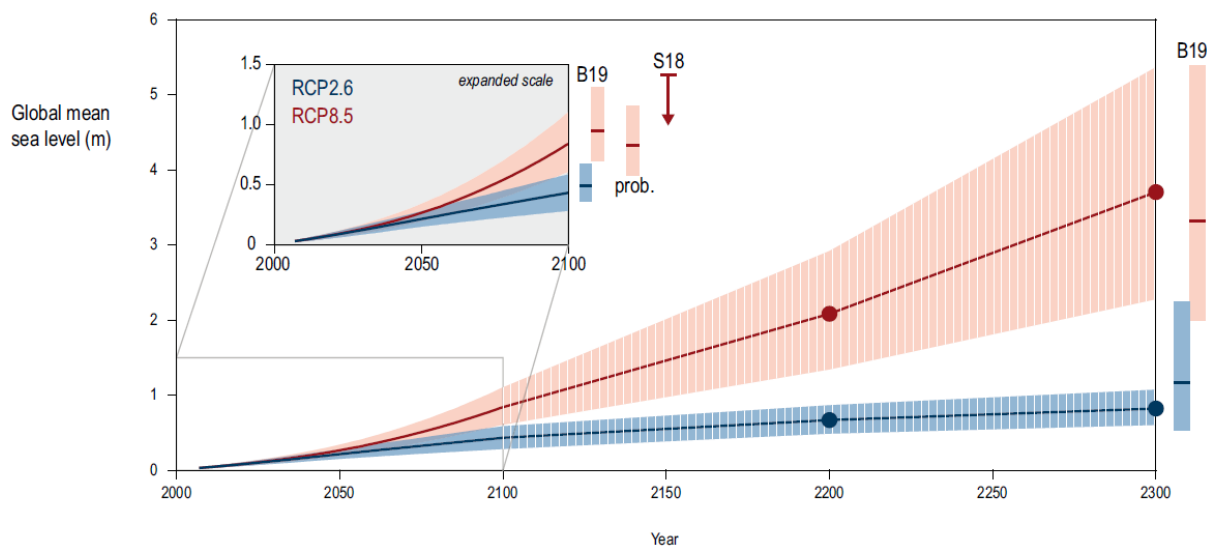
Source : GIEC 2014

2.2.1.2 Le changement climatique, les océans et la cryosphère – GIEC, 2019

Dans ce rapport, seuls les deux scénarios RCP2.6 et RCP8.5 sont étudiés pour les projections de l'élévation du niveau marin. A noter que ce rapport fournit également des projections jusqu'en 2300. Nous sommes donc en mesure de présenter les valeurs d'élévation du niveau marin pour les horizons 20 ans, 50 ans, 80 ans et 100 ans correspondant respectivement aux années 2040, 2070, 2100 et 2120.



Figure 17 : Scénarios d'élévation du niveau marin sous l'effet du changement climatique - GIEC 2019



Source : GIEC 2019

La détermination graphique des valeurs d'élévation pour différents horizons a été réalisée, les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. **Dans le tableau suivant, les élévations de niveau d'eau sont présentées par rapport à 2020.**

Tableau 2 : Valeurs d'élévation du niveau marin pour différents horizons par rapport à l'année 2020 - GIEC 2019

Horizon	Année	Scénario RCP2.6			Scénario RCP8.5		
		bas	médiane	haut	bas	médiane	haut
20 ans	2040	+0.03m	+0.09m	+0.14m	+0.05m	+0.11m	+0.16m
50 ans	2070	+0.11m	+0.21m	+0.31m	+0.24m	+0.36m	+0.49m
80 ans	2100	+0.18m	+0.34m	+0.48m	+0.50m	+0.74m	+0.98m
100 ans	2120	+0.21m	+0.38m	+0.54m	+0.65m	+1.01m	+1.36m

Source : GIEC 2019

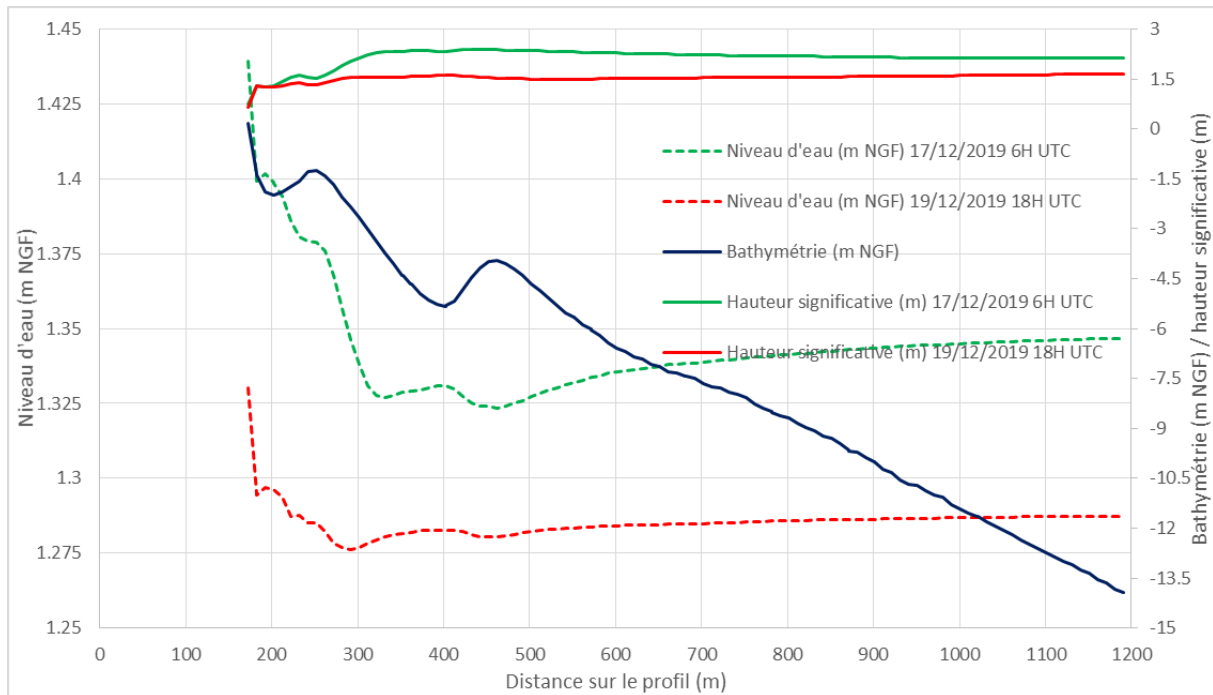
2.2.2 Implémentation dans les modélisations

Pour les modélisations, nous utilisons la valeur médiane du scénario RCP8.5 à l'horizon 100 ans (en 2120) soit 1.01m. La simulation actuelle est reprise telle quelle, en ajoutant cette valeur sur tout le signal de niveau d'eau.

A noter que cette hypothèse a des limites car en réalité quand le niveau d'eau sera plus haut la plage va se remodeler. On peut aussi considérer qu'il s'agit d'une grosse tempête qui durerait dans le temps.

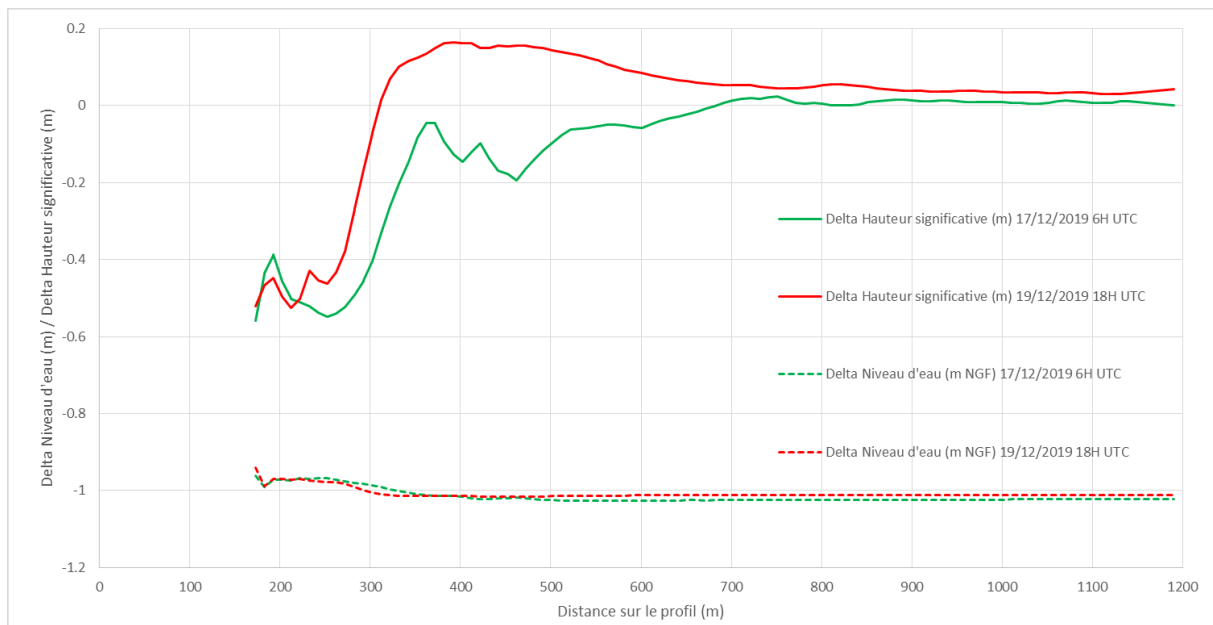
Les résultats avec augmentation du niveau moyen de la mer lié au changement climatique sont présentés de la même manière que pour la situation actuelle. La figure à suivre présente les résultats sur le profil en long, à deux instants donnés : 17/12/2019 6H UTC (en vert) et 19/12/2019 18H UTC (en rouge).

Figure 18 : Profil en long houle et niveau d'eau (avec changement climatique)



Source : BRLi

Figure 19 : Différence résultats profils en long (actuel – changement climatique)



Source : BRLi

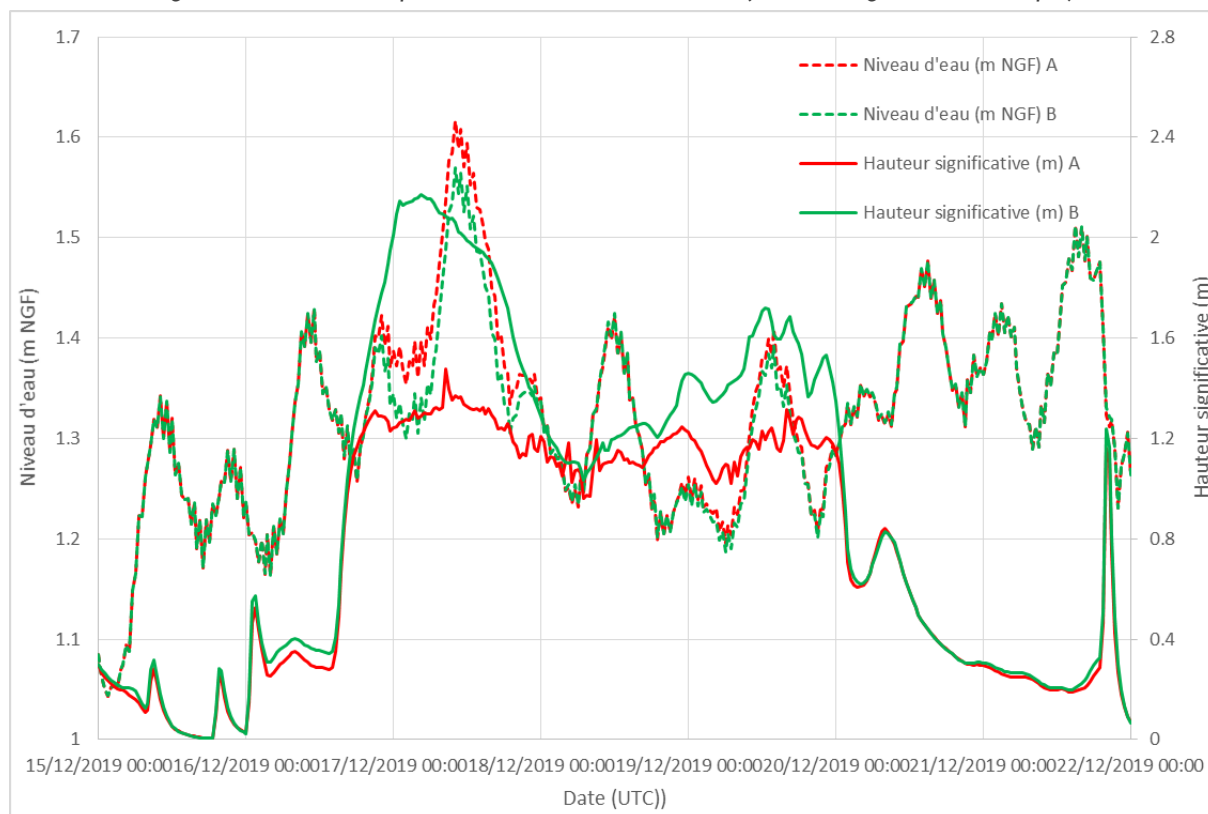
Sur la partie du profil inférieure à 350m environ, la houle est plus forte dans la situation avec changement climatique que dans la situation actuelle. Ceci est certainement dû au fait que la hauteur d'eau dans la situation avec changement climatique est plus élevée (augmentation du niveau d'eau) et que la houle est moins limitée par la profondeur. Pour les niveaux d'eau, il faut garder en mémoire que le forçage de la simulation avec changement climatique est décalé de +1.01m. Sur la partie du profil inférieure à 350m environ l'écart de niveaux d'eau est inférieure à -1.01m. Ceci s'explique certainement par la position de la zone de déferlement, générant le setup, qui doit être décalée « plus au bord » avec le changement climatique.

Sur la partie du profil supérieure à 350m environ (au large donc), les résultats sont sensiblement identiques entre les simulations, mis à part le décalage de 1.01m pour le niveau d'eau évidemment.



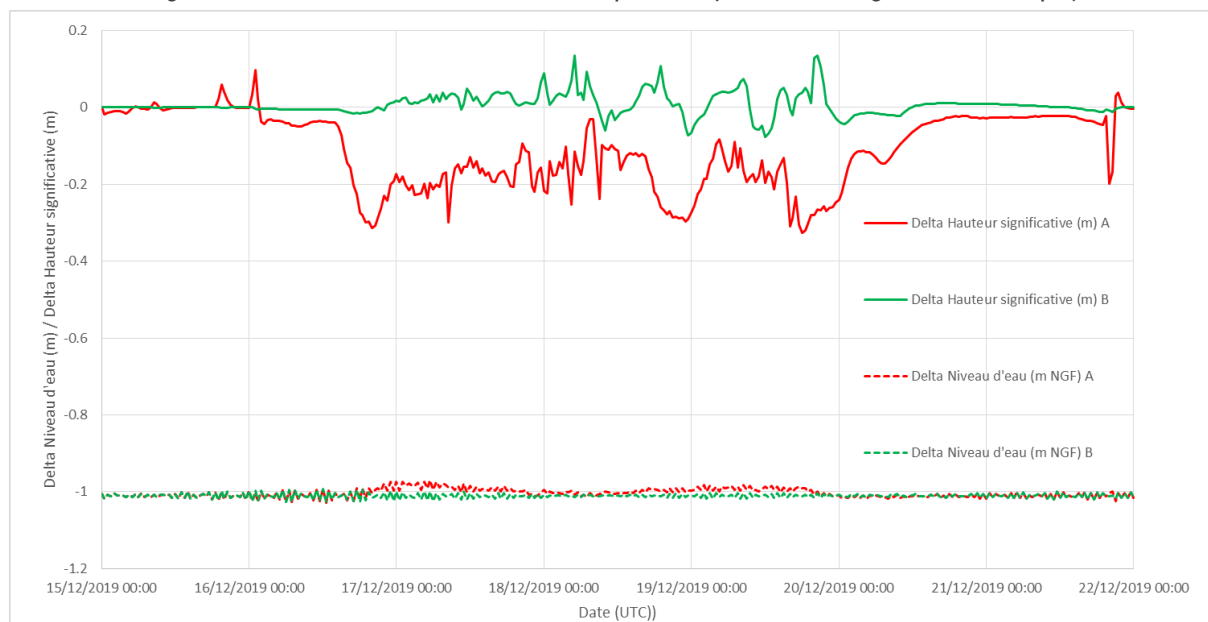
Les figures à suivre présentent les résultats pour des séries temporelles.

Figure 20 : Séries temporelles houle et niveau d'eau (avec changement climatique)



Source : BRLi

Figure 21 : Différence résultats séries temporelles (actuel – changement climatique)



Source : BRLi

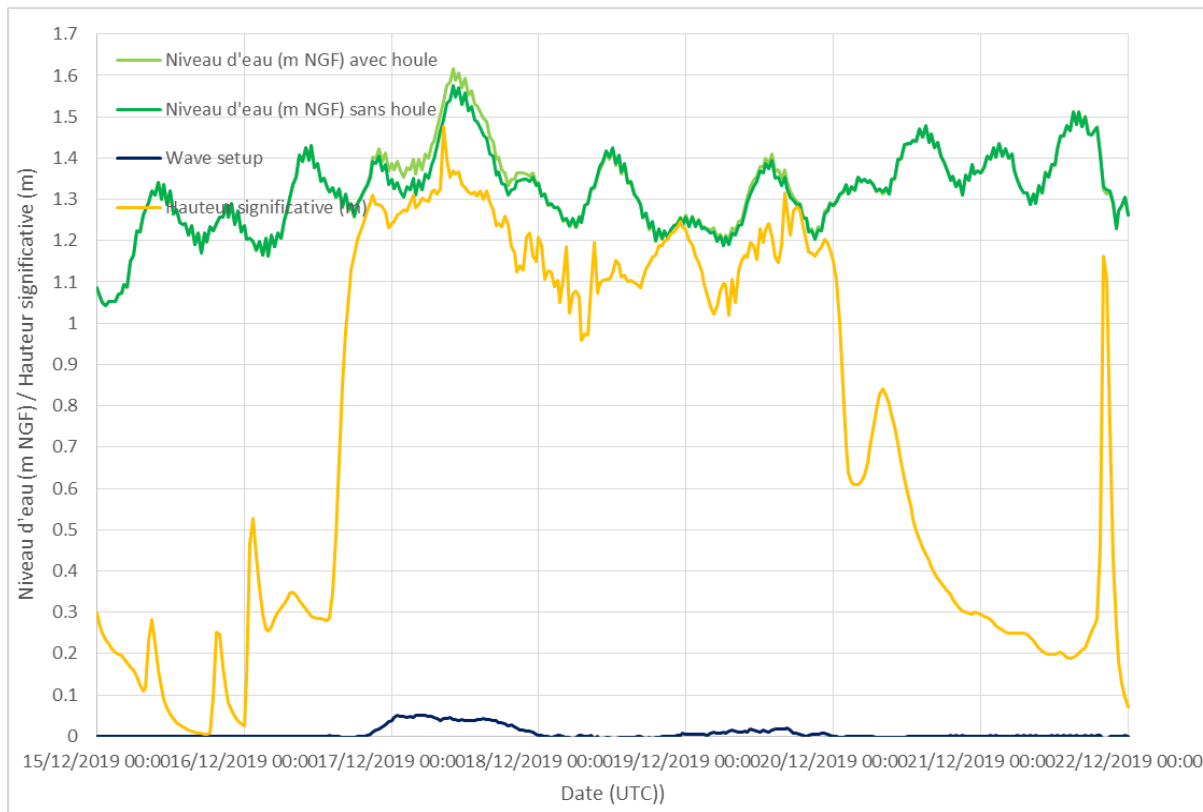
Au point B (au large), les résultats sont sensiblement identiques, c'est-à-dire un écart de houle faible et un écart de niveau d'eau égal au décalage du forçage (1.01m).



Au point A, on peut faire la même analyse que pour les résultats en profil : la houle est plus forte avec le changement climatique et l'écart de niveau d'eau inférieur à -1.01m certainement à cause du décalage de la zone de déferlement.

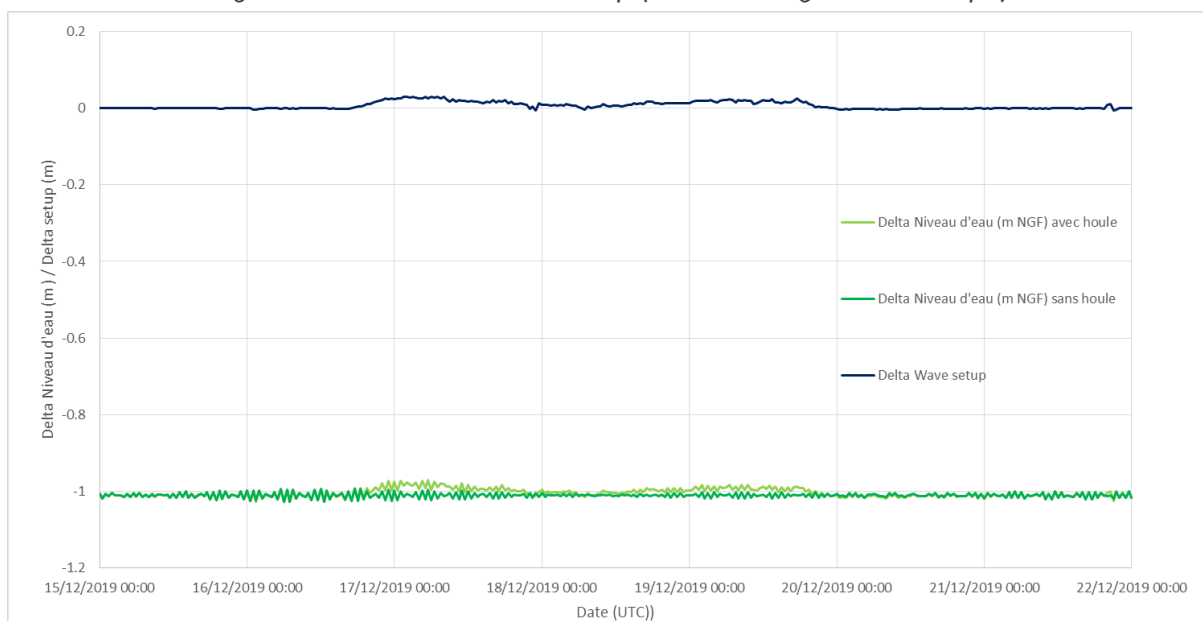
Pour le wave setup, une simulation sans couplage avec la houle est réalisée comme précédemment, tous les autres paramètres restant identique. La figure à suivre présente les résultats (séries temporelles) au point A.

Figure 22 : Caractérisation du wave setup (avec changement climatique)



Source : BRLi

Figure 23 : Différence résultats setup (actuel – changement climatique)





Source : BRLi

Le setup est visible au point A (profondeur 1m50 environ) quand la houle dépasse 90cm. Les surcotes obtenues atteignent environ 5cm. Le setup en ce point est plus faible avec le changement climatique, certainement comme expliqué précédemment à cause du décalage de la zone de déferlement. Ceci se confirme avec les écarts de niveau d'eau : sans houle l'écart est égal au décalage de forçage (1.01m) et avec de la houle l'écart de niveau d'eau est légèrement inférieur à -1.01m. Par ailleurs, le setup est évalué plus au bord pour la situation avec changement climatique et il atteint presque 20cm (un peu plus que pour la situation actuelle).

2.3 CONCLUSION

Les résultats en situation actuelle et avec changement climatique se sont révélés difficiles à comparer. En effet, les comparaisons sont faites sur des points fixes alors que les hauteurs d'eau augmentent avec le changement climatique. La physique du déferlement des vagues et du setup est donc décalée. De plus, et comme expliqué dans les hypothèses de départ, le profil va certainement se remodeler avec l'augmentation du niveau d'eau, ce qui pourrait changer les résultats et l'analyse.

Concernant les houles, au niveau du point fixe A près du bord les houles seront plus fortes avec le changement climatique, certainement dû au fait que les houles sont moins limitées par la profondeur d'eau.

Concernant les niveaux d'eau, la variable la plus appropriée pour les comparaisons est le setup, ce qui permet d'éliminer l'offset du forçage. Au point fixe A, près du bord, le setup est moins important (3cm en moins) avec le changement climatique, certainement dû au fait que le déferlement se fait plus près du rivage. Concernant le setup calculé sur le dernier point en eau, il est plus fort avec changement climatique (presque 20cm) comparé à la situation actuelle (15cm). Ces résultats sont à relativiser car ils dépendent du profil de plage qui va évoluer avec l'augmentation du niveau d'eau.



BRL
Ingénierie



www.brl.fr/brli

Société anonyme au capital de 3 183 349 euros
SIRET : 391 484 862 000 19 - RCS : NÎMES B 391 484 862
N° de TVA intracom : FR 35 391 484 862 000 19

1105, avenue Pierre Mendès-France
BP 94001 - 30 001 Nîmes Cedex 5
FRANCE
Tél. : +33 (0) 4 66 87 50 85
Fax : +33 (0) 4 66 87 51 09
e-mail : brli@brl.fr