



UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER

INSTITUT DES PLAGES GLADYS
Université de Montpellier

DOSSIER D'EXPERTISE
CPER 2015 – 2020

30 avril 2018



Contact :
Frédéric Bouchette
Laboratoire Géosciences-Montpellier
cc 60 Université de Montpellier
34095 Montpellier cedex 5
Tel : 06 32 67 55 90
frederic.bouchette@umontpellier.fr

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	3
PARTIE 1 : PRÉSENTATION GENERALE.....	5
FICHE SYNOPTIQUE.....	6
HISTORIQUE DE LA DEMANDE.....	7
PRÉSENTATION RÉSUMÉE.....	8
ACTIVITÉS MENÉES SUR L'INSTITUT DES PLAGES.....	11
LE SITE RETENU ET LE BATIMENT D'ACCUEIL.....	12
ASPECTS JURIDIQUES.....	12
POINTS DIVERS PROPRES AU DOSSIER CPER.....	13
GOUVERNANCE DE L'INSTITUT DES PLAGES.....	19
BUDGET.....	20
PARTIE 2 : PRÉSENTATION TECHNIQUE, MONTAGE JURIDIQUE ET OPÉRATIONNEL....	22
CONTEXTE OPERATIONNEL ET CADRE JURIDIQUE.....	23
ETAT DES LIEUX.....	24
PROJET DE RÉHABILITATION.....	28
PROGRAMME DU PROJET DE RÉHABILITATION.....	34
NOTICE DESCRIPTIVE SOMMAIRE DES TRAVAUX.....	34
ESTIMATIF COÛT DES TRAVAUX.....	38
PARTIE 3: PRÉSENTATION SCIENTIFIQUE.....	40
CADRAGE DE LA PRÉSENTATION SCIENTIFIQUE.....	41
LA DYNAMIQUE LITTORALE & GLADYS.....	41
QU'EST CE QUE GLADYS EN PRATIQUE ?.....	49
LES APPROCHES METHODOLOGIQUES DE GLADYS.....	50
PRÉSENTATION SYNTHÉTIQUE DES QUESTIONS DE RECHERCHE.....	50
PRÉSENTATION DES ACTIVITES DE RECHERCHE.....	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (MAJORITAIREMENT GLADYS).....	68

INTRODUCTION

La région Occitanie, par un courrier en date du 27 juillet 2015 (voir annexes) a proposé d'inscrire le projet « Institut des plages GLADYS de l'Université de Montpellier » dans le cadre du CPER 2014 – 2020, suite à une demande portée par le laboratoire Géosciences-Montpellier, animateur du réseau GLADYS (www.gladys-littoral.org) à l'Université de Montpellier.

Le réseau GLADYS dans sa forme actuelle est l'héritage direct d'une plateforme technique GEPETO financée par la région LR, créée en 2005 et portée par l'Université de Montpellier depuis. Il regroupe à la base 8 laboratoires du Grand Sud de France hébergeant des petits groupes de littoralistes (CEFREM Perpignan, GM Montpellier, LEGI Grenoble, MIO Toulon, CEREGE Aix, ASM Lattes, L2C Montpellier, I3M Montpellier). Les tutelles concernées par le réseau sont l'UM, le CNRS et l'UPVD. Mais l'Université de Montpellier est porteuse seule du réseau sur le plan administratif. L'institut des plages GLADYS de l'Université représente l'évolution naturelle de ce réseau : réseau distribué et informel, nous passons à son ancrage dans un lieu physique, avec l'accueil des équipes et des équipements assurant la caractérisation de l'hydro-morphodynamisme littoral en façade Méditerranée.

Le réseau GLADYS regroupe quasiment 100 % de la ressource humaine scientifique travaillant entre Perpignan et Toulon sur la mesure des paramètres physiques abiotiques (hors biologie et chimie) et sur l'évolution morphologique des plages. L'acquisition de données littorales in-situ est une activité au cœur de la recherche académique sur la dynamique littorale et les sujets connexes (érosion, submersion, protection du littoral, aménagement, soft- et reverse-engineering, quantification de la ressource énergétique littorale). Ces activités de mesure sont menées en contact permanent avec les gestionnaires du littoral et un réseau dense d'entreprises qui bénéficient directement de nos résultats et activités. Ce projet est stratégique pour l'épanouissement des activités de l'Université sur le thème du littoral, tout particulièrement pour les approches par les géosciences, la mécanique, la physique théorique, les mathématiques environnementales et la géographie physique. Il offre de très belles perspectives d'ouverture vers les sciences de la métrologie (capteurs, automatismes). Cette initiative aura un effet fédérateur/catalyseur évident : l'institut sera un élément facilitateur du dépassement des frontières disciplinaires et géographiques.

L'institut des plages GLADYS de l'Université de Montpellier est un projet précurseur, préfigurant ce que peut devenir la recherche à l'Université sur les thématiques de la dynamique littorale, tout particulièrement dans la perspective de la mise en place de structures d'animation à vocation collective (exemple : KIM « Mer et littoral » de MUSE, réseau national DYNALIT, réseau mer Unesco,...).

Le présent projet d'institut des plages GLADYS de l'Université de Montpellier était initialement un sous-projet d'une demande plus large appelée CELIMER portée par la communauté des biologistes. Il a été identifié comme un projet à part entière par la région Occitanie. Les projets CELIMER et Institut des plages GLADYS sont respectueux l'un de l'autre, sont totalement complémentaires tout en poursuivant des objectifs scientifiques propres très bien délimités.

Une première partie « présentation générale » regroupe des informations de toutes natures, souvent présentées en format abrégé : historique du projet, ses caractéristiques générales, son contexte et son ambition,... ; cette partie apporte des réponses aux questions contractuelles posées par la région et les organes d'instruction des dossier CPER. Une seconde partie constitue le dossier « technique » et apporte tous les éléments de compréhension du projet de réhabilitation du site ; elle a été écrite en collaboration avec SPL30 / SEGARD, qui est un partenaire technique du projet (comme expliqué plus bas). Enfin, une troisième partie constitue le « dossier scientifique » montrant les perspectives immédiates de développement des activités scientifiques possibles sur l'Institut des plages.

PARTIE 1 : PRÉSENTATION GENERALE

FICHE SYNOPTIQUE

Intitulé exact de l'opération :

Institut des plages GLADYS de l'Université de Montpellier

Maître d'ouvrage de l'opération :

Université de Montpellier représentée par monsieur le président, Philippe Augé.

Laboratoire en charge de l'opération :

Géosciences-Montpellier (DU : Benoît Ildefonse)

Responsable scientifique du projet :

Frédéric Bouchette

Budget de l'opération :

595 000 Euros dont 500 000 Euros par le CPER Région Occitanie (100 % région)

95 000 Euros sur fonds propres (100 % acquis à la date de ce document)

UM : 5 kEu, Fonds propres labo : 65 kEu (origines GLADYS / DREAL), INSU/CNRS : 25 kEu (via labo)

Objet et fonction principale de l'opération :

Les fonctions principales de l'institut des plages GLADYS sont l'accueil d'équipes de recherche académique interdisciplinaires spécialisées en dynamique littorale, le stockage d'équipements de mesure hydro-morphodynamique littorale (vagues, courant, transport, évolution du fond et du trait de côte), leur configuration, leur entretien et leur utilisation en mer et en environnement contrôlé, ainsi que l'accompagnement des formations régionales en lien avec la dynamique littorale, et le soutien de relations R&D avec la société civile et le tissu industriel. L'opération consiste à participer à la rénovation d'un bien public appartenant à la commune du Grau du Roi à la limite Est de la région Occitanie, à mettre en place toutes les conditions nécessaires pour faire en particulier de ce bien le lieu d'implantation physique du réseau GLADYS (créé et financé par la région LR en 2005) spécialisé dans l'étude de l'hydro-morphodynamisme littoral.

Calendrier de l'opération :

Après une inscription au CPER en juillet 2015, et une phase de recherche active d'un site d'implantation jusqu'à l'été 2016, le projet a été repensé plusieurs fois en fonction d'aléas du montage immobilier (voir historique plus bas). Actuellement, si le projet est recevable, l'opération s'inscrit dans un calendrier sur la période 2018–2020, accompagnant celui de la rénovation plus générale du site sur lequel l'institut sera implanté, avec une mise en opération fin 2019.

HISTORIQUE DE LA DEMANDE

Lors de la demande d'inscription au CPER (2014), le projet d'Institut des plages GLADYS a été pensé initialement en terme de sous-projet du projet CPER CELIMER, porté par l'Université de Montpellier. Dans sa lettre de juillet 2015 au porteur scientifique du sous projet d'institut (Frédéric Bouchette), la région a identifié le sous-projet d'Institut des plages GLADYS comme un projet autonome, avec une inscription en propre au CPER. Depuis, selon les instructions de la région, le dossier doit être instruit de manière autonome.

Entre juillet 2015 et l'été 2016, les scientifiques en charge de ce projet ont construit une proposition qui a été soumise à la région LR en juillet 2016. Dès ce moment là, le projet a reposé sur la réhabilitation d'un bâtiment existant sur l'ancien site du centre hélio-marin CHU, à l'extrémité Ouest de la commune du Grau du Roi, préservé dans le cadre de l'opération de renaturalisation globale du site. L'achat du bâtiment lui-même n'a jamais été d'actualité (préférence des parties pour une mise en place d'une convention d'utilisation). Le projet a ensuite été modifié avec une proposition d'accueil de l'institut dans d'autres bâtiments du site à renaturaliser, pour des raisons de stratégie de développement local. Malheureusement, les autorisations pour préserver les bâtiments finalement pressentis et leur inscription dans une opération de réhabilitation en temps que bâtiments scientifiques n'ont pas pu aboutir, malgré la très bonne volonté de toutes les parties.

Les porteurs du projet ont donc travaillé sur une seconde version de projet d'institut entre l'été 2016 et le printemps 2017. Le projet a été ré-organisé à la baisse sur l'acquisition d'un bien « classique » (une habitation à restructurer en local de recherche, et un garage) avec des travaux de réhabilitation quasi inexistantes. Sur cette période, plusieurs biens ont été identifiés successivement, mais l'immobilier sur la zone littorale est complexe, et nos vues sur deux biens pressentis successifs n'ont pu être consolidées. L'Université a même pris certains engagements sur un bien pressenti (votation en CA, expertise du dossier, lettre non contractuelle pre-compromis de vente), mais la préfecture et la région ont émis des réserves – partagées par les porteurs – sur la pertinence de l'achat d'un bien de type privé pour installer l'institut.

La commune du Grau du Roi et son mandataire la SEGARD (actuellement SPL30) se sont rapprochés à nouveau des porteurs du projet et ont proposé de repartir sur la configuration initiale soumise au CPER fin 2014, à savoir l'installation de l'institut des plages dans le bâtiment officiellement préservé de l'ancien centre hélio-marin au Boucanet sur la commune du Grau du Roi.

A ce jour, après toutes les discussions nécessaires en interne à l'Université, nous soumettons une demande revue et corrigée, dans laquelle la gouvernance par l'Université de Montpellier est clairement affichée, le montage budgétaire actualisé, et la solution immobilière d'implantation sur le site du Boucanet totalement décrite, tant du point de vue technique que juridique et financier.

PRÉSENTATION RÉSUMÉE

Le projet d'institut des plages GLADYS/GM de l'Université de Montpellier est porté par les scientifiques du réseau GLADYS (voir www.gladys-littoral.org et www.soltc.org), un réseau collaboratif à l'échelle de la façade Méditerranéenne historiquement issu de la **plateforme GEPETO de la région LR** engagée sur le suivi et l'analyse de l'**hydro-morphodynamisme littoral**. Il est présenté sous la tutelle de l'Université de Montpellier, via un pilotage logistique quotidien par le laboratoire Géosciences-Montpellier (UMR CNRS) de l'Université.

Objectif scientifique général du projet d'institut

Le terme « hydro-morphodynamisme littoral » désigne le champ de recherche couvrant l'étude des vagues, des courants, du trait de côte, des formes sédimentaires de plage (dunes, barres sableuses,...), des ouvrages portuaires, et plus généralement l'ensemble des questions de recherche fondamentale et d'ingénierie portant sur les interactions complexes entre vagues, courants et transport sédimentaire, ainsi que leurs utilisation dans un contexte sociétal critique, en particulier sur les questions des risques littoraux et de la quantification des ressources énergétiques littorales.

La spécificité de ce thème de recherche est de combiner naturellement des questions scientifiques très fondamentales (Fig. 1; comment une vague déferle-t-elle ? A quelle vitesse et pourquoi les bancs sableux immergés devant la plage évoluent-ils ?) et des problématiques très orientées ingénierie (quelle est la meilleure forme possible pour un ouvrage de protection ? À quelle vitesse un trait de côte donné recule-t-il ? Où remettre du sable sur la plage pour mieux la protéger ?).

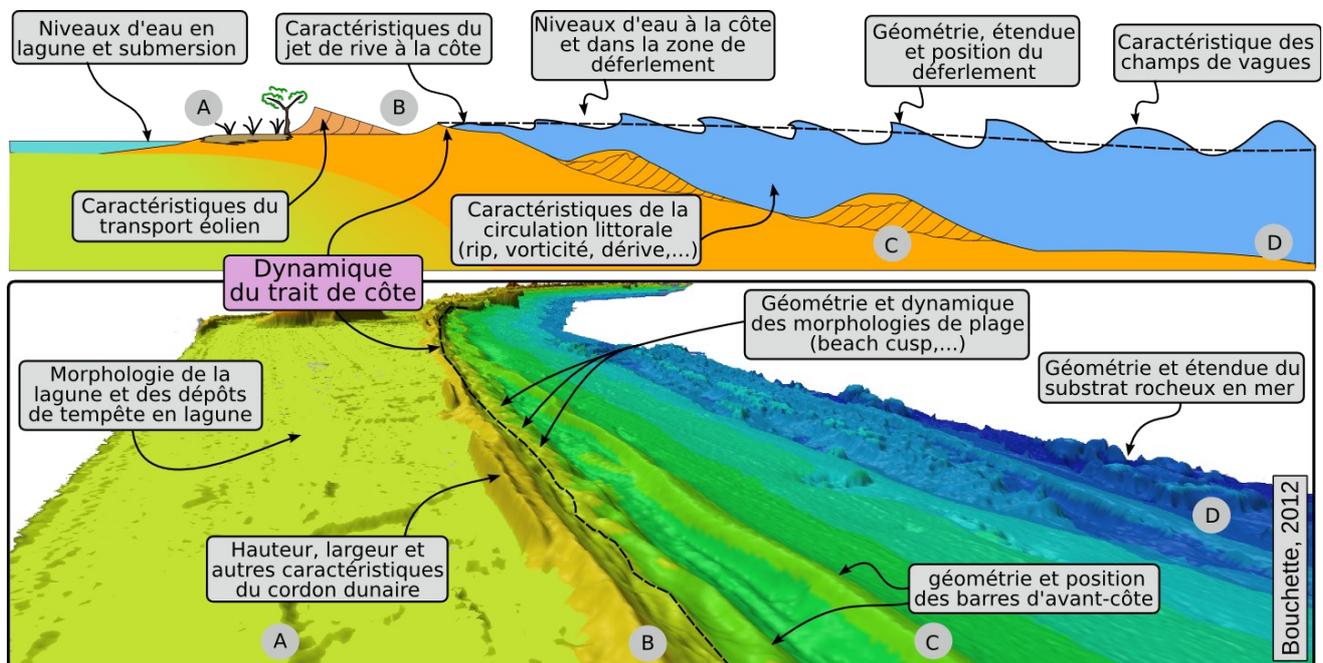


Fig 1 : Les processus étudiés par le réseau GLADYS qui sont ceux au cœur du projet d'implantation de l'Observatoire des plages.

L'objectif général du projet d'institut est d'apporter un ancrage immobilier à ces activités sur la façade Méditerranéenne. Ce projet ambitionne (1) d'assurer le stockage et l'entretien ainsi que faciliter la manipulation des équipements métrologiques de GLADYS sur le long terme, (2) d'assurer

la cohésion des équipes au sein de l'Université et au-delà entre les structures de recherche impliquées sur la façade, au national et à l'international tout particulièrement à l'échelle Méditerranéenne, (3) d'accueillir en un lieu bien identifié étudiants et partenaires civils et privés engagés d'une manière ou d'une autre sur l'étude de l'hydro-morphodynamisme littoral.

Ambitions du projet

La première ambition du projet est de permettre aux scientifiques littoralistes de la façade Méditerranée (et ponctuellement leurs réseaux collaboratifs nationaux et internationaux) de se regrouper physiquement à l'occasion de leurs nombreuses activités de déploiement en mer. Trouver un lieu de résidence physique pour ces équipes très investies sur les travaux de terrain (plage) est un besoin collaboratif et logistique fondamental, notamment dans le cadre des grandes opérations menées sur les littoraux gardois, héraultais et audois, exemplaires à bien des égards. L'institut peut également permettre de renforcer les activités d'enseignement inter-sites universitaires en façade.

L'institut des plages GLADYS de l'Université de Montpellier sera localisé sur la commune du Grau-du-Roi, à proximité de Port-Camargue. Le choix du site de Port Camargue / Grau du Roi est du à la proximité géographique de deux systèmes littoraux emblématiques (d'une part la flèche de l'Espiguette et d'autre part le Golfe d'Aigues-Mortes et système palavasien), largement suivis depuis plusieurs années par différents réseaux métrologiques (dont ceux de l'INSU, les SNO dédiés au littoral, ALLENI, SOERE, et plusieurs initiatives européennes).



Fig 2 : Implantation de l'Institut des plages entre le système palavasien et la flèche de l'Espiguette, deux systèmes instrumentés ayant une très bonne visibilité nationale en terme de recherche et R&D sur l'hydro-morphodynamisme littoral.

Une autre ambition du projet d'institut est de renforcer les très bons contacts entre les scientifiques littoralistes et la société civile (usagers, collectivités) et de rendre l'activité de recherche et de R&D sur la dynamique littorale encore plus visible auprès des entreprises pour favoriser le développement économique régional notamment en lien avec les questions d'aménagement portuaire, d'analyse des risques littoraux, de gestion du trait de côte et des ressources en sable, et de quantification des ressources énergétiques littorales. L'incarnation du réseau GLADYS en un lieu de taille raisonnable mais parfaitement identifié sera extrêmement bénéfique pour la visibilité de l'activité au-delà de la sphère strictement universitaire.

Une autre ambition est de trouver un lieu de stockage pour les équipements lourds dédiés à

l'observation littorale (appareils, structures porteuses, remorques, bateaux, mâts, ...) , actuellement répartis dans des lieux de stockage absolument sous-dimensionnés, non-adaptés (parfois chez les chercheurs eux-mêmes). Ce même lieu permettra la configuration de ces équipements avant les expérimentations, leur calibration, leur entretien et des activités de tests en conditions contrôlées dans un bassin, fondamentales pour valider les résultats obtenus en mer. Le projet d'institut tel que décrit ici satisfait ce besoin et aidera les chercheurs à rationaliser leurs efforts.

L'institut des plages au sein de l'Université de Montpellier

La recherche à l'Université de Montpellier sur la dynamique littorale au sens le plus large – de la biologie des plages à la conception de capteurs physico-chimiques spécialisés pour le monde sous-marins littoral, en passant par ce qui nous intéresse directement ici, à savoir la physique et la morphodynamique des systèmes littoraux naturels et anthropisés – est en pleine expansion. Des preuves tangibles d'une telle montée en puissance sont les réflexions en cours sur la création de structures d'animation scientifique « Mer et littoral » au niveau de l'Université. Quelle que soit la forme finale que prendront ces initiatives qui visent à structurer la recherche sur la mer et la dynamique littorale au sein de la grande Université, le projet d'institut des plages GLADYS en sera une brique élémentaire essentielle. Sa mise en place dans le calendrier de cette réflexion est primordiale pour les scientifiques et tous les laboratoires actuellement concernés ou qui le seront à terme.

Pour la politique de développement de l'Université sur ces questions de dynamique littorale, l'institut agira notamment à trois niveaux : (1) faciliter le dépassement des frontières disciplinaires en particulier au sein de l'UM (sciences de l'environnement, MIPS, sciences physiques marines, biologie marine, archéologie, économie du littoral, mécanique), (2) faciliter le regroupement des chercheurs au-delà des frontières strictes des laboratoires de Montpellier (Aix-Marseille, Toulon, Grenoble, Bordeaux, Perpignan, Brest sont des partenaires actifs sur notre façade, au côté de GLADYS), (3) augmenter la visibilité nationale (au sein du réseau national DYNALIT) et internationale (au sein de plusieurs initiatives européennes) de la recherche sur le littoral à Montpellier.

La façade Occitanie bénéficie d'une zone littorale incomparable pour la recherche et la R&D (plages diverses, systèmes rocheux, zone en engraissement et en érosion, submersion extrêmement bien documentée, très grands ouvrages portuaires, historique de gestion du littoral très ancienne, zone de test de solutions innovantes de protection comme les géotubes de Sète, inventés par GLADYS en collaboration avec BRLi). L'institut des plages doit pouvoir symboliser en un lieu représentatif l'ensemble des ces atouts.

Vis à vis de l'ancrage de l'Université dans les thématiques de développement de l'ex-région LR, il est bien évident que le projet est totalement en phase avec l'axe « économie portuaire et littorale » de la stratégie 3S de la région. Il reste totalement au cœur des préoccupations de la nouvelle région Occitanie après son travail de fusion des 2 stratégies de spécialisation. Le réseau GLADYS a été pensé totalement en phase avec cette stratégie. Les membres de GLADYS ont d'ailleurs largement

participé aux réunions initiales menées par la région LR au moment des faits pour définir les questionnements et enjeux scientifiques et économiques en zone littorale et portuaire. Le projet sera aussi largement utile pour les questions d'énergies renouvelables, puisque le réseau GLADYS s'investit depuis quelques années sur la quantification de telles ressources en zone littorale (vague, courant, vent, énergie potentielle due au niveau d'eau,...).

ACTIVITÉS MENÉES SUR L'INSTITUT DES PLAGES

L'institut des plages offrira essentiellement 3 types d'activités sur le site : (a) fédérer la recherche et favoriser le travail collaboratif entre chercheurs et entre chercheurs et société civile et monde de l'entreprise spécialisé sur la dynamique littorale en procédant à l'accueil de groupes sous différentes manières (accueil long, manifestations ponctuelles, rencontres), (b) stocker les équipements de GLADYS et assurer leur maintenance, calibration, réparation, adaptation, et (c) accueillir les équipes travaillant sur le littoral, les étudiants et/ ou autres personnels en stage ou formation sur le littoral. Le bâtiment pensé pour implanter l'institut (voir caractéristiques plus loin) sera configurable pour assurer les différentes missions suivantes, tout au long de l'année :

1) accueil sur 1 à 2 semaines d'une petite équipe de chercheur lors de campagnes de mesure sur plage sur la façade littorale. Hébergement, repos, nettoyage des équipements, maintenance. L'institut sera configuré en mini-centre d'accueil, et bureaux/ salle de travail.

2) accueil des étudiants de l'Université ou des autres universités sur de cours séjours (1 ou 2 jours, logement extérieur, pas d'hébergement sur place) orientés autour de la mesure des paramètres physiques en zone littorale. L'institut servira de point de départ pour les TP sur la plage, de lieu d'enseignement, de traitement des données, etc ... L'institut sera configuré en salle de cours/TP et atelier collectif.

3) stockage permanent des équipements de la plateforme GLADYS, et atelier de préparation/ réparation/ configuration de ces équipements, pour l'ensemble des opérations menées par GLADYS de part le monde (Polynésie française, taiwan, Québec, France autres façades, plusieurs pays africains, Saint Pierre et Miquelon, Brésil,...). L'institut disposera d'un atelier et d'une zone de stockage permanente, toujours disponible pour assumer cette mission centrale.

4) Accueil de petites manifestations para-scientifiques (expositions, rencontres avec la société civile sur un sujet pour lequel GLADYS est spécialiste, ...). L'institut sera organisé en configuration hall d'exposition. L'institut sera organisé en hall d'exposition, salle de conférence ou salle de réunion un peu plus grande ;

5) accueil quasi-permanent de certains personnels lourdement impliqués sur ces thématiques (travail en bureau, réunions,...).

Le bien retenu pour l'institut des plages et les plans proposés pour sa réhabilitation correspondent exactement à l'ensemble de ces attentes. Différents types de mobiliers seront achetés pour adapter l'institut à ces différentes missions (Le stockage temporaire des mobiliers non nécessaires à un moment donné se fera dans un espace prévu à cet effet).

LE SITE RETENU ET LE BATIMENT D'ACCUEIL

La Commune du GRAU DU ROI a entrepris, avec l'appui de l'État, de la Région Occitanie et du Département du Gard, la renaturation du site de l'ancien hôpital sur une emprise d'environ 7,2 ha. Dans le cadre de ces aménagements à vocation naturelle qui intègrent de nombreuses démolitions, le bâtiment d'accueil qui était destiné aux bureaux de l'administration de l'ancien CHU sera conservé et réhabiliter dans sa globalité. Dans le dossier, on parle du **bâtiment administratif** de l'ancien centre héliο-marīn du Grau-du-Roi. C'est **ce bâtiment qui doit faire l'objet d'une réhabilitation complète**, et une partie de ce bâtiment sera préparé pour que l'Université puisse y établir l'Institut des plages.

La présentation exhaustive du site et du bâtiment réhabilité fait l'objet de la partie « présentation technique ». On se reportera à cette partie où toutes les informations sont regroupées.

ASPECTS JURIDIQUES

D'une superficie totale d'environ 1 100 m² SDP, et appartenant à la commune du Grau du Roi, le bâtiment administratif de l'ancien centre héliο-marīn doit être **totalemēnt** revalorisé pour y accueillir des activités emblématiques liées à la mer ou aux filières économiques présentes sur la Commune (nautisme, milieux marins, tourisme mais aussi accueil de masse...etc) que ce soit dans le domaine entrepreneurial, de l'innovation ou de la recherche. La mairie ne souhaite pas céder le bâtiment concerné, mais veut consentir des droits réels dans le temps, pour que des preneurs puissent s'implanter dans la durée et y réaliser tout ou partie des travaux nécessaires.

Pour cette raison, la commune du GRAU DU ROI a d'une part confié à la SPL 30 (dont elle est actionnaire), une prestation d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour suivre ce projet de valorisation du bâtiment d'accueil de l'ancien site de l'ancien site du CHU. La SPL 30 dans le cadre de sa mission doit notamment préciser les conditions opérationnelles de remise en état du bâti et de sa potentielle extension en lien avec le projet de renaturation du site, identifier les filières concernées et ouvrir les champs potentiels en matière d'acteurs, de preneurs et définir les modalités de montages juridiques. Par ailleurs, la SPL 30 devra se voir confier un bail emphytéotique administratif portant sur le terrain et l'ensemble des bâtiments de l'ancien hôpital afin que celle-ci réalise les travaux de réhabilitation et exploite la partie du bâtiment non attribué à l'institut des plages en les louant à des entreprises ou des organismes dont l'activité est liée à la mer.

Un rapprochement entre l'Université et la SPL30 pour la rénovation de la partie du bâtiment dédiée à l'institut des plages, et plus généralement pour l'installation de l'institut des plages sur le site de l'ancien centre héliο-marīn, est donc totalement naturel. En pratique, **les travaux de rénovation seront réalisés dans le cadre d'un groupement de commandes entre l'UM et la SPL30**. Précisément, le groupement de commande est une association contractuelle de personnes morales de droit public mais aussi de droit privé à fin de mutualisation de leurs achats et de passation de marchés en commun par le biais d'une procédure de passation unique. Il permettra ainsi d'avoir la même maîtrise d'œuvre et les mêmes entreprises de travaux. Il facilite la mutualisation des procédures de marchés et contribue à la réalisation d'économies sur les achats. Il est soumis aux

règles des marchés publics et fait l'objet d'une convention signée par les membres du groupement. Cette convention doit définir les modalités de fonctionnement du groupement et son coordonnateur qui serait la SPL 30. La convention précisera alors les différentes missions qui seront confiées à la SPL30 par l'Université. Les membres du groupement s'accordent sur le contenu de la convention et la répartition des responsabilités. Par exemple, il sera nécessaire de prévoir que chaque partie assurera l'exécution financière de ses propres prestations. Une commission des marchés spécifique et commune aux 2 membres du groupement pourrait être créée.

L'Université et la SPL 30 seront dans un second temps liées par une convention/bail assurant la mise à disposition des locaux convenus sur une durée correspondant à ce qui est négocié. On précise l'état actuel des discussions ci-dessous.

La Région Occitanie a confirmé que le versement de la subvention CPER serait effectué auprès de l'université sur la présentation de factures relatives aux études et travaux pour la réalisation de ce projet. Cette subvention permettra à l'université de bénéficier d'une mise à disposition des locaux selon des dispositions qui restent à définir précisément en contrepartie du financement de la réalisation des travaux. A priori, sous réserve d'une analyse plus approfondie notamment au niveau de la TVA, avec un investissement initial d'environ 500 K euros, la SPL 30 pourrait consentir à l'université de Montpellier une cession partielle des droits réels résultant du BEA afin que celle-ci réalise les travaux de construction sur la partie du bâtiment et exploite le bâtiment.

La cession tiendrait compte de l'investissement de l'université. Sous réserve d'une étude plus approfondie, le paiement de la cession pourrait s'effectuer en plusieurs fois et la durée de la cession pourrait coïncider avec la durée du BEA consentie par la commune à la SPL.

Les bâtiments occupés par l'université sont gérés par l'état ; cela implique la mise en œuvre de certaines procédures et notamment l'envoi du dossier de demande d'expertise auprès des services de l'État (Rectorat, avec avis potentiel DRRT ; Direction de l'immobilier de l'état ex-France Domaine). Ce dossier est délibéré par ailleurs en conseil d'administration de l'Université de Montpellier le 28 mai 2018.

POINTS DIVERS PROPRES AU DOSSIER CPER

Les points abordés dans cette partie sont demandés dans la procédure d'évaluation par la Région Occitanie.

Le projet et la politique de site

Le projet d'Institut des plages GLADYS localisé au Grau du Roi marque une étape très importante dans l'**effort de regroupement** des moyens de mesure et des activités de recherche sur l'hydromorphodynamisme littoral en Occitanie, et même très largement au delà du fait des partenariats forts entre scientifiques en Occitanie et en PACA sur cette thématique, et l'implication de GLADYS dans plusieurs réseaux métrologiques littoraux à l'échelle nationale.

Cet effort de regroupement a été initié en 2005, lors de l'émergence de la plateforme GLADYS

(www.gladys-littoral.org) à l'occasion du **premier appel d'offre GEPETO** de la région LR. C'est un projet au cœur de la politique de site, essentiel pour certaines thématiques comme l'analyse des risques littoraux (submersion, érosion, contamination), l'accompagnement scientifique des stratégies d'aménagement du littoral (développement du concept d'éco-cité portuaire, application intelligente du concept de recul stratégique, déploiement de solutions innovantes pour la protection des plages), la gestion des ressources inertes (sable) et de leur utilisation (rechargements de plage), l'ingénierie portuaire (conception d'épis, digues, géotubes littoraux) et toute la R&D littorale, incluant les systèmes d'alertes à la submersion (projets FUI LITTO CMS, MIRMIDON), le développement de nouvelles techniques météorologiques (capteurs, automatismes) pour le suivi long terme des plages (Observatoire DREAL/ SO LTC) ou la simulation numérique massive des processus physiques en zone littorale (Atlas de la courantologie dans le Golfe du Lion, calcul fin des périodes de retour des tempêtes et des états de mer,...). Le projet est en connexion avec plusieurs projets phares de la politique de site, en particulier le centre de calcul MESO@LR, et la discussion en cours sur la mise en place d'une structure d'animation de la recherche sur la mer et le littoral à l'Université.

L'institut des plages GLADYS sera un lieu où l'ensemble de ces activités sera rendu visible et lisible par tous, des scientifiques aux usagers du littoral, des professionnels de la mer aux décideurs. **Les activités portées par l'institut sont toutes clairement identifiées dans la stratégie 3S régionale – axe économie littorale & portuaire.** L'implantation de l'institut à proximité de la flèche de l'Espiguette (source sédimentaire), du Golfe d'Aigues-Mortes (érosion, submersion) et du port de Port Camargue (problématiques portuaires) est stratégique à la fois pour la recherche académique et les objectifs de développement économique régional.

En terme de mutualisation, l'institut des plages GLADYS / SOLTC aura deux objectifs simples.

Le premier objectif sera de **renforcer la mutualisation et la visibilité des moyens météorologiques du réseau GLADYS.** En effet, l'observatoire hébergera les moyens météorologiques qui sont actuellement stockés de manière très rudimentaire dans un grand container métallique sur le campus de l'Université de Montpellier et dans quelques autres sites (notamment chez les chercheurs eux-mêmes du fait du manque de place sur les campus universitaires). Le regroupement de ces moyens sur un site clairement identifié facilitera leur utilisation dans le cadre des partenariats existants entre **8 laboratoires UMR** (nombre d'UMR intéressées en croissance depuis 2-3 ans) de la façade Méditerranéenne (voir www.soltc.org et www.gladys-littoral.org), avec **les services de l'Etat** (DREAL), des **organismes ayant des missions d'utilité publique** (EID-Méditerranée, BRGM), d'autres laboratoires de l'Université de Montpellier qui sont intéressés par ce potentiel (notamment département MIPS) et **également des entreprises** (BRL Ingénierie, Arkolia, Géomatys, P2A, Hydrofis,...) travaillant sur des projets lourds nécessitant des données mesurées en zone littorale qui ne peuvent être acquises que dans le cadre d'initiatives portées par les chercheurs, mais qui sont pourtant essentielles à leur développement économique.

Le second objectif sera de **créer un lieu d'accueil et d'échange au sein de la communauté des littoralistes, et entre les scientifiques et la société civile**, notamment sur les questions de submersion littorale, d'érosion des plages et de gestion et aménagement des ports et des plages. Pour

cela, l'institut accueillera sur de longues périodes des petites équipes de scientifiques engagés dans la mesure et/ ou la simulation des processus hydro-morphodynamiques littoraux. L'institut sera également un lieu de diffusion et de communication vers le public, avec des initiatives types comme des expositions thématiques, des réunions publiques ciblées et l'organisation de manifestations ponctuelles en phase avec le calendrier des activités littorales et portuaires (régates, journées nautiques, période post-tempêtes majeures,...).

Il est aussi essentiel de garder à l'esprit que la communauté scientifique des littoralistes spécialistes du trait de côte est dispersée sur de nombreux sites/labos de la façade et que **l'existence d'un site propre STRICTEMENT dédié à la thématique renforcera sa cohésion, sa visibilité et donc sa pérennité au sein du paysage scientifique Occitanie, et même à l'échelle de la sphère Méditerranéenne**. L'effort de rapprochement avec la société civile relève de la même idée : rester des interlocuteurs privilégiés pour tout ce qui concerne la plage et insérer naturellement les scientifiques au sein des grands projets d'aménagement du littoral portés par les collectivités territoriales ou l'état, et les activités économiques en ingénierie littorale portées par les entreprises spécialisées.

Impacts sur compétitivité des territoires & attractivité des campus

Concernant le développement socio-économique régional, le soutien à la compétitivité et la recherche et innovation, la création d'un site propre sur la thématique « dynamique littorale » renforcera le lien entre les équipes de recherche et les entreprises. En particulier, la mise à disposition des données acquises par GLADYS permettra le renforcement de certaines activités à fort potentiel de développement économique, comme la création de systèmes d'alerte à la submersion (l'équivalent de PREDICT pour le domaine maritime), la mise en œuvre des stratégies de gestion des ressources inertes (comment gérer intelligemment le sable à l'échelle de la façade, avec toute l'ingénierie que cela sous-entend), la création de structures portuaires innovantes, la recherche de ressources énergétiques renouvelables. Ceci comprend également l'export à l'international de compétences co-acquises par l'Université et ses partenaires entreprises en région (comme c'est actuellement le cas avec l'Espagne, province de Vigo, ou Israël).

Concernant l'attractivité du territoire, l'insertion professionnelle des étudiants et l'attractivité du campus, l'existence d'un site propre sur la thématique littorale renforcera la visibilité des activités de recherche et d'enseignement en lien avec cette thématique, permettra de développer certaines activités de formation sur site (déploiements en mer à vocation pédagogique, ou formations pour l'ingénierie tournée vers l'entreprise), permettra de faire venir plus facilement des scientifiques étrangers sur des opérations de déploiement d'équipements en mer, voire de mutualiser des actions de formation avec les autres sites universitaires de la façade, comme cela se fait déjà de manière moins formelle. Le renforcement des liens avec les entreprises régionales spécialisées sur le littoral grâce à l'hébergement et la mutualisation des équipements GLADYS permettra un meilleur transfert des étudiants vers l'entreprise.

Le projet et le plan Campus

Le projet n'est pas directement lié au plan Campus. On rappelle que l'initiative porte sur la rénovation et l'occupation de locaux pour une surface inférieure à 1000 m² localisés nécessairement sur la façade littorale, hors des grands sites universitaires.

Le projet a-t-il un lien avec une opération du CPER 2007-2013 ?

Le projet n'est pas lié à une opération du CPER 2007-2013. C'est une nouvelle initiative. Il est par contre une conséquence heureuse et l'héritage direct de l'appel d'offre GEPETO (2005) région LR.

Le projet dans le cadre de la stratégie immobilière de l'UM

Le projet d'institut des plages n'était pas inscrit initialement dans le SPSI ou les autres structures de cadrage relatives à l'immobilier de l'Université de Montpellier (schéma directeur immobilier, schémas de sécurité de l'établissement), tout simplement parce que le projet n'était pas connu/identifié avant la préparation du CPER. Par contre, il a été intégré dans le SPSI déposé en mars 2018.

Le projet ne reposant pas sur une acquisition immobilière, les surfaces habitables (< 1000 m²) concernées par le projet d'institut des plages GLADYS ne bouleverseront pas l'équilibre de l'ensemble des surfaces de l'Université. Plusieurs solutions d'équilibrage ont été prévues par la DPI (par exemple la compensation de l'utilisation de la surface habitable sur l'institut par la destruction d'un bâtiment à l'occasion de la restructuration des entrées du campus Triolet).

Sur un plan strictement immobilier en lien avec les besoins de la recherche, le projet se justifie pleinement. En effet depuis 2005, la communauté des littoralistes dispose de moyens métrologiques lourds, qui font que les plus gros déploiements nationaux à vocation scientifique en zone littorale ont été réalisés sur notre façade. Pourtant, dans le même temps, les équipes de recherche sur l'hydromorphodynamisme ne disposent d'aucun local digne de ce nom pour stocker les équipements, assurer leur calibration, faire des tests, stocker les consommables,... Le ré-aménagement de l'entrée du campus Triolet condamne à terme certains bungalows en métal et autres containers qui accueillent actuellement une partie du matériel de GLADYS. Leur relocalisation dans un endroit définitivement adapté est une nécessité.

Préservation du parc immobilier de l'UM

Le projet d'institut des plages ne correspond pas à l'acquisition par l'Université de Montpellier d'un terrain ou d'un bâtiment, mais son occupation sous certaines modalités qui n'ont rien à voir avec la libération, la transformation ou la cession de surfaces propriétés de l'Université ou d'une autre structure. Le bien accueillant l'institut appartient à la commune du Grau du Roi qui en restera propriétaire. Le projet concerne la rénovation d'un bâtiment et son occupation sous conditions.

Soutenabilité budgétaire, travaux exploratoires de faisabilité

Le projet, du concept initial à l'émergence du projet d'Institut des plages sur le site de l'ancien centre Hélio-marin du Grau du Roi a été suivi par une architecte (Samantha Dugay, ATELIER A5), qui a été financé à l'amont de la réalisation de la version 2 du projet (post-juillet 2016). Par ailleurs, le projet global de renaturalisation du site accueillant l'institut est piloté par la commune du Grau du Roi. Enfin, le projet de réhabilitation du site retenu pour l'accueil de l'Institut des plages, l'accompagnement des pre-travaux de ré-aménagements, l'étude de faisabilité/ conformité/ viabilité du projet ont été très précautionneusement couverts par la SPL 30 (SEGARD) une SEM dont c'est la spécialité. La SPL30 se positionne à partir de maintenant comme un partenaire de l'UM dans le projet (détails donnés dans la partie juridique).

Mise aux normes du bâtiment et performances énergétiques

L'installation de climatisations conformes avec les normes énergétiques sont prévues sur certaines zones, pour maintenir une température correcte dans les locaux dédiés à l'informatique. Le bilan sur la qualité du bâtiment en terme de performance énergétique est réalisé par les architectes associés au projet.

Intégration dans la politique numérique de site

L'institut des plages de GLADYS sera entre autre un lieu de rapatriement et d'analyse des données météorologiques acquises par les scientifiques et les dispositifs actuellement déployés en mer (MAGOBS, ESPIGOBS,...). De l'institut, les données seront transférées par réseau sur le campus (Laboratoire Géosciences-Montpellier et OSU OREME) où GLADYS et le SO LTC disposent déjà de bases de données assez lourdes (www.soltc.org, plusieurs dizaines de Tera octets stockés). Une partie des données acquises transite via le calculateur MESO@LR de l'Université pour réaliser des calculs secondaires (indices de submersion, calcul de champ de vagues,...). A ce titre, l'institut est un élément clé du dispositif d'acquisition/calcul/stockage mis en place par l'OSU OREME pour la dynamique littorale, en partenariat étroit avec la DREAL LR et les organismes (UM2, CNRS). Le réseau GLADYS et le système SO LTC sont utilisateurs du centre de calcul HPC@LR, aussi bien en utilisation propre que via leur partenariat avec l'entreprise.

Phasage du projet

Le projet commence par une phase de rénovation du bâtiment, en coordination avec les travaux de réhabilitation du site naturel. La seconde phase consiste en une série de travaux d'aménagements très légers des locaux qui restent à charge de l'Université (c'est à dire du laboratoire GM porteur du projet), pour mener les différentes missions qui ont été fixées, et la mise en place de tous le mobilier et les équipements.

Notre ambition est d'avoir un démarrage de l'activité sur site courant 2019 (votation 2018).

Etude de faisabilité

Les solutions d'achat des biens mobiliers (hors CPER) et les aménagements marginaux à venir du local ont été étudiés par l'architecte ATELIER A5 à Montpellier. L'architecte a donné un cadrage sur les coûts de fonctionnement récurrents, et les coûts liés à l'utilisation de ces locaux dans un cadre public (accès, sécurité, aménagement handicap,...). Mais l'essentiel de l'opération est piloté par un partenariat entre UM et SPL30. A ce jour, toutes les études de faisabilité du projet, son cadrage juridique, et son planning prévisionnel sont prêts. Il reste à obtenir l'ensemble des avis propres aux dossiers CPER (Rectorat et DRRT, France Domaine, Région).

Surfaces concernées par le projet immobilier

Les porteurs se projettent sur l'utilisation d'environ 750 m² dans le bâtiment réhabilité. Ce nombre sera adapté ultérieurement. Des plans indicatifs illustrant les besoins sont donnés plus loin dans la partie correspondant à la présentation technique du dossier.

Effectifs occupants le projet

Le groupe GLADYS comprend une trentaine de chercheurs permanents travaillant tous sur la dynamique littorale, des approches très naturalistes (mesure, observation) jusqu'à la conceptualisation des processus par des approches strictement mathématiques. En général, les permanents ont en rotation une dizaine de doctorants travaillant sur des sujets directement en lien avec la recherche et l'ingénierie littorale. Quelques techniciens et ingénieurs rattachés aux laboratoires partenaires de GLADYS / Géosciences-Montpellier sont partiellement impliqués sur la thématique. L'ensemble de ces personnes sera amené à fréquenter de manière régulière le site de l'observatoire des plages GLADYS/ SOLTC, ainsi que les personnels invités en provenance d'autres universités/organismes, notamment à l'échelle de la sphère Méditerranéenne. On estime à 4-5 personnes régulièrement localisées sur l'institut, avec des pics de passage à 20 (étudiants) ou plus.

Ce projet est correctement dimensionné par rapport à la communauté scientifique spécialisée sur l'hydro-morphodynamisme littoral. Il n'y aura pas de personnel permanent sur place (dans un premier temps en tous cas). Mais certains membres de GLADYS envisagent très sérieusement de réaliser une partie significative de leur temps de travail sur le site, selon les périodes de l'année. Il n'y a pas de personnel administratif rattaché à l'institut à ce jour. La stratégie RH liée à ce projet ne peut se mettre en place qu'une fois le projet concrètement lancé.

GOUVERNANCE DE L'INSTITUT DES PLAGES

L'université de Montpellier propose de signer seule les conventions/bails avec la SPL 30 pour l'accès long terme aux locaux hébergeant l'institut des plages. **L'Université de Montpellier sera donc seule responsable de l'Institut des plages GLADYS.** Le président de l'Université de Montpellier **délègue la gestion pratique** (logistique, entretien, gestion financière courante, planification budgétaire) de l'Institut des plages **au laboratoire Géosciences-Montpellier** de l'Université de Montpellier (co-tutelle CNRS, et Université des Antilles). Le DU du laboratoire Géosciences-M est donc le garant du bon fonctionnement de la structure, mais il délègue les aspects pratiques de cette tâche à un scientifique de son laboratoire, qui endossera la fonction de **directeur de l'Institut des plages**. La bonne gestion financière courante de l'Institut sera garantie par le directeur de l'institut des plages et par le service gestion du laboratoire. Au delà des missions pratiques de gestion courante de l'institut, le directeur de l'Institut sera chargé de garantir le financements des coûts annuels récurrents liés à l'Institut (10 ans de fonctionnement sont assurés à ce jour, indépendamment du financement de l'acquisition CPER + fonds propres).

La gouvernance administrative long terme (définissant les orientations de l'institut, ses évolutions possibles, son implication dans des initiatives de site UM/MUSE,... l'évolution de sa gouvernance et de ses fonctions) est assurée par un conseil, composé (i) du président de l'université ou de son représentant, (ii) d'un représentant de la région LR, (iii) d'un représentant de la commune du Grau-du-Roi (pour des raisons évidentes de développement harmonieux avec la société civile), (iv) du directeur de l'institut, (v) du DU du laboratoire Géosciences-M, (vi) des DU (ou leur représentant) d'autres UMR/UMS qui pourront à terme participer au développement financier et thématique de l'institut et (vii) de jusqu'à 2 personnalités de la société civile régionale, issues de l'entreprise ou des collectivités territoriales. Leur désignation (sur invitation) se fera par vote du conseil.

Une réunion du conseil de l'Institut des plages sera tiendra annuellement, en début d'année civile.

Un bureau scientifique est également mis en place, sous le pilotage du directeur de l'Institut. Ce bureau est composé de membres de GLADYS (c'est à dire des chercheurs issus de laboratoires de recherche de la façade Méditerranée essentiellement) de chercheurs issus d'organismes publics, associatifs ou EPIC travaillant sur le littoral, et de collaborateurs travaillant dans l'entreprise. Son objectif sera d'organiser le fonctionnement technico-scientifique de l'institut (mode de stockage, calendrier de rotation sur site, gestion et utilisation des équipements, réparation,...). Cette mission recoupe largement celle qui est déjà parfaitement fonctionnelle au sein du réseau GLADYS, et le bureau scientifique de l'institut sera sans doute fusionné en pratique avec le bureau exécutif de GLADYS. Cette décision sera débattue par le premier conseil de l'institut. La récurrence des réunions de ce bureau est trimestrielle.

BUDGET

Cette section récapitule les éléments financiers propres au CPER pour le projet d'institut des plages GLADYS (www.gladys-littoral.org) au Grau du Roi (Port Camargue). Elle est basée sur les éléments financiers officiels communiqués par les service de la région Occitanie dans sa lettre de cadrage du CPER (ci-jointe en annexe pour information) du 27 juillet 2015 adressée à Frédéric Bouchette, porteur scientifique du projet pour l'Université de Montpellier. Pour les dépenses et autre recettes, les éléments financiers ont été progressivement modifiés du fait de l'obtention de financements complémentaires et de l'évolution du projet cette dernière année. Le budget actuel est consolidé (tous financements acquis hors CPER).

Plan de financement initial prévisionnel (recettes initiales)

Toutes dépenses initiales comprises, à l'exclusion des frais récurrents qui sont présentés dans un tableau distinct dans la section ci-dessous, le projet est construit autour d'un budget de 595 000 Euros HT. L'ensemble des financements hors CPER région est déjà en place. Le financement Région CPER a été acté par une lettre de cadrage de la région, mais reste soumis à instruction et votation sur présentation d'un projet finalisé (le présent document). Le détail des financements obtenus est le suivant.

<i>Dotations</i>	<i>Acronyme (utilisé dans le dossier)</i>	<i>Montant Euros HT</i>
CPER Région strict (pas de contribution Etat)	CPER	500 000
Contribution Université de Montpellier	UM	5 000
Contribution DREAL/GLADYS (via financement reversé à l'Université)	GLADYS	15 000
Fonds laboratoire (projets de recherche)	GM	50 000
Contribution INSU / CNRS (pour accompagnement montage et aménagements scientifiques ciblés sur l'institut)	INSU	25 000
TOTAL pour le montage financier consolidé initial		595 000

Le montage affiché au CPER est de 570 000 Euros. Les 25 k€ en plus sont du financement propre obtenu depuis et fléché sur l'opération. En résumé, l'opération s'organise autour d'un financement CPER de 500 k€, d'un apport de l'Université de 5 k€, et d'un apport de 90 k€ à partir de projets de recherche portés par le laboratoire Géosciences-Montpellier (pilotant financièrement GLADYS).

Répartition des postes budgétaires (dépenses initiales)

La totalité du financement CPER est versé dans le groupement de travaux entre l'UM et la SPL 30 afin de réaliser l'ensemble de l'opération de rénovation à moindre coût. Les détails financiers liés à ce montage sont donnés dans la partie 2 (« présentation technique »). La dotation CPER est engagée directement par l'université sous la forme d'achats/ travaux payés aux entreprises concernées. Le choix des entreprises et des postes payés par le CPER seront déterminés par le groupement de commandes UM/ SPL 30 (voir section « cadre juridique ») selon la réglementation en vigueur.

Coûts de fonctionnement récurrents

L'entretien courant de l'institut des plages de l'Université de Montpellier sera assuré par le laboratoire Géosciences-Montpellier. Ce financement est garanti ab initio par la robustesse des recettes du laboratoire Géosciences-Montpellier dans le cadre des différents partenariats (OSU OREME, DREAL, INSU SNO, projets) qu'il a mis en place via son pôle thématique littoral GLADYS. Sur les 10 dernières années, GM/ GLADYS a été capable de mobiliser des recettes moyennes récurrentes de l'ordre de 300 000 Euros/ an sur la seule thématique littorale. Une enveloppe de 150 000 Euros sera réservée à partir de 2018 pour assurer de nombreuses années de fonctionnement de la structure (selon estimation coût annuel théorique). Ce financement est déjà obtenu, et totalement indépendant du montage financier concernant l'acquisition et l'aménagement du bien (ce sont 150 kEuros distincts de ceux mobilisés sur le montage à 595 kEu) Des financements ciblés seront progressivement mis en place en fonction de l'évolution du paysage de la recherche en dynamique littorale sur la région, notamment dans le cas de la mise en place d'une structure d'animation « Mer et Littoral » s'il y a lieu, sinon dans le cadre d'un autre effort de structuration à moyen terme.

Le tableau suivant recense un estimatif des dépenses récurrentes annuelles de fonctionnement du centre.

<i>Poste dépense budgétaire – Fonctionnement récurrent ANNUEL</i>	<i>Origine crédit</i>	<i>Montant Euros</i>
Frais liés à l'usage récurrent du bien		
Charges (électricité, eau, téléphonie,...)		11000
Entretien du bassin d'essai hydro-morpho	GM/GLADYS	1000
Ménage et entretien (contrat local)	GM/GLADYS	4000
Petits travaux	GM/GLADYS	3000
Fonctionnement activités recherche (papeterie, ...)	GM	1000
TOTAL dépenses annuelles		20000

PARTIE 2 : PRÉSENTATION TECHNIQUE, MONTAGE JURIDIQUE ET OPÉRATIONNEL

BÂTIMENT ADMINISTRATIF ANCIEN CHU DU GRAU DU ROI IMPLANTATION DE L'INSTITUT DES PLAGES



Cette partie est reprise du rapport technique réalisé par la SLP 30, lui même rédigé pour fin avril 2018, et faisant suite à des visites réalisées jusqu'à décembre 2017 du bâtiment administratif de l'ancien CHU du Grau du Roi. Ce diagnostic se base sur des inspections visuelles sans démontage ou sondages des matériaux et matériels composant le bâtiment. **Cette étude ne saurait être assimilée à une prestation de maîtrise d'œuvre, elle est réalisée sous l'angle fonctionnel afin d'étudier les modalités techniques de l'implantation de l'institut des plages suite à une réhabilitation globale du bâtiment administratif de l'ancien site du CHU du GRAU DU ROI.**

CONTEXTE OPERATIONNEL ET CADRE JURIDIQUE

Depuis décembre 2017, la SPL30 a rencontré la direction, les représentants des différents organes de l'Université de Montpellier et les responsables scientifiques du projet pour étudier l'implantation de **l'institut des plages** sur le site de l'ancien CHU du Grau-du-Roi. Le but de ces réunions était de :

- préciser les besoins en superficie de l'institut des plages soit environ 700 m² et connaître les contraintes techniques spécifiques,
- de rencontrer la région Occitanie afin d'approfondir les modalités possibles de versement de la subvention CPER (500 K euros) octroyée à l'Institut des Plages,
- de définir les montages juridiques possibles pour concrétiser ce projet d'implantation au Grau du Roi.

La SPL30 a confirmé l'accord de principe de Monsieur le Maire de la commune du Grau du Roi sur le montage envisagé. La commune du Grau du Roi pourrait confier à la SPL un bail emphytéotique administratif portant sur le terrain et l'ensemble des bâtiments de l'ancien hôpital afin que celle-ci réalise les travaux de réhabilitation et exploite le bâtiment en les louant à des entreprises dont l'activité est liée à la mer.

La Région Occitanie a confirmé que le versement de la subvention CPER serait effectué auprès de l'université sur la présentation de factures relatives aux études et travaux pour la réalisation de ce projet. Cette subvention permettra à l'université de bénéficier d'une mise à disposition des locaux selon des dispositions qui restent à définir précisément en contrepartie du financement de la réalisation des travaux. A priori, sous réserve d'une analyse plus approfondie notamment au niveau de la TVA, avec un investissement initial d'environ 500 K euros, la SPL 30 pourrait consentir à l'université de Montpellier une cession partielle des droits réels résultant du BEA afin que celle-ci réalise les travaux de construction sur la partie du bâtiment et exploite le bâtiment.

La cession tiendrait compte de l'investissement de l'université. Sous réserve d'une étude plus approfondie, le paiement de la cession pourrait s'effectuer en plusieurs fois et la durée de la cession pourrait coïncider avec la durée du BEA consentie par la commune à la SPL.

Les bâtiments occupés par l'université sont gérés par l'état ; cela implique la mise en œuvre de certaines procédures et notamment l'envoi du dossier de demande d'expertise auprès des services de l'État (Rectorat, avec avis potentiel DRRT ; Direction de l'Immobilier de l'État). Ce dossier est délibéré par ailleurs en conseil d'administration de l'Université de Montpellier le 28 mai 2018.

Pour la réalisation des travaux, la solution envisagée, et partagée par la SPL 30 et l'université, est la constitution d'un groupement de commande entre l'Université de MONTPELLIER et la SPL30. Le groupement de commande est une association contractuelle de personnes morales de droit public mais aussi de droit privé à fin de mutualisation de leurs achats et de passation de marchés en commun par le biais d'une procédure de passation unique. Il permettra ainsi d'avoir la même maîtrise d'œuvre et les mêmes entreprises de travaux. Il facilite la mutualisation des procédures de marchés et contribue à la réalisation d'économies sur les achats. Il est soumis aux règles des marchés

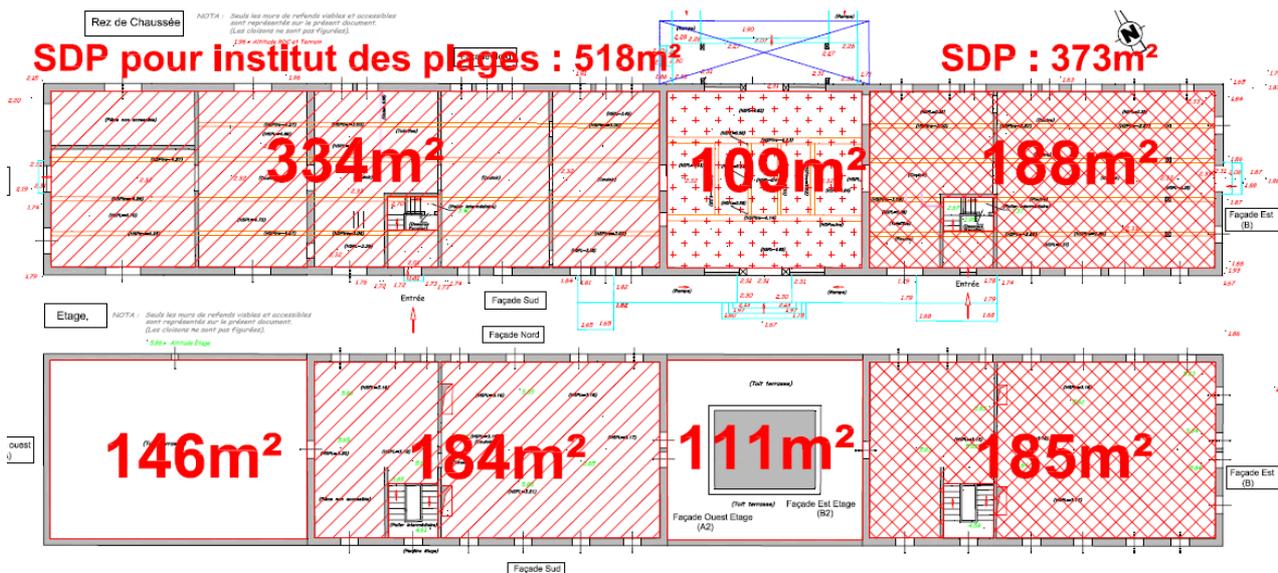
publics et fait l'objet d'une convention signée par les membres du groupement. Cette convention doit définir les modalités et précise les différentes missions qui lui seront confiées à la SPL30 par l'Université. Les membres du groupement s'accordent sur le contenu de la convention et la répartition des responsabilités. Par exemple, il sera nécessaire de prévoir que chaque partie assurera l'exécution financière de ses propres prestations. Une CAO spécifique pourrait être créée.

Au 30 avril 2018, un bilan d'exploitation prévisionnel a été réalisé par la SPL30 suite à la confirmation par l'Université que les loyers qu'elle verserait seraient soumis à TVA. Avec un investissement initial d'environ 600 K euros, la SPL 30 pourrait consentir de céder des droits réels pendant une durée d'environ 10 ans et ensuite conclure une sous location avec l'université de Montpellier qui aurait l'obligation de payer un loyer d'environ 110 euros HT/m²/an (à préciser à l'issue des études de maîtrise d'œuvre notamment). On peut aussi imaginer une cession partielle des droits réels du BEA sur la même durée. Cette cession donne à l'université les droits et obligations du propriétaire sur les ouvrages qu'elle réalise et se verra donc attribuer la qualité de maître d'ouvrage nécessaire pour percevoir les subventions. Cette cession se fera en contrepartie d'un prix qui reste à déterminer en fonction de plusieurs paramètres pas tous connus à jour et tenant compte des travaux réalisés. Le montant et les modalités de versement seront définis ultérieurement (il est possible d'envisager le versement d'acompte pour le paiement du prix : un pourcentage lors de la cession partielle des droits réels, un pourcentage à compter de la 10^{ème} année et d'autres jusqu'à la fin de la cession).

ETAT DES LIEUX

On présente le bâtiment administratif dans son état actuel (avec indication du plan de masse envisagé pour l'institut des plages).

Plan de masse de l'existant avec attribution à l'institut des plages



Vue aérienne du site



Reportage photos



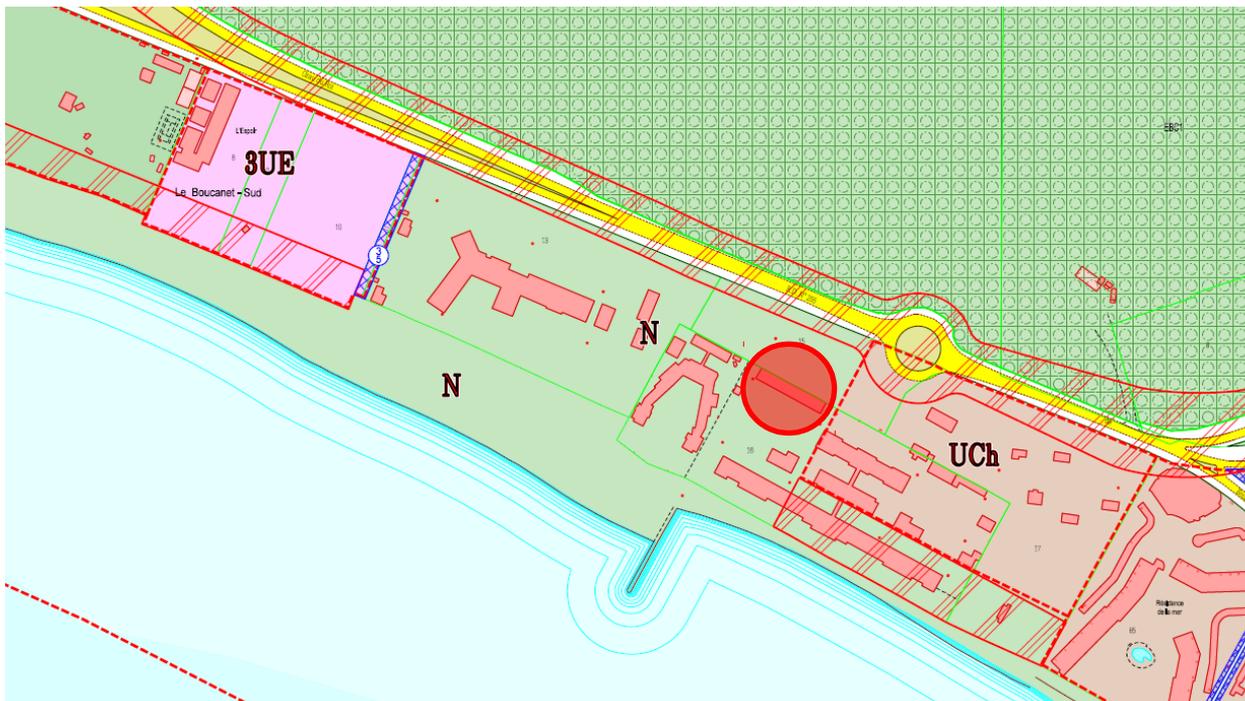
Contraintes d'urbanisme

PLU - Article Règlementation applicable à la zone N : Les zones naturelles et forestières sont dites « zones N ». Peuvent être classées en zones naturelles et forestières les secteurs de la commune, équipés ou non, à protéger en raison soit de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt, notamment du point de vue esthétique, historique ou écologique, soit de l'existence d'une exploitation forestière, soit leur caractère d'espaces naturels.

En zone N, peuvent être délimités des périmètres à l'intérieur desquels s'effectuent les transferts des possibilités de construire prévus à l'article L 123-4.

ARTICLE N - 1 - OCCUPATIONS ET UTILISATIONS DU SOL INTERDITES. Sans objet

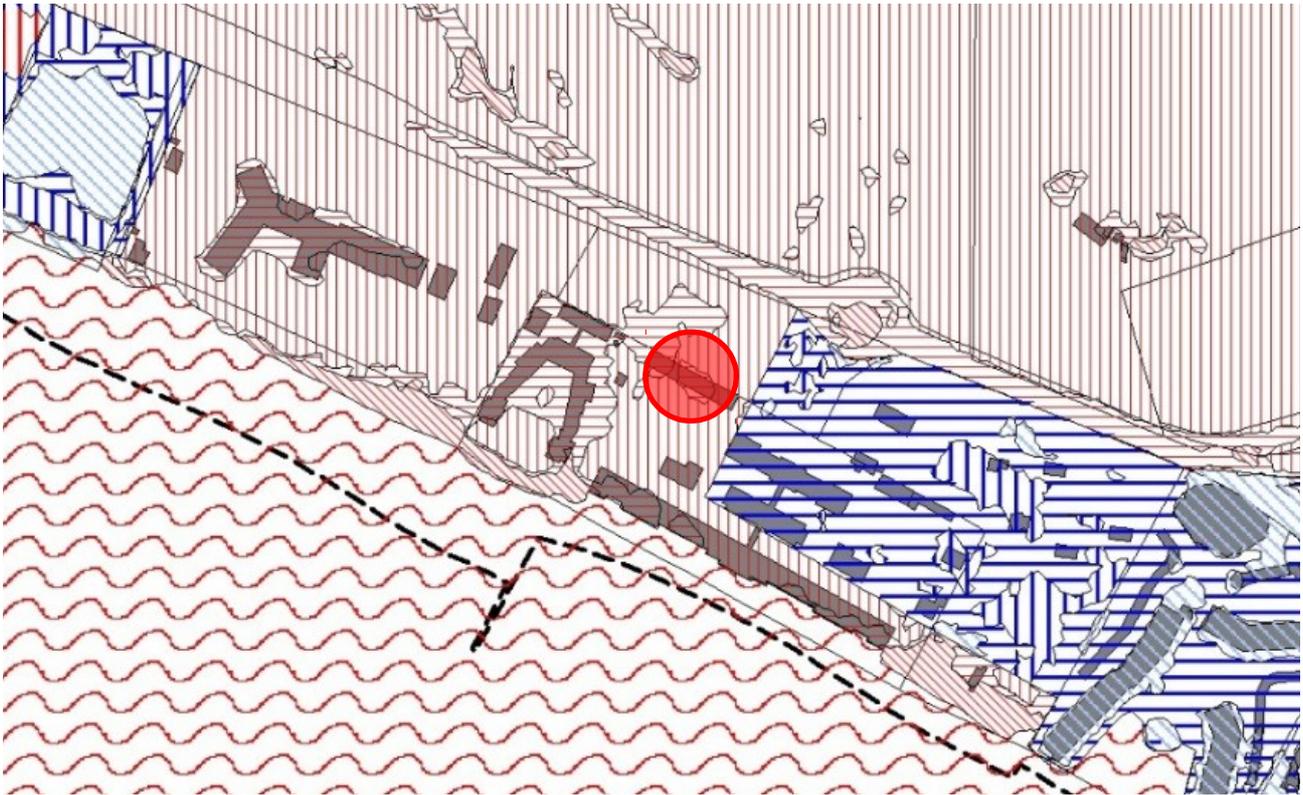
ARTICLE N - 2 - OCCUPATIONS ET UTILISATIONS DU SOL SOUMISES À CONDITIONS SPÉCIALES. La reconstruction à l'identique des bâtiments nécessaires aux services publics ou d'intérêt collectif.



Réglementation PPRi

Le site est partagé entre les ZONES F-NU et N-NU.

Article 2-2 : constructions existantes : La modification de construction sans changement de destination ou avec changement de destination allant dans le sens d'une diminution de la vulnérabilité (cf. lexique : changement de destination) est admise au niveau du plancher existant.



PROJET DE RÉHABILITATION

Dans cette section, on présente les éléments généraux du projet de réhabilitation porté par la SPL 30 (pour contextualisation de l'implantation de l'institut des plages) et on donne tous les éléments descriptifs concernant la réhabilitation proprement dite du bâtiment administratif accueillant l'institut.

Plan de masse général du projet de renaturation

La renaturation du site complet est sous la maîtrise d'ouvrage de la ville du Grau du Roi et ne concerne pas l'opération CPER présentée dans ce dossier. Elle est donnée pour indiquer dans quel environnement sera accueilli l'institut des plages.

Il est important de rappeler que l'institut sera donc situé en bordure d'un site dont la vocation est de rendre à la nature ses droits sur un court segment littoral, afin de favoriser la circulation des espèces animales terrestres vivant sur la frange littorale, afin de permettre au cordon dunaire de se reconstruire et assurer son rôle protecteur naturel du littoral. Dans un tel contexte, l'institut des plages sera parfaitement localisé pour assurer le suivi de cette opération de renaturation, et pourra même déployer des équipements pour quantifier certains processus hydro-morpho naturels en lien avec les mécanismes de renaturation.



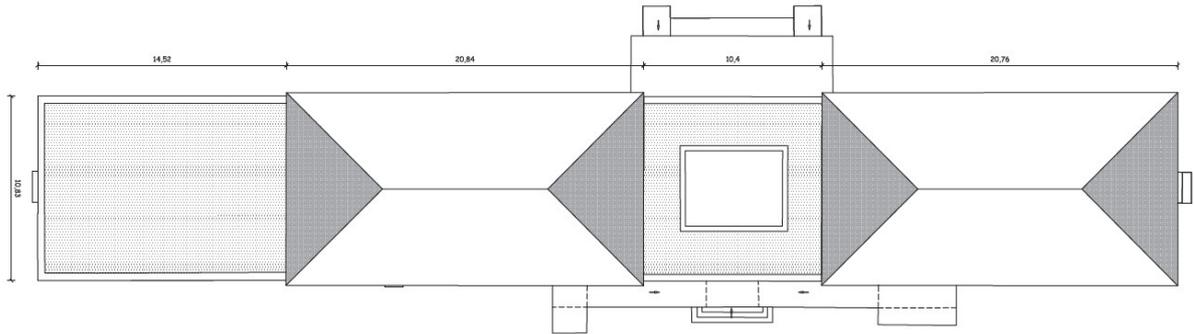
Un cordon dunaire naturel reconstruit sera présent sur l'ensemble du secteur. C'est typiquement cette morphologie (essentielle pour la protection de l'ensemble du système) qui sera suivi par l'institut des plages, localisé sur l'unique bâtiment qui ne sera pas détruit sur le secteur.

Plan de masse du projet

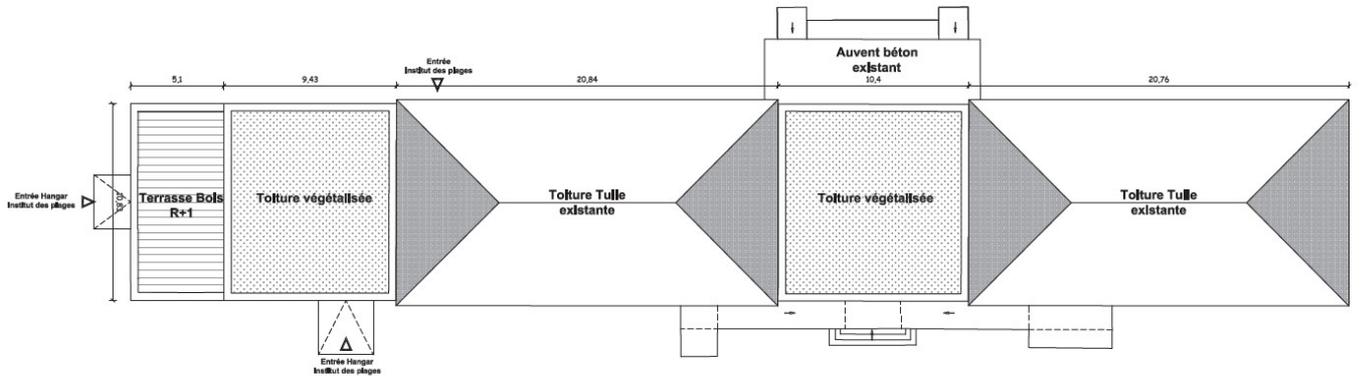


Plan des toitures

EXISTANT



PROJET



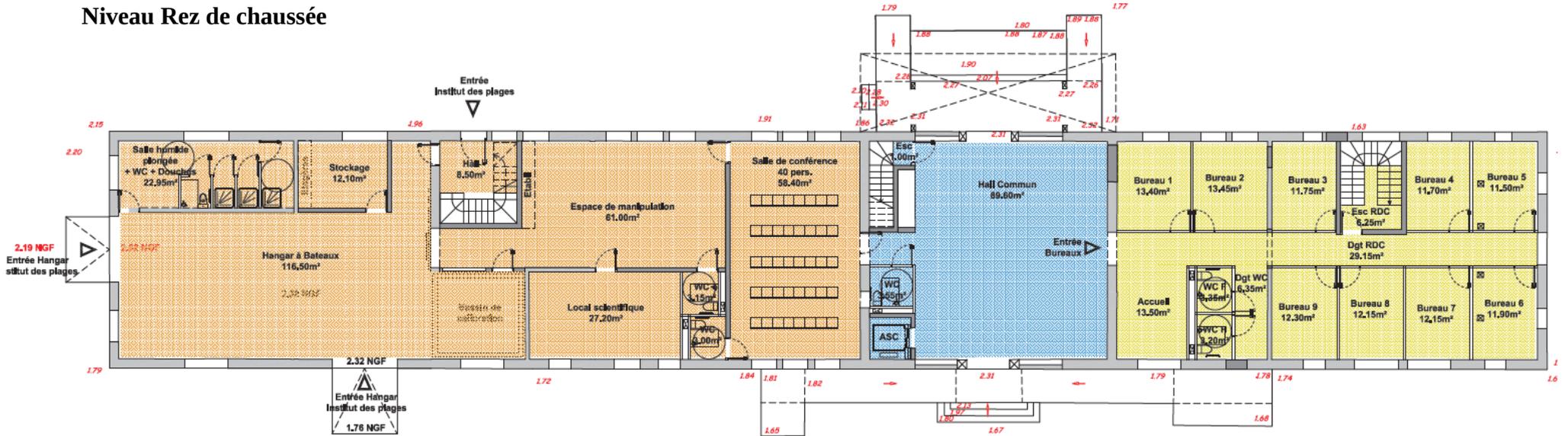
Perspective du projet



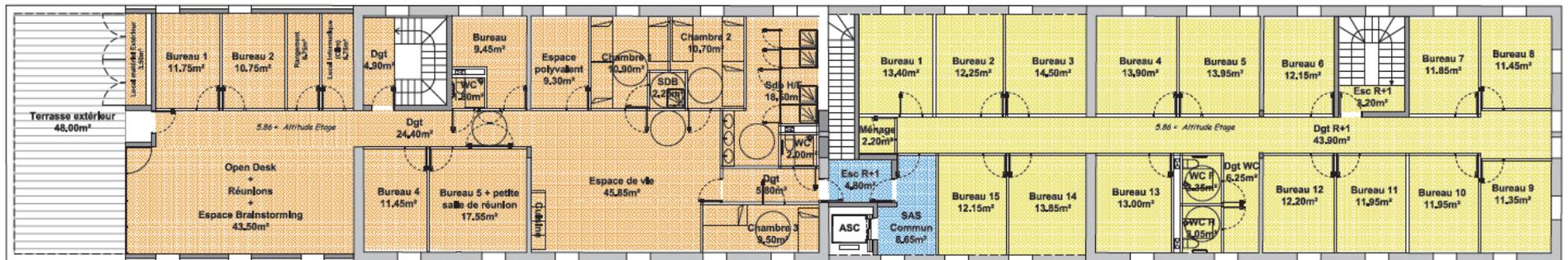
Plan des niveaux (variante avec les plateaux libres aménagés en locaux cloisonnés)

Institut des Plages
 Pépinière d'entreprises
 Hall bureaux de la pépinière d'entreprises

Niveau Rez de chaussée

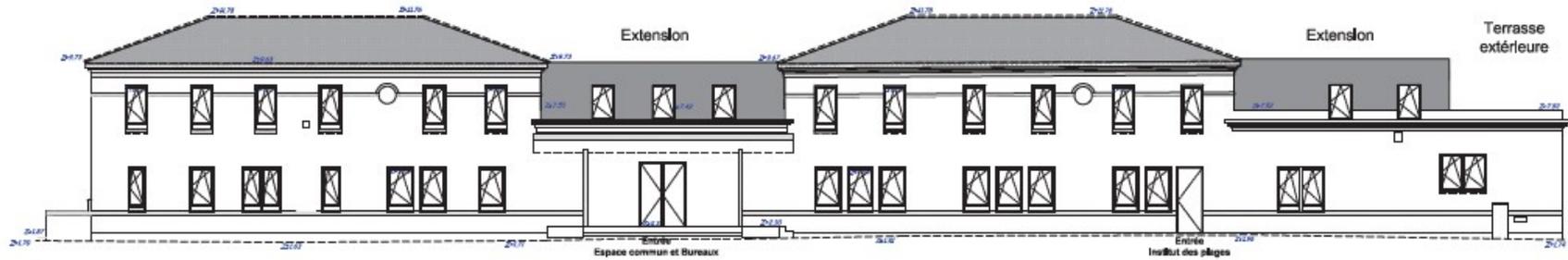


Niveau R+1

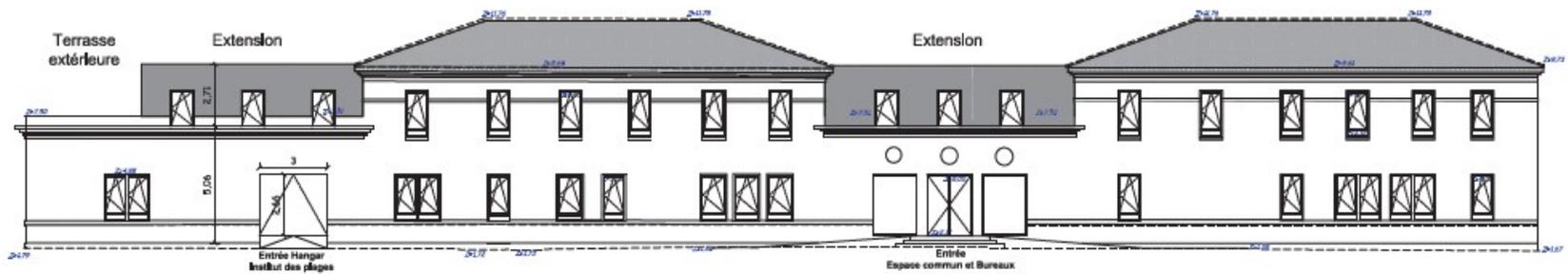


Façades du projetant

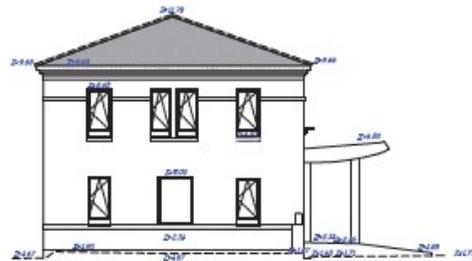
ELÉVATION NORD



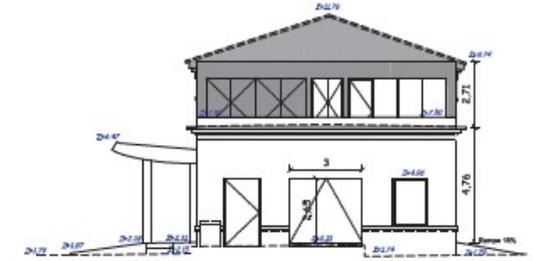
ELÉVATION SUD



ELÉVATION EST



ELÉVATION OUEST



PROGRAMME DU PROJET DE RÉHABILITATION

Bureaux		437,9
RDC		177,75
WC F	3,35	
WC H	3,2	
Plateau libre	158,6	
Dégagements		
Dgt WC	6,35	
Dgt Escalier	6,25	
R+1		260,15
Plateau libre	244,3	
WC F	3,35	
WC H	3,05	
Dégagements		
Dgt Escalier	3,2	
Dgt WC	6,25	
Hall Bureaux		107,6
RDC		94,15
Hall Commun	89,6	
WC Commun	3,55	
Dgt Escalier	1	
R+1		13,45
Dgt Escalier	4,8	
Sas commun	8,65	
TOTAL		1125,65
INSTITUT DES PLAGES		580,15
BUREAUX + HALL		545,50
TOTAL		1 125,65

SURFACE DE PLANCHER

RDC: 615M²

R+1: 571M²

TOTAL: 1186M²

SURFACE TAXABLE

SDP: 1186M² - 10%: **1067,4M²**

Dénomination	Surface totale (surf.utile en m ²)
Institut des plages	
RDC	312,8
Hangar à Bateaux	116,5
Local stockage hangar	12,1
Salle humide plongée + WC + Douches	22,95
Espace de manipulation	61
WC espace de manipulation	3,15
Local scientifique	27,2
Salle de conférence	58,4
WC Salle de conférence	3
Dégagements	
Hall	8,5
R+1	267,35
Espace Bureaux	
Bureau 1	11,75
Bureau 2	10,75
Bureau 3	9,45
Bureau 4	11,45
Bureau 5	17,55
Open desk	43,5
Rangement	6,75
Local informatique	6,75
Local matériel extérieur	3,5
WC	1,8
Espace Vie	
Chambre 1	10,9
Douche Chambre 1	2,25
Chambre 2	10,7
Chambre 3	9,5
Espace polyvalent	9,3
Salle de bain Hommes/Femmes	18,5
Espace de vie	45,85
WC	2
Dégagements	
Couloir principale	24,4
Dégagement escalier 1	4,9
Dégagement escalier 2	5,8

NOTICE DESCRIPTIVE SOMMAIRE DES TRAVAUX

On présente dans cette section l'ensemble des travaux à réaliser (et envisagés dans le projet de réhabilitation pour l'institut des plages).

Réseaux, adduction, évacuations

Arrachage des végétaux sur l'emprise des réseaux à créer, nettoyage

Tranchées et canalisations entre le bâtiment l'accès au rond-point, pour les différents réseaux EU-EV, EP et adductions de tous fluides nécessaires et raccordements

Gros œuvre, restructuration, restauration des façades

Installations de chantier, base de vie

Démolitions générales cloisons, sols, plafonds, menuiseries de toute nature, escaliers, etc...

Ouvertures de fenêtres, sous-œuvres pour modifications des communications

Reconstruction d'escaliers

Renforts de planchers conservés et construction de planchers neufs

Construction gaine d'ascenseur en BA

Condamnation d'ouvertures, réalisation de murs en agglos suivant nécessités

Dallages quartz dans la zone hangar et diverses salles au RDC

Création de rampes d'accès extérieures en béton pour accessibilité PMR

Ouvrages de finitions, murets, souches, supports divers, etc...

Réfection complète des enduits de façades, enduit de rénovation à la chaux

Couverture, étanchéité, extension de la toiture

Révision générale de la couverture conservée, réfection des solins, et dispositifs d'étanchéité zinc, descentes, etc...

Extensions en terrasses par structures porteuses en bois lamellé-collé ou bois massif

Étanchéité élastomère auto protégée et végétalisée sur les 2 extensions

Bardages bois en façades sur les ossatures ci-dessus

Étanchéité de terrasse accessible sur aile Ouest

Menuiseries extérieures bois

Toutes les menuiseries extérieures seront en bois du nord avec vitrages isolants, parements à faible émissivité, dessins des menuiseries à l'identique des existantes

Quincailleries incorporées, tapées d'isolation

Occultation ponctuelles par stores à lames électriques de grande dimension, sur certaines ouvertures suivant détails

Cloisons, isolation, plafonds

Isolation périphérique suivant nécessités et doublages sur ossature de tous les murs existants conservés

Cloisons de distribution en complexe de type placostil avec ou sans isolation suivant destination des locaux, épaisseurs adaptées

Cloisons acoustiques particulières suivant localisation, à isolation phonique renforcée

Cloisons en Carrobric dans les locaux humides communs, sanitaires communs, locaux de service

Doublages à fonction acoustique avec parements multiples en plaques de plâtre

Faux-plafonds démontables sur ossatures laquées pour accès aux différents fluides, en laine de roche colorée ou fibre minérale dans les circulations

Faux-plafonds spécifiques (silicate de calcium) dans les locaux à forte hygrométrie, suivant nécessités

Faux-plafond Coupe-Feu dans les locaux à risques

Revêtements de sols, faïences

Sols et plinthes en grès cérame dans les parties communes et sanitaires, avec isolation acoustique

Revêtement de sols souple dans certaines pièces, suivant programme

Traitement des revêtements d'escaliers, accessibilité PMR

Faïences dans les sanitaires et pièces humides

Siphons de sols adaptés suivant localisation des sols

Menuiseries bois intérieures

Bloc-portes Coupe-Feu sur locaux à risques

Bloc-portes isoplanes pré-peints sur les autres locaux

Châssis vitrés particuliers, suivant plans

Plans de toilettes, plans de travail, mobiliers spécifiques

Trappes et portes de gaines techniques, degré CF suivant nécessités

Quincailleries ergonomiques en PVC renforcé, butées de portes et accessoires

Revêtements de terrasses en lames de bois reconstitué

Serrurerie

Portes métalliques sur locaux spécifiques, et à forte sollicitation

Mains courantes sur escaliers et emmarchements, garde-corps suivant nécessités

Portails de garages

Électricité, courants forts et faibles

Les canalisations et lignes issues du TGBT et des TD seront réalisées en câbles U1000 R2V et mises en place sur chemins de câbles ;

De type encastrés pour tous les locaux avec fixation à vis uniquement, étanches pour les locaux techniques et/ou humides, standards pour tous les autres locaux.

Les appareils d'éclairage fluorescents seront tous équipés de tubes haut rendement avec ballasts électroniques faibles pertes

Les appareils d'éclairage de sécurité seront équipés de LED pour les fonctions veilleuse et visualisation des états de chaque bloc de sécurité.

Les blocs de sécurité seront de type SATI avec contrôles et tests automatiques secteur présent afin de faciliter leur maintenance.

Le réseau Images permettra la diffusion des chaînes nationales hertziennes (TF1, F2, F3, C+, F5/ARTE, M6).

L'équipement d'alarme sera situé à proximité immédiate de l'accès du bâtiment : composé d'un bloc autonome d'alarme principal B.A.A.S type Pr

(Tableau d'alarme ou « centrale »), de blocs autonomes, arrêts d'équipements techniques.

Désenfumage de type mécanique, suivant nécessités

Chauffage, VMC, rafraîchissement, sanitaires

Unités de production de type PAC

Les réseaux hydrauliques seront à température constante (régulation par les émetteurs), en 4 tubes, permettant le chauffage des zones froides tout en rafraîchissant les zones exposées au soleil.

Les canalisations seront en fer noir pour le chauffage et PVC HTA pour l'eau glacée, calorifugée en mousse armaflex

Les réseaux aérauliques seront en acier galvanisé spiralé circulaire double peau, isolés par une épaisseur de 5 cm de laine de verre.

Des cassettes ou (et) ventilo-convecteurs assureront le traitement de l'ensemble du bâtiment en chaud et en froid.

Régulation par local ; les parties communes seront régulées indépendamment.

Les appareils de VMC seront installés en combles.

Gaines en acier spiralé, facilement nettoyables, avec clapets suivant nécessités, l'ensemble installé en gaine technique.

Équipement sanitaire de qualité standard, tous les sanitaires seront de marque européenne. Production ECS suivant programme

Réseaux en cuivre ou PVC. Cheminement dans les galeries et gaines techniques et distribution final encastrée dans les cloisons.

Peintures

Peintures acryliques pour les circulations, locaux communs et pièces sèches diverses

Peintures glycéro satinée sur les parois des pièces humides, et de service, hors parties faïencées

Peintures glycéro satinée ou brillante sur les menuiseries, cadres, huisseries, et serrureries

Traitement des canalisations de chauffage, plomberie

Nettoyage général de livraison des locaux

Ascenseur

Création d'un ascenseur à machinerie embarquée, dans gaine BA

Cabine et portes conformes aux normes et prescriptions PMR en vigueur

ESTIMATIF COÛT DES TRAVAUX

Les montants donnés ci-après sont des estimations provisoires établies en janvier 2018 sur la base de ratios de prix au m² de bâtiment réhabilité (valeurs aux indices de décembre 2017) .

Montant des travaux avec extension (hors cloisonnement) : 1 197 000 euros HT pour 1 125.65 m²
soit 1 063,39 euros HT/m²

Hypothèse d'Investissement global : 1 600 000 euros HT (incluant les études, Travaux et raccordement réseaux).

Loyer indicatif : 107 euros HT/m²/an. Ce montant indicatif est susceptible d'évoluer en fonction de la durée de la cession partielle des droits réels résultant du BEA et du montant définitif des études et des travaux à réaliser.

Les détails et la répartition Institut/ autres accueil sont donnés dans les tableaux ci-dessous.

ESTIMATIF BASE : AMÉNAGEMENT AVEC PLATEAUX LIBRES	
1 GROS-ŒUVRE * RESTRUCTURATION * FACADES	410 000,00
2 COUVERTURE * ETANCHEITE * EXTENSIONS TOITURES	120 000,00
3 MENUISERIES EXTERIEURES ALUMINIUM	150 000,00
4 CLOISONS * ISOLATION * FAUX-PLAFONDS	70 000,00
5 MENUISERIES INTERIEURES BOIS	65 000,00
6 REVETEMENTS DE SOLS * FAIENCES	60 000,00
7 SERRURERIE	50 000,00
8 ELECTRICITE * COURANTS FORTS ET FAIBLES	120 000,00
9 CHAUFFAGE * RAFRAICHISSEMENT * PLOMBERIE	100 000,00
10 PEINTURES	30 000,00
11 ASCENSEUR	22 000,00
Total travaux BASE H.T.	1 197 000,00
T.V.A. 20%	239 400,00
TOTAL travaux BASE T.T.C.	1 436 400,00
ESTIMATIF OPTION : AMÉNAGEMENT DE BUREAUX SUR PLATEAUX LIBRES	
1 CLOISONS * ISOLATION * FAUX-PLAFONDS	52 000,00
2 MENUISERIES INTERIEURES BOIS	38 000,00
3 REVETEMENTS DE SOLS * FAIENCES	39 000,00
4 ELECTRICITE * COURANTS FORTS ET FAIBLES	60 000,00
5 CHAUFFAGE * RAFRAICHISSEMENT * PLOMBERIE	50 000,00
6 PEINTURES	20 000,00
Total travaux OPTION H.T.	259 000,00
T.V.A. 20%	51 800,00
TOTAL travaux OPTION T.T.C.	310 800,00
Total travaux BASE+ OPTION H.T.	1 456 000,00
T.V.A. 20%	291 200,00
TOTAL travaux BASE + OPTION T.T.C.	1 747 200,00

RÉPARTITION INSTITUT / BUREAUX SUR ESTIMATIF BASE	
Travaux aménagement INSTITUT	700 000,00
Travaux aménagement BUREAUX (sans cloisonnement)	497 000,00
Total travaux BASE H.T.	1 197 000,00
T.V.A. 20%	239 400,00
TOTAL travaux BASE T.T.C.	1 436 400,00
RESEAUX ADDUCTION - EVACUATIONS	50 000,00
COÛT FINANCIER DES EXTENSIONS EN TOITURES SUR ESTIMATIF BASE	
Extension INSTITUT DES PLAGES	100 000,00
Extension toiture BUREAUX	120 000,00
Total travaux BASE H.T.	220 000,00
T.V.A. 20%	44 000,00
TOTAL travaux BASE T.T.C.	264 000,00

PARTIE 3: PRÉSENTATION SCIENTIFIQUE



Dans cette partie, on présente l'activité scientifique de GLADYS, un groupement de recherche piloté par l'Université de Montpellier qui est au cœur du projet d'institut des plages. Cette présentation ciblée ne ferme en rien la porte à l'hébergement à l'institut d'autres activités en lien avec le littoral qui pourraient se développer au sein ou autour de l'Université. En particulier, on pense à des activités de développements de capteurs spécialisés sur le domaine littoral, et à de la recherche académique et R&D sur les énergies renouvelables marines, qui ne sont actuellement pas affichées. **Il est dans les objectifs de l'Institut des plages (et de la structure de gouvernance sous-jacente) de favoriser l'OUVERTURE et l'INTER-DISCIPLINARITE.**

CADRAGE DE LA PRÉSENTATION SCIENTIFIQUE

GLADYS travaille sur l'hydro-morphodynamisme littoral. Ce terme désigne le champ de recherche couvrant **l'étude des vagues, des courants, du trait de côte, des formes sédimentaires de plage (dunes, barres sableuses,...), des ouvrages portuaires, et plus généralement l'ensemble des questions de recherche fondamentale et d'ingénierie portant sur les interactions complexes entre vagues, courants et transport sédimentaire, ainsi que leurs utilisation dans un contexte sociétal critique, en particulier sur les questions des risques littoraux et de la quantification des ressources énergétiques littorales.**

La spécificité de ce thème de recherche est de combiner naturellement des questions scientifiques très fondamentales (Comment une vague déferle-t-elle ? A quelle vitesse et pourquoi les bancs sableux immergés devant la plage évoluent-ils ?) **et des problématiques très orientées ingénierie** (quelle est la meilleure forme possible pour un ouvrage de protection ? À quelle vitesse un trait de côte donné recule-t-il ? Où remettre du sable sur la plage pour mieux la protéger ?).

Dans cette partie du document, on se concentre sur la présentation de la recherche académique portée par GLADYS. On ne fait qu'évoquer la R&D, car on ne peut présumer à ce stade de l'étendue exacte des applications qui seront portées par l'Institut. Il est certain qu'elles sont déjà nombreuses et que l'institut sera un vecteur fort de développement de telles activités.

On cite pour illustrer le propos quelques opérations réalisées avec le soutien de GLADYS : (1) le ré-aménagement du lido de Sète avec géotubes, (2) la protection des plages sableuses du LR, (3) la protection de la voie ferrée Bajes-Sigean, (4) le dimensionnement des parcs éoliens flottants Nord Méditerranée, (5) le dimensionnement d'ouvrages (non-réalisés) anti-ensablement pour le port de Port-Camargue, (6) la prévision temps réel des tempêtes en façade, (7) la caractérisation temps réel des climats de vagues et niveau d'eau à la plage sur des sites pilotes,...

Toutes ces applications trouvent leur origine dans les activités de recherche qui sont décrites dans la partie du projet qui suit.

LA DYNAMIQUE LITTORALE & GLADYS

On présente le coeur de l'activité scientifique académique de GLADYS. L'activité scientifique de GLADYS porte sur le développement de concepts et de méthodes en relation avec la dynamique des environnements peu profonds, du processus physique élémentaire et instantané jusqu'à l'enregistrement géologique ultime d'une superposition complexe et partielle d'ensembles de phénomènes littoraux. Si nécessaire, on se reportera aux ouvrages de référence pour une description de l'emboîtement des différentes échelles de temps et d'espace en dynamique littorale (Dronkers, 2005 ; Short, 1999) ou aux désormais ultra-classiques diagrammes classant les forçages du système littoral selon leur portée spatiale et leur temps caractéristique (Cowell & thom, 1994) ou encore aux classements de plages selon les mécanismes dominants à la côte (Wright & short, 1984). Le terme hydro-morphodynamisme sus-mentionné est au cœur de toutes les questions en lien avec la dynamique littorale.

Caractérisation des littoraux étudiés

Mise à part quelques digressions, la prédilection de GLADYS est de travailler sur les systèmes littoraux. Dans ce cas, de quoi parle-t-on ?

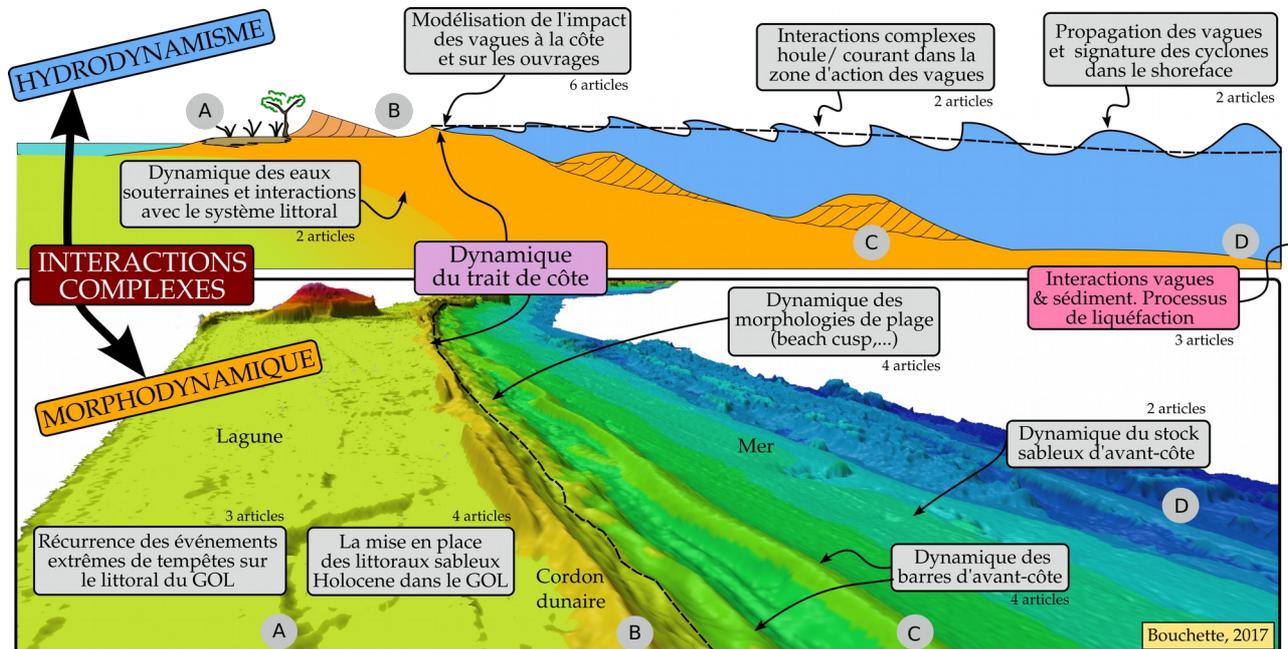


Figure : Les processus hydro-morphodynamiques dans la zone littorale. On distingue traditionnellement ce qui a trait à l'hydrodynamisme (en haut), essentiellement les vagues et la circulation (forcée par marée, vent, pression atmosphérique, apports hydriques par les fleuves côtiers), et ce qui est de l'ordre de la morphodynamique (en bas), qui comprend le transport sédimentaire (ex : les flux sortant/ entrant des différents compartiments littoraux) et les transformations du paysage (ex : la dynamique de barres sédimentaires hydrauliques,...). Les deux familles de processus sont fortement liées, et l'analyse de leurs couplages est au cœur de nombreuses thématiques de recherche en dynamique littorale. Si on s'appuie sur ces processus, on peut définir le littoral comme la succession de 4 domaines principaux : (A) la zone d'arrière dune, humide avec les éventuelles lagunes, la zone du cordon dunaire, de la plage émergée et du jet de rive, (D) la zone de déferlement, et (D) la zone de transformation des vagues jusqu'à la profondeur de fermeture des vagues qui est aussi la limite de mobilité significative du sédiment pendant les événements forts.

En pratique, GLADYS travaille sur le domaine qui s'étend de quelques dizaines de mètres de profondeur d'eau au large de la côte jusqu'aux tous premiers reliefs à terre, en intégrant les zones humides éventuelles. GLADYS concentre ses efforts essentiellement sur le trait de côte et sur la zone littorale marine directement sous l'action des vagues. En outre, GLADYS se place en général -- mais pas exclusivement -- dans le contexte de littoraux sableux microtidaux. Les principaux processus qui déterminent la dynamique de tels systèmes sont reportés sur la figure ci-dessus.

L'ensemble de ces mécanismes forme l'hydro-morphodynamisme littoral, un terme qui fait consensus pour désigner le résultat des interactions complexes entre les mouvements de la masse d'eau, le transport sédimentaire, la réponse morphologique du système aux deux familles précédentes de processus, ainsi que les mécanismes de rétro-action de la morphologie sur l'hydrodynamisme. Considérés du point de vue de la physique, des géosciences, des sciences de l'environnement, de la gestion du littoral ou de l'ingénierie côtière, ces couplages complexes sont au cœur de la plupart des grandes questions de la recherche académique actuelle sur l'environnement littoral.

La recherche à GLADYS porte sur des systèmes littoraux qui sont localisés indifféremment en mer ouverte ou en zone continentale, tout particulièrement sur certains systèmes lacustres, actuels ou passés (Megalac Chad, Lac Saint Jean, Lac Érié, Lac Saint Joux, Basin & ranges,...), ou des lagunes de taille importante (Lagunes Palavasiennes, Etang de Bajes-Sigean, Étang de Thau, Lagoa Dos Patos, lagunes boliviennes,...) où un hydrodynamisme forcé par les vagues / la mer de vent peut se développer (Figure ci-dessous). Ces systèmes sont tout aussi pertinents que la mer ouverte pour étudier la plupart des mécanismes hydro-morphodynamiques.

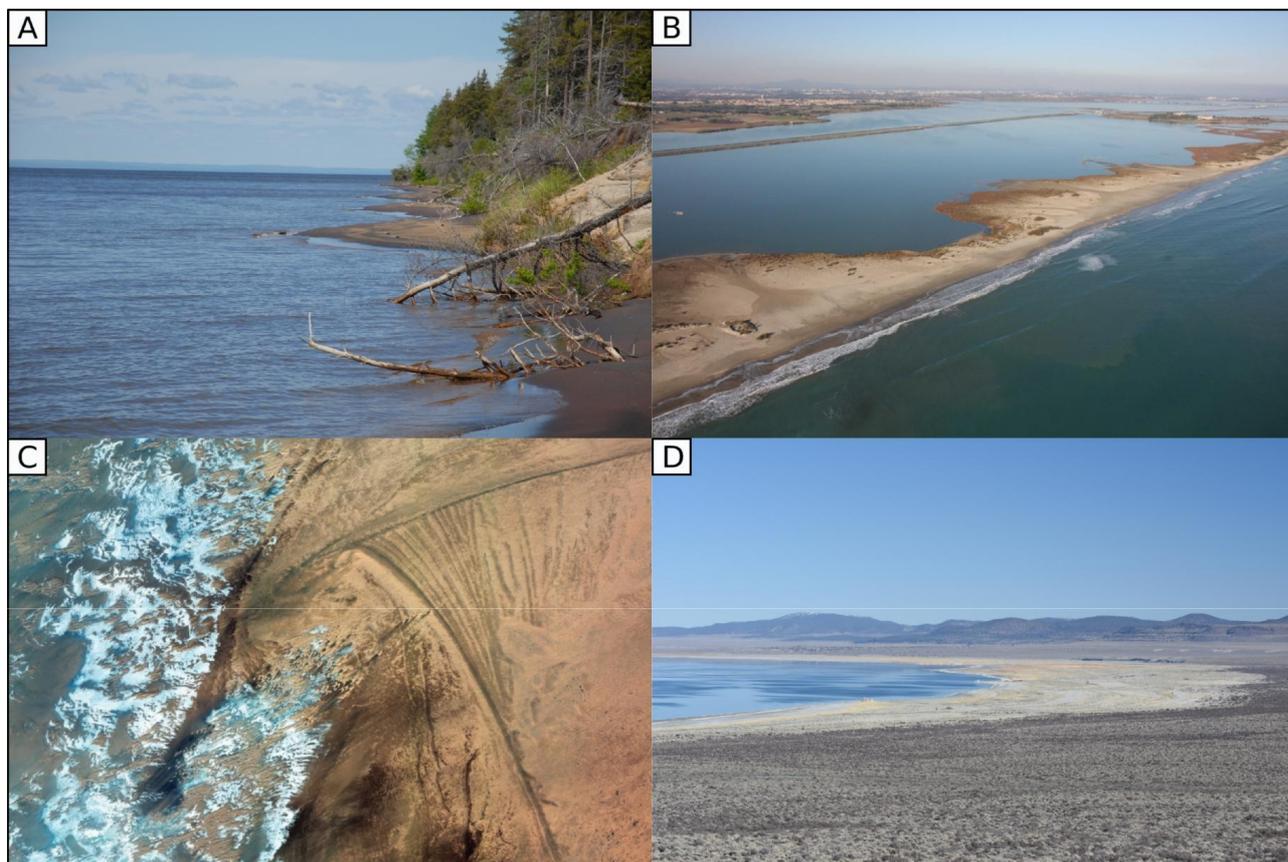


Figure : Exemples d'environnements littoraux hors mer ouverte sur lesquels GLADYS travaille : (A) plage lacustre (Lac Saint Jean, Québec) ; (B) Système lagunaire Palavasien (Maguelone, France). Crédit DREAL LR ; (C) Mega lac Chad Holocene (la photo montre 15 km de désert en fausses couleurs). Crédit : C. Roquin/ M. Schuster, (D) Lac Mono (Californie, US).

Caractérisation physique du domaine peu profonde

Le dénominateur commun à tous les systèmes dominés vent/ vagues évoqués ci-dessus est que ce sont des environnements peu profonds au sens naïf du terme : ils sont situés à proximité immédiate d'une ligne de rivage. Mais que l'on parle de peu profond ou de proximité immédiate du rivage, la délimitation de l'objet d'étude de GLADYS reste floue, tout particulièrement dans sa terminaison côté mer. Une délimitation plus physique de l'objet d'étude serait de préciser qu'on s'intéresse aux systèmes hydro-sédimentaires pour lesquels le segment immergé doit satisfaire les approximations dites en eau peu profonde de la mécanique des fluides (e.g. Batchelor, 1967; Bonne Ile, 1994). En fait, cette vision reste ambiguë car le terme eau peu profonde englobe des idées un peu différentes selon qu'on se place du point de vue de la mécanique des fluides ou de la physique des vagues.

En effet, l'hypothèse eau peu profonde stricte de la mécanique des fluides fait référence au fait que l'échelle caractéristique des composantes horizontales de la vitesse de la masse d'eau est grande devant celle de la composante verticale. En mécanique, la prise en compte de cette hypothèse revient à proposer de s'affranchir du calcul de la composante verticale de la vitesse par intégration de celle-ci sur la colonne d'eau dans les équations décrivant l'écoulement considéré (Navier Stokes ou ses émanations comme Euler, Reynolds ; voir Phillips, 1977). Ceci n'empêche en rien de calculer une composante verticale a priori non nulle via l'équation de continuité, sachant qu'elle doit rester petite. Une autre conséquence de l'hypothèse est que les composantes horizontales de la vitesse sont susceptibles d'être constantes sur la verticale, puisque intégrées.

Or, dans le domaine littoral c'est à dire dans le contexte d'un fluide à surface libre forcé à une limite par des ondes (vagues, bores, solitons,...), on peut se retrouver dans des conditions où ces contraintes vont s'avérer quelquefois vraies, quelquefois totalement fausses. Par exemple, sur la ligne de rivage là où se font le jet de rive et le franchissement d'ouvrages, les vitesses verticales peuvent être importantes devant les vitesses horizontales. Dans la zone de transformation et de déferlement des vagues ainsi que dans la zone de swash, les transferts d'énergie vagues/ courant et plus généralement les interactions vagues/ vent/ courants font que le profil vertical des composantes horizontales de la vitesse n'est pas homogène : le courant peut être fortement cisailé au sein de la colonne d'eau. Les différents types de violation de l'hypothèse eau peu profonde stricte en contexte littoral ont notamment été décrits par Svendsen (2005). A ce stade, ce qu'on doit simplement retenir, c'est que ce terme n'est pas adapté à l'identification claire de l'objet d'étude.

Une autre manière de définir le domaine peu profond est de se placer non pas du point de vue de la cinématique de la masse d'eau comme ci-dessus, mais du point de vue des caractéristiques des vagues, c'est à dire en considérant le problème de manière ondulatoire (Figure ci-dessous). Il existe plusieurs stratégies visant à décrire la dynamique d'une onde de gravité (ou assimilée) à la surface d'un fluide (Mei, 1989). Certaines reposent sur les représentations mathématiques du potentiel de vitesse et de la surface libre dérivés de l'hypothèse du type eau peu profonde précédente ; elles sont toutes des stratégies de contournement du caractère trop strict de l'hypothèse théorique eau peu profonde par rapport à l'observation. Ces stratégies consistent à : (i) superposer plusieurs modèles eau peu profonde sur la verticale en gérant les zones de contacts, (ii) paramétriser (approche dite Quasi-3D) le cisaillement vertical des vitesses (Putrevu and Svend-sen, 1999), (iii), utiliser des formalismes reposant toujours sur une intégration des équations du fluide mais en gardant des informations sur la structuration verticale, ce qui se traduit en général par l'apparition d'une certaine non linéarité dans les équations. On parle dans ce cas d'approches BSV (Boussinesq Saint Venant). Sur cette dernière manière de procéder, on trouve des équations historiques comme KdV (Korteweg and De Vries, 1895), Boussinesq (Boussinesq, 1872) et toutes ses dérivées. Plus récemment les auteurs ont cherché à valider la forme des vagues sur une zone précise du profil (par exemple la zone de surf interne après le déferlement ; Bonneton, 2003b) ou en couvrant l'essentiel du profil, de la zone de transformation des vagues au jet de rive (Bonneton et al., 2011) avec en particulier les approches Green-Nagdi (Marche, 2007; Duran and Marche, 2015). Dans tous ces cas, on parle de

vagues (assez) longues ou vagues en eau peu profonde pour faire écho à l'hypothèse sous-jacente ¹. Mais on ne peut toujours pas fixer une limite cartographique formelle au domaine des vagues en eau peu profonde.



Figure : Les ondes (vagues, déferlantes, bores) en zone littorale se présentent sous de multiples formes, associées à des écoulements dont les caractéristiques sont très changeantes. (A) houle courte, déferlement et jet de rive sur une plage au Nord du Muir Wood National Park, Californie (USA) ; (B) houle et mer de vent très cambrée en zone de déferlement sur la plage de O Rostro, Galicie (Espagne) ; (C) houle résiduelle de beau temps et petits bores dans la zone de swash sur une plage à proximité de Nador (Méditerranée, Maroc).

Certaines approches ondulatoires se basent plutôt sur une hypothèse d'incompressibilité du fluide et d'irrotationnalité associée à des contraintes sur la forme du potentiel des vitesses (Chappelear, 1961) ou alternativement celui des lignes de courant (Dean, 1965) et sur le bilan de forces à la condition limite à la surface (pression, présence de vent,...). Le principe de ces méthodes repose sur la résolution d'un potentiel de vitesse par l'équation de Laplace (e.g. Dean and Dalrymple, 1991, page 42) ; elles sont en général classées en fonction de ka (k le nombre d'onde et a l'amplitude des ondes), kh (h la profondeur d'eau moyenne) ou des grandeurs équivalentes (Dean and Dalrymple, 1991, page 323, et bien d'autres références depuis). Ce sont souvent des approches par perturbation au sens où les développements de Taylor posés en termes de puissances de ka sont au cœur des méthodes de résolution (Dingemans, 1991). Par ailleurs, le terme kh permet de mesurer dans quelle mesure une vague est de type vague en eau peu profonde. A nouveau, la limite entre vague en eau profonde et peu profonde n'est pas une borne fixe ; on trouve d'ailleurs dans la littérature les termes de vagues en profondeur finie ou vagues intermédiaires. Tous ces termes font simplement référence au rapport d'échelle entre longueur d'onde de la vague et profondeur d'eau moyenne (peu profond signifiant kh suffisamment petit et non plus aux caractéristiques de l'écoulement).

La recherche est très active sur le sujet (Touboul and MORHOCH Team, 2017, pour une revue complète) et veut dépasser toutes les limitations (propagation en plan, cisaillement vertical,...) mentionnées ci-dessus (Touboul et al., 2016; Touboul and Kharif, 2016). D'autres approches de la caractérisation des écoulements forcés par les vagues en littoral existent : (i) des approches

¹ Pour le non hydraulicien, on rappelle qu'il existe une similitude d'échelle dans la transformation des ondes (gravitaires) se propageant. Par exemple, une vague de 10 cm de haut et 3 m de long se propageant sur un fond de bathymétrie 1 m évolue de la même manière qu'une vague de 10 m de haut et 300 m de long se propageant sur un fond à 100 m de profondeur. Par conséquent, on parle indifféremment de vagues en eau peu profonde ou ondes longues pour des vagues dont la taille (mesurée par leur amplitude a et leur longueur d'onde k) est importante par rapport à la tranche d'eau moyenne h , et de vagues en eau profonde ou ondes courtes pour les vagues dont la taille est petite devant la profondeur. Formellement, une vague en eau peu profonde peut se propager dans une zone plus profonde que celle dans laquelle se propage une vague dite en eau profonde. On privilégie donc l'utilisation de la profondeur d'eau relative kh pour garder à l'esprit ce principe.

probabilistiques (pour une introduction Bonneton, 2003a; Chailan, 2015), (ii) les approches visant à résoudre plus frontalement Navier Stokes pour s'affranchir des limitations de ses approximations (typiquement en France : Lubin et al., 2003, 2006), (iii) les approches par des méthodes proches de la mécanique des milieux granulaires comme le Smooth Particle Hydrodynamics ou les méthodes assimilées (Monaghan, 1994; Oudart et al., 2013). Une revue très récente et complète des différentes approches physiques de la propagation d'une vague et des écoulements associés est en passe d'être publiée par Kirby (2017). Mais encore une fois, les conceptualisations évoquées ici ou ailleurs ne permettent en rien de mieux déterminer la fin du domaine littoral.

En outre, qu'il soit déduit du mouvement orbital des vagues, des différents courants unidirectionnels induits par les vagues ou du cisaillement mécanique des vagues sur le fond, le transport sédimentaire reste toujours une fonction des caractéristiques hydrodynamiques (Figure ci-contre). Se tourner vers les caractéristiques du transport sédimentaire pour déterminer formellement la fermeture du système littoral cote mer n'est donc pas plus pertinent. C'est d'autant moins pertinent que le transport sédimentaire est beaucoup plus difficile à caractériser que la houle, par la mesure comme par la modélisation.

Pourtant, pour des raisons essentiellement pratiques, de nombreuses formules semi-empiriques de calcul de la terminaison du système littoral ont été dérivées en Génie côtier (Hallermeier, 1978, 1981, 1983; Kraus and Harik, 1983; Birkemeier, 1985; Rijkswaterstaat, 1986; Houston, 1995; Kraus et al., 1998). La plupart de ces formulations utilisent des valeurs statistiques des paramètres de vagues (hauteur et période) au niveau du déferlement ou en eau profonde, et éventuellement pour certaines des informations sédimentométriques ainsi que le nombre de Froude. Ces formules se basent sur l'idée que le transport sédimentaire sur le fond stoppe à une certaine profondeur unanimement appelée profondeur de fermeture, ce qui est bien évidemment faux. En effet, si on impose au système littoral des forçages extrêmes (rares) comme une crue ou une tempête, on observe des processus qui n'existent pas sous conditions normales, tout particulièrement (i) un curage massif du matériel sédimentaire littoral et son déport vers les grands fonds au niveau des estuaires lors des crues, et (ii) les NESTS (Net SEaward Sand Transport during Storms) (Brambilla et al., 2009) qui font référence au fait que pendant les phénomènes météo-marins paroxysmaux, du matériel sableux va être déporté très anormalement loin au large par les courants de retour normalement concentrés sur le système de barres d'avant-côte, vers un environnement dominé par les fines. Il va alors être piégé définitivement par cette sédimentation globalement cohésive, et ne pourra pas remonter le long du profil lors des conditions de beau temps comme le font les sédiments sableux au cœur du système de barres d'avant-côte. De fait, la profondeur de fermeture n'est pas une limite étanche pour le transport sableux.

Pour éviter toute contradiction, on peut aussi placer la profondeur de fermeture selon un critère strictement morphologique. Par exemple, elle peut être placée là où le profil de fond reste définitivement proche d'un profil en forme de décroissance exponentielle de la côte vers le large, c'est à dire au-delà de la zone où se développent et évoluent les barres sédimentaires d'avant-côte (lorsque cela a du sens). En général, cette manière de calculer donne des valeurs de fermeture rarement au-delà de 10 m de profondeur d'eau (Figure ci-dessous).

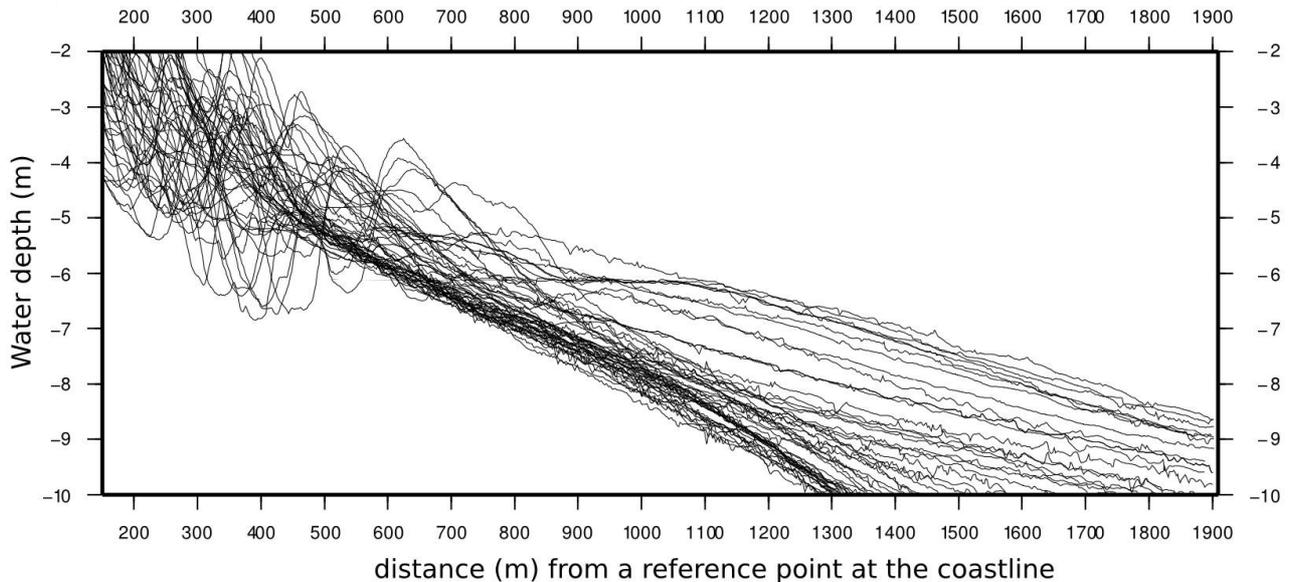


Figure : Un ensemble de plusieurs familles de profils bathymétriques cross-shore levés sur quelques littoraux du Golfe du Lion, représentés entre 2 m et 10 m de profondeur (© www.soltc.org). On distingue très bien (i) une pente moyenne s'exprimant essentiellement sur la partie distale de chaque profil, (ii) une zone de forte variabilité de la forme du fond jusqu'à environ 900-1200 m de la côte correspondant à la présence de barres sableuses hydrauliques d'avant-côte. A la transition 900-1200 m, c'est à dire dans 8-9 m de profondeur d'eau pour l'essentiel des profils, on passe d'un transport très associé à la dynamique des barres sédimentaires à un transport beaucoup moins morphogène. On peut choisir de placer la profondeur de fermeture à ce niveau, ce qui n'interdit absolument pas le transport au delà de cette profondeur d'eau.

In fine, on voit bien qu'on ne peut avoir que du mal à caler une limite formelle au domaine littoral côté mer avec un regard issu de l'hydro-morphodynamisme.

Dans une démarche tout aussi pragmatique, les géologues définissent une profondeur h_{lav} appelée limite d'action des vagues [LAV] à partir de laquelle l'interaction vague/ fond peut être considérée comme négligeable. La distance à la côte où on atteint la LAV est une manière comme une autre de terminer la zone littorale au sens le plus large du terme. La valeur de cette LAV très chère aux géologues (puisqu'elle détermine en sédimentologie la fin d'une grande famille d'environnements de dépôt) est en général définie comme étant égale à $L/2$ la demi-longueur d'onde moyenne des vagues (Chamley and Deconinck, 2011, page 83) ou plus rarement $L/4$ le quart de longueur d'onde dans certains contextes. Les géologues savent rarement d'où vient la définition de cette limite. En fait, la LAV est établie à partir du comportement asymptotique de la fonction décrivant l'atténuation de la norme du potentiel des vitesses avec la profondeur en théorie linéaire de la houle (une des approches par perturbation sus-mentionnées). En ceci, elle est très proches des premiers concepts abordés dans cette section. Cette fonction tend vers 1 à la surface et tend vers zéro pour des vagues en profondeur infinie. si on calcule la valeur de cette fonction F d'atténuation pour ces valeurs, on constate que :

$$F(L \sim 2) \approx 0.04 F(0) \quad \text{ou} \quad F(L \sim 4) \approx 0.086 F(0)$$

ce qui signifie que la LAV est atteinte quand l'atténuation en profondeur des paramètres de vagues (potentiel, vitesse orbitale,...) atteint 96% (resp $\approx 91.4\%$) (Figure ci-dessous).

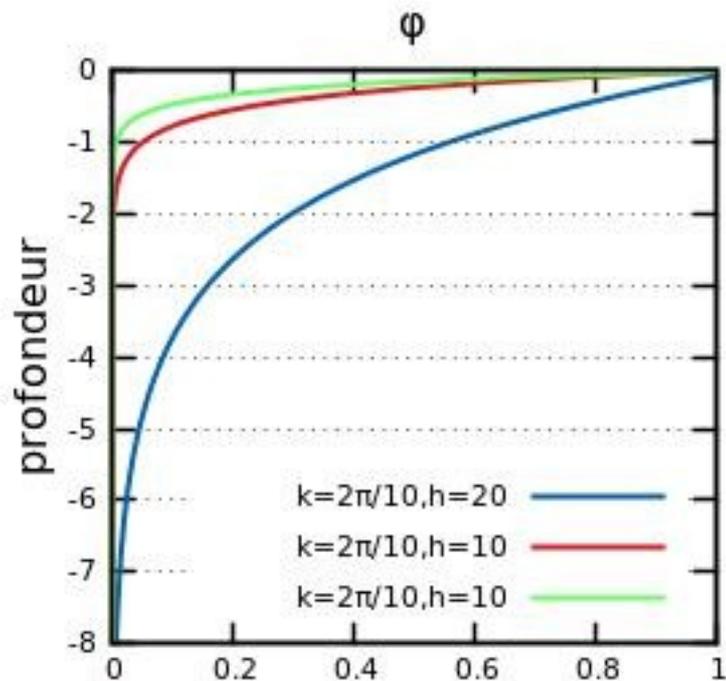


Figure : L'évolution de la fonction F avec la profondeur

Bien évidemment, ces limites de type LAV ou assimilées sont toutes dépendantes de la série de vagues considérées pour calculer une moyenne. Si les régimes de vagues moyens changent au cours du temps, la limite du littoral va se déplacer le long du profil. Ainsi, on utilise souvent le concept de limite d'action des vagues de tempête (LAVT) pour désigner la LAV pour des conditions moyennes de longueurs d'ondes de régimes de tempêtes, sans donner plus de précision sur le seuil qu'on fixe entre LAV et LAVT. On peut trouver dans Bouchette (2001) et Bouchette et al. (2001) une revue complète de ces définitions, une extension de la définition de la limite d'action des vagues à l'ensemble du shoreface (la LAV n'est plus une profondeur, mais une surface frontière), ainsi que l'introduction des concepts jumeaux de limite hydrodynamique d'action des vagues [LHAV] et limite mécanique d'action des vagues [LMAV] qui font référence respectivement à (i) la capacité de transport par les courants de houle, et (ii) la capacité de fluidisation de la pile sédimentaire sous l'action de la houle. Les limites d'action des vagues sont toujours plus grandes que les profondeurs de fermeture introduites plus haut ; en d'autres termes, le système littoral du génie côtier est plus étroit (quelques km de la côte selon la pente moyenne) que celui du géologue (qqes dizaines de km de la côte).

Dans un tel contexte, GLADYS s'intéresse au domaine marin aussi loin que nécessaire pour répondre à des questionnements sur les processus cités plus haut. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'une partie de son activité de recherche peut être définie comme de l'océanographie physique.

QU'EST CE QUE GLADYS EN PRATIQUE ?

GLADYS n'a pas d'existence juridique. Il est un plateau technique GEPETO de la région LR rattaché à l'Université de Montpellier et piloté par le laboratoire Géosciences-Montpellier.

En pratique, tout chercheur littoraliste se définit comme membre de GLADYS à partir du moment où il adhère aux activités d'un groupe informel de chercheurs organisés autour du plateau GEPETO et liés par des activités collectives d'animation scientifique (workshop, retraites, déploiements en mer collectifs), par des publications récurrentes communes, par des réponses collectives à des appels d'offres régionaux, nationaux et internationaux, et par une stratégie collective de communication organisée auprès d'un large public (conférences au nom de GLADYS en sus du laboratoire d'appartenance, etc ...). Cette définition montre que GLADYS est une organisation très structurée – certes informelle – mais qui fonctionne parfaitement bien. C'est une structure qui respecte les structures en place (en particulier les UMR, à la base de l'organisation de la recherche) mais qui a été capable dépasser les clivages disciplinaires et géographiques.

Si on s'en tient à cette définition, GLADYS regroupe une petite trentaine de chercheurs rattachés à des laboratoires très divers allant des mathématiques à l'archéologie (UMRs I3M, GM, OREME, PYTHEAS, L2C, CEFREM, CAL, LEGI, CEREGE, MIO), mais partageant tous la volonté de s'inscrire dans l'étude de la dynamique littorale des plages à dominante sableuse.

L'activité de GLADYS peut être mesurée par les indicateurs suivants :

- 1) 3 workshops de visibilité nationale organisés par an en moyenne depuis plus de 8 ans (soit près de 3 semaines à 1 mois d'organisation annuelle d'événements scientifiques autour de la dynamique littorale) ;
- 2) des publications de rang A avec une production annuelle de l'ordre de 10 / an depuis 10 ans (soit un ordre de grandeur de 100 publications depuis la formation de GLADYS). Ces publications sont souvent collectives. Une liste partielle est donnée en fin de document ;
- 3) des rapports d'études et de R&D réalisés pour des partenaires gestionnaires littoraux ou entreprises qui sont quelquefois à l'origine de grandes opérations d'aménagements, de travaux opérationnels sur des montants de plusieurs dizaines de millions d'euros pour la collectivité ;
- 4) l'organisation de déploiements collectifs en mer à un rythme de environ 1 gros déploiement par an (parmi lesquels de très grosses opérations de visibilité nationale, voire internationale : Rousty 2014, KUNSHEN 2010, FEST 2009, ESPIGOBS, MAGOBS 20123 et bientôt MAUPITI 2018) ;
- 5) la capacité à regrouper environ 4 Meu d'euros en 10 ans pour le fonctionnement et les équipements collectifs du groupe (dont environ 75 % à l'Université de Montpellier, 25 % sur les autres labos associés) ;
- 6) un parc d'instrument collectif avoisinant les 80 unités, ce qui fait de GLADYS le principal opérateur public spécialisé sur la zone de plage en quantité d'instrument à l'échelle nationale. Sur ce dernier point, la mise en place de l'Institut des plages est vital.

LES APPROCHES METHODOLOGIQUES DE GLADYS

Les types activité présentées dans la figure ci-dessous seront au cœur de la recherche, de la R&D et des applications développées à l'institut des plages par GLADYS. Très classiquement pour l'étude d'un objet à cheval sur les sciences dures et les sciences naturelles, les méthodologies mises en jeu vont du travail de modélisation conceptuelle à l'observation in-situ en passant par l'expérimentation physique et l'imagerie.

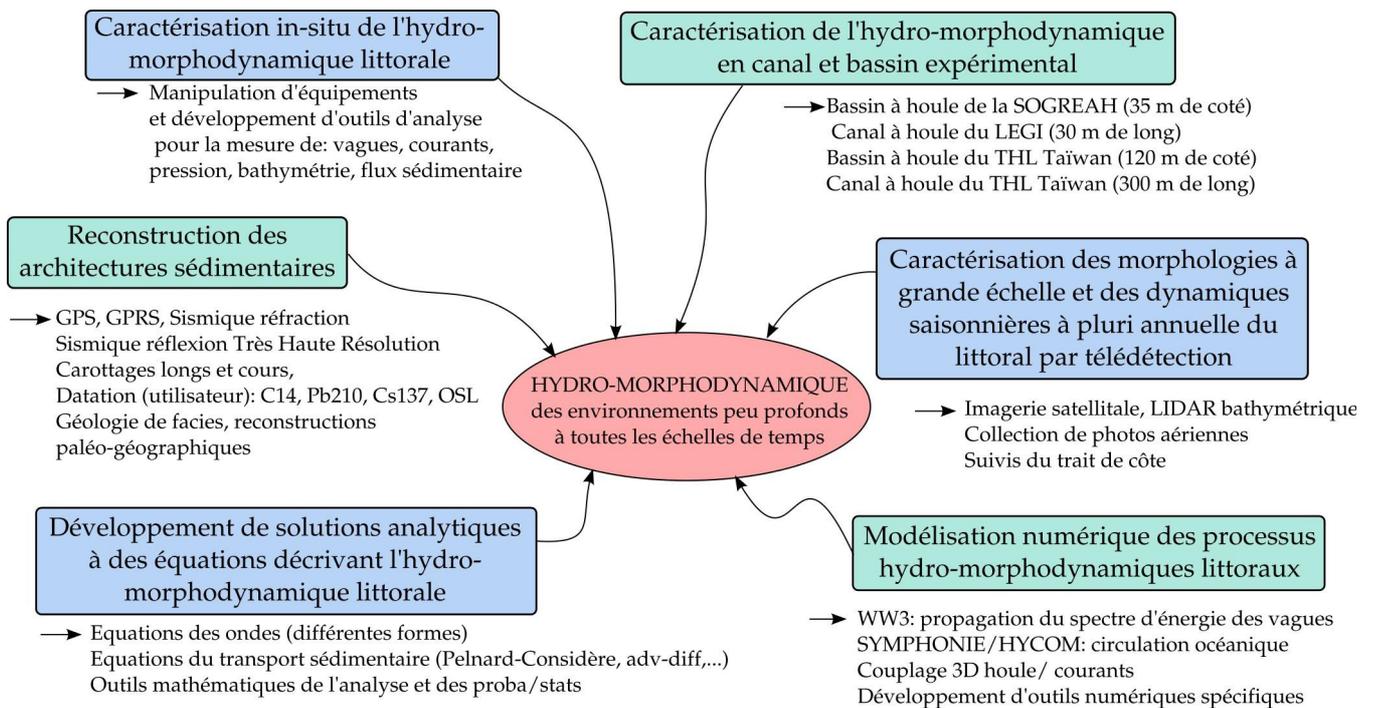


Figure : les différentes méthodologies mises en œuvre à l'institut par GLADYS

PRÉSENTATION SYNTHÉTIQUE DES QUESTIONS DE RECHERCHE

Dans le cadre général donné plus haut, celui de l'hydro-dynamisme en eau peu profonde, particulièrement ciblé sur les géo-systèmes sableux, les activités de GLADYS sont néanmoins multiples. On propose de classer en neuf thèmes l'ensemble des travaux qui sont menés (publiés). Plusieurs autres activités, comme le développement d'outils numériques, certains travaux de télédétection, et tout ce qui touche à la constitution de bases de données, n'est pas évoqué dans cette classification, car plus déconnecté de l'activité de recherche stricte. Pour autant, ces activités seront intégrées à celles de l'institut des plages.

Dans la figure ci-dessous, on présente le découpage possible en 9 thèmes des activités de GLADYS.

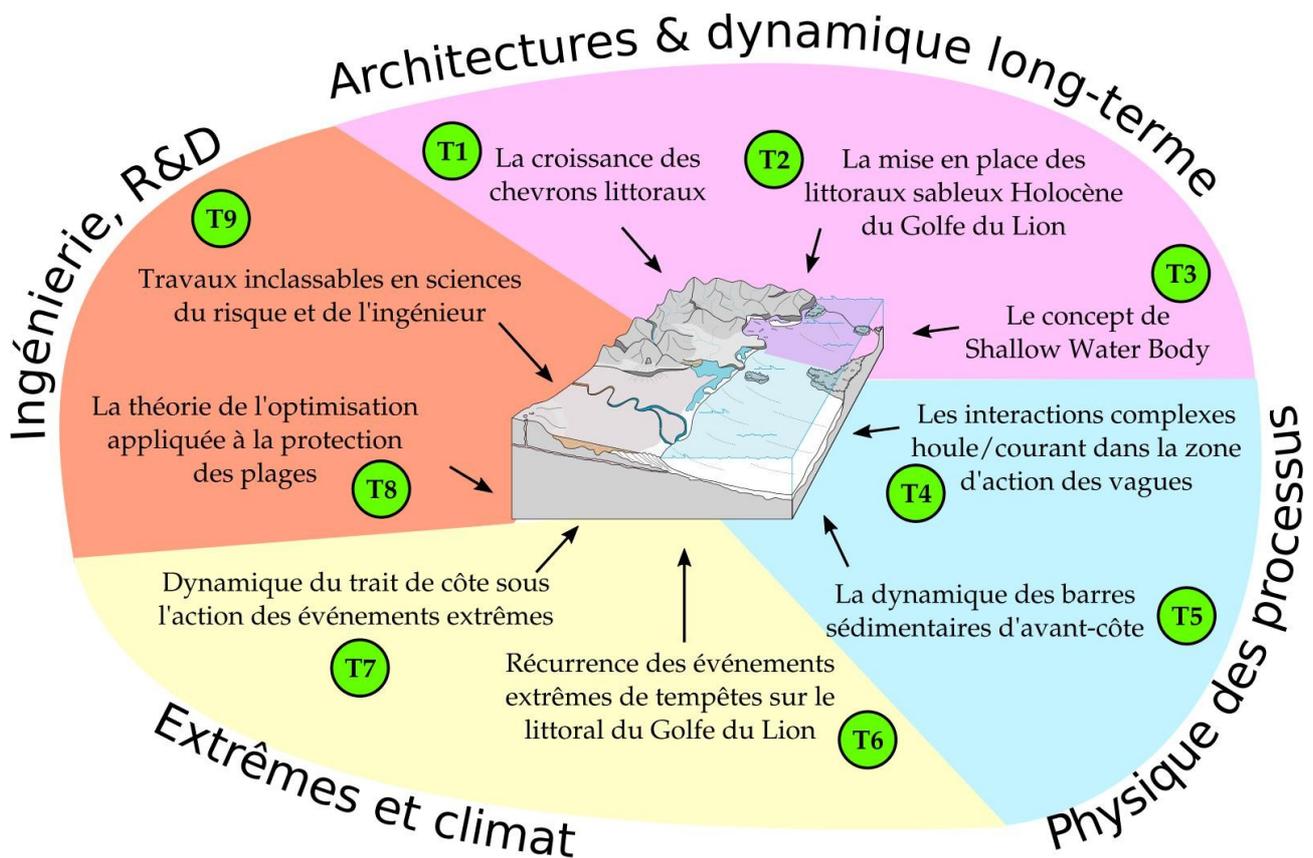


Figure : Une synthèse des travaux de recherche qui ont donné lieu à publication en 9 thèmes de recherche. Le dernier de ces thèmes comprend des travaux inclassables dans les autres activités.

Très logiquement, il existe des connexions naturelles entre différents thèmes. Ainsi, les thèmes T1 à T3 partagent le fait d'être à dominante géosciences : (i) ils reposent notamment sur l'exploitation de données issues de (paléo-)systèmes littoraux, (ii) ils portent sur des mécanismes impliquant les temps longs (centaines, milliers d'années ou beaucoup plus) et (iii) ils s'inscrivent dans la compréhension des caractéristiques de l'enregistrement géologique. Étonnamment, ces thèmes combinent absolument toutes les approches méthodologiques, du calcul formel à l'observation de terrain en passant par la modélisation numérique et l'imagerie géophysique. Les thèmes T4 et T5 portent sur des échelles de temps plus courtes et concernent la compréhension de la physique des processus littoraux ; ils reposent sur le triptyque modélisation numérique, expérimentation physique et métrologie in-situ, propre à la physique expérimentale. Les thèmes T6 et T7 s'intéressent à l'effet des mécanismes extrêmes (rares) sur la dynamique littorale à toutes les échelles de temps ; ils combinent essentiellement des approches mathématiques, métrologiques et l'observation de terrain. Enfin, les thèmes T8 et T9 ont trait à l'ingénierie côtière, le transfert de savoir de la recherche universitaire vers l'industrie ; dans ces derniers thèmes, les approches sont clairement à dominante calcul numérique et développement formel, et illustrent notre volonté de ne pas cliver recherche (dite académique) et R&D. Ces derniers thèmes ont aussi un lien fort avec les thèmes T1, T4 et T5 du point de vue des outils et des questions abordées.

PRÉSENTATION DES ACTIVITES DE RECHERCHE

On fait une présentation de quelques exemples d'activité dans chacun des thèmes présentés dans la section précédente. Bienévidemment, les activités de GLADYS ne sont pas présentées de manière exhaustive. Le but est d'illustrer la diversité de ce qui peut être fait à l'Institut des plages du point de vue de la recherche académique.

Exemple T1 : La croissance des chevrons littoraux

C'est un axe de travail porté par F. Bouchette et M. Manna, membres de GLADYS et traité collectivement par une petite dizaine de chercheurs. L'activité porte sur la formulation de lois strictement conceptuelles concernant la croissance d'instabilités de plage (ici, les chevrons, encore appelés cuspsates (Figure ci-contre), qui sont des pointements sableux proches du triangle isocèle (Bouchette et al., 2014).

Nous avons tout d'abord écrit une loi (une équation aux dérivées partielles) qui décrit dans le plan horizontal la dynamique du trait de côte au cours du temps en permettant la croissance d'instabilités. Cette équation est non-linéaire et n'admet pas de solution évidente ; nous l'avons tout d'abord appelée



Figure : Un exemple de cusplate, dont la taille peut aller du mètre à plusieurs centaines de mètres (typiquement sur cette photo). Sur cet exemple, le cusplate se développe bien évidemment en eau peu profonde, dans une lagune (Canada) à l'arrière d'une plage exposée montrant de tenus croissants de plage d'une taille très inférieure. © Google Earth images.

la loi de Pelnard-Considère non-linéaire pour faire écho à l'équation de diffusion (traditionnellement appelée Pelnard-Considère en génie côtier) supportant le fonctionnement de la plupart des modèles de dynamique du trait de côte dits "one line" comme UNIBEST, CMC, ou GENESIS (Hanson and Kraus, 1989). Des collègues américains (Asthon et al., 2001; Asthon and Murray, 2006) avaient auparavant réussi à dériver une solution numérique d'une loi ressemblante. Toutefois, ils utilisaient dans leur formalisme les conditions de vagues (notamment l'angle d'incidence) au point de déferlement et non pas en eau profonde pour faire apparaître une forme de non-linéarité et donc permettre la croissance d'instabilités de plage, ce que ne permet pas une équation de diffusion classique. Ils faisaient donc l'hypothèse que les instabilités sont le fait des processus de déferlement.

Nous avons alors travaillé sur une forme réduite de la loi que nous avons dérivée, que nous avons appelée équation des chevrons. Nous avons trouvé qu'il était possible (par dérivations successives et plusieurs changements de variables) de la ramener à une autre loi, celle quelquefois dite de la bombe atomique, qui a été étudiée à la fin de la guerre (Taylor, 1950) car elle prédisait la manière dont le champignon atomique grossit après une explosion. Or, comme cette équation de la bombe atomique admet une solution (Barenblat, 2003), nous avons pu donner une expression analytique de la dynamique des chevrons littoraux (Figure ci-dessous).

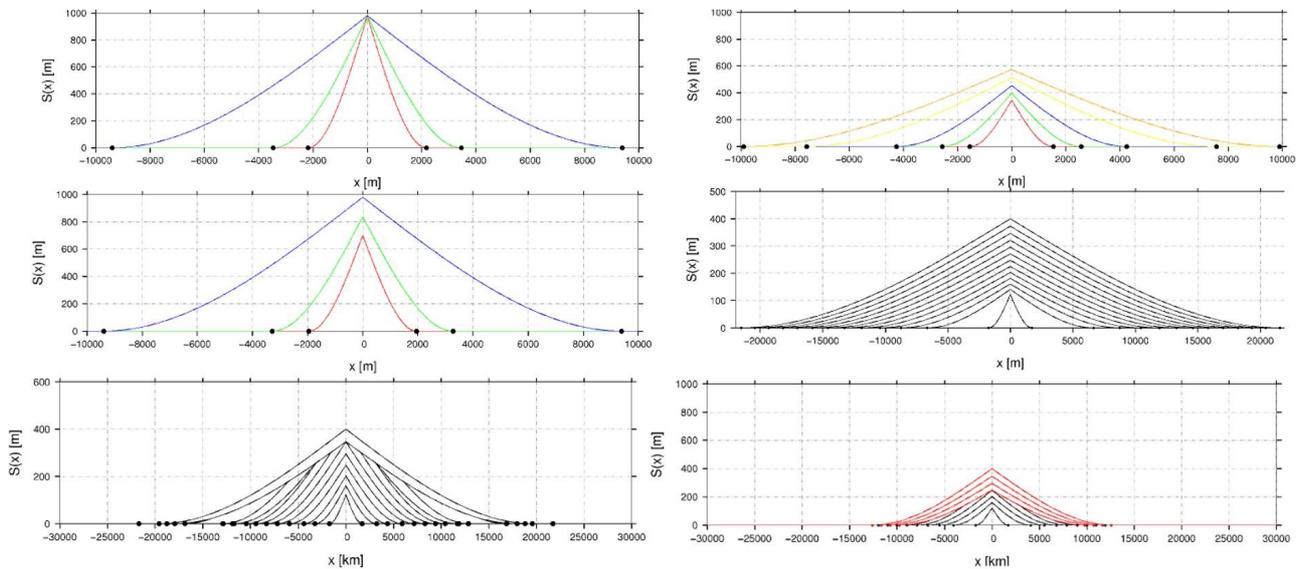


Figure : Quelques exemples de croissance de chevrons à partir de l'équation des chevrons que nous avons établi. On peut décrire des croissances latérales, introduire une forme de progradation, assurer un mécanisme d'érosion, le tout à partir d'une solution strictement explicite. L'équation des chevrons actuellement publiée ne peut générer que des structures symétriques.

Le résultat analytique est particulièrement étonnant, car il permet également de dériver une méthode de datation des flèches et/ ou de détermination du coefficient de diffusivité longshore (souvent nommé G_0) à partir de simples mesures des caractéristiques géométriques de quelques cuspatés (Bouchette et al., 2014). Une autre manipulation de la solution obtenue montre par ailleurs qu'il doit exister une loi d'échelle entre la longueur d'un chevron et sa hauteur, ce qui se vérifie parfaitement à partir d'une analyse statistique de chevrons avec de l'imagerie satellitaire.

Exemple T2 : La formation des littoraux sableux Holocène dans le GOL

Traditionnellement, on considère que ce sont des transferts orientés perpendiculairement à la côte (progradation/ rétrogradation) qui contrôlent les géométries d'ensemble des architectures sédimentaires, y compris en zone littorale. Ce paradigme a été établi après l'observation de la dynamique grande échelle de systèmes deltaïques. Et ce postulat est même à la base de disciplines complètes comme la stratigraphie séquentielle en sédimentologie.

L'édification des littoraux sableux actuels dans le Golfe du Lion se fait par construction progressive d'une barrière sableuse, qui délimite une zone marine ouverte d'une lagune protégée de l'impact des vagues. On pourrait donc imaginer que de tels systèmes présentent des architectures qui répondent au paradigme sus-mentionné.

Dans un travail réalisé par le groupe GLADYS (Raynal et al., 2009, 2010), basé sur des observations à terre, des carottages et différents types de sismique en mer et en lagune, ainsi que de la modélisation numérique, nous avons montré que c'était la dérive littorale qui domine totalement les caractéristiques des architectures sédimentaires littorales fossilisées. La dérive hydrodynamique littorale organise les dépôts selon une direction préférentiellement orientée le long de la côte et détermine des cortèges sédimentaires qui ne peuvent pas être décrit par progradation/ rétrogradation le long du profil terre/ mer, comme on aurait pu s'y attendre. L'approche par stratigraphie

séquentielle étant invalidée pour ces formations littorales de la fin de la dernière remontée eustatique Holocène, nous avons proposé un modèle d'édification alternative. Il repose sur les principes suivants :

- La croissance et l'avancée sur la mer d'un cortège littoral (lido et avant-côte jusqu'à la profondeur de fermeture) ne peut se faire que par l'apport latéral de matériel sédimentaire par la dérive sédimentaire longitudinale et la construction de flèches sableuses ou instabilités morphologiques équivalentes ;
- La localisation à un emplacement donne du bourrelet de plage (cordon dunaire, plage émergée et proche plage immergée) n'est que le résultat de la remobilisation permanente (courte échelles de temps) du sable de l'avant-côte par les vagues. Il se forme tout le temps, sauf en l'absence de matériel sédimentaire (pas de système littoral préservé). Le bourrelet ne peut que rétrograder et se détruire à l'échelle des temps géologiques ;
- La partie lagunaire d'un tel système littoral se développe par l'isolation de baies et invaginations du trait de côte rocheux contemporain de la remontée eustatique.

Nous avons généralisé ce modèle à d'autres contextes (Ferrer et al., 2010) dans le cadre de collaborations. Pour résumer, on ne devrait pas parler de recul ou d'avancée du trait de côte à l'échelle géologique, mais de déplacement latéral et de perturbations par instabilités. Ceci définit largement le cadre de travail de la recherche menée par GLADYS sur les architectures littorales dans les années à venir, en particulier celle qui sera menée à l'Institut des plages.

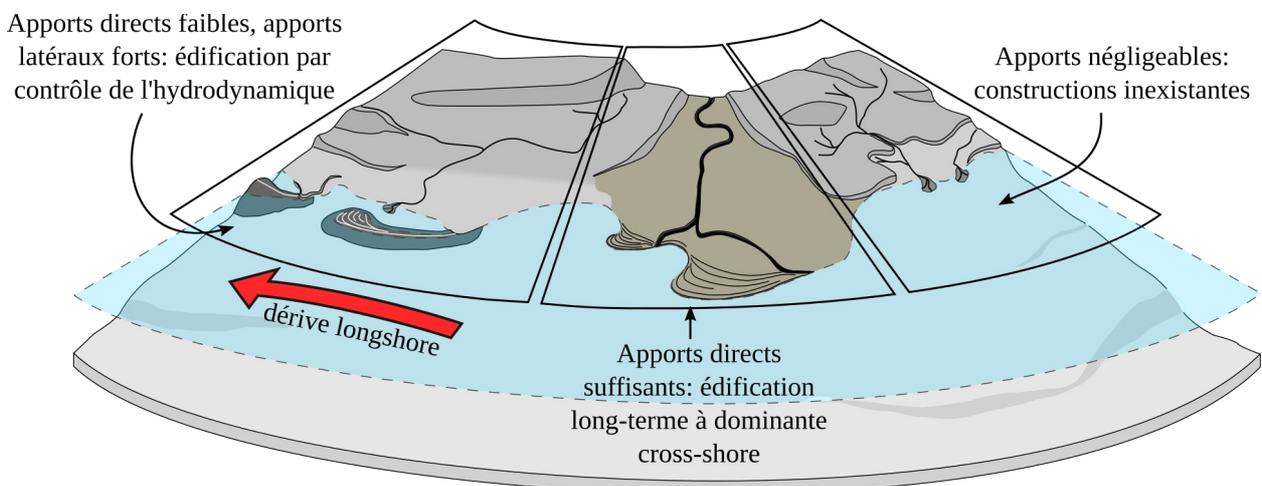


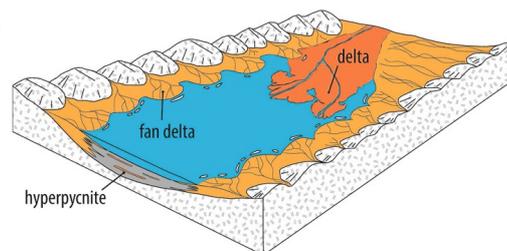
Figure : Selon qu'on se place au droit d'un système d'embouchure ou sur ses cotes à une distance suffisante, le taux d'apport sédimentaire direct va totalement contrôler les caractéristiques des architectures sédimentaires. Au droit d'une embouchure, le postulat de la stratigraphie séquentielle est vrai (cette science a été inventée sur des systèmes deltaïques). Mais lorsqu'on se place hors du système direct, assez rapidement, un raisonnement strictement basé sur le triptyque eustatisme, apports sédimentaires fluviaux et accommodation n'est plus valable. Il est d'autant plus faux que les apports sédimentaires sont réduits. On observe une dynamique de préservation dominée par les processus hydrodynamiques longitudinaux, les abrasions (non-préservation) et un fort contrôle de l'héritage topographique (substrat au moment du re-ennoyement).

Exemple T3 : Le concept de Wind-driven water body

C'est un thème reposant sur la simulation de la paléo-hydrodynamique du Lac Chad à l'Holocène (Figure ci-dessous), en utilisant différents forçages reprenant les conditions d'Harmattan (climat sec, vent du Nord-Est) ou de Mousson (climat humide, vent du Sud-Ouest). Ces simulations, comparées à des évidences de terrain montrant des paléo-flèches sableuses et autres marqueurs de dynamique littorale, permettent de déterminer la direction des paléo-vents qui dominaient au moment où le lac était ennoyé (Bouchette et al., 2010). Le résultat le plus marquant est que le vent dominant au moment où le lac est le plus étendu à l'Holocène vient du Nord-Est et correspond à une période de sécheresse. On montre de cette manière que de grandes étendues d'eau peuvent persister un moment pendant une période de sécheresse suivant une phase humide. En d'autres termes, il y a un décalage entre le changement de régime climatique et la réponse hydro-morphodynamique du système. Ceci peut avoir des conséquences lourdes sur les prédictions des modèles paléo-climatiques ; en effet la taille du paléo-lac Chad est telle qu'il représente une masse d'eau ayant un effet rétro-actif significatif (par évaporation) sur la dynamique du climat. Si un paleo-lac Chad étendu a persisté longtemps pendant la dernière période sèche, son effet sur la dynamique climatique a pu être substantiel.

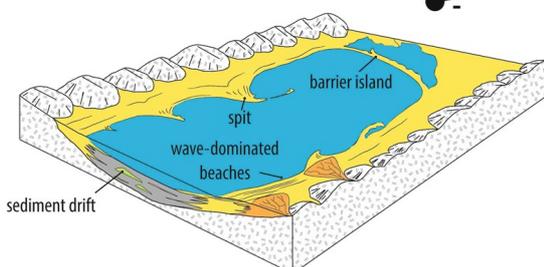
River-driven waterbodies

Variable mean depth
Horizontal cross-shore transfers
Deltas
Fan deltas
Hyperspycnal lobes
Examples: Lake Tanganyika, Lake Superior



Wind-driven waterbodies

Shallow mean depth
Horizontal longshore transfers
Subordinate cross-shore transfers
Wave-related features
Intense bottom currents
Examples: Azov Sea, Lake Turkana, Lake Erie



Gravity-driven waterbodies

Deeper mean depth
Vertical transfers
Mass-wasting lobes
Stratified water column
Examples: Crater Lake, Fjord Lake

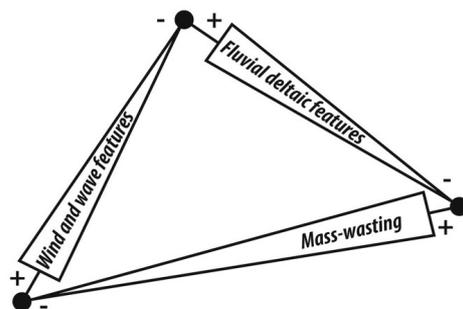
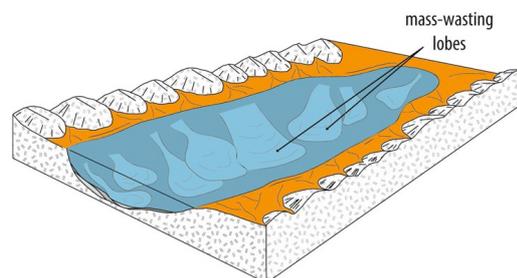


Figure : Une proposition de classification en trois pôles des dynamiques d'architecture sédimentaire : (i) les systèmes fermés dominés par les apports terrigènes environnants, (ii) les systèmes dominés par les mécanismes gravitaires et (iii) les systèmes dominés par les processus hydro-morphodynamiques forcés par le vent/vague/circulation. Nous avons nommé ces derniers les Wind-driven Water Bodies, et ils représentent une nouvelle classe de systèmes sédimentaires continentaux.

Ces premiers travaux sur le lac Chad ont débouché sur l'invention du concept de Wind-driven Water Body (Nutz et al., 2016), qui désigne des systèmes lacustres continentaux de faible bathymétrie devant leur taille, et dont la dynamique sédimentaire est dominée par les vagues, le vent et la circulation littorale, au même titre que les littoraux microtidaux en mer ouverte (Figure ci-dessous). Ces objets portent une grande richesse d'informations sur le climat.

Suite à l'expérience acquise sur le paléo-lac Chad, GLADYS reconstitue intégralement à partir de carottages, travaux de terrain, sismique réflexion (Nutz et al., 2014, 2015b) et simulation (Nutz et al., 2015b), l'histoire tardi-glaciaire d'autres WWB comme le lac Saint Jean au Québec. Ce type de travaux a montré que le concept de WWB est robuste, et qu'il peut être utilisé partout sur terre pour explorer la dynamique littorale des systèmes continentaux dans différents contextes géologiques. L'introduction du WWB en géologie sédimentaire est incontestablement un résultat important, car il ouvre la porte à la ré-interprétation (ou facilite l'interprétation) de nombreux systèmes continentaux qui restent à ce jour à caractériser correctement.

Exemple T4 : Les interactions houle/courant 3D

Cette thématique est fondamentale pour toute l'océanographie physique. Dans les années 2000, la formulation mathématique d'un tel couplage était une nécessité pour la compréhension de l'hydrodynamique des vagues qui s'expriment particulièrement à la côte (Leredde et al., 2007). L'enjeu était d'appréhender correctement les effets combinés de la circulation régionale et des vagues dans les profondeurs intermédiaires, à savoir la partie la plus distale du domaine littoral (tel que défini plus haut). GLADYS a participé à l'élaboration d'une des premières implémentations numériques du couplage 3D houle/ courant dans les équations primitives de la circulation océanique (thèse de Cléa Denamiel). GLADYS a participé au travail de validation de l'implémentation faisant consensus, notamment en aidant à la comparaison de résultats de simulations selon cette méthode avec des données de GLADYS acquises en zone littorale (Michaud et al., 2013). Nous avons en particulier réalisé un atlas hydrodynamique du Golfe du Lion (Van Roye and Bouchette, 2010) sur la base d'une première implémentation de ce couplage avec les modèles SYMPHONIE et WW3.

Exemple T5 : La dynamique des barres sédimentaires d'avant-côte forcée par les vagues et la circulation littorale

Sujet central dans la communauté de l'hydro-morphodynamisme littoral, je travaille sur la question de la dynamique des barres sédimentaires d'avant-côte (Figure ci-dessous) de façon permanente, comme la plupart des littoralistes travaillant en contexte microtidal dominé vague/vent. Dans le Golfe du Lion, sous l'impulsion du CEFREM à Perpignan, une typologie précise des systèmes à barres sableuses (Aleman et al., 2011) a été établie à partir d'imagerie LIDAR (Robin et al., 2010b). Pour ceux de ces systèmes qui sont à double barre sédimentaire, nous avons pu devenir les schémas élémentaires de circulation hydrodynamique littorale qui contrôlent leur dynamique à partir de données in-situ (Ferrer et al., 2008, 2011; Robin et al., 2014). Nous avons fait de même sur des barres rectilignes (Robin et al., 2010a). Quelques résultats ont été étendus grâce à de l'expérimentation physique en canal/bassin à houle (Michallet et al., 2010; Castelle et al., 2009,

2010a,b). Ces travaux ont contribué à montrer l'importance de la distribution des courants d'arrachement au niveau des barres d'avant-côte et dans les fosses de lévigation (les trous à l'arrière des barres).

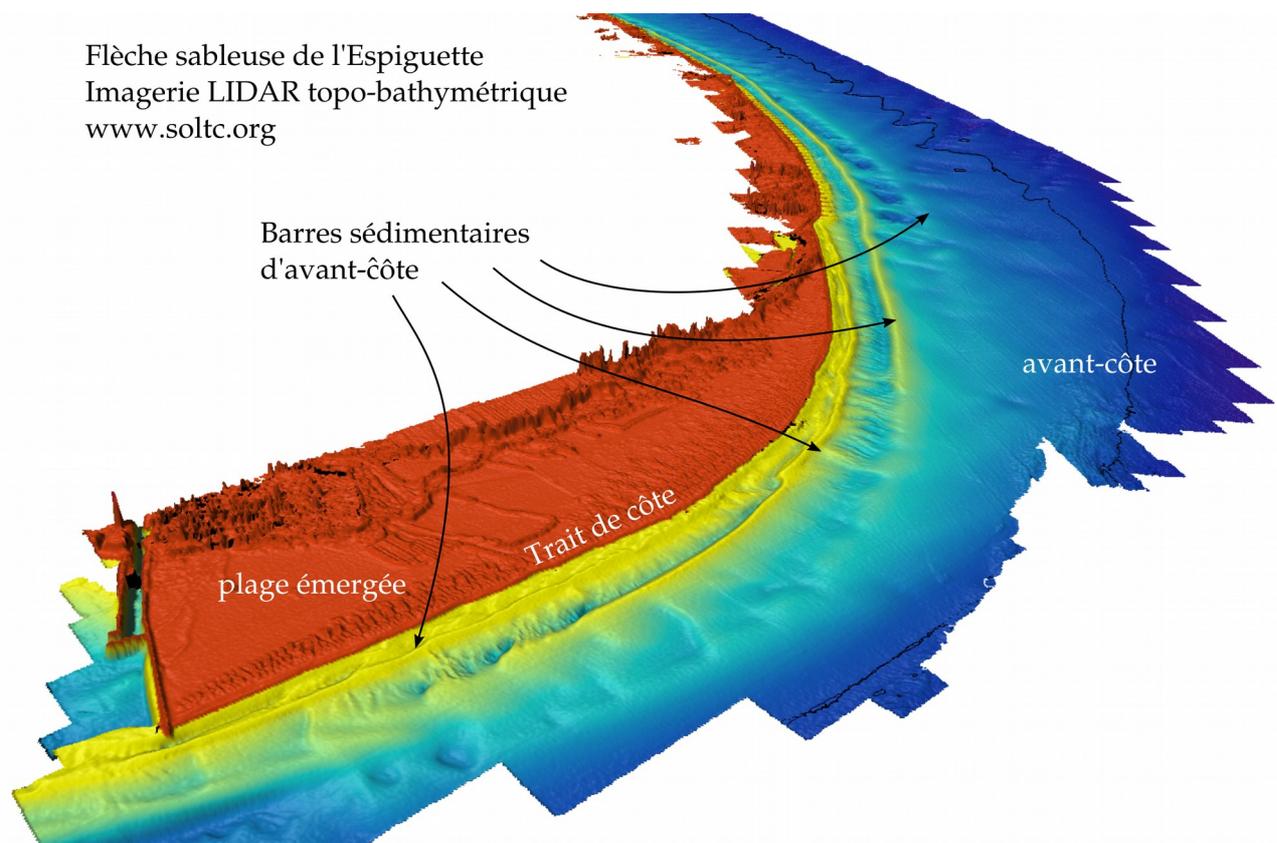


Figure : Barres sédimentaires d'avant-côte sur le système littoral de la flèche sableuse de l'Espiguette (Gard). Dans le cas présent, les barres sont dites rectilignes (pas d'oscillation de leur crête ni d'interruption rythmique). Toutefois, elles changent d'azimuth selon l'orientation du trait de côte le long de la flèche sableuse, et sont organisées en queue de cheval, connectée à la plage par un de leur bord.

Un des problèmes ouverts central de la dynamique des barres d'avant-côte est la question de leur nucléation. Les approches par modélisation numérique existantes partent d'un noyau de barre et tentent d'en assurer la croissance et la migration sur le profil de plage ou dans le plan les plus réalistes possibles. Pourtant, dans la nature, les barres peuvent être générées spontanément à partir de profils linéaires ou simplement convexes ou concaves. Bouharguane and Mohammadi (2012) ont posé les bases théoriques du développement d'un nouveau type de modèle de calcul de la morphodynamique des barres d'avant-côte lors de la propagation des vagues, basé (comme dans nos travaux du thème T8) sur un principe de minimisation de l'énergie globale du système. Cette approche constitue à mes yeux une petite révolution dans la modélisation de la morphodynamique littorale. Ce premier travail est resté jusqu'à récemment à l'état de développement relativement académique. En complément, l'article Mohammadi and Bouchette (2014) montre qu'il est possible de reporter l'incertitude qui existe sur les forçages (vagues, courants) d'un modèle de dynamique de barres d'avant-côte directement sur l'incertitude du résultat (forme du fond) sans avoir à calculer toutes les conditions bornant cette incertitude, en utilisant le concept de Value-at-Risk. Ce résultat pourrait ouvrir la porte à l'utilisation des modèles basés sur le principe de minimisation de l'énergie (Bouharguane et al., 2010) dans des conditions réalistes et transformer cette approche de la

modélisation de la morphodynamique de plages en un véritable outil opérationnel. L'ambition d'une telle démarche pourrait être d'explorer plus avant la dynamique des barres d'avant-côte sous l'action des vagues, notamment au niveau de leur mécanisme de nucléation puisque le modèle en rend déjà compte sans recours à des astuces calculatoires.

Pour l'instant, sur la base des développements pilotés par Bijan Mohammadi, j'ai travaillé ces 2 dernières années au développement d'une version de code de calcul de l'hydro-morphodynamique par optimisation, qui doit tendre à terme vers l'objectif sus-mentionné (Figure ci-dessous).

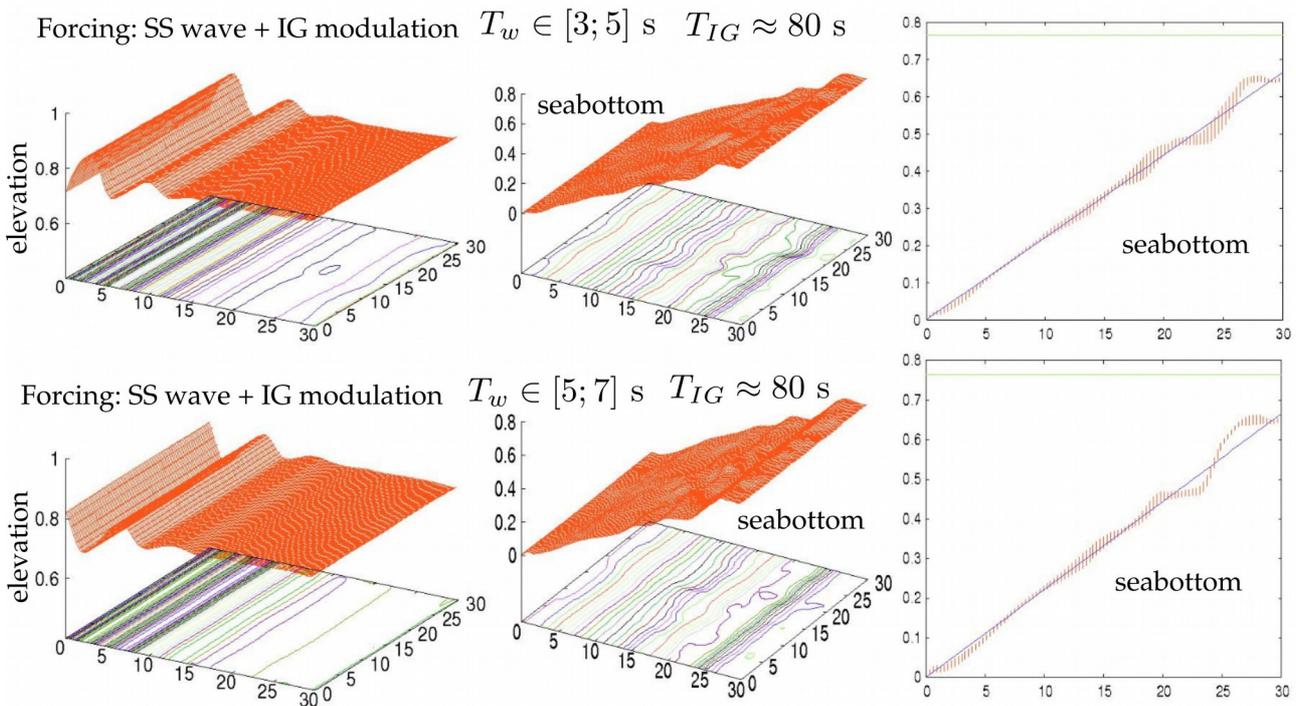


Figure : Exemples de résultats de simulation avec l'outil de calcul de l'hydro-morphodynamique en cours de développement par Bijan Mohammadi et moi-même. Les graphes montrent (i) sur la colonne de gauche des instantanés de la surface libre choisis arbitrairement, (ii) l'état du fond à ce moment là, et (iii) deux profils transversaux intégrant la variabilité longitudinale, sur lesquels on voit bien la présence d'instabilités morphologiques de type barres d'avant-côte. Ces instabilités se sont développées en partant de profils linéaires ou convexes simples. Le forçage est une vague type, modulée par un signal infra-gravitaire monochromatique (un produit de cosinus en pratique).

Une autre application possible de cette approche par théorie de l'optimisation de la morphodynamique de plage (qui pourrait être perçue comme de l'ingénierie mais qui relève de la même démarche) est celle qui consiste à prédire l'épaisseur de sable qui revient sur la plage immergée après une tempête, cette épaisseur étant directement déterminée par la reconstruction des barres sédimentaires. Si on est capable de calculer ainsi la forme de la plage avant et après une tempête, on peut par exemple calculer à quelle profondeur on va retrouver des produits de marée noire suite à un accident qui aurait eu lieu pendant une tempête (c'est toujours pendant les tempêtes que les accidents arrivent...). C'est ce qui s'est passé pour le pétrolier Prestige en 2011, devant la Galice espagnole, ou nous avons engagé un travail d'application d'une telle idée (Fernandez et al., 2011; Bernabeu et al., 2013; Fernandez-Fernandez et al., 2014) pour aider à retrouver les traces résiduelles de la marée noire plusieurs années après l'accident.

Exemple T6 : Récurrence des événements extrêmes de tempêtes sur le littoral du Golfe du Lion

Ici, il s'agit d'aborder le problème de la récurrence des événements extrêmes de tempêtes sur le littoral, avec deux points de vue radicalement différents : (i) une approche par la géomorphologie de terrain et la géochimie, et (ii) une approche par la modélisation numérique et l'assimilation de données.

La première approche repose sur l'utilisation de l'imagerie sismique en lagune, de carottages et d'analyses géochimiques, palynologiques et pétrologiques de carottes lagunaires, qui permettent de reconstituer l'architecture des dépôts de cônes de tempêtes, qui résultent du basculement de sable de l'avant-côte vers la lagune (Raynal et al., 2010). Une datation fine de ces dépôts permet de donner des informations sur la fréquence des tempêtes suffisamment fortes pour entraîner un dépôt à l'arrière du cordon (Sabatier et al., 2008, 2010, 2012). Ce type d'approche permet d'identifier les événements les plus significatifs (considérés comme étant les plus énergétiques (ce qui reste un postulat) à l'échelle pluri-centennale, et suggère, modulo quelques hypothèses, qu'il pourrait y avoir une augmentation des tempêtes dans les périodes historiques récentes. Toutefois, il y a débat sur la capacité du milieu lagunaire à véritablement enregistrer de manière régulière les événements extrêmes.

Plus récemment, GLADYS a abordé le même problème sous un angle radicalement différent (dans le cadre de collaborations géosciences / Mathématiques / Informatique). Nous réalisons avec le modèle WW3, et à partir des données de vent et de courantologie très grande échelle (produites par MERCATOR et ECMWF, des initiatives européennes), une simulation de la propagation des vagues sur l'ensemble du bassin Ouest Méditerranéen jusqu'à la frange littorale du Golfe du Lion, sur une période d'un peu plus de 50 ans (Chailan et al., 2012). A partir des résultats, nous utilisons une approche probabiliste basée sur la théorie des valeurs extrêmes pour calculer les périodes de retour des hauteurs de vagues les plus fortes, et des flux hydrauliques induits sur la plage. Le point fort de cette approche est qu'on introduit bien dans la démarche des éléments de la théorie des valeurs extrêmes qui permet d'exprimer avec une certaine confiance des périodes de retour au-delà du décennal à partir de données simulées sur seulement un peu plus de 50 ans (Chailan et al., 2014).

Exemple T7 : la dynamique du trait de côte sous l'action des événements de tempêtes

GLADYS a l'occasion de mener des projets de recherche à Taiwan, pays de tous les extrêmes pour ce qui est des phénomènes naturels, et nous avons émis l'hypothèse suivante : "les forçages extrêmes par les vagues, la marée et les courants sont susceptibles d'induire des réponses hydro-morphologiques de la plage (et donc du trait de côte) radicalement différentes de celles que vont prédire les lois qui ont été établies pour des conditions de forçages modérés". Tout est dans le mot radicalement, qui suggère qu'il existerait des effets de seuil dans les processus hydro-sédimentaires lorsqu'on touche les extrêmes, avec l'enjeu sous-jacent d'être capable de correctement caractériser les extrêmes. GLADYS s'est donc engagé depuis quelques années dans l'analyse de la réponse du trait

de côte aux forçages extrêmes, et dans l'établissement de lois gouvernant ces relations en combinant autant d'approches que nécessaires, du travail de terrain à la modélisation conceptuelle. L'institut des plages a un rôle catalyseur très clair à ce niveau, en étant capable de regrouper au même endroit des chercheurs de disciplines différentes pour aborder ces questions.

La première idée est de caractériser la manière dont le niveau d'eau se comporte aux échelles de temps court en condition extrême. A cette échelle de temps, le niveau contrôle totalement la position instantanée du trait de côte. Pour cela, GLADYS travaille sur la modélisation du calcul du niveau d'eau par SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) (Oudart et al., 2013; Larroudé et al., 2014), une méthode qui postule que eau et sédiment sont des milieux granulaires aux propriétés différentes, et permet de rendre compte correctement du déferlement, du jet de rive et des processus complexes a l'atterrissage de la vague sur la berme. GLADYS a abordé ce travail fort de l'expérience acquise dans le cadre d'une collaboration précédente sur les milieux divisés (Taboada et al., 2005b).

Nous avons également commencé à poser les bases de la formulation d'une loi rendant compte du niveau d'eau instantané résultant de la superposition de forçages à différentes échelles de temps et d'espace (Figure ci-dessous), si possible en conditions réalistes quelconques y compris extrêmes (Bouchette et al., 2012, 2014).

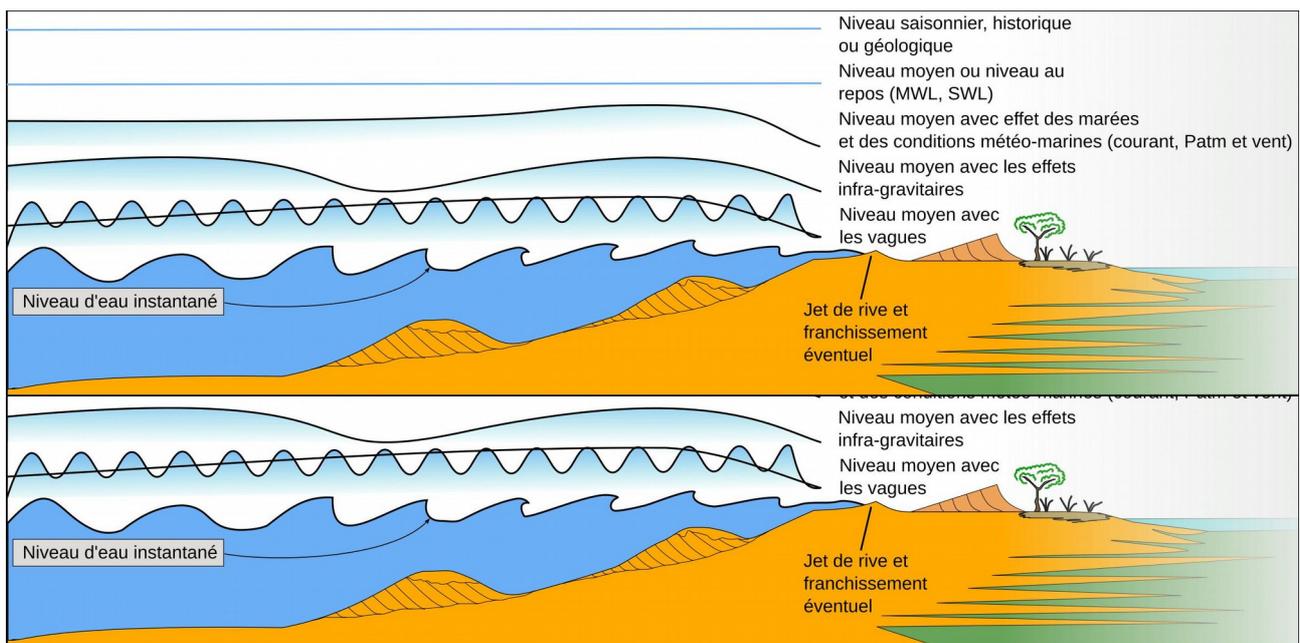


Figure : Le trait de côte instantané, localisé à l'interface mouillé/ sec est évidemment directement fonction du niveau d'eau instantané à la côte. Celui-ci résulte d'une superposition d'effets à de nombreuses échelles de temps et d'espace : (i) les effets géologiques très long terme (eustatisme et subsidence), les effets climatiques à l'échelle historique et les effets saisonniers eux même dépendant du climat, (ii) les effets de pression atmosphérique, de circulation régionale, et dus au vent, jouant à une échelle spatiale et temporelle inférieure, (iii) les effets de l'infra-gravité, des ondes de bords et de tous les phénomènes complexes d'interaction ondes-ondes et ondes/ conditions limites à la côte, (iv) les effets de vagues stricts lors de leur propagation vers la côte, leur déferlement et leur projection ultime sur la plage sous la forme de bores et lames d'eau glissante. Le résultat final sur la plage est fantastiquement complexe et très difficile à appréhender.

GLADYS s'investit fortement dans cette thématique à partir des nombreuses campagnes réalisées avec son parc de mesure in-situ. L'Institut sera un élément essentiel pour le bon développement d'un tel thème de recherche.

On peut aussi s'intéresser à la dynamique du trait de côte soumis à des extrêmes aux échelles de temps de la tempête, ou de l'enchaînement de tempêtes. Des suivis nombreux et répétés de type GPS d'une plage sableuse taïwanaise ont montré qu'un typhon induisait paradoxalement un dépôt massif de sédiments sur la plage plutôt qu'une érosion, et que l'érosion saisonnière d'une plage soumise à des typhons était plutôt due à des conditions très fortes mais non paroxysmales (Meulé et al., 2012; Campmas et al., 2014a) (Figure ci-dessous). La limite entre les deux comportements n'a pas pu être définie. Par ailleurs, on montre (toujours sur l'exemple d'un littoral taïwanais) que la résilience naturelle d'une barrière sableuse impactée par une saison complète de typhons est forte (Campmas et al., 2014b), ce qui suggère que les effets extrêmes en réponse à une sollicitation extrême à une certaine échelle de temps ne sont pas nécessairement extrêmes à une échelle de temps plus longue.

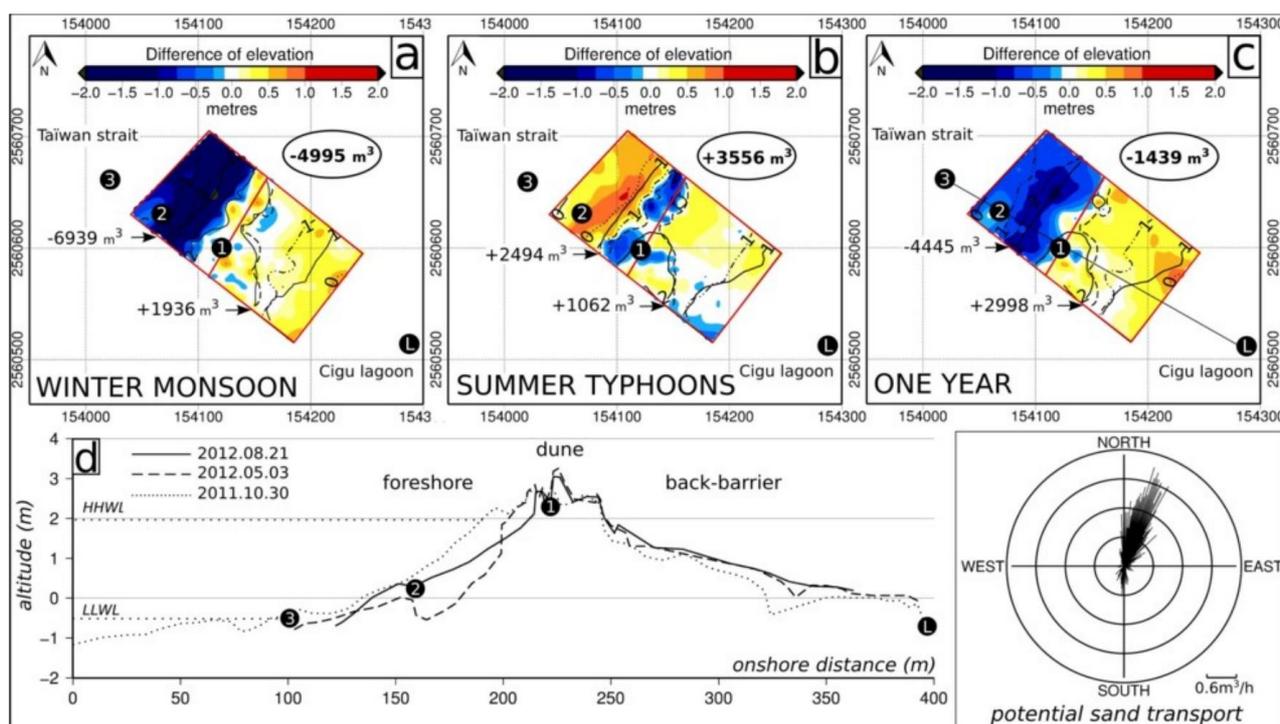


Figure : Sur le système de barrière sableuse de Wan-Tzu-Liao (associée à la plus grande lagune, Cigu, dans le Sud-Ouest de Taïwan), le régime de Mousson, fort mais non paroxysmal a un effet abrasif pour le système littoral. Au contraire, la saison des typhons, avec ses tempêtes paroxysmales a un effet bénéfique sur la plage. Au bilan, l'érosion n'est pas le fait des événements les plus extrêmes. Ce constat étonnant reste à explorer ailleurs. D'après la thèse de Lucie Campmas. (A), (B) et (C) montrent l'état de la plage (mesure GPS) sur différentes périodes de l'année, avec le bilan en terme de volume. (D) montre des profils cross-shore de plage au niveau du trait indiqué sur (C). Les nombres 1 à 3 et la lettre L sont des repères visuels. Les cartes sont orientées par rapport au Nord géographique.

GLADYS explorera cette idée sur d'autres littoraux pour trouver éventuellement un véritable sens. Il faudra également comparer ces propositions aux résultats obtenus avec la même méthodologie, mais sur des littoraux forcés par des vagues modérées (typiquement ceux du Golfe du Lion) (Campmas et al., 2012; Guerin et al., 2012). Ce travail a globalement souffert d'un manque de valorisation scientifique alors que la donnée initiale est de très belle facture. Toujours est-il qu'il semble très clair que les phénomènes réellement paroxysmaux comme les typhons peuvent avoir l'effet contraire de celui auquel on peut s'attendre. On est loin de la formulation d'une loi justifiant le comportement accrétif d'une plage lors d'un typhon, mais ce résultat montre ab minima tout l'intérêt de s'intéresser

aux extrêmes.

Toujours en connexion avec la dynamique du trait de côte, un autre travail de terrain plus quantitatif (météologie et analyse de données de pression) auquel GLADYS travaille concerne le rôle de la nappe phréatique de plage sur la dynamique d'érosion/ accrétion du sédiment dans la zone de swash, notamment en contexte de tempête. L'idée sous-jacente est que l'état de la nappe (haute/ basse) contrôle le taux de remise en suspension du matériel sableux dans la zone du jet de rive et donc la dynamique locale du trait de côte aux échelles de temps court. Les premières évidences d'un tel contrôle ont été obtenues toujours sur une plage taïwanaise (Sous et al., 2013).

Largement développée, cette approche a été ensuite poursuivie sur les données de la campagne CROUSTY SHOW (2014) jusqu'à ce que nous obtenions une première ébauche de modèle comportemental basé sur la mesure directe de terrain (jusqu'à présent, les idées étaient discutées essentiellement sur des approches expérimentales en canal à vagues) (Sous et al., 2016) (Figure ci-dessous). De manière étonnante, ce travail se connecte très naturellement à un autre mené à plus grande échelle par certaines équipes d'UMR (comme Transfert et Milieux Poreux à Géosciences-M) (Lo et al., 2013) auquel GLADYS participe via l'imagerie géo-physique du géo-système dans lequel les flux hydrauliques se font. Ces expériences à des échelles différentes sur la cinématique des eaux souterraines seront largement prolongées dans le cadre de l'Institut des plages.

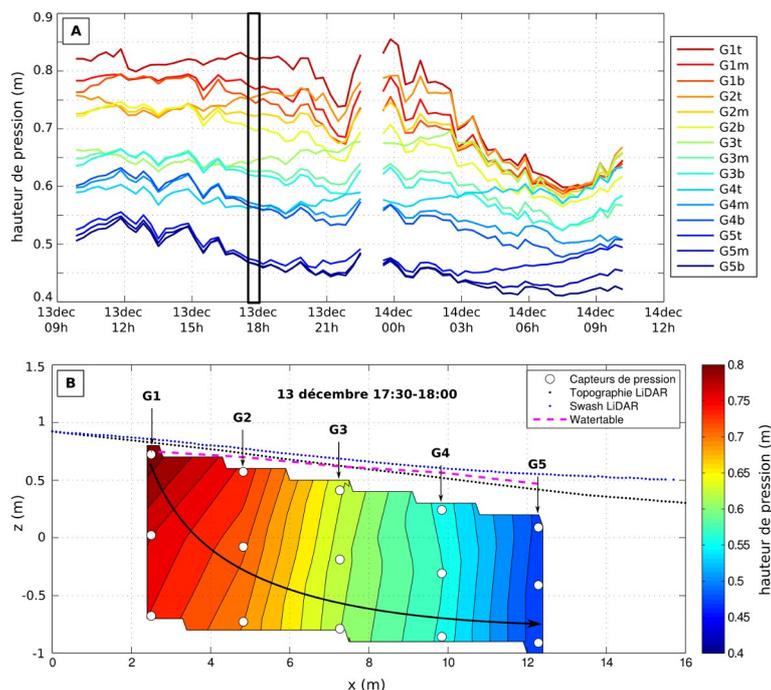


Figure : Extrait directement de Sous et al. (2016). Données issues de la campagne CROUSTY SHOW 2014. Cette figure représente (A) l'évolution en temps de signaux de pression acquis par différentes sondes enfouies sur une plage au niveau du jet de rive, à différentes profondeurs, lors du retrait du niveau d'eau après une tempête et (B) la modélisation du flux souterrain par une loi de Darcy (approximation hydrostatique) montrant la mise en place d'un flux hydraulique souterrain orienté vers la mer.

Exemple thème T8 : la théorie de l'optimisation appliquée à la protection des plages

L'optimisation de forme est la science qui permet de trouver la forme optimale à quelque chose vis à vis d'un critère, généralement une valeur réelle, que l'on calcule à partir d'une expression qui représente correctement l'état du système. On appelle ce critère ou son expression une fonctionnelle, ou encore fonction de coût. L'expression de la fonction de coût est choisie de telle sorte que pour trouver la forme optimale, on doit la minimiser (alternativement, la faire tendre vers une valeur particulière, ou plus rarement la maximiser). On comprend tout de suite que le choix de la fonctionnelle est crucial pour espérer trouver une forme réellement optimale par rapport au problème posé. Pour illustrer l'idée de l'optimisation de forme, on utilise souvent l'image de l'aile d'avion : on cherche la forme la plus adaptée d'une aile pour réduire la traînée et maximiser la portance de l'aéronef concerné. Une fonction de coût reformulant correctement cet objectif est par exemple le rapport de la traînée sur la portance.

Nous avons proposé de chercher, en adoptant ce point de vue, quelle était la forme optimale de certains types d'ouvrages de protection du littoral en se dotant de fonctions de coût pertinentes pour le génie côtier ; typiquement, dans de tels problèmes, la fonctionnelle peut représenter l'énergie des vagues, le taux de mobilité sédimentaire, le niveau d'eau,... ou des combinaisons de ces différentes variables d'état du système. L'expression de la fonctionnelle dépend de paramètres hydro-morphodynamiques caractéristiques du système littoral, comme la hauteur des vagues, leur période, les vitesses du courant, les tensions de radiation,... Dans tous les cas, les paramètres hydro-morphodynamiques nécessaires au calcul de la fonctionnelle sont eux-même calculés à partir d'un modèle numérique (aussi simple que possible) qui s'appuie sur des forçages caractéristiques du système étudié, ainsi que sur une configuration.

Par configuration, on entend un domaine d'étude et un jeu de valeurs dans un espace de recherche de dimension N qui représentent les degrés de liberté qu'on veut pouvoir explorer par optimisation. L'acte d'optimisation consiste à faire varier de manière intelligente (et automatique, par une méthode de descente globale) la configuration proposée au modèle pour obtenir une fonctionnelle aussi petite que possible. La configuration correspondant à une valeur de fonctionnelle en dessous d'un certain seuil est dite optimale vis à vis du problème posé. La démarche générale de calcul optimal que nous avons mise en place, pour des modèles stationnaires ou instationnaires, est résumée dans la figure ci-dessous.

Cette approche a été progressivement développée d'abord sur le cas de brise-lames (Isebe et al., 2008a). Dans cette application, l'idée est de définir la fonctionnelle comme étant la densité d'énergie (selon la théorie linéaire, proportionnelle au carré de la hauteur des vagues) située dans une zone à l'immédiate proximité de l'ouvrage. Dans ce problème relativement théorique, chercher à minimiser la fonctionnelle, c'est vouloir réduire le niveau d'énergie directement devant l'ouvrage. Quelques types de formes de jetées sont données dans la figure ci-dessous, avec un nombre de contraintes sur les ouvrages relativement limité.

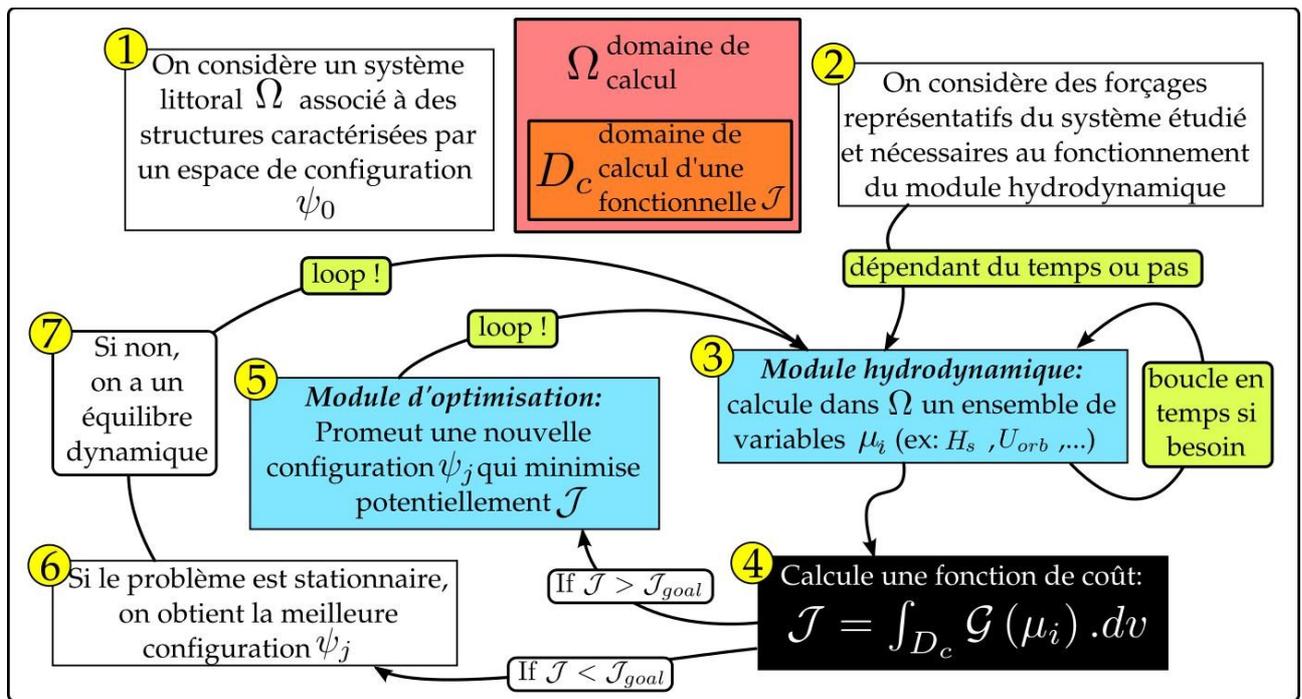


Figure : Ce workflow montre de manière naïve comment tout problème de dimensionnement de forme par optimisation peut être mis en oeuvre en génie côtier. Il faut (i) définir correctement une fonctionnelle par rapport au problème posé, son domaine spécifique de calcul et un espace de paramétrisation permettant d'explorer un ensemble de configurations, (ii) choisir un modèle pertinent pour calculer les paramètres nécessaires à l'expression de la fonctionnelle, (iii) regrouper des données de forçage de ce modèle aussi précises que possible.

Nous avons ensuite travaillé sur la question de la protection de la plage contre l'érosion grâce à la mise en place de boudins géotextiles (géotubes, de grosses chaussettes remplies de sable de 3 m de coté environ) (Azerad et al., 2008), sur le site du lido de Sète et en partenariat avec BRL Ingénierie.

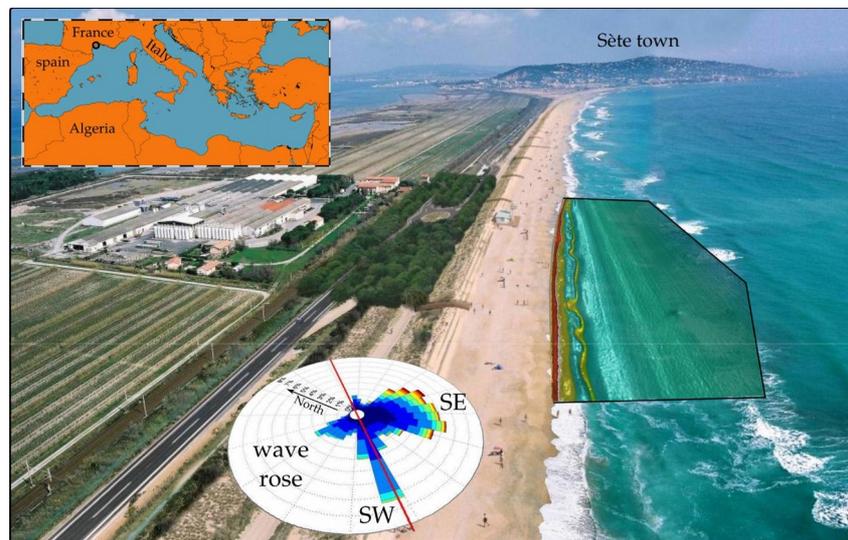


Figure : Le lido de Sète, directement au Sud-Ouest de la ville de Sète, vu de l'Ouest. On a incrusté en transparence un extrait de l'imagerie LIDAR bathymétrique disponible sur la zone. Les géotubes ont été placés plus loin sur l'image, au niveau où la plage souffre d'un maximum d'érosion. On voit très bien le système à barres sableuses. Les conditions de forçages représentées sur le spectre directionnel montrent 2 régimes dominants et deux récessifs. Nous avons pondéré la fonctionnelle à l'aide de la densité d'occurrence de chacun de ces 4 régimes. Attention : cette image est une reconstruction par imagerie ; elle montre une vue d'artiste du lido de Sète après les ré-aménagements lourds qui ont été réalisés après les géotubes.

Pour ce projet (grâce à l'approche par optimisation parce qu'elle oblige à repartir de zéro en terme de raisonnement) nous avons développé une stratégie de soft-engineering, c'est à dire mis en place une méthode qui consiste à accompagner la nature vers un comportement qui nous intéresse, plutôt que de s'y opposer frontalement. On peut même parler dans ce projet de reverse-engineering au sens où on a tout d'abord décortiqué le comportement naturel du système littoral, et on a utilisé certaines de ses propriétés naturelles pour atteindre notre objectif. En effet, traditionnellement, les boudins en géotextile sont déployés directement sur la plage pour empêcher le sable de migrer vers le large. Alternativement, ils sont déployés assez loin au large pour empêcher le sable de fuir au-delà de la profondeur de fermeture. Bref, l'homme s'oppose frontalement au mouvement du sable qui est pourtant une simple réponse comportementale du système littoral à certains forçages. Notre approche a été de ne pas se préoccuper des mouvements de sable, qui sont quelque chose d'intrinsèque au système, mais de chercher à placer le littoral du lido de Sète dans des conditions favorables à l'engraissement naturel de la plage. Pour cela, on fait simplement le constat que, pour des vagues moyennes au-dessus de 1.5 à 2 m de haut, la plage a tendance à évacuer du sable vers le large, et que dans le cas contraire, la plage a tendance à faire remonter du sable le long du profil de fond, et créer toute une dynamique autour des barres d'avant-côte (Isèbe et al., 2005). C'est un constat qui peut être facilement fait, et qui l'a d'ailleurs été dans le cadre de la partie naturaliste du thème T5 vu plus haut. On peut reformuler ce constat de la manière suivante : les vagues de beau temps (estivales) permettent l'engraissement de la plage alors que les vagues de tempêtes même modérées ont tendance à la réduire. Ceci étant dit, le problème d'optimisation revient à trouver la meilleure forme et position d'ouvrages pour (i) réduire l'énergie des vagues au-dessus de ces valeurs seuils, mais (ii) préserver à tout prix les vagues en deçà de ce seuil.

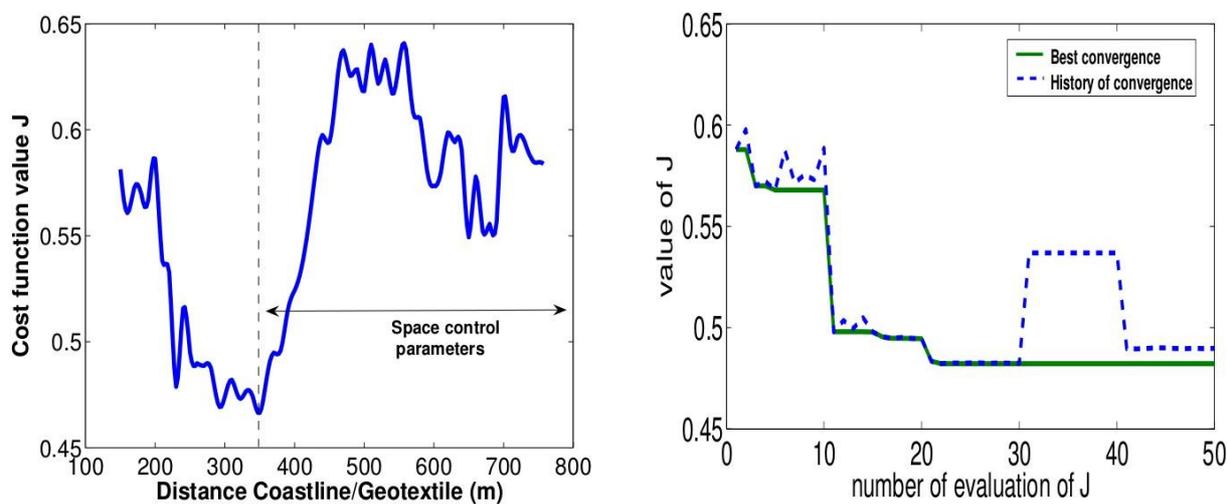


Figure : Un exemple de recherche de solution assez contrainte : recherche de la meilleure distance à la côte d'un géotube et de la meilleure profondeur d'eau au dessus du géotube pour ramener l'ensemble des conditions de vagues annuelles à des conditions de beau temps. Le diagramme de droite montre l'évolution de la valeur de la fonctionnelle en fonction des itérations, avec en vert la valeur optimale retenue. Le diagramme de gauche est une coupe à travers l'espace de paramétrisation : on représente les valeurs de la fonctionnelle en fonction de la distance à la côte du géotube (un des degrés de liberté). La solution optimale, celle minimisant la fonctionnelle de manière globale, est obtenue pour un déploiement du géotube à 350 m, ce qui est totalement contre intuitif par rapport aux usages habituels en génie côtier. En fait, dans cette position, le géotube va tenir le rôle d'une barre sédimentaire d'avant-côte.

La fonctionnelle a été pensée dans ce sens. Nous avons traité techniquement le problème ainsi posé avec une complexité croissante (Azerad et al., 2007; Isebe et al., 2008c,b; Meul et al., 2010), en proposant des solutions d'aménagement parfois très originales. In fine, la solution retenue est un compromis entre les propositions issues de l'optimisation libre peu contrainte, et les limitations géotechniques (laisser une tranche d'eau minimale entre le géotube et la surface, largeur du géotube fixée par construction,...) introduites comme contraintes dans le processus de dimensionnement automatique. Pour le cas du lido de Sète, nous avons préconisé que le géotube soit placé aux alentours de 350 m du trait de côte (figure ci-dessus) et c'est exactement ce qui a été fait sur le terrain.

Nous avons également procédé à une analyse de la circulation en eau peu profonde induite par le déploiement de tels géotubes et vérifié que la forme optimale n'induisait pas d'aggravation des effets d'affouillement en champs proche autour des structures, ni de modification significative de la dérive littorale (Bouharguane et al., 2010). Plus récemment, nous avons engagé une étude expérimentale pour valider l'ensemble de la démarche (Lambert et al., In prep).

Ce projet s'est révélé être un test grandeur nature ; la R&D a été suivie de faits, à savoir la mise en place des géotubes sur 1.2 km de linéaire côtier selon les préconisations du partenariat GLADYS/BRLi, et dans le cadre de ré-aménagements du lido de Sète à hauteur de 40 MEu. Cet aménagement va être étendu à 8 ou 12 km de linéaire côtier. Cette initiative est un excellent exemple de cohabitation entre un questionnement fondamental et une application industrielle. Des mathématiques de belle facture, une idée originale et un savoir en hydro-morphodynamisme littoral ont été combinés avec bonheur. Ce genre d'initiative est emblématique de ce qui se fera dans le cadre de l'institut des plages.

Le résultat le plus frappant de ce travail débouchant sur de la R&D est qu'il a permis en retour de nouveaux développements en recherche fondamentale. En effet, on peut très bien utiliser le principe de la minimisation de l'énergie sur le système naturel lui-même, en considérant que l'espace de paramétrisation (l'ensemble des degrés de liberté) est le fond sableux lui-même. Ces travaux ouvrent la porte à une nouvelle manière de modéliser l'hydro-morphodynamisme littoral. C'est ainsi qu'est née l'idée rapidement présentée plus haut dans la partie numérique du thème T5, avec les conséquences potentielles que l'on sait sur la compréhension de la nucléation des barres d'avant-côte. À l'institut, nous défendrons l'idée que recherche académique et développement industriels sont intimement mêlés.

Travaux divers en lien avec les risques et les sciences de l'ingénieur

Comme on l'a précisé en début de section, on a choisi de présenter dans cette section uniquement des exemples de travaux académiques, et pas les développements très opérationnels. Toutefois, certains projets (autres que le calcul optimal et le dimensionnement d'ouvrage du thème T8) se sont avérés être à la fois du domaine de la recherche et de l'application. En particulier, GLADYS participe à une étude nationale sur la vulnérabilité des littoraux sableux (Idier et al., 2013). Par ailleurs, GLADYS développe des outils de prédiction du champ de vague à 3h, 6h et 9h à partir des données d'une bouée houlographique (Sylaios et al., 2009). Cet outil peut-être couplé avec les mesures que nous

réalisons dans le cadre du SO LTC pour offrir une prédiction des conditions de mer quelques heures à l'avance (Figure ci-dessous). L'approche est basée sur un principe de logique floue. Enfin, GLADYS travaille sur le calcul des caractéristiques de la propagation d'un typhon à partir de l'analyse du bruit sismique sur un parc d'OBS, autour de l'île de Taïwan (Lin et al., 2014) et plus récemment dans le Golfe du Lion et en Polynésie française. Les publications à venir de GLADYS à l'institut des plages seront sans aucun doute liées à ces travaux de développement méthodologique. Enfin, GLADYS s'investit dans la caractérisation de la ressource énergétique marine (en particulier dans le cadre de la mise en place de champs d'éoliennes marines), en intégrant dans la démarche des aspects au-delà de la production énergétique elle-même (impact sur l'écosystème, stabilité du dispositif, modification de l'hydro-dynamisme local par le déploiement du parc,...). Ce type d'activité caractérise l'ouverture de GLADYS vers les énergies renouvelables en contexte marin littoral.

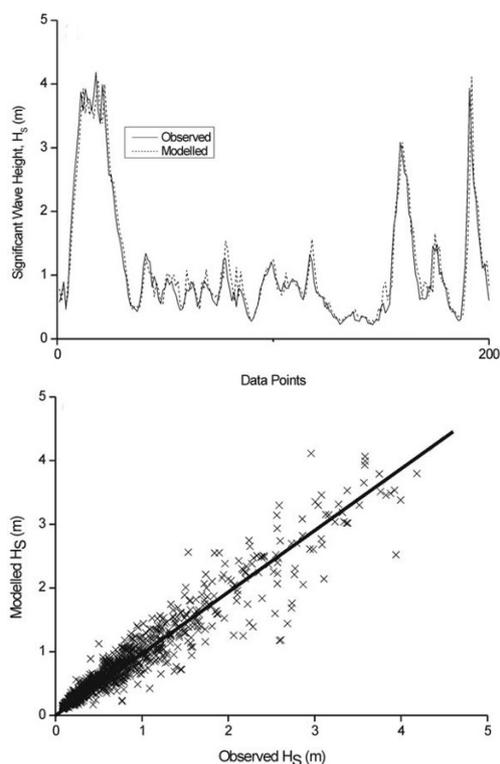


Figure : haut : comparaison entre hauteurs prédites à 3h et valeurs observées indépendamment. Bas : corrélation entre valeurs mesurées et modélisées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (majoritairement GLADYS)

- Aleman, N., Robin, N., Certain, R., Van Roye, C., Barusseau, J.-P., Bouchette, F., 2011. Typology of nearshore bars in the gulf of lions (France) using lidar technology. *Journal of Coastal Research* 64, 72 07726.
- Asthan, A., Murray, B., 2006. High-angle wave instability and emergent shoreline shapes : i) modeling of sand waves, flying spits and capes. *Journal of Geophysical Research* 111, F04011.
- Asthan, A., Murray, B., Arnault, O., 2001. Formation of coastline features by large-scale instabilities induced by high-angle waves. *Nature* 414, 2967299.
- Az rad, P., Bouchette, F., Is be, D., Mohammadi, B., 2008. Optimal shape design of defense structures for minimizing short wave impact. *Coastal Engineering* 55, 35746.
- Az rad, P., Is be, D., Bouchette, F., Ivorra, B., Mohammadi, B., 2007. Design of passive defense structures in coastal engineering. *International Review of Mechanical Engineering* 1 (1), 1718.
- Barenblatt, G., 2003. *Scaling Cambridge texts in applied mathematics*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Batchelor, G. K., 1967. *An introduction to fluid dynamics*. Cambridge University Press.
- Bernabeu, A., Fernandez-Fernandez, S., Bouchette, F., Rey, D., Areos, A., Bayonet, J., Albaiges, J., 2013. Recurrent arrival of oil to Galician coast : the final step of the Prestige Oil Spill. *Journal of Hazardous Materials*, 250, 82-90.
- Birkemeier, W. A., 1985. Field data on seaward limit of profile Change, 111 (3), 5987602.
- Bonnefille, R., 1994. *Cours d'hydraulique maritime. Enseignement de la Physique*. Masson, Paris.
- Bonneton, P., 2003a. Analyse physique et modelisation des processus hydrodynamiques en zone de surf 23, 1577179.
- Bonneton, P., 2003b. Dynamique non-linéaire des vagues en zone de surf interne 7, 106171076.
- Bonneton, P., Chazel, F., Lannes, D., Marche, F., Tissier, M., 2011. A splitting approach for the fully nonlinear and weakly dispersive green-naghdi model. *Journal of Computational Physics* 230 (4), 147971498.
- Bouchette, F., 2001. Wave / sediment interaction in the South-East Basin (uppermost Jurassic, France). PhD Thesis of Universite des Sciences et Techniques de Montpellier. Vol 22. ISTEEM, pp. 264.
- Bouchette, F., Manna, M., Montalvo, P., Nutz, A., Schuster, M., Ghienne, J.-F., 2014. Growth of cusped spits. *Journal of Coastal Research* 70, 47752.
- Bouchette, F., Sabatier, F., Sylaios, Y., Meule, S., Lieu, J. Y., Heurtefeux, H., Denamiel, C., Kung, H.-H., 2012. Subdune Tool : quasi-explicit formulation of the water level along the shoreline. in :

Génie Civil Génie Côtier. Paralia CFL, pp. 223-232.

Bouchette, F., Schuster, M., Ghiene, J.-F., Denamiel, C., Roquin, C., Abderamane, M., Marsaleix, P., Düringer, P., march 2010. Hydrodynamics in the Holocene lake Mega-Chad. *Quaternary Research* 73 (2), 226-236.

Bouchette, F., Seguret, M., Moussine-Pouchkine, A., 2001. Coarse carbonate breccia as a result of water-Wave cyclic loading (uppermost Jurassic, South East Basin, France). *Sedimentology* 48, 767-789.

Bouharguane, A., Azerad, P., Bouchette, F., Marche, F., Mohammadi, B., june 2010. Low complexity shape Optimization and a posteriori high fidelity validation. *Discrete and Continuous Dynamical Systems Serie B* 3 (2), 759-772.

Bouharguane, A., Mohammadi, B., 2012. Minimization principles for the evolution of a soft sea bed interacting With a shallow seabottom. *International Journal of Computational Fluid Dynamics* 26 (3).

Boussinesq, J, 1872. Théorie des ondes et des rémous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, en communiquant au liquide contenu dans l canal des vitesses sensiblement pareilles de la surface au fond. *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* 17, 55-108.

Brambilla, E., Bouchette, F., Certain, R., Ferrer, P., Robin, N., Sylaios, G., 2009. Observation of sediment resuspension and transport in the Gulf of Lions (France). *Geophysical Research extended abstract. HS9.1/GM9.2 Coasts and Estuaries. EGU, Vienna, Austria.*

Campmas, L., Bouchette, F., Lion, J. Y., Brambilla, E., Meule, S., Sylaios, G., Sabatier, F., Certain, R., Robin, N., Wung, H.-H., 2012. Upper beach reconstruction patterns after moderate storm events. In : *Génie Civil Génie Côtier. Paralia CFL*, pp. 233-240.

Campmas, L., Bouchette, F., Meule, S., Lion, J.-Y., Sous, D., Leroux-Mallouf, R., Larroude, P., Wung, H.-H., 2014a. Typhoons driven morphodynamies of the Wan Tzu Liao sand barrier (south-westernmost Taiwan). in : *Extended Proceedings of ICCE, 34, Seoul, South Korea.*

Campmas, L., Sabatier, F., Meule, S., Lion, J. Y., Petitjean, L., Boutin, F., Leroux-Mallouf, R., Bouchette, F., 2014b. Multi-scale morphodynamies of sand barrier driven by monsoon/ typhoon conditions. In : *Génie Civil Génie Côtier, 13. Paralia CFL, Dunkerque, France*, pp. 273-280.

Castelle, B., Michallet, H., Marieu, V., Leckler, F., Dubardier, B., Lambert, A., Berni, C., Barthelemy, E., Bouchette, F., Bonneton, P., Kimmoun, O., Sous, D., Ahnar, R., 2009. A large-scale laboratory experiment of rip current circulations over a moveable bed : drifter measurements. In : *Extended Proceedings of 7th International Conference on Coastal Dynamics. CD2009, World Scientific, Tokyo, Japan*, 83-94.

Castelle, B., Michallet, H., Marieu, V., Leckler, F., Dubardier, B., Lambert, A., Berni, C., Bonneton, P., Barthélerny, E., Bouchette, F., 2010a. Laboratory experiment of rip current circulations over a moveable bed : drifter measurements. *Journal of Geophysical Research* 115 (012008).

- Castelle, B., Michallet, H., Marieu, V., Leckler, F., Dubardier, B., Lambert, A., Berni, C., Bonneton, P., Barthélemy, E., Bouchette, F., 2010b. Laboratory experiment of rip current circulations over a moveable bed : drifter measurements. *Journal of Geophysical Research* 115 (C2008).
- Chailan, R., 2015. PhD. thesis, University of Montpellier.
- Chailan, R., Bouchette, F., Dumontier, C., Hess, O., Laurent, A., Lobry, O., Michaud, H., Nicoud, S., Toulemonde, G., 2012. High performance pre-Computing : prototype application to a coastal flooding decision tool. In : *Extended proceeding of 4th International Conference on Knowledge and Systems Engineering*. Da Nang, Vietnam, pp. 195-202.
- Chailan, R., Toulemonde, G., Laurent, A., Bouchette, F., 2014. Spatial assessment of extreme significant wave heights in the Gulf of Lions. in : *Extended Proceedings of ICCE*. Vol. 34. Seoul, South Korea.
- Charnley, H., Deconinck, J.-F., 2011. *Bases de sédimentologie*, 3ième édition. Sciences Sup, Dunod.
- Chappellear, J., 1961. Direct numerical calculation of nonlinear ocean waves. *Journal of Geophysical Research* 66 (2), 501-508.
- Cowell, P., Thorn, B., 1994. Morphodynamics of coastal evolution. In : Carter, R., Woodroffe, C. (Eds), *Coastal evolution : Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33-86.
- Dean, R., 1965. Stream function representation of non linear ocean waves. *Journal of Geophysical Research* 70 (18), 4561-4572.
- Dean, R. G., Dalrymple, R. A., 1991. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Advanced series on Ocean Engineering. World scientific.
- Dingemans, M. W., 1991. *Wave propagation over uneven bottoms*. Vol 13 of Advanced series on Ocean Engineering. World scientific.
- Dronker, J., 2005. *Dynamics of coastal systems*. Vol 25 of Advanced series on Ocean Engineering. World Scientific.
- Duran, A., Marche, F., 2015. Discontinuous-galerkin discretization of a new class of green-naghdi equations. *Communications in Computational Physics* 17 (3), 721-760.
- Fernandez, S., Bernabeu, A. M., Bouchette, F., Rey, D., Vilas, F., 2011. Beach morphodynamic influence on long-term oil pollution : the prestige oil spill. *Journal of Coastal Research* 64, 890-894.
- Fernandez-Fernandez, S., Bernabeu, A., Rey, D., Mueha, A. P., Ahneida, M. R., Bouchette, F., 2014. The effect of sand composition on the degradation of buried oil. *Marine Pollution Bulletin* 86, 391-401.
- Ferrer, P., Benabdellouahed, M., Certain, R., Tessier, B., Barusseau, J.-P., Bouchette, F., 2010. The Late Holocene sediment infilling and beach barrier dynamics of the Thau lagoon (Gulf of Lions,

- Mediterranean sea, SE France). *Bulletin Societe Géologique de France*. 181 (2), 197-209.
- Ferrer, P., Bujan, N., Certain, R., Bouchette, F., Leredde, Y., 2008. Caractérisation hydrodynamique sur un littoral à barre festonnées du Golfe du Lion : mesures in-situ et modélisation. in : *Génie Civil Génie Cotier. Paralia CFL*, 71-80.
- Ferrer, P., Certain, R., Adloff, F., Bouchette, F., Barusseau, J.-P., Meulé, S., Robin, N., 2011. Hydrodynamics over a microtidal double crescentic barred beach under low energetic conditions (Leucate beach, France). *Journal of Coastal Research* 64, 203272037.
- Guerinel, B., Bouchette, F., Lobry, O., Astruc, D., Azerad, P., Brambilla, E., Certain, R., Larroude, P., Manna, M., Meule, S., Rey, V., Robin, N., Sabatier, F., Sous, D., Martinie, D., Arnaud, N., 2012. Monitoring temps réel haute résolution d'un littoral : MAGOBS (Villeneuve Les-Maguelone, Golfe du Lion, France). In : *Génie Civil Génie cotier. Paralia CFL*, pp. 5957602.
- Hallerneier, R. J ., 1978. Uses for a calculated limit depth to beach erosion. in : *Proceedings, 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers*. pp. 1493-1512.
- Hallerneier, R. J ., 1981. A profile Zonation for seasonal sand beaches from wave climate 4, 253-277.
- Hallerneier, R. J ., 1983. Sand transport limits in coastal structure design. in : *Proceedings, Coastal Structures '83, American society of Civil Engineers*. pp. 703-716.
- Hanson, H., Kraus, N., 1989. *Genesis : Generalized model for simulating shoreline Change. Report 1 : Technical references. US Army Waterways Engineering Station.*
- Houston, J . R., 1995. Beach-fill volume required to produce specified dry beach Width. Tech. rep., *Coastal Engineering Teechnical Note Il-32, U.S. Army Engineer Waterways Experimnet Station, Vicksburg, MS.*
- idier, D., Castelle, B., Pournadere, M., Balouin, Y., Bertoldo, R. B., Bouchette, F., Bouiahya, F., Brivois, O., Calvete, D., Capo, S., et ai, 2013. Vulnerablility of sandy coasts to climate variablility. *Cllrnate Research* 57, 19-44.
- Isebe, D., Azerad, P., Bouchette, F., iVorra, B., Mohamrnadi, B., 2008a. Shape OptirnizatiOn of geotextile tubes for sandy beach protection. *international Journal of Numerical Methods in Engineering* 74, 1262-1277.
- Isebe, D., Azerad, P., ivorra, B., Mohammadi, B., Bouchette, F., 2005. Optirnal shape design of coastal structures minirnizing coastal erosion. in : *Gaitan, P., Cristoll, R. (Eds), Extended proceedings of workshop on inverse problems. CIRM, Marseille, France*, pp. 63-67.
- Isebe, D., Bouchette, F., Mohammadi, B., Azerad, P., Lambert, A., Bujan, N., Grassot, F., Mihallet, H., 2008b. Une nouvelle approche pour la protection des plages : Application à la plage du Lido de Sète. in : *Génie Civil Génie cotier. Paralia CFL*.
- Isebe, D., ivorra, B., Azerad, P., Mohammadi, B., Bouchette, F., 20080. In : *Bock, H., Kostina, E.,*

- Phu, H., Rannacher, R. (Eds), Progress in Global Optimization and Shape Design. Springer Berlin Heidelberg, Ch. Modeling, Simulation and Optimization of Complex Processes, pp. 303-312.
- Kirby, J., 2017. Recent advances in nearshore wave, circulation and sediment transport modeling
- Korteweg, G., De Vries, G., 1895. On the Change of form of long waves advancing in a rectangular Channel, and on a new type of long stationary waves. *Philosophical Magazine*, 5th Ser. 39, 422-433.
- Kraus, N. C., Harikai, S., 1983. Numerical model of the shoreline Change at Oarai beach 7 (1), 1728.
- Kraus, N. C., Larson, M., Wise, R. A., 1998. Depth of Closure in beach-fill design. Tech. Rep., Coastal Engineering Technical Note CETN 11-40, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Lallierand, S., Lehu, R., Retif, F., Hsu, S.-k., Babonneau, N., Ratzov, G., Bassetti, M.-A., Dezileau, L., Hsieh, M.-I., Dominguez, S., 2016. A similar to 3000 years-old sequence of extreme events revealed by marine and shore deposits east of Taiwan. *Tectonophysics* 692, 325-341.
- Lambert, A., Bouchette, F., Michallet, H., Florent, G., In prep. Physical modelling of immersed breakwater effects on the morphodynamic of a dissipative barred beach. *Continental Shelf Research*.
- Larroude, P., Oudart, T., Hwang, K.-S., Bujan, N., Lion, J.-Y., Wu, Y.-C., Lin, L.-C., Bouchette, F., 2014. SPH model to simulate infra-gravity waves and water level to the shoreline : simulation vs. experimental and in-situ data. In : *Extended Proceedings of ICCE*. Vol 34. Seoul, South Korea.
- Leredde, Y., Denamiel, C., Brambilla, E., Lauer-Leredde, C., Bouchette, F., Marsaleix, P., 2007. Hydrodynamics in the gulf of Aigues-Mortes, NW Mediterranean sea : in situ and modelling data. *Continental Shelf Research* 27, 2389-2406
- Lin, L.-C., Lion, J.-Y., Kung, H.-H., Bouchette, F., Meule, S., 2014. Links between microseismicity and extreme waves during storms. in : *Extended Proceedings of ICCE*. Seoul, South Korea.
- Lof, J., Pezard, P., Bouchette, F., Raynal, O., Sabatier, P., Dezileau, L., Quiquerez, X., Deleau, Y., Dentehik, Z., Certain, R., 2013. Reverse distribution of salty and fresh waters in a coastal porous layered aquifer (Gulf of Aigues-Mortes, northwestern Mediterranean Sea, France). *Ground Water* 51(4), 550, 561.
- Lubin, P., Vincent, S., Abadie, S., Caitagirone, J.-P., 2006. Three-dimensional large eddy simulation of air entrainment under plunging breaking waves. *Coastal engineering* 53 (8), 631-655.
- Lubin, P., Vincent, S., Caitagirone, J.-P., Abadie, S., 2003. Fully three-dimensional direct numerical simulation of a plunging breaker. *Comptes Rendus Mécanique* 331 (7), 495-501.
- Marche, F., 2007. Derivation of a new two-dimensional Viscous shallow water model with varying topography, bottom friction and capillary effects. *European Journal of Mechanics - B / Fluids* 26

(1), 49763.

Mei, C. C., 1989. The applied dynamics of ocean surface waves. Vol. 1 of Advanced series on Ocean Engineering. World scientific.

Meule, S., Campmas, L., Bouchette, F., Lion, J.-Y., Sabatier, F., Sous, D., Syiaios, G., Rey, V., Wu, Y.-C., Lin, T.-Y., kung, H.-H., 2012. Shoreline and upper beach dynamics under extreme events : the KUNSHEN experiment (Wan-Tzu-LiaO barrier, Taiwan). in : Génie Civil Génie côtier. Paralia CFL, pp. 323-330.

Meule, S., Paquier, A.-E., Certain, R., Bouchette, F., Gratiot, J., Sabatier, F., Robin, N., 2010. Morphodynamique de la plage de La Capte, Hyères, Var, suite à la mise en place d'atténuateurs de houle en géotextile. in : Génie Civil Génie côtier. Paralia CFL, pp. 369-378.

Michallet, H., Castelle, B., Bouchette, F., Lambert, A., Berni, C., Barthelemy, E., Bonneton, P., Sous, D., 2010. Modélisation physique de la morphodynamique d'une plage barrée tri dimensionnelle. in : Génie Civil Génie côtier. Paralia CFL, pp. 379-386.

Michaud, H., Robin, N., Estournel, C., Marsaleix, P., Leredde, Y., Certain, R., Bouchette, F., 2013. 3D hydrodynamic modelling of a microtidal barred beach (Sete, NW Mediterranean sea) during storm conditions. in : Extended Proceedings of 7th international Conference on Coastal Dynamics. CD2013, Bordeaux University & SHOM, Arcachon, France, 1183-1194.

Mohammadi, B., Bouchette, F., 2014. Extreme scenarios for the evolution of a soft bed interacting with a fluid using the Value At Risk of the bed Characteristics. Computers and Fluids, 89, 78-87.

Monaghan, J. J., 1994. Simulating free surface flows with SPH. Journal of Computational Physics 110, 399-406.

Nutz, A., Ghienne, J.-F., Schuster, M., Certain, R., Robin, N., Roquin, C., Raynal, O., Bouchette, F., Düringer, P., Cousineau, P., 2014. Seismic-stratigraphic record of a deglaciation sequence : From the Marine Laflamme Gulf to the Lake Saint-Jean basin (Late Quaternary, Quebec Province, Canada). Boreas 43 (2), 309-329.

Nutz, A., Ghienne, J.-F., Schuster, M., Roquin, C., Dietrich, P., Hay, M., Bouchette, F., Cousineau, P., 2015a. Forced regressive deposits of a deglaciation sequence : example from the late quaternary succession in the Lake Saint-Jean basin (Québec, Canada). Sedimentology 62 (6), 1573-1610.

Nutz, A., Schuster, M., Ghienne, J.-F., Certain, R., Robin, N., Raynal, O., Cousineau, P., Bouchette, F., 2015b. Wind-driven bottom currents and related sedimentary bodies in Lake Saint-Jean (Quebec, Canada). Geological Society of America Bulletin 127, 1194-1208.

Nutz, A., Schuster, M., Ghienne, J.-F., Roquin, C., Bouchette, F., 2016. Wind-driven water bodies : a new category of lake within an alternative sedimentologically-based lake classification. Journal of Paleolimnology, 56, 1711.

Oudart, T., Larroude, P., Bouchette, F., 2013. Two numerical approaches : 2D and 3D SPH model to simulate extreme waves over a barrier island. Journal of Coastal Research 65, 362

- Philipps, O., 1977. The dynamics of the upper ocean. Second edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Putrevu, U., Svendsen, i., 1999. Three-dimensional dispersion of momentum in wave-induced nearshore currents. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 409-427.
- Raynal, O., Bouchette, F., Certain, R., Sabatier, P., Séranne, M., Lofi, J., Dezileau, L., Briquieu, L., Ferrer, P., Courp, T., 2010. Holocene evolution of Languedocian lagoonal environment controlled by inherited coastal morphology (Northern Gulf of Lions, France). *Bulletin Société Géologique Française* 181 (2), 211-224.
- Raynal, O., Bouchette, F., Certain, R., Séranne, M., Dezileau, L., Sabatier, P., Lofy, J., Bu Xuan Hy, A., Briquieu, L., Pezard, P., Tessier, B., 2009. Control of alongshore-oriented sand spits on the dynamics of a wave-dominated coastal system, Holocene deposits, northern Gulf of Lions, France. *Marine Geology* 264 (3-4), 242-257.
- Retif, F., Bouchette, F., Jying-Yih, L., Meule, S., Michaud, H., Lin, L.-C., Hwang, K.-S., Bujan, N., kung, H.-H., the SIROCCO Team, 2014a. Modélisation numérique du niveau instantané de la mer à la cote au cours de phénomènes paroxysmaux (Wan-Tzu-Lia0, Tai'wan). in : *Génie Civil Génie cotier*. Vol 13. Paralia CFL, Dunkerque, France, pp. 169-176.
- Retif, F., Bouchette, F., Liou, J.-Y., Meulé, S., Michaud, H., Lin, L.-C., Hwang, K.-S., Bujan, N., kung, H.-H., the SIROCCO Team, 2014b. Realistic simulation of instantaneous nearshore water levels during typhoons crossing Taiwan. in : *Extended Proceedings of ICCE*. Vol 34. Seoul, South Korea.
- Rijkswaterstaat, 1986. Manual on artificial beach nourishment. Tech. rep., Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands.
- Robin, N., Certain, R., Bouchette, F., Anthony, E., Meule, S., Allemand, N., 2014. Wave-drive circulation over a double nearshore bar system during storm conditions. *Journal of Coastal Research* 70, 84-89.
- Robin, N., Certain, R., Godon, C., Allemand, N., Gervais, M., Bouchette, F., Meule, S., Barusseau, J.-P., Ferrer, P., Balouin, Y., Brambilla, E., 2010a. Caractérisation des profils de courants pendant des événements de tempête sur une plage à barre rectilligne en milieu microtidal. in : *Génie Civil Génie cotier*. Paralia CFL, pp. 113-120.
- Robin, N., Certain, R., Van Roye, C., Barusseau, J.P., Bouchette, F., 2010b. Typologie des barres d'avant-cote du Golfe du Lion et impact des ouvrages cotiers : apport de la technologie LiDAR. in : *Génie Civil Génie cotier*. Paralia CFL, pp. 549-556.
- Sabatier, P., Dezlleau, L., Barbier, M., Raynal, O., Lofi, J., Briquieu, L., Condomines, M., Bouchette, F., Certain, R., Van Grafenstein, U., Jorda, C., Blanchernanche, P., 2010. Late-Holocène evolution of a coastal lagoon in the Gulf of Lions (South of France). *Bulletin de la Société Géologique de France* 181 (1), 27-36.

- Sabatier, P., Dezileau, L., Colin, C., Briquieu, L., Bouchette, F., Martinez, P., Siani, G., Raynal, O., Von Grafenstein, U., 2012. 7000 years of paleostorms activity in the NW Mediterranean Sea in response to Holocene Climate events. *Quaternary Research* 77 (1), 1711.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Condomines, M., Briquieu, L., Colin, C., Bouchette, F., Le Duff, M., Blanchemanche, P., 2008. Reconstruction of paleostorms events in a coastal lagoon (Herault, South of France). *Marine Geology* 251, 224-232.
- Short, A. (Ed), 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Wiley & Sons.
- Sous, D., Campmas, L., Meule, S., Bouchette, F., Lion, J.-Y., Rey, V., Touboul, J., 2013. Wave setup and water table overheight in the Cigu sand barrier (Taiwan) during the Talim tropical storm. in : *Extended Proceedings of 7th international Conference on Coastal Dynamics*. CD2013, Bordeaux University & SHOM, Arcachon, France, pp. 1517-1526.
- Sous, D., Petitjean, L., Bouchette, F., Rey, V., Meule, S., Sabatier, F., Martin, K., 2016. Field evidence of swash groundwater circulation in the microtidal Rousty beach, France. *Advances in Water Resources* 97, 144-155.
- Svendsen, I., 2005. *Introduction to nearshore hydrodynamics*. Vol 24 of *Advanced series on Ocean Engineering*. World scientific.
- Syriaios, G., Bouchette, F., Tsihirintzis, V., Denamiel, C., 2009. A fuzzy inference system for the forecasting of wave characteristics from long-term measured wave and wind data. *Ocean Engineering* 36 (17-18), 1358-1365.
- Taboada, A., Chang, K.-J., Radjai, F., Bouchette, F., 2005a. Rheology, force transmission, and shear instabilities in frictional granular media from biaxial numerical tests using the contact dynamics method. *Journal of Geophysical Research* 110 (B9), B09202.
- Taylor, G., 1950. The formation of a blast wave by a very intense explosion. The atomic explosion of 1945. *Proceedings of the Royal Society of London. series A, Mathematical and Physical Sciences* 201 (1065), 175-186.
- Touboul, J., Charland, J., Rey, V., Bellasakakis, K., 2016. Extended mild-slope equation for surface waves interacting with a vertically sheared current. *Coastal Engineering* 116, 77-88.
- Touboul, J., Kharif, C., 2016. Effect of vorticity on the generation of rogue waves due to dispersive forcings. *Natural Hazards* 84 (2), 585-598. Touboul, J., MORHOCH Team, 2017. MORHORCH project, final report.
- Van Roye, C., Bouchette, F., 2010. Atlas hydrodynamique du Languedoc-Roussillon. in : *Génie Civil Génie côtier*. Paralla CFL, pp. 163-167.
- Wright, L. D., Short, A., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches : a synthesis. *Marine Geology* 56 (1-4), 937-118.