

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement : ARED - ISblue - ETABLISSEMENTS - ...

pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagne.fr/sml> au format PDF

Identification du projet

Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) : **PABLO**

Intitulé du projet en langue française : **Propagation Acoustique Basse-fréquence et Longue distance dans l'Océan**

Intitulé du projet en langue anglaise : **Low-frequency and long-distance acoustic propagation in the ocean**

Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

Cocher le DIS prioritaire au sein duquel le projet de thèse s'intègre.

- DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- DIS 3 : Activités maritimes pour une croissance bleue
- DIS 4 : Technologies pour la société numérique
- DIS 5 : Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- DIS 6 : Technologies de pointe pour les applications industrielles

X DIS 7 : Observation et ingénierie écologique et énergétique au service de l'environnement

Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

« Projet Blanc »

Préciser le sous-domaine correspondant : **7A Observation, surveillance et gestion de l'environnement**

DIS secondaire si nécessaire :

Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

Établissement porteur du projet : **Université de Brest**

Ecole Doctorale : **Sciences de la Mer et du Littoral (EDSML)**

Identification du responsable du projet (futur directeur de thèse)

Nom du laboratoire d'accueil : **Laboratoire Géosciences Océan**

Code du laboratoire : **UMR6538**

Directeur du Laboratoire : **Marc-André Gutscher**

Nom de l'équipe de recherche : **Dorsales, Marges & Rifts**

Nombre HDR dans le laboratoire : **26**

Nombre de thèses en cours : **28**

Nombre de post-docs en cours : **10**

Nom et prénom du directeur de thèse (HDR), porteur du projet : **Jean-Yves Royer**

- e-mail : jean-yves.royer@univ-brest.fr

- Téléphone : **02 98 49 87 67**

- **Publications récentes du directeur de thèse** (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) :

67 publications dans revues à comité de lecture, Research ID: <http://www.researcherid.com/rid/B-4312-2010>

Leroy, E.C., Samaran, F., Stafford, K.M., Bonnel, J. & **Royer, J.-Y.**, 2018. Broad-scale study of the seasonal and geographic occurrence of blue and fin whales in the Southern Indian Ocean, *Endangered Species Research*, 37, 289-300, 10.3354/esr00927.

Leroy, E.C., **Royer, J.-Y.**, Bonnel, J. & Samaran, F., 2018. Long-term and seasonal changes of large whale call frequency in the southern Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, 123, 8568-8580, 10.1029/2018JC014352R.

Tsang-Hin-Sun, E., **Royer, J.-Y.** & Perrot, J., 2016. Seismicity and active accretion processes at the ultraslow-spreading Southwest and intermediate-spreading Southeast Indian ridges from hydroacoustic data, *Geophys. J. Int.*, 206, 1232-1245, 10.1093/gji/ggw201.

Leroy, E.C., Samaran, F., Bonnel, J. & **Royer, J.-Y.**, 2016. Seasonal and diel vocalization patterns of Antarctic blue whale (*balaenoptera musculus intermedia*) in the Southern Indian Ocean: a multi-year and multi-site study, *PLOS ONE*, 11, e0163587, 10.1371/journal.pone.0163587.

Tsang-Hin-Sun, E., **Royer, J.-Y.** & **Leroy, E.C.**, 2015. Low-frequency sound level in the Southern Indian Ocean, *J. Acoust. Soc. Am.*, 138, 1-8, 10.1121/1.4936855.

Royer, J.-Y., **Chateau, R.**, Dziak, R.P. & Bohnenstiehl, D.R., 2015. Seafloor seismicity, Antarctic ice-sounds, cetacean vocalizations and long-term ambient sound in the Indian Ocean basin, *Geophys. J. Int.*, 202, 748-762, 10.1093/gji/ggv178.

- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**

(doctorats dirigés, en cours et sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

Torterotot, M., Oct. 2017-2020. Traitement et analyse de signaux bioacoustiques dans l'océan Indien, Univ. Brest.

Thèse en cours - Allocation 100% UBO (allocation du Président) - Co-direction : Flore Samaran (ENSTA-Bretagne)

Lecoulant, J., Oct. 2016-2019. Modélisation 3D des ondes-T, Univ. Brest.

Thèse en cours - Allocation 50% DGA + 50% UBO - Co-direction : Claude Guennou (LGO), Laurent Guillon (IRENAV)

Leroy, E.C. Surveillance acoustique des baleines bleues Antarctique dans l'océan Indien austral : traitement, analyse et interprétation.

Soutenu le 25 septembre 2017 - Allocation 50% ARED Labex + 50% UBO - Co-direction : Julien Bonnel (ENSTA-Bretagne)

Post-doc Université de Sydney

Tsang-Hin-Sun, E. Dynamique spatiale et temporelle de dorsales à taux d'expansion contrastés dans l'océan Indien par une approche hydroacoustique.

Soutenu le 14 mars 2016 - Allocation 50% ARED + 50% UBO

ATER Univ. La Rochelle, puis Post-doc Ifremer Brest

Jamet, G. Modélisation d'ondes sismo-acoustiques par la méthode des éléments spectraux : application à un séisme en Atlantique nord.

Soutenu le 2 juillet 2014 - Allocation 50% DGA + 50% UBO - Co-direction : Claude Guennou (LGO), Laurent Guillon (IRENAV)

Situation inconnue

Co-directeur-trice de thèse et co-encadrant scientifique : **Claude Guennou (MCF)**

- Laboratoire de recherche :

Laboratoire Géosciences Océan, UMR6538

- e-mail :

claude.guennou@univ-brest.fr

- Téléphone :

02 98 49 87 09

- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**

(doctorats dirigés, en cours et sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

Lecoulant, J., Oct. 2016-2019. Modélisation 3D des ondes-T, Univ. Brest.

Thèse en cours - Allocation 50% DGA + 50% UBO - Co-direction : Jean-Yves Royer (LGO), Laurent Guillon (IRENAV)

Giusti, M., Oct. 2015-2019. Sismicité et processus d'accrétion de la dorsale médio-atlantique, Univ. Brest.

Thèse en cours - Allocation 50% Labex Mer + 50 % ARED - Co-direction : Julie Perrot (LGO), Marcia Maia (LGO)

Jamet, G., Modélisation d'ondes sismo-acoustiques par la méthode des éléments spectraux : application à un séisme en Atlantique nord.

Soutenu le 2 juillet 2014 - Allocation 50% DGA + 50% UBO - Co-direction : Jean-Yves Royer (LGO), Laurent Guillon (IRENAV)

Situation inconnue

- **Le cas échéant, autres collaborations (co-encadrant et laboratoire concerné)**

Laurent Guillon (HDR), Maître de conférence à l'Ecole Navale, chercheur à l'IRENAV - laurent.guillon@ecole-navale.fr

Project presentation

Project summary (4000 characters max, space included) :

Submarine earthquakes generate seismic waves that convert into acoustic waves when they reach the sea-bottom. Due to the excellent acoustic properties of ocean, these low-frequency acoustic waves, known as T-waves, can propagate over very long distance in the water column (more than 1000 km). Recording T-waves with hydrophone networks in the water column turns out a very effective way to monitor the sub-sea seismicity (e.g. Fox et al., 2001), particularly the low-magnitude seismicity that is not captured by land-based seismological networks. Long-term acoustic monitoring with hydrophone networks thus provides a unique information about the spatial and temporal distribution of this low-level seismicity, which expresses the tectonic and magmatic activity along submarine plate boundaries such as seafloor spreading ridges or transform faults.

However, beyond the location and acoustic levels of seismic events, little information is currently extracted from T-waves. This is because T-waves originating from a seismic event significantly differ among hydrophones, which are generally widespread (e.g. 500 to 1500 km apart). These differences are likely due to the seismic/acoustic conversion near the source, to the radiation pattern of the source, and/or to the long-distance propagation in the ocean. A better understanding of the generation of T-waves and their propagation may tell more about the focal mechanism of an event and/or the properties of the ocean along their paths.

A recent thesis, focused on the seismic/acoustic conversion, evidenced 3D-effects due to the topography near the seismic source. The acoustic energy radiated by the seafloor varies with the slopes and orientation of the topography relative to the seismic source and relative to the hydrophones. This study also showed interactions of acoustic waves in the water-column with the sea-bottom (interface waves). As a follow-up, this project proposes to investigate the long-distance effects of the propagation of low-frequency acoustic waves in the water-column. These effects may result either from interactions with the seafloor topography and/or from changes in acoustic properties of the water column (e.g. long-range heterogeneities in the sound speed). The ultimate objective is to be able to compare actual records of T-waves from our hydrophone networks with modelled data, and possibly, beyond, to access the wave-form near the conversion site.

These questions will be addressed through forward modelling with a spectral element approach, both in 3D and 2D. This approach has already been applied successfully and proved very effective to jointly model seismic waves in the elastic solid medium (the Earth crust) and acoustic waves in the fluid medium (the ocean). The proposed work will build on this experience and will combine 3D modelling near the seismic source, with 2D modelling further away from the source. The models will start with simple configurations to evolve into more complex and realistic models, based on actual seafloor topography and earthquake focal mechanisms.

Keywords: low-frequency submarine acoustics, numerical modelling, T-waves, seismicity

Detailed presentation:

1 – Hypotheses, main questions, and scientific obstacles &

Acoustic recordings of the same seismic event by several hydrophones spaced apart (500 to 1500 km) show different signatures, both in amplitude and frequency content. These differences are likely due to a combination of several phenomena: the seismic/acoustic conversion near the source, the source radiation pattern (focal mechanism of the earthquake) and the long-range propagation in the ocean. The work of J. Lecoulant (in his final year of his thesis) showed the 3D effects due to the topography near the seismic source. The acoustic energy radiated by the seabed varies with slopes and the orientation of the topography with respect to the seismic source and with respect to hydrophones. These effects probably partly explain the variable energy of the recorded signals, depending on the direction of the hydrophone relative to the relief around the epicenter of the earthquake. The effects of long-distance propagation, particularly in the dispersion of acoustic modes, still need to be explored. The ideal approach would be to treat this problem in 3D using a spectral element method, which is highly adapted and efficient. However, for the distances and frequencies considered (1000 km and up to 40 Hz, respectively), this approach would require considerable computing resources. To overcome this limitation, we assume that beyond ~200km, propagation in the ocean is a 2D problem. The idea is therefore to treat in 3D the near-source effects (< 200 km), and to use the model outputs as inputs to a 2D model that will propagate the signals over a long distance (> 200 km). This would take into account the effects of topography and the effects of the radiation pattern from the source to the seismic/acoustic conversion area. To test this approach, we have many acoustic recordings of medium-size earthquakes along seafloor spreading ridges, for which we know the magnitude and focal mechanisms from land-based seismological networks, and for which detailed bathymetric maps are available.

2 - Methodological and technical approach:

To tackle these questions, spectral-element modeling proved a very appropriate approach since it can jointly model seismic waves in the elastic solid medium (the Earth crust) and acoustic waves in the fluid medium (the ocean). Finite elements are also very congruent to model an arbitrary solid/fluid interface (i.e. seafloor topography) and low-frequency acoustic waves. However, due to computer limitations, the size of a 3D model and the frequency of the source are limited to ~200km and few Hz, resp. Indeed, the size of a mesh cell must be smaller than a fraction of the wavelength of the source signal, leading to unmanageable

large meshes when dealing with long distances (1000 km) or higher frequency sources (up to 30-40Hz). To overcome these limitations, we propose to model the near-source effects with a 3D model and to investigate the long-distance effects with a 2D model, using the output of the 3D model as input to the 2D model. In the water column, the pressure field can be extracted in any mesh cell, as the stress tensor in any cell in the solid medium. However, except for very large earthquakes, the seismic energy is very rapidly attenuated in the Earth crust and, beyond a certain distance (~200km), the waves carried by the solid medium can be neglected. So, as a first approximation, the long-distance propagation can be considered as a 2D problem in the water column, from the limits of the 3D model (~200km) to the recording hydrophone.

The approach will first be tested on simple synthetic models and then applied to more realistic configurations: synthetic topography to actual seafloor topography, homogeneous and constant velocity media to velocity- and density-stratified media, low-frequency to higher frequency sources, isotropic explosion to actual focal mechanisms (i.e. moment tensors).

3 - Positioning and scientific environment in the regional, national and international context:

Internationally and academically, the LGO in Brest is the only laboratory, along with NOAA's Pacific Marine Environment Laboratory, to deploy high-sea hydrophone networks to monitor ocean seismicity, particularly of low magnitude, that is not detected by terrestrial seismological networks. In this context, the LGO has developed a research program to better understand seismic/acoustic conversion and long-distance propagation of low-frequency acoustic waves (< 50 Hz). In this effort, it relies on national modelling skills, in particular at the *Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique de Marseille*, which develops the SPEC-FEM 2D and 3D spectral element codes.

Internationally, our results are of interest to the Vienna-based Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO), which maintains real-time hydroacoustic stations in different parts of the world ocean. The objective of the CTBTO is to detect suspicious explosions in the water column in real time and at great distances.

At the national level, "ultra" low-frequency propagation (< 100Hz) in the ocean is one of the key topics of interest for the French Defense Agency - *Délégation Générale à l'Armement (DGA)*, which already supported 2 theses at LGO (G. Jamet 2014; J. Lecoulant, 2016-2019, in progress).

At the regional level, this project participates in the work of a group formed in Brest on underwater acoustics, particularly on the interpretation and modelling of low-frequency acoustic waves. This group brings together researchers from IMT Atlantic, ENSTA Bretagne, IRENAV, SHOM and IUEM laboratories (LOPS and LGO). His work focuses on the treatment and interpretation of noise of biological (large whales), geological (earthquakes, eruptions), cryogenic (icebergs), oceanic (sea state), and anthropogenic (ships) origin. It also includes an important methodological component on the automatic detection and classification of sounds, the modelling of acoustic wave propagation or the generation of observed noise. In this context, the long-term acoustic time series acquired by the LGO in the open ocean constitute a unique data set to address these issues.

Candidate

Desired profile of the candidate (scientific and technical skills required)

The candidate must have a solid background in physics (wave propagation) and programming skills.

Contexte régional & local

4 - Pour la région Bretagne : adéquation du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire).

Dans le cadre de contrats de projets Etat-Région (CPER), la Région Bretagne a soutenu le développement et l'acquisition de réseau d'hydrophones hauturiers pour la surveillance acoustique de l'océan, en particulier dans les CPER de l'OSU-IUEM « Observation de l'Océan » (ODO : 2007-2015) et « Observation 3D de l'Océan » (O3DO : 2016-2021).

Outre l'activité sismique, ces réseaux d'hydrophones permettent de surveiller l'activité acoustique de plus de 5 espèces de grandes baleines, considérées en danger et pour lesquelles on dispose d'informations très limitées quant à l'état des populations, leur répartition et migrations saisonnières. Leurs enregistrements apportent aussi des informations inédites sur le bruit environnemental (ex. dislocation d'icebergs) et l'évolution du bruit océanique en général, auquel l'activité humaine contribue fortement. Les séries temporelles acquises par les réseaux d'hydrophones du LGO depuis 2010 et les outils analytiques développés (détection et classification automatique, modélisation) offrent des clés pour mieux cerner l'évolution de cet environnement et les interactions potentielles entre les sources sonores identifiées. Dans cette démarche, la compréhension des signaux par la modélisation est un complément indispensable.

Ce projet et les investissements de la Région Bretagne dans ce domaine s'inscrivent donc pleinement dans le Domaine d'innovation stratégique (DIS) 7 « Observation et ingénierie écologique et énergétique au service de l'environnement », notamment dans le sous-domaine 7A relatif à l'observation et la surveillance de l'environnement, et font du LGO et de l'IUEM un centre d'expertise unique en Europe en matière de surveillance acoustique hauturière.

5 - Si « projet blanc » (hors DIS), préciser les raisons de ce choix :

Sans objet.

6 - Si lien avec projet ERC, préciser lequel :

Sans objet.

7 - Autres informations utiles (CPER, FEDER, concernant la politique régionale) :

Comme mentionné dans le point 4, ce projet de thèse concerne l'exploitation de données acquises par des équipements financés par la Région Bretagne, des fonds FEDER et l'Etat, dans le cadre de programmes CPER d'observation de l'océan.

Par ailleurs, ce projet de modélisation n'est envisageable que grâce aux moyens de calcul intensif « DATARMOR » développés dans le cadre du CPER et installés au centre Ifremer de Brest.

8 - Le cas échéant, précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

- la régulation du climat par l'océan
- les interactions entre la Terre et l'océan
- la durabilité des systèmes côtiers
- l'océan vivant et les services écosystémiques

X les systèmes d'observation à long terme

L'objectif des réseaux d'hydrophones déployés par le LGO est d'acquérir des séries temporelles sur l'activité acoustique des grandes baleines, l'activité sismique de faible magnitude océanique, et le bruit environnemental océanique en général. L'intérêt d'acquérir des séries long-terme continues est de pouvoir suivre l'évolution de ces sources sonores et d'analyser leurs interactions éventuelles, par exemple, entre activité bioacoustique et bruit ambiant (Leroy et al., 2018), ou la représentativité temporelle ou spatiale des phénomènes biologiques ou géophysiques observés.

Ce projet de thèse participe à la compréhension des signaux enregistrés, puisque les sources basse-fréquence (0-100 Hz) peuvent aussi bien être des séismes, des craquements d'icebergs, des vocalisations de grandes baleines, ou du bruit de l'état de mer (bruit microsismique).

Le cas échéant (si financement ISblue demandé) : en regard de la formation par la recherche du futur docteur, perspectives d'insertion professionnelle dans le milieu académique et non académique

Ce sujet de thèse donnera une solide formation au futur docteur en acoustique sous-marine et en modélisation numérique.

Pour une insertion professionnelle en milieu académique, l'impétrant pourra faire valoir ses compétences en recherche fondamentale dans le domaine de l'acoustique (basse fréquence) et de la propagation d'ondes en milieu marin.

Pour une insertion professionnelle en milieu non académique, l'impétrant pourra faire valoir ses compétences en calcul scientifique, ayant notamment recours à des calculateurs parallèles, et ses compétences dans le domaine de la surveillance acoustique, par exemple dans le cadre de l'application de la Directive cadre stratégique relative au milieu marin (DCSMM).

9 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux

Comme souligné précédemment, ce projet s'inscrit dans les travaux du groupe brestois en acoustique marine, réunissant l'IMT Atlantique, l'ENSTA Bretagne, l'IRENAV, le SHOM et deux laboratoires de l'IUEM (LOPS et LGO). Certains s'intéressent au traitement et à l'analyse des bruits océaniques d'origine biologique, géologique, cryogénique, océanique ou anthropique ; d'autres, à la reconnaissance et classification automatique des sons, à la modélisation de la propagation ou à la génération de ces bruits basse-fréquence. Autant de tâches qui contribuent à la compréhension de l'environnement acoustique dans l'océan hauturier, au suivi de son évolution et à la caractérisation des interactions potentielles entre ces sources de bruit (DIS 7A).

Ce sujet de thèse, comme 2 autres avant lui, sera réalisé en collaboration étroite avec l'équipe acoustique de l'IRENAV (co-encadrement de la thèse par Laurent Guillon, chercheur à l'IRENAV), et également avec le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique de Marseille, qui développe les codes aux éléments spectraux SPECFEM 2D et 3D.

Il utilisera les moyens de calcul parallèle DATARMOR installés au centre Ifremer de Brest et accessible à la communauté académique brestoise, et si insuffisants, aura recours aux moyens de calcul intensif nationaux (GENCI).

10 - Si projet en cotutelle internationale, précisez le pays et l'établissement

Sans objet.

11 - Financements Région Bretagne acquis par le porteur au cours des 3 dernières années (titre, montant)

Allocation Région Bretagne (ARED 50%) 2014-2017, 3 ans, sujet TASBIO (E. Leroy).

Allocation Région Bretagne (ARED 50%) 2012-2015, 3 ans, sujet OHASIS3D (E. Tsang-Hin-Sun).

12 - Si projet cofinancé, nom du cofinancier (sollicité et ou acquis)

Allocation de la Délégation Générale à l'Armement (DGA, 50%), sollicitée

13 - Si cofinancement refusé, autres sources de cofinancement identifiées

Allocation UBO (50%)

Projet de thèse en cotutelle internationale

S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale : **NON**

Si oui, préciser l'établissement pressenti (*et le pays de rattachement*) : **N/A**

Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (*oui/non*) : **NON**

En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :

Financement du projet de thèse

Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet :

Financement Région 100 %

Financement Région 50 % (préconisé)

En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié : **OUI**

Si oui, préciser la nature du cofinancement : **DGA, demandé**

Si cofinancement pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier : **mai 2019**

En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée : **OUI, UBO**

Annexe : Domaines et sous-domaines d'innovation stratégique

Domaines d'innovation stratégique

- 1/ Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- 2/ Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- 3/ Activités maritimes pour une croissance bleue
- 4/ Technologies pour la société numérique
- 5/ Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- 6/ Technologies de pointe pour les applications industrielles
- 7/ Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

Ventilation en sous-domaines

D1 – Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative

- 1A- Démarches d'innovation sociale et citoyenne
- 1B- E-éducation et e-learning
- 1C- Patrimoine et tourisme durable
- 1D- Industries créatives et culturelles
- 1E- Transitions et mutations des modèles économiques des filières et des entreprises

D2- Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité

- 2A- Qualité et sécurité sanitaire des aliments
- 2B- Nouveaux modèles de production agricole
- 2C- Usine agro-alimentaire du futur

D3- Activités maritimes pour une croissance bleue

- 3A- Energies marines renouvelables
- 3B- Valorisation de la biomasse marine et biotechnologies (pour toutes les applications)
- 3C- Valorisation des ressources minières marines
- 3D- Nouveaux modèles d'exploitation des ressources vivantes aquatiques (pêche et aquacultures)
- 3E- Navire du futur
- 3F- Sécurité et sûreté maritime

D4- Technologies pour la société numérique

- 4A- Internet du futur : objets communicants, cloud computing et big data
- 4B- Images et contenus
- 4C- Conception logiciels
- 4D- Modélisation numérique
- 4E- Réseaux convergents, fixes mobile broadcast
- 4F- Cybersécurité

D5- Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie

- 5A- Prévention – santé – bien-être
- 5B- Nouvelles approches thérapeutiques alliant génétique, bio-marqueurs et biomolécules
- 5C- Technologies médicales, diagnostiques et thérapeutiques et e-santé

D6- Technologies de pointe pour les applications industrielles

- 6A- Photonique et matériaux pour l'optique
- 6B- Matériaux multi-fonctionnels
- 6C- Technologies en environnements sévères
- 6D- Electronique, robotique et cobotique pour l'ingénierie industrielle
- 6E- Systèmes de production avancés de petites et moyennes séries (usine du futur)

D7- Observation et Ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

- 7A- Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs inter-actions
- 7B- Réseaux énergétiques intelligents
- 7C- Système constructif performant et durable (éco-construction et éco-rénovation, TIC et bâtiment)
- 7D- Véhicules et mobilités serviciels durables
- 7E- Eco-procédés, éco-produits et matériaux bio-sourcés.