

**Titre du projet :** Nouvelles données satellites. Quel intérêt pour les Collectivités Locales ? Application aux changements de l'occupation du littoral du Pays de Brest.

## **Descriptif du projet de recherche :**

### **A. Présentation du projet**

#### **1. Contexte général du projet :**

Dans le cadre du programme européen Copernicus mais aussi, de dispositifs nationaux (Equipex GEOSUD, Pôle THEIA) **les données satellites deviennent de plus en plus facilement accessibles** au niveau des collectivités locales, de la communauté scientifique, des entreprises ou auprès du grand public. En même temps, **l'ouverture massive de données numériques sous différentes formes** (spatialisées ou non) et relatives à différents domaines et leur mise en relation avec les données satellitaires, ouvrent de nouvelles pistes d'applications et de recherche.

Le projet OCCUPALITT a comme objectif de se focaliser sur les **différentes modalités d'utilisation et de mise en valeur des données satellites européennes par les collectivités locales du pays de Brest dans leurs mission de gouvernance territoriale en matière de changements d'occupation du sol**. Le programme scientifique spatial européen, porté principalement par l'ESA avec le soutien des agences et des laboratoires nationaux, a généré des succès notables au niveau européen et mondial : les données images satellites produites au sein du programme Copernicus sont mises à disposition avec un accès total et gratuit (les images Sentinel-1 et 2). Pour les collectivités locales, l'enjeu est de saisir cette opportunité et d'avancer grâce aux missions spatiales sur les questions fondamentales comme les changements de l'occupation du sol du littoral en contexte de changement climatique. Ainsi, l'outil spatial est devenu incontournable car il permet une observation globale, récurrente et sur des longues périodes.

En même temps, les profondes mutations économiques, sociétales et environnementales observées globalement et à différentes échelles, justifient l'intérêt scientifique porté depuis la fin des années 1990 aux problématiques de l'occupation du sol des littoraux. L'urbanisation intense, le développement des infrastructures et des aménagements qui lui sont associés, la profonde mutation des pratiques agricoles, et l'exploitation toujours plus intensive des ressources naturelles, se sont traduites par de **profonds changements de l'occupation du sol et du couvert végétal** des littoraux et ce, de manière spectaculairement accrue au cours du dernier siècle et demi. Après 40 ans de recherche, l'étude de ces changements constituent le cœur d'une nouvelle discipline scientifique intitulée « *Land Change Science* » (Turner et al., 2007). Cette discipline se caractérise par quatre grands thèmes de recherche : l'observation et le suivi des changements d'occupation du sol, la compréhension et l'identification des facteurs à la base de ces changements, leur modélisation et l'étude de leurs impacts dans un contexte de changement global comme le changement climatique.

Si aujourd'hui, 60% de la population mondiale habite à moins de 100 km de la mer, en Bretagne, par exemple, c'est 80% de la population qui vit dans la bande des 30 km, et on prévoit que les départements littoraux de la Bretagne compteront 3,4 millions d'habitants

supplémentaires en 2030 (Conservatoire du Littoral). La concentration des populations et des activités dans ces espaces côtiers est source de nombreux enjeux et conflits d'usage. Les conflits d'intérêts s'accroissent entre les aménageurs privés, les services publics de l'équipement, du logement et de l'aménagement du territoire, les professionnels du tourisme et les touristes, les pouvoirs publics et les associations qui veillent à la protection de la nature et des paysages.

De fait, ces conflits se traduisent sur les littoraux par l'accroissement de pressions de différentes natures, démographique, résidentielle, économique (avec l'émergence notamment de nouvelles activités) ou environnementale. Ces pressions aboutissent à **une crise du littoral**, qu'elle soit sociale (la concurrence pour le foncier reléguant certaines catégories de la population vers l'arrière-pays), économique (le désir de rivage des résidents permanents et secondaires entre en concurrence avec les besoins de certaines activités spécifiquement littorales – pêche, aquaculture – ou non - agriculture), **ou environnementale** : les espaces agricoles et naturels sont massivement consommés par l'étalement urbain et l'artificialisation du littoral. La concentration de ces activités, sur le littoral accroît leur exposition aux risques engendrés par l'élévation du niveau marin.

Dans ce contexte scientifique et technologique, les acteurs publics sont vivement intéressés par l'apport des nouvelles technologies dans le traitement des données environnementales. Dans le cadre des collectivités locales territoriales du Pays de Brest, les acteurs disposent de multiples données issues de la télédétection, mais méconnaissent les usages.

## **2. Contexte local :**

La définition du littoral est plurielle face à la multiplicité des acteurs et des approches sociales ou scientifiques. Dans notre étude, le littoral comprend la zone intertidale et l'espace d'influence maritime jusqu'à 2000 m des côtes, en s'affranchissant des limites administratives. Dans un premier temps, nous envisageons d'appliquer notre méthodologie au littoral du Pays de Brest pour y alimenter les réflexions en matière d'aménagement, en liaison notamment avec les prévisions démographiques (migrations, vieillissement de la population), avec les projets économiques (implantation des grands équipements et d'infrastructures liés par exemple au développement des EMR et évaluation de leurs impacts), et avec les enjeux liés à l'élévation du niveau marin (stratégies à adopter face à l'exposition accrue des aménagements aux risques côtiers).

La disponibilité de ces nouvelles générations de capteurs s'avère particulièrement pertinente dans le contexte réglementaire récemment mis en place pour gérer le développement urbain et l'évolution de l'occupation du sol et des espaces naturels. En particulier, la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010 avance l'idée de développement d'un urbanisme plus économe en ressources foncières et des continuités écologiques préservées ou restaurées (des trames vertes et bleues). La même loi prévoit des Schémas de cohérence territoriale (SCoT) plus prescriptifs, des Plans locaux d'urbanisme (PLU) renforcés avec un objectif affiché de limitation de consommation de l'espace par le développement urbain et des infrastructures. Quant à la loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche (LMAP) du 13 juillet 2010, elle prévoit la préservation des terres agricoles (avec pour objectif de réduire de moitié la perte de surfaces agricoles d'ici 2020), la création d'un observatoire de la consommation des espaces agricoles et la mise en place des Commissions départementales de la consommation des espaces agricoles (CDCEA). Le développement de protocoles appropriés pour le traitement des données des

satellites de dernière génération revêt donc un caractère particulièrement stratégique pour l'observation au service de l'environnement.

C'est tout particulièrement le cas du littoral du Pays de Brest/région Bretagne, dont l'occupation du sol apparaît relativement fragmentée en raison d'une configuration géographique particulière (péninsule très découpée, matérialisée au plan de l'occupation du sol par une mince bande d'habitats littoraux souvent spécifiques, topographie accidentée dans le détail), mais également d'une longue mise en valeur des sols. Cette dernière est marquée par une activité agricole intensive, donc soumise à d'intenses pressions socio-économiques qui aboutissent à de constantes adaptations, donc à des évolutions permanentes des usages et de l'occupation des terres. Elle découle également d'une urbanisation en forte progression, notamment dans les espaces périurbains et littoraux, où elle apparaît fortement structurée autour d'un habitat par tradition dispersé. L'exploitation de données satellitaires à haute résolution spatiale et temporelle offre ici des perspectives particulièrement intéressantes. Elle apparaît notamment parfaitement complémentaire des données vectorielles grande échelle (BDTopo IGN, Plan cadastral informatisé) qui fournissent une description fine (à l'échelle de la parcelle cadastrale notamment) des infrastructures, équipements et bâtiments, et de leurs évolutions, mais pas de celle de l'occupation du sol ni, bien entendu, de la végétation. Par ailleurs, ces données vectorielles de références présentent parfois un décalage de plusieurs années par rapport aux évolutions continues de l'occupation du sol. En effet, la fréquence de leur mise à jour, opération passablement lourde, atteint parfois 4 à 5 ans.

Du point de vue opérationnel, l'observation par satellites est à même de fournir des données à une fréquence beaucoup plus importante, notamment pour répondre à des besoins urgents. De plus, le contexte de mutualisation de données satellitaires est très favorable, notamment avec la mise en place du pôle Thématique Surfaces Continentales du CNES et du projet Geosud qui permettront l'accès à de nombreuses données spatiales en plus des données européennes Sentinel.

### **3. Objectifs :**

En corrélations avec les grands thèmes de recherche portant sur l'occupation du sol, **les questionnements de recherche** pour ce projet sont les suivants :

1. Comment renforcer l'usage de l'imagerie satellitaire dernière génération pour répondre au mieux à des problématiques de gestion de l'environnement et d'aménagement du territoire ?
2. Quels sont les changements passés (à une échelle de dix ans) et actuels d'occupation du sol du littoral du Pays de Brest ? Et quels sont leurs impacts sur le court et le long terme sur l'environnement, les sociétés et les territoires ?
3. Quels outils et quelles méthodologies employer pour mieux détecter, identifier, caractériser et suivre ces changements dans le temps à différentes échelles spatiales ?
4. Quels sont les facteurs (physiques, économiques, sociaux, politiques, etc.) qui déterminent ces changements ?
5. Quels modèles de changements peut-on adopter pour parvenir à développer des scénarios prospectifs ?

En étroite relation avec les acteurs-décideurs (présents dans le projet) de la gestion et de l'aménagement du territoire, de la planification régionale, de la préservation des

espaces naturels et agricoles, ce projet propose de développer un modèle d'occupation du sol à trois dimensions - espaces naturels/espaces agricoles et espaces artificialisés - adapté à la fois à la recherche et à la gestion. L'objectif général est de mettre la télédétection au service des gestionnaires.

De ce point de vue, les enjeux sont effectivement scientifiques, méthodologiques, mais également opérationnels, techniques (quels supports d'images, quels outils, est-il possible de transférer, par exemple à partir des images de GéoSUD, vers des gestionnaires pour leur permettre de répondre à des besoins opérationnels ?).

**L'objectif général est de contribuer à l'aide à la décision pour les collectivités locales en passant par l'identification des types de données gratuites et de produits susceptibles d'être fournis aux collectivités à la suite des traitements de l'imagerie satellitaire concernant le changement de l'occupation du littoral.**

**Sur ces bases, les objectifs spécifiques du projet sont donc définis comme suit :**

- a) **Produire une méthodologie spécifique et reproductible**, capable de mieux analyser, définir, modéliser, d'une part les changements de l'occupation du sol et, d'autre part, la complexité de la couverture végétale du littoral du Pays de Brest à partir des dernières images satellites européennes gratuites. La méthodologie proposée dans ce projet doit permettre d'améliorer la précision du modèle de l'occupation du sol et du couvert végétal à travers la synergie de données socio-économiques et spatiales.
- b) **Echanger et évaluer la méthode proposée** auprès des acteurs locaux du littoral du Pays de Brest par identification de leurs besoins et par définition avec eux des produits qui pourraient y répondre. Des ateliers et des entretiens avec les gestionnaires et les décideurs seront organisés systématiquement pour réaliser ces échanges et la réflexion autour de la question du choix du modèle de l'occupation du sol en environnement littoral.
- c) Définir les **modalités d'intégration du modèle proposé sur l'occupation du sol** à trois dimensions (espaces naturels/espaces agricoles et espaces artificialisés) et à différentes échelles (littoral, commune, EPCI, parc naturel, région).
- d) **Transférer les méthodes et/ou les produits de télédétection** de haute résolution vers les acteurs du territoire. Un objectif important est de chercher les modes de transfert des images et des traitements vers les gestionnaires à des fins opérationnelles, donc rechercher le meilleur compromis entre la finesse des résultats et leur prise en main au jour le jour.

#### **4) Description du projet et méthodologie**

La recherche proposée dans ce projet sera axée sur l'élaboration d'un modèle d'occupation du sol du littoral du pays de Brest à trois dimensions à partir essentiellement des données spatiales européennes et socio-économiques. La définition du littoral est plurielle face à la multiplicité des acteurs et des approches sociales ou scientifiques. Dans notre étude, le littoral comprend la zone intertidale et l'espace d'influence maritime

jusqu'à 2000 m des côtes, en s'affranchissant des limites administratives. Dans un premier temps, nous envisageons d'appliquer notre méthodologie au littoral du Pays de Brest pour y alimenter les réflexions en matière d'aménagement, en liaison notamment avec les prévisions démographiques (migrations, vieillissement de la population), avec les projets économiques (implantation des grands équipements et d'infrastructures liés par exemple au développement des EMR et évaluation de leurs impacts), et avec les enjeux liés à l'élévation du niveau marin (stratégies à adopter face à l'exposition accrue des aménagements aux risques côtiers).

Le modèle géographique de l'occupation du sol proposé dans le cadre de ce projet répond à l'objectif principal de développer une méthode reproductible qui permette de produire une prédiction à court terme de la couverture des sols, en prenant en compte l'imprécision et les lacunes de connaissances liées à cette problématique, des données disponibles, et en associant un degré de confiance aux résultats produits. La réalisation de cet objectif nécessite notamment la détermination du couvert du sol, son suivi, et la définition des facteurs qui motivent les changements passés et à venir.

L'identification et le suivi de l'évolution de l'occupation du sol pose d'emblée des questions relatives aux échelles spatio-temporelles utilisées : A quelles échelles les processus interviennent-ils et sont-ils perceptibles ? Quelles sont les échelles d'observation disponibles et/ou souhaitables ? Comment peut-on passer d'une échelle à l'autre ? Ces recherches sur l'élaboration d'un modèle d'occupation du sol ont pour ambition d'améliorer les connaissances thématiques sur les changements d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères, mais aussi de développer des méthodes de traitement de données spatialisées permettant de mettre ces changements en évidence et de les simuler. Elles s'insèrent dans les problématiques de recherche actuelles de la géographie : elles se situent à l'interface nature/sociétés (la pression anthropique sur le milieu à travers la façon dont l'homme occupe et utilise les sols), elles traitent des dynamiques spatio-temporelles de territoires en visant à mettre en évidence la vulnérabilité de certains espaces vis-à-vis d'un risque environnemental.

Ce sont donc des outils et techniques d'analyse spatiale qui permettent *a priori* d'étudier les causes et les conséquences de l'évolution de l'occupation du sol dans le but d'une meilleure compréhension de cette dernière. Ce type de modèle doit donc permettre de prendre en compte un ensemble complexe de paramètres socio-économiques et biophysiques qui influencent le rythme et la nature des changements de l'occupation du sol afin de pouvoir simuler spatialement ces changements et leurs conséquences sur l'environnement. Les approches socio-économiques et psychologiques sont dans ce projet privilégiées. Le volet psycho-social intervient surtout dans l'étape de validation des résultats de traitement de données spatiales, notamment dans la partie concernant les espaces agricoles. Des enquêtes de terrain seront menées auprès de la population du littoral afin de reconstituer la destination d'usage des terrains agricoles dans le passé. Une partie des enquêtes seront menées autour de la question du modèle de l'occupation du sol de demain. Les meilleurs compromis entre exigences scientifiques et opérationnalisation des méthodes seront recherchés.

Le modèle proposé par notre projet pourrait constituer un nouvel "état de référence" pour suivre l'évolution des milieux littoraux et aider à la mise en application, puis à l'évaluation spatiale de la "loi littoral". Ces données peuvent aussi nourrir des réflexions en matière d'aménagement et permettre l'évaluation des impacts des grands équipements et d'infrastructures. Le modèle d'occupation du sol proposé dans notre

projet pourrait être également intégré dans l'élaboration du SCoT notamment pour servir à l'évaluation et au suivi de la consommation foncière.

**Les actions à mener** sont liées, dans un premier temps, à la recherche documentaire et bibliographique au niveau national et international sur la problématique de l'occupation du sol par télédétection.

**Un échange** avec les collectivités locales et avec nos partenaires gestionnaires et décideurs sera initié dès le début du projet afin de recenser **les pratiques mises en œuvre sur le terrain en matière d'occupation du sol et leurs attentes pour l'avenir**. Quel modèle doit servir de perspective pour le littoral du Pays de Brest ? L'intérêt du projet réside dans la définition des produits de la télédétection susceptibles d'intéresser les gestionnaires et des méthodes et outils à mettre en œuvre pour qu'ils puissent bénéficier des apports de ces nouvelles données satellites gratuites.

Ces travaux aboutiront à la proposition d'un modèle de l'occupation du sol pour le littoral du Pays de Brest.

### **Choix des données spatiales disponibles et définition de la méthodologie de traitement et d'analyse de ces données spatiales avec les gestionnaires et les décideurs.**

Le travail à effectuer réside en premier lieu dans le **choix judicieux**, tout d'abord **des images satellites** à traiter et à analyser et ensuite des **méthodologies** à mettre en œuvre. La méthodologie proposée repose sur le principe d'assurer une complémentarité des approches pour les collectivités et les acteurs publics afin qu'ils disposent de méthodologies et de nomenclatures homogènes permettant un dialogue entre différentes échelles du territoire pour alimenter les réflexions en matière d'aménagement du territoire (SCoT, directives territoriales d'aménagement, ...) et de planification territoriale (PLU).

Les données optiques permettent d'identifier certaines classes de l'occupation du sol (par exemple les formations végétales) grâce à leur homogénéité spectrale, mais s'avèrent de fait peu adaptées en contexte littoral où l'occupation du sol est souvent très hétérogène. Dans ces conditions, la fusion de données optiques et radar ouvre d'intéressantes perspectives. Un premier objectif de cette tâche est donc d'évaluer l'apport des données radar en relation avec les propriétés géométriques des différentes classes d'occupation du sol et des structures végétales pour discriminer diverses classes d'occupation du sol.

Par ailleurs, **l'analyse de l'évolution de l'urbanisation** repose désormais en grande partie sur l'exploitation des référentiels d'information géographique vectorielle (BDTopo IGN, Plan cadastral informatisé), qui fournissent une description datée du bâti. Mais ces données ne permettent ni de saisir dans son intégralité l'artificialisation globale (surfaces imperméabilisées liées à la voirie et aux grands équipements), ni de détailler la végétation et l'utilisation agricole des sols. L'apport de l'imagerie constitue à cet égard un précieux apport complémentaire. Un second objectif de cette tâche vise donc à offrir les moyens de combler ces lacunes, à des échelles proches de celle de la parcelle, entité élémentaire de la gestion et du développement des territoires.

En connaissant la complexité du couvert végétal du littoral, **l'objectif de cette tâche** consiste à trouver une solution qui pourrait permettre un traitement concomitant de plusieurs paramètres hétérogènes de la couverture végétale du littoral. La combinaison de différents végétaux est variable, plusieurs communautés végétales existant. Ce sont les variations locales des conditions écologiques qui déterminent cette complexité.

Cependant, l'action humaine a des influences directes et indirectes sur le maintien ou l'expansion de certaines communautés au détriment d'autres. Si la compréhension des dynamiques qui gouvernent les changements sur ces espaces "mosaïqués" reste difficile (interaction entre le comportement saisonnier, l'évolution naturelle des communautés et les activités humaines, ...), la méthode ici consiste à combiner différentes mesures afin de proposer une **librairie spectrale régionale** pour le littoral du Pays de Brest (variabilité des spectres de référence au sein de la librairie). Les résultats de cette partie contribueront à l'amélioration de la précision des cartes de recul de la végétation naturelle face à l'extension urbaine.

***L'approche privilégiée*** dans ce projet sera la fusion de données et d'informations afin de développer un protocole permettant le traitement concomitant de plusieurs paramètres hétérogènes de l'occupation du sol et de la couverture végétale à différents laps de temps. ***Cette approche méthodologique a une finalité géographique, celle d'élaborer des cartes thématiques les plus précises et détaillées possibles en corrélation avec les données vectorielles. Elle permet ainsi d'envisager la production d'une donnée compatible avec les échelles de gestion et de développement des territoires (la parcelle foncière, le 1/10 000...).*** L'étape finale sera de ***valider la méthodologie et les cartes obtenues avec les décideurs et les gestionnaires.*** L'objectif de la méthode est d'aider les services en charge de la planification des territoires à calculer des indicateurs chiffrés caractérisant l'occupation des sols et son évolution afin de répondre aux exigences réglementaires en la matière.