

Trajectoire socio-écologique d'une commune de la Baie du Mont-Saint-Michel entre 1947 et 2014

Mathilde Letard, Antoine Collin, Dorothée James, Antoine Mury

▶ **To cite this version:**

Mathilde Letard, Antoine Collin, Dorothée James, Antoine Mury. Trajectoire socio-écologique d'une commune de la Baie du Mont-Saint-Michel entre 1947 et 2014. SAGEO 2021, May 2021, La Rochelle, France. hal-03279042

HAL Id: hal-03279042
https://hal.science/hal-03279042

Submitted on 6 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Trajectoire socio-écologique d'une commune de la Baie du Mont-Saint-Michel entre 1947 et 2014

Mathilde Letard[1], Antoine Collin[1], Dorothée James[1], Antoine Mury[1]

1. EPHE, PSL Université Paris, CNRS LETG
15 Boulevard de la Mer, 35800 Dinard, France
mathilde.letard@ephe.psl.eu;

RESUME. Les conséquences environnementales du changement climatique global nous renvoient à la nécessité de prendre en compte l'interconnexion des sociétés et des écosystèmes. Dans cette optique, cet article appréhende l'évolution d'une commune de la Baie du Mont-Saint-Michel comme celle d'un socio-écosystème, dont l'état est déterminé par les interactions entre ses composantes mais aussi par des forçages exogènes. Des séries temporelles de l'occupation du sol sont constituées à partir d'images aériennes anciennes et actuelles et permettent d'analyser la trajectoire socio-écologique de la commune. Les modèles de régressions linéaires attribuent en premier lieu l'anthropisation croissante de la zone à la croissance démographique, puis à des paramètres climatiques (R^2 = 0.87). Le développement de la population entraîne également la progradation du pré salé à proximité directe du bourg (R^2 = 0.97). Cependant, les prés salés de la zone semblent approcher d'un changement d'état : après une croissance parallèle à celle du bâti, ils connaissant un net recul qui semble lié à l'augmentation de la surface bâtie au-delà d'un certain seuil.

ABSTRACT. Climate change is bringing us back to considering the connection between societies and ecosystems. In this respect, this study aims at approaching the evolution of a small town of the Mont-Saint-Michel bay as the trajectory of a social-ecosystem influenced both by the interactions of its components and by external forcing. Airborne imagery is used to constitute land use time series in order to analyse the social-ecological trajectory of the town. Linear regression models show that population growth is the first explanation to increasing anthropization of the area, before climate factors (R^2 = 0.87). It is also the main factor of the progression of the salt marsh located right next to the city centre (R^2 =0.97). However, salt marshes of the sector seem to come close to change of state: after having followed a growing trend parallel to that of the urban area, they are shrinking significantly, which seems to be linked to the augmentation of the urban area beyond a given threshold.

MOTS-CLES : socio-écosystème, séries temporelles, imagerie aérienne, modélisation, trajectoires

KEYWORDS: social-ecosystems, time series, airborne imagery, modelling, trajectories

1. Introduction

Les prés salés sont des écotones à végétation basse situés en zone intertidale. Ils fournissent des services importants aux sociétés côtières (Barbier *et al*. 2011), dont un support à la biodiversité locale (McOwen *et al*. 2017), le stockage de carbone atmosphérique (Johnson *et al*. 2014 ; McOwen *et al*. 2017) ou une protection naturelle des inondations et de l'érosion (Mury et *al*. 2020).

Régis par des processus complexes, leur suivi est nécessaire pour mieux les préserver des contraintes anthropiques et climatiques (Wiberg *et al*. 2019) auxquelles ils sont exposés. En effet, facteurs naturels et anthropiques se combinent pour déterminer l'évolution de la surface, de la biodiversité et de la morphologie des prés salés (Townend *et al*. 2010). Parmi eux, l'élévation, la végétation, la dynamique hydrosédimentaire (Townend *et al*. 2010 ; Fagherazzi *et al*. 2004 , 2012), l'eutrophisation (Deegan *et al*. 2012), les aménagements humains (Bouchard *et al*. 1995), l'invasion par divers usages interférant avec leur régime naturel (Allen 2000), ou encore les changements climatiques comme la montée du niveau marin (IPCC 2018).

Ces mécanismes variés contrôlant l'apport et la fixation sédimentaires essentiels à l'existence des prés salés (Townend *et al*. 2010 ; Fagherazzi *et al*. 2004 , 2012) expliquent la diversité des profils d'évolution de ces écosystèmes dans le monde. Si plusieurs études récentes font état d'un recul conséquent de leur surface globale (*World Resources Institute* 2005), les prés salés de certaines régions tendent au contraire à prograder (Détriché *et al*. 2011 ; Bouchard *et al*. 1995). C'est le cas en Baie du Mont Saint Michel, où la diversité des interactions qui conditionnent les marais littoraux est bien illustrée. Le fort marnage et le régime sédimentaire de la baie qui favorise la faible énergie des courants et le comblement sédimentaire leur permettent de progresser vers le large depuis plusieurs décennies. Cependant, la pression anthropique, l'exploitation des ressources naturelles et l'aménagement des côtes influencent également le développement des prés salés (Bouchard *et al*. 1995, Bromberg Gedan *et al*. 2009).

Le comportement des écotones côtiers mettant en jeu de nombreux paramètres, un raisonnement reconnaissant l'interconnexion de la société et de la biosphère et prenant en compte des forçages exogènes permettrait certainement une meilleure approche des changements qu'ils connaissent (Folke *et al*. 2011).

Cet article s'attache donc à évaluer l'évolution socio-écologique d'une commune côtière de la Baie du Mont Saint Michel *via* des séries temporelles d'évolution de l'occupation des sols constituées à partir d'images aériennes à haute résolution spatiale. Deux hypothèses sont émises et testées : (1) la démographie, la température, les précipitations, la vitesse des vents et le niveau marin conditionnent l'évolution du pré salé situé dans la zone et (2) expliquent l'anthropisation du site.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

La Baie du Mont Saint Michel est comprise entre la Péninsule du Cotentin et la Côte d'Émeraude, dans le Golfe Normand-Breton. Elle est caractérisée par un régime macro-tidal, son marnage faisant partie des plus élevés au monde (Archer 2013). La baie est délimitée au sud par le Marais de Dol, polder situé derrière la digue de la Duchesse Anne aux pieds de laquelle s'étendent d'importants prés salés recouvrant environ 40 km² (Valéry et Radureau 2014).

Le site d'étude choisi s'étend sur 6.5 km² autour de la commune du Vivier-sur-Mer, située dans la partie Ouest de la Baie du Mont Saint Michel, où les conditions hydrodynamiques sont plus calmes que dans la partie estuarienne de la baie. Délaissée par ses habitants dans la première partie du XXème siècle, la commune a connu un renouveau socio-économique avec l'essor de l'activité mytilicole et, plus largement, conchylicole, matérialisée par le développement du port « Le Vivier-sur-Mer/Cherrueix » qui est aujourd'hui le plus important complexe conchylicole d'Europe. Le socio-écosystème comprend un village, des champs, des prés salés ainsi qu'une partie de la zone intertidale. Un fleuve, dont l'estuaire se trouve au niveau du port, assure un apport sédimentaire aux prés salés depuis les terres, en complément de l'apport de sédiments des courants de la baie.

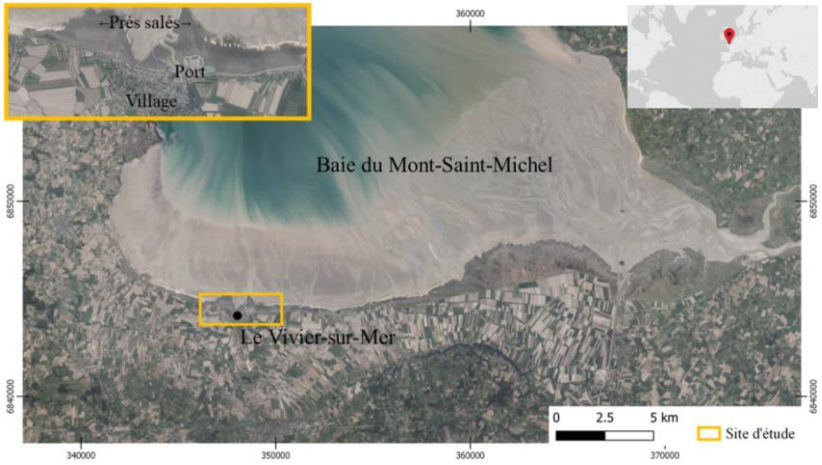


FIGURE *1. Localisation du site d'étude autour du Vivier-sur-Mer*

2.2. Données

2.2.1. Images aériennes

Dix prises de vues aériennes de sources diverses mises à disposition par l'IGN sont utilisées pour cette étude. Leurs caractéristiques sont résumées dans la Table 1.

TABLE *1. Prises de vues aériennes utilisées pour l'étude et caractéristiques*

Date	Bande d'observation	Résolution spatiale
1947	Panchromatique	0.37 m
1952	Panchromatique	0.37 m
1961	Panchromatique	2.72 m
1966	Panchromatique	3.56 m
1978	Panchromatique	1.11 m
1986	Panchromatique	0.73 m
1989	Panchromatique	0.46 m
1996	Panchromatique	0.15 m
2002	Rouge + Vert + Bleu	0.5 m
2014	Rouge + Vert + Bleu + Infrarouge	0.5 m

2.2.2. Données climatologiques

Pour étudier l'influence du climat sur l'évolution paysagère, plusieurs variables extraites des simulations du climat entre 1951 et 2005 réalisées par Météo France, l'Institut Pierre Simon Laplace et le CERFACS sont exploitées. On dispose ainsi, pour chaque jour entre le 1er Janvier 1951 et le 31 Décembre 2005, de températures (en K), de précipitations totales (en $kg/m^2/s$), et de la vitesse des vents (en m/s).

2.2.3. Données démographiques et historiques

Pour étudier l'influence de la démographie sur l'évolution paysagère, les recensements de population effectués par l'INSEE tous les 5 à 9 ans entre 1968 et 2007 sur la commune du Vivier-sur-Mer ainsi que les taux de variation de la population – solde naturel et migratoire – entre chaque relevé sont utilisés. D'autres informations sur la démographie, ainsi que sur l'aménagement progressif du port sont extraites de travaux sur l'histoire du Vivier-sur-Mer.

2.3. Méthodes

2.3.1. Préparation des imageries aériennes

Dix orthomosaïques sont générées à partir des images de chaque campagne *via* le logiciel Metashape. Elles sont ensuite géoréférencées sur la base de l'Ortholittorale V2 (2013-2014) et découpées selon l'emprise de la zone d'étude (logiciel ENVI).

Pour assurer une continuité dans les données employées, une bande panchromatique composite est calculée en sommant les informations des bandes rouge, verte et bleue pour les dates de 2002 et 2014. Toutes les images sont ensuite

ré-échantillonnées à 1 mètre de résolution spatiale, moyenne raisonnable pour détecter les objets socio-écologiques à très haute résolution spatiale afin de suivre leur dynamique, avec la méthode du plus proche voisin (logiciel ENVI).

2.3.2. Cartographie de l'occupation du sol

Une cartographie de l'occupation du sol est ensuite produite à partir de chaque image. Pour cela, une classification par maximum de vraisemblance est effectuée sur une combinaison de 8 attributs de texture obtenus par l'application de filtres sur l'image panchromatique. En effet, la bande panchromatique seule ne suffit pas à distinguer les différentes occupations du sol efficacement. La variance, l'homogénéité, le contraste, la dissimilarité, l'entropie, le moment d'ordre 2, la corrélation, et la valeur moyenne sont donc calculés pour multiplier l'information disponible pour le classifieur. La détection obtenue est ensuite corrigée localement par photo-interprétation, pour éliminer la confusion persistant entre les classes dont la signature spectrale est très proche sur les images panchromatiques anciennes.

Les classes définies pour la classification correspondent aux types d'occupation du sol cartographiés : pré salé, sédiments vaseux, sédiments coquilliers, bâti, routes et chemins, arbustive et arborescente, champs (pelouses et cultures), sol nu, eau.

2.3.3. Création de séries temporelles d'occupation du sol

La surface de chacune des classes est calculée pour chaque date à partir de la carte correspondante, afin d'obtenir des séries temporelles de surface.

Pour certains types d'occupation, il est nécessaire de disposer d'une série de valeurs annuelles sur tout l'intervalle de 1947 à 2014. Des interpolations sont donc réalisées en ajustant une courbe de tendance issue de modèles statistiques aux observations. Pour le pré salé et le bâti, les interpolations sont faites avec un polynôme de degré 4. La somme des surfaces des champs et des arbres ainsi que la classe « routes/chemins » sont interpolées linéairement. A chaque fois, le modèle retenu pour l'interpolation – polynômial ou linéaire – est celui pour lequel la valeur du coefficient de Pearson obtenu était la plus élevée.

L'eau présente dans la scène ne représente que les lagunes et bassins portuaires créés progressivement au fil du développement du port. Les valeurs intermédiaires sont ainsi ajustées en fonction des connaissances de l'histoire de l'aménagement du port.

2.3.4. Création de séries temporelles climatologiques et démographiques

Les données climatiques sont moyennées annuellement pour obtenir une série d'une valeur par an pour chaque paramètre entre 1951 et 2005.

Les recensements de l'INSEE ne renseignent la population qu'à certaines dates. A partir des données d'évolution démographique, la population est estimée entre 1968 et 2014. Pour les dates antérieures, des données historiques sur la population du Vivier-sur-Mer en 1936, 1957, 1962, 1965 et 1967 sont utilisées et reliées par des valeurs interpolées linéairement.

2.3.5. Création de séries temporelles de statistiques paysagères

Outre la surface de chaque occupation du sol identifiée, l'indice de Shannon est employé pour évaluer la diversité paysagère. Cet indice est défini comme suit :

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

Où H' est l'indice de diversité de Shannon, S le nombre de classes dans la scène et p_i la proportion de la classe i par rapport à l'ensemble des classes.

L'indice suivant quantifiant l'anthropisation du paysage sur la partie « terrestre » de la zone (excluant sédiments vaseux et coquilliers) est également utilisé :

$$A = \frac{Surface\ de\ sol\ artificiel}{Surface\ de\ sol\ naturel} \quad (2)$$

A est l'indice d'anthropisation. La surface de sol artificiel correspond à la somme des surfaces occupées par le bâti, les routes et chemins et l'eau (qui correspond aux bassins portuaires aménagés). La surface de sol naturel est quant à elle obtenue en additionnant les surfaces des champs, des arbres et arbustes, et du pré salé. Le sol nu n'est pas inclus car il est compliqué de caractériser sa présence comme un signe d'anthropisation ou non.

2.3.6. Modèles explicatifs à partir de régressions linéaires

Des régressions linéaires multiples sont réalisées pour tenter d'expliquer l'évolution de l'anthropisation du site d'étude et l'évolution de la surface du pré salé. Elles sont menées sur les données normalisées, afin de permettre la comparaison des coefficients de corrélation obtenus sans biais d'échelle.

3. Résultats

3.1. Cartes de l'occupation du sol pour chaque millésime

Les cartes obtenues par classification des 10 orthomosaïques sont présentées en Figure 2. 9 types d'objets sont distingués : les sédiments vaseux, les sédiments coquilliers, le pré salé, les routes et chemins, le bâti, le sol nu, l'eau, les champs (pelouses et cultures) et la végétation arborescente et arbustive.

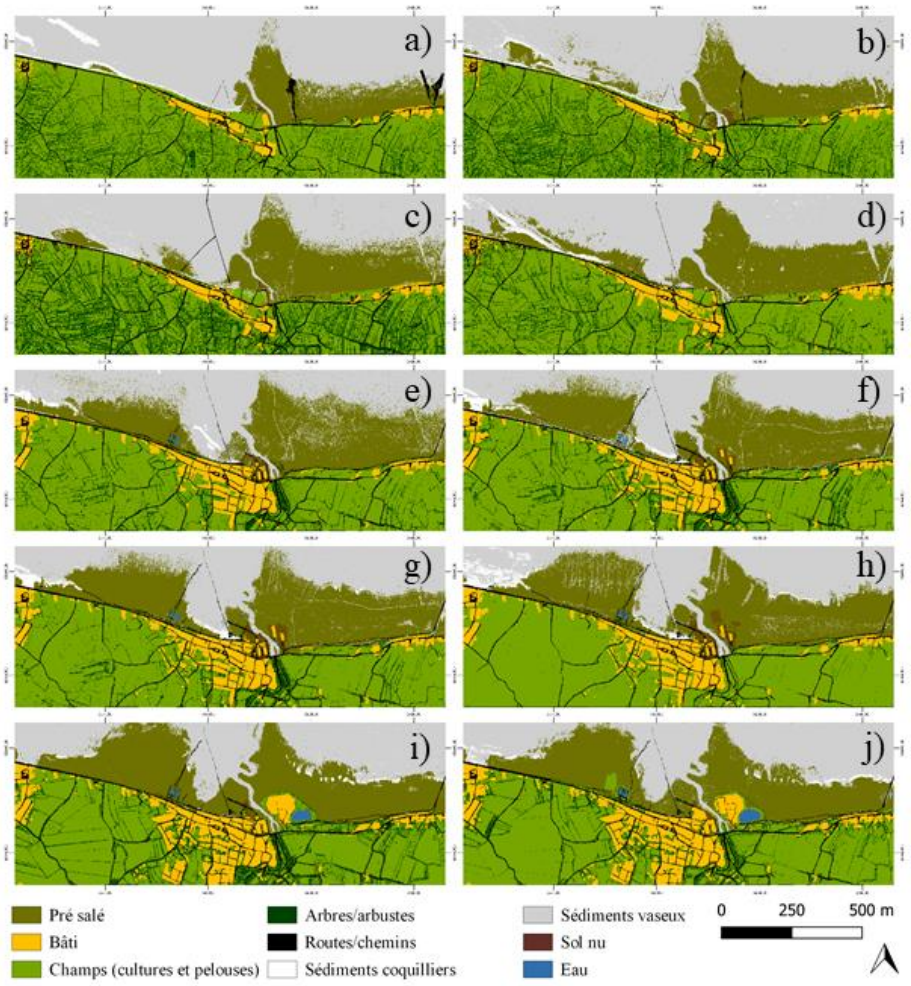


FIGURE 2. *Cartes de l'occupation du sol autour du Vivier Sur Mer de 1947 à 2014 : a)1947, b)1952, c)1961, d)1966, e)1978, f)1986, g)1989, h)1996, i)2002, j)2014*

3.2. Séries temporelles de l'évolution de la surface des différentes occupations du sol

Ces cartes permettent de dresser l'évolution de la surface des différentes catégories de sol présentée en Figure 3. Les valeurs s'étendent de 0 à 2 506 716 m².

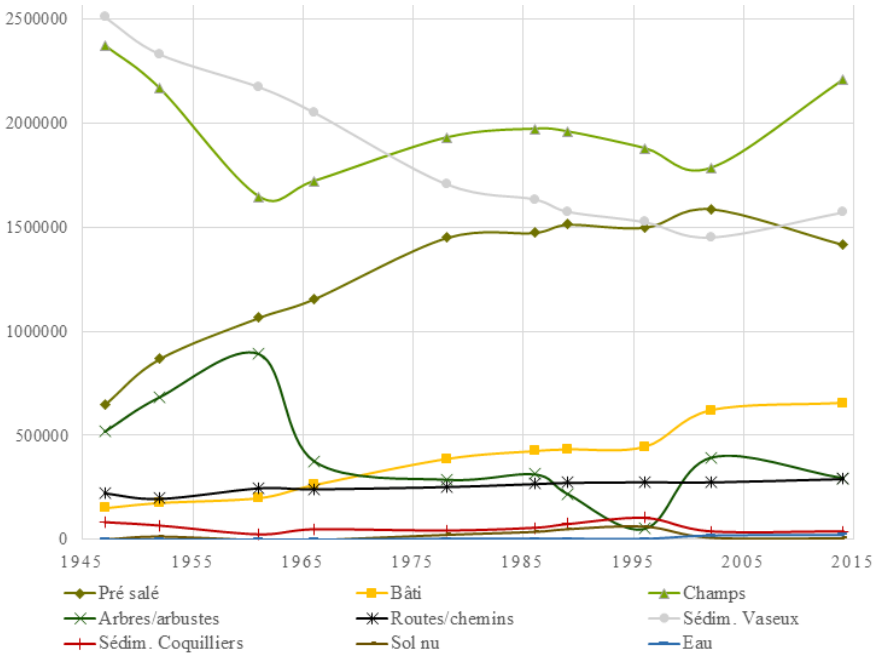


FIGURE 3. *Évolution de la surface des classes d'occupation du sol en mètres carrés de 1947 à 2014*

Les tendances d'évolution des classes principales sont présentées en Table 2.

TABLE 2. *Tendances d'évolution des classes d'occupation du sol de 1947 à 2014*

Sujet	Tendance	Coefficient de détermination
Pré salé (surface)	Positive (polynôme ordre 4)	0.98
Bâti (surface)	Positive (polynôme ordre 4)	0.97
Routes/chemins (surface)	Positive (linéaire)	0.83
Végétation (surface)	Négative (linéaire)	0.95
Diversité du paysage	Positive (polynôme ordre 2)	0.65
Anthropisation (indicateur)	Positive (polynôme ordre 4)	0.98

3.3. Modèles explicatifs de l'évolution socio-écologique

Les deux hypothèses testées s'avèrent pertinentes sur le plan statistique. L'hypothèse 1 est corroborée par le coefficient de corrélation de Pearson (évaluant

la pertinence du modèle) dont la valeur atteint 0.93 et par un coefficient de détermination R^2 (évaluant le pouvoir prédictif du modèle) de 0.87.

Pour l'hypothèse 2, le coefficient de corrélation de Pearson vaut 0.97 et le coefficient de détermination R^2 atteint 0.94. Celle-ci est donc également validée.

Les prédicteurs climatiques et démographiques n'ont pas tous le même impact sur l'anthropisation ou la surface du pré salé, comme l'illustre la Figure 4.

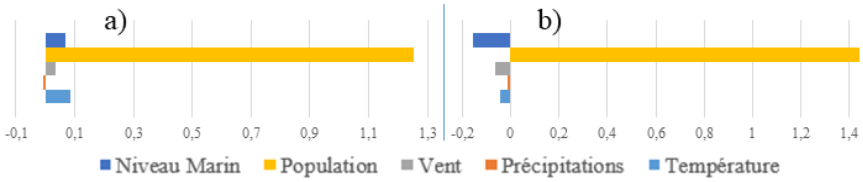


FIGURE 4. *Influence des prédicteurs sur l'anthropisation (a) et sur la surface de pré salé (b) (les valeurs présentées sont celles des coefficients de régression linéaire)*

Finalement, on trouve que l'anthropisation et la surface de pré salé peuvent être prédites avec les équations suivantes :

$$A = -0{,}10 + 1{,}26\ Pop + 0{,}08\ T + 0{,}07\ Nm + 0{,}03\ V - 0{,}006\ P \quad (3)$$

$$S_{pré\ salé} = 0{,}42 + 1{,}44\ Pop - 0{,}15\ Nm - 0{,}06\ V - 0{,}04\ T - 0{,}01\ P \quad (4)$$

Où A correspond à l'indice d'anthropisation à un instant donné, $S_{pré\ salé}$ à la surface de pré salé à un instant donné et Pop, T, Nm, V et P sont respectivement la population, la température, le niveau marin, la vitesse du vent et les précipitations à ce même instant.

4. Discussion

L'étude des séries temporelles de l'occupation du sol permet d'identifier les trajectoires d'évolution du socio-écosystème de la zone du Vivier-sur-Mer. Les cartes et les séries de surfaces obtenues montrent un changement radical du socio-écosystème. En deçà de la digue, on passe d'un bourg entouré d'un paysage bocager à une petite ville au bâti organisé (quartiers résidentiels à voirie curviligne, zone industrielle portuaire) entourée d'un *openfield*. Les séries temporelles corroborent cette observation : l'évolution de la surface des arbres et celle de la surface des champs sont symétriques. Lorsque les champs s'étendent, l'étendue des arbres et des haies diminue et inversement. L'augmentation significative de la surface bâtie traduit quant à elle le développement de l'activité portuaire et de la ville, et donc l'essor socio-économique à la suite de l'installation du port conchylicole.

Au-delà de la digue, le pré salé se développe : sa surface de 2014 représente plus du double de sa surface en 1947, témoignant d'un apport sous-jacent en sédiments important (Valéry et Radureau 2014).

Ces changements paysagers sont matérialisés par la croissance de la diversité du paysage, mais aussi et surtout par l'anthropisation, qui connaît une croissance polynomiale depuis 1947. Les résultats des régressions linéaires multiples montrent que l'anthropisation croissante et la progradation du pré salé sont la conséquence de forçages exercés par des paramètres exogènes sur le socio-écosystème. La pression anthropique – traduite par la croissance démographique – est le paramètre influençant le plus l'évolution du paysage. Ces résultats constituent non seulement un modèle prédictif rétrospectif mais aussi prédictif. Le coefficient de détermination élevé obtenu pour les deux modélisations laisse penser que l'évolution future du socio écosystème pourrait être modélisée à partir des projections climatiques du GIEC (*IPCC* 2018) et des projections de croissance démographique de l'INSEE ou des Nations Unies.

L'étude de l'interaction des composantes du socio-écosystème renseigne également sur les trajectoires d'évolution observables. Le graphique de la Figure 4 lie la surface du pré salé (en ordonnée) et celle du bâti (en abscisse). Les valeurs s'étendent de 151 551 pixels à 1 586 695 mètres carrés.

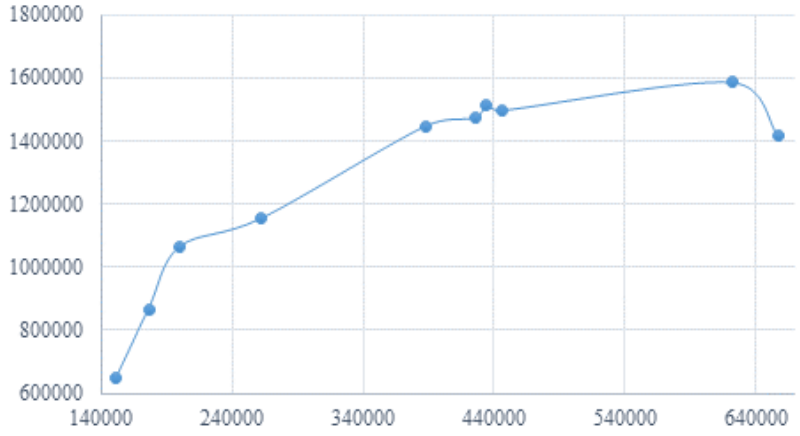


FIGURE 5. *Surface des prés salés en fonction de la surface du bâti en mètres carrés de 1947 à 2014*

L'étude de l'évolution de la surface du pré salé en fonction de celle du bâti – intrinsèquement liées comme le montrent les résultats des régressions – montre que le développement du bâti entraîne celui du pré salé, les courbes évoluant quasiment parallèlement entre 1960 et 2002. Ceci est cohérent, puisque l'artificialisation des sols change la dynamique d'écoulement des eaux, permettant un apport de sédiments au pré salé via le fleuve. Il semblerait toutefois qu'il existe un pallier d'augmentation du bâti au-delà duquel l'effet inverse se produit : depuis 2002, le

bâti continue d'augmenter mais le pré salé connaît un net recul. Ceci peut s'expliquer par l'invasion croissante du pré salé par les activités humaines : entre 2002 et 2014, les infrastructures portuaires s'agrandissent, grignotant toujours plus sur le pré salé, et la zone de pré salé défrichée pour des usages loisir à l'Ouest de la zone est plus étendue. Les facteurs naturels, matérialisés par une tempête en 2014, ont également un rôle-clé dans ce changement de trajectoire. Cependant, on peut supposer que cela laisse présager un changement d'état du pré salé, qui pourrait subir de manière plus marquée les forçages anthropiques (Folke *et al*. 2011).

Il pourrait être intéressant de pousser l'analyse de résilience du socio-écosystème plus loin, afin de mieux anticiper les changements à venir. Pour cela, une analyse de l'évolution des taux de croissance de chacune des classes pourrait être utile, et confirmerait peut-être l'arrivée d'une bifurcation dans la trajectoire d'évolution du pré salé (Scheffer 2010). Il serait également opportun d'exprimer statistiquement le phénomène de débocagisation observable par la simple observation des cartes. En effet, celui-ci a des conséquences évidentes sur le ruissellement des eaux et donc des sédiments terrestres vers le pré salé.

Finalement, l'étude montre que l'analyse des tendances d'évolution des différentes occupations du sol d'un socio-écosystème permet d'expliquer les dynamiques d'évolution des prés salés. Il est cependant important de noter que la méthode de classification retenue et le recours à une correction par photo-interprétation ont un impact sur la précision des valeurs de surfaces calculées. Si les données chiffrées pouvaient être précisées par une méthode de classification plus performante (ex., apprentissage profond, Letard *et al.* 2020), l'allure des séries temporelles obtenues permettrait toutefois bien d'envisager les trajectoires socio-écologiques rétrospectives et prospectives du site d'étude du Vivier-sur-Mer. Celui-ci semble se rapprocher d'une bifurcation dans son régime d'évolution : la pression anthropique, force motrice principale de la progradation du pré salé, pourrait avoir franchi un seuil et devenir un frein à celle-ci.

Bibliographie et références

Allen J.R.L. (2000). Morphodynamics of Holocene salt marshes : a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, vol. 18, n°12, p. 1155-1231.

Archer A.W. (2013). World's highest tides: Hypertidal coastal systems in North America, South America and Europe. *Sediment. Geol*., vol. 1, n°25, p. 284-285.

Barbier E., Hacker S.D., Kennedy C., Koch E.W, Stier A.C. *et al*. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, n°2, p. 169-193.

Bouchard V., Digaire F., Lefeuvre, J-C., Guillon L-M. (1995). Progression des marais salés à l'ouest du Mont-Saint-Michel entre 1984 et 1994. *Mappemonde*, vol. 4, p.28-34.

Deegan, L.A., Johnson D.S., Warren R.S., Peterson B.J., Fleeger J.W. *et al.* (2012). Coastal eutophication as a driver of salt marsh loss. *Nature*, vol. 490, n°7420, p. 388-392.

Détriché S., Susperregui A-S., Feunteun E., *et al.* (2011). Interannual (1995-2005) morphodynamic evolution of macro-tidal salt marshes in Mont-Saint-Michel Bay (France). *Continental Shelf Research,* vol. 3, n°6, p. 611-630.

Fagherazzi S., Marani M., Blum L.K. (2004). *The ecogeomorphology of tidal marshes*. American Geophysical Union, Washington.

Fagherazzi S., Kirwan M.L., Mudd S.M., Guntenspergen G.R, Termmerman S. *et al.* (2012). Numerical models of salt marsh evolution: ecological, geomorphic, and climatic factors. *Reviews of Geophysics,* vol. 50, n°1.

Folke C., Jansson A., Rockström J. *et al*. (2011). Reconnecting to the Biosphere. *AMBIO,* vol. 40, n°719.

Gedan K.B., Silliman B.R., Bertness M.D. (2009). Centuries of hulman-driven change in salt marsh ecosystems. *Annual Review of Marine Science,* vol.1, p.117-141.

IPCC (2018). *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, 1588 p.

Johnson B.J., Lovelock C.E., Herr D. (2018). Climate regulation: salt marshes and blue carbon. *The Wetland Book.* Springer, Dordrecht, p. 1-12.

Letard M., Collin A., Pastol Y. (2020). Improving mangrove and salt marsh mapping using superpixel-based deep classification of VHR superspectral satellite imagery and topobathymetric LiDAR data, *Sea Tech Week 2020, 12-15 Oct. 2020,* Brest.

McOwen C.J., Weatherdon L.V., Van Bochove J-W., Sullivan E., Blyth S. *et al.* (2017). A global map of saltmarshes. *Biodiversity Data Journal,* vol. 5.

Mury A., Collin A., Etienne S., Jeanson M. (2020). Wave attenuation service by intertidal coastal ecogeosystems in the Bay of Mont-Saint-Michel, France: Review and Meta-Analysis. *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change.* Proceedings of ICEC-2018, p. 555-572.

Scheffer M. (2010). Foreseeing tipping points. *Nature,* vol. 467, p. 411-412.

Townend I., Fletcher C., Knappen M., Rossington K. (2011). A review of salt marsh dynamics. *Water and Environment Journal,* vol. 25, p. 477-488.

Valéry A., Radureau, A. (2014). Evolution de la végétation des marais salés de la baie du Mont-Saint-Michel—Analyse cartographique 1984–2013. *Rapport Convention CREBS/Université de Rennes1/Conservatoire du Littoral/Inter-SAGE baie du Mont-Saint-Michel/Agence de l'Eau Seine-Normandie/Agence de l'eau Loire-Bretagne.* Rennes, France, 15p.

Wiberg P.L., Fagherazzi S., Kirwan M.L. (2020). Improving predictions of salt marsh evolution through better integration of data and models. *Annual Review of Marine Science,* vol. 12, n°1, p. 389-413.

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Island Press, Washington, DC.