



HAL
open science

Caractérisation des habitats ripariens et du contexte écopaysager d'un petit fleuve endigué : le cas de la basse vallée de la Dives, Calvados (France)

Gaëtan Jolly, Nicolas Robinet, Guy Lempérière, Yves Petit-Berghem

► To cite this version:

Gaëtan Jolly, Nicolas Robinet, Guy Lempérière, Yves Petit-Berghem. Caractérisation des habitats ripariens et du contexte écopaysager d'un petit fleuve endigué : le cas de la basse vallée de la Dives, Calvados (France). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2022, 17, pp.1-28. 10.4000/physio-geo.13042 . halshs-03578389

HAL Id: halshs-03578389

<https://shs.hal.science/halshs-03578389v1>

Submitted on 17 Feb 2022

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.

Physio-Géo

Géographie physique et environnement

Volume 17 | 2022

Varia 2022

Caractérisation des habitats ripariens et du contexte écopaysager d'un petit fleuve endigué : le cas de la basse vallée de la Dives, Calvados (France)

Characterization of the riparian habitats and the landscape structures of a small diked: the study of the low Dives valley, Calvados (France)

Gaëtan Jolly, Nicolas Robinet, Guy Lempérière et Yves Petit-Berghem



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/physio-geo/13042>

ISBN : 978-2-8218-0427-2

ISSN : 1958-573X

Éditeur

Claude Martin

Édition imprimée

Pagination : 1-28

Référence électronique

Gaëtan Jolly, Nicolas Robinet, Guy Lempérière et Yves Petit-Berghem, « Caractérisation des habitats ripariens et du contexte écopaysager d'un petit fleuve endigué : le cas de la basse vallée de la Dives, Calvados (France) », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 17 | 2022, mis en ligne le 08 janvier 2022, consulté le 08 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/13042>



Les contenus de *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

CARACTÉRISATION DES HABITATS RIPARIENS ET DU CONTEXTE ÉCOPAYSAGER D'UN PETIT FLEUVE ENDIGUÉ : LE CAS DE LA BASSE VALLÉE DE LA DIVES, CALVADOS (FRANCE)

Gaëtan JOLLY ⁽¹⁾, Nicolas ROBINET ⁽²⁾, Guy LEMPÉRIÈRE ⁽³⁾
et Yves PETIT-BERGHÈM ⁽³⁾

1 : Institut Universitaire Européen de la Mer, Technopôle Brest-Iroise, rue Dumont d'Urville, 29280 PLOUZANÉ. Courriel : jolly.gaetan@gmail.com

2 : UMR CNRS 5194 Pacte, Université Grenoble Alpes, Cermosem, 1064 chemin du Pradel, 07170 MIRABEL. Courriel : nicolas.robinet@univ-grenoble-alpes.fr

3 : Laboratoire de recherche en projet de paysage (Larep), École Nationale Supérieure de Paysage (ENSP), 10 rue Maréchal Joffre, 78000 VERSAILLES. Courriels : guy.lempriere@ird.fr ; y.petitberghem@ecole-paysage.fr

RÉSUMÉ : Dans le contexte du changement global, certaines zones littorales se retrouvent menacées par les risques d'inondation et de submersion à l'image du territoire des marais de la Dives (Calvados). Poldérisé depuis le XII^{ème} siècle, cet espace de 10000 hectares est traversé par un fleuve endigué du même nom, qui présente un état de délabrement global. Inquiets de cette situation, les acteurs locaux souhaitent bénéficier d'une expertise pour définir des stratégies d'adaptation. En s'inscrivant dans le programme de recherche DIGUES (Digues, Interactions, Gestion, Usages, Environnement et Scénarios) retenu par l'Agence Nationale de la Recherche (2019-2023), cette recherche exploratoire a pour but d'identifier les habitats présents sur les digues, afin de comprendre leurs processus évolutifs au sein d'un territoire à risque. L'usage croisé de relevés par drone et de transects écopaysagers détermine différents éléments perturbateurs impactant ces ouvrages de protection. En plus de proposer une nouvelle approche de suivi d'habitats, ces recherches permettent d'établir différents scénarios évolutifs des digues de la Dives, au cœur des enjeux du changement climatique.

MOTS-CLÉS : drone, digue, paysage, habitats, transects, indices, milieu littoral, changement climatique, stratégie de gestion territoriale, vallée de la Dives.

ABSTRACT : Characterization of the riparian habitats and the landscape structures of a small diked: the study of the low Dives valley, Calvados (France)

The marshes and coastal areas of the river Dives, Calvados (France), are threatened both by water and sea level rises, coastal floodings and submersions as consequences of the global and local climate changes. The river Dives crosses this dyked marshland which covers nearly 10000 ha and whose impoldering dates since the 12th century. Local stakeholders are much concerned by the global decay of the dikes and wish to benefit from the expertise of a national research program (National Research Agency 2019-2023 DIGUES for Dikes, Interactions, Management, Uses, Environment and Scenario) in order to identify potential adaptation strategies. This exploratory research program aims at identifying natural and man-made habitats that cover the dikes and giving a better understanding of the evolutionary processes of this at-risk territory. The use of drone surveys and of a transect method over the landscape help determine disturbing elements that could have an impact on these flood protection structures. In addition to this alternative approach of habitat monitoring, this research gives the opportunity to establish different trend scenarios for the dikes of the river Dives that represent a central challenge in climate change issues.

KEY-WORDS : drone, dike, landscape, habitats, transects, metrics, coastal environment, climate change, territorial management strategy, Dives valley.

I - INTRODUCTION

Longtemps considérée comme un objet technique de défense contre les eaux, la digue est aujourd'hui perçue selon un paradigme incorporant les usages et services, la nature et le paysage. Dans le contexte des changements globaux, la digue est amenée à se transformer et à faire face à un certain nombre de risques (liés aux aléas inondation, submersion, *etc.*) susceptibles de se manifester.

Le gouvernement français a procédé en 2018 au transfert de sa compétence de protection contre les inondations aux collectivités locales. Cela a conduit les autorités à penser de nouvelles manières de gérer ces ouvrages, en intégrant une multiplicité d'enjeux oscillant entre fermeture et ouverture, rehaussement et abaissement, artificialisation et renaturation, ce qui revient à considérer l'ensemble d'un territoire endigué (M.A. GERMAINE et R. BARRAUD, 2013 ; S. DOURNEL, 2020 ; S. PIOCH et J.C SOUCHE, 2021). C'est dans cette démarche que s'inscrit l'ANR DIGUES (Dignes, Interactions, Gestion, Usages, Environnement et Scénarios), qui a pour objectif de proposer différents scénarios relatifs au devenir des digues et d'en évaluer la faisabilité et l'acceptabilité (<https://anr.fr/Projet-ANR-18-CE03-0008>). Ce programme, qui se réfère au milieu fluvial (Loire, Marais Poitevin, Seine-et-Marne) et au milieu côtier (Dives, Veys, Authie), doit permettre, entre autres, de caractériser les évolutions possibles des systèmes d'endiguement et de déterminer des trajectoires envisageables dans un territoire. Celles-ci pourront prendre diverses orientations, souvent combinables, dans les domaines de la défense dure ou douce contre les eaux, de la gestion de la végétation, de la fréquentation et de la patrimonialisation.

Les marais de la Dives (Calvados) constituent l'un des sites retenus par ce programme. Ces marais d'eau douce forment une zone humide d'intérêt majeur. De nombreux ouvrages hydrauliques ont été mis en place pour gérer les niveaux d'eau, prévenir les inondations et assécher les marais pour la pratique de l'élevage (L. LESPEZ, 2012). En un millénaire, les digues sont devenues des éléments structurants du paysage. Celles-ci ont modelé et souligné les éléments linéaires de cet écosystème – ensemble et système d'écosystèmes (P. BLANDIN et M. LAMOTTE, 1985) – en générant des écosystèmes particuliers en bordure du fleuve. Cet espace fait l'objet d'enjeux de protection et de conservation, car ces infrastructures sont aujourd'hui vieillissantes. Les abords de la Dives se sont enfrichés, les fossés sédimentés et les digues détériorées, ce qui a entraîné la formation de brèches, provoquant ainsi une forte érosion des digues et des inondations dans les parcelles adjacentes (I. RIFAI, 2019). Cette érosion liée au mauvais état des digues est facilitée lorsque la végétation est dense ou dangereuse (présence d'espèces invasives). Cette situation interroge les acteurs locaux quant à l'avenir de leur territoire. Dénués de plan d'anticipation, ces derniers souhaitent comprendre la nature et la dynamique des processus en œuvre, repérer les habitats écologiques présents, et amorcer ou non une démarche de réhabilitation des digues et des systèmes de drainage des marais.

Pour répondre à cette attente, une expertise écopaysagère du site a été réalisée. La grande étendue du territoire d'étude (800 hectares) a contraint à focaliser la recherche sur la zone d'enjeux majeurs que sont les rives de la basse vallée de la Dives en bordure de son embouchure (soit 4 kilomètres linéaires). Cette première étape constitue une approche expérimentale permettant de tester la faisabilité et la pertinence d'une méthode de collecte de données relatives aux habitats des digues et ainsi d'évaluer sa mise en œuvre sur l'ensemble du site d'étude (Fig. 1).

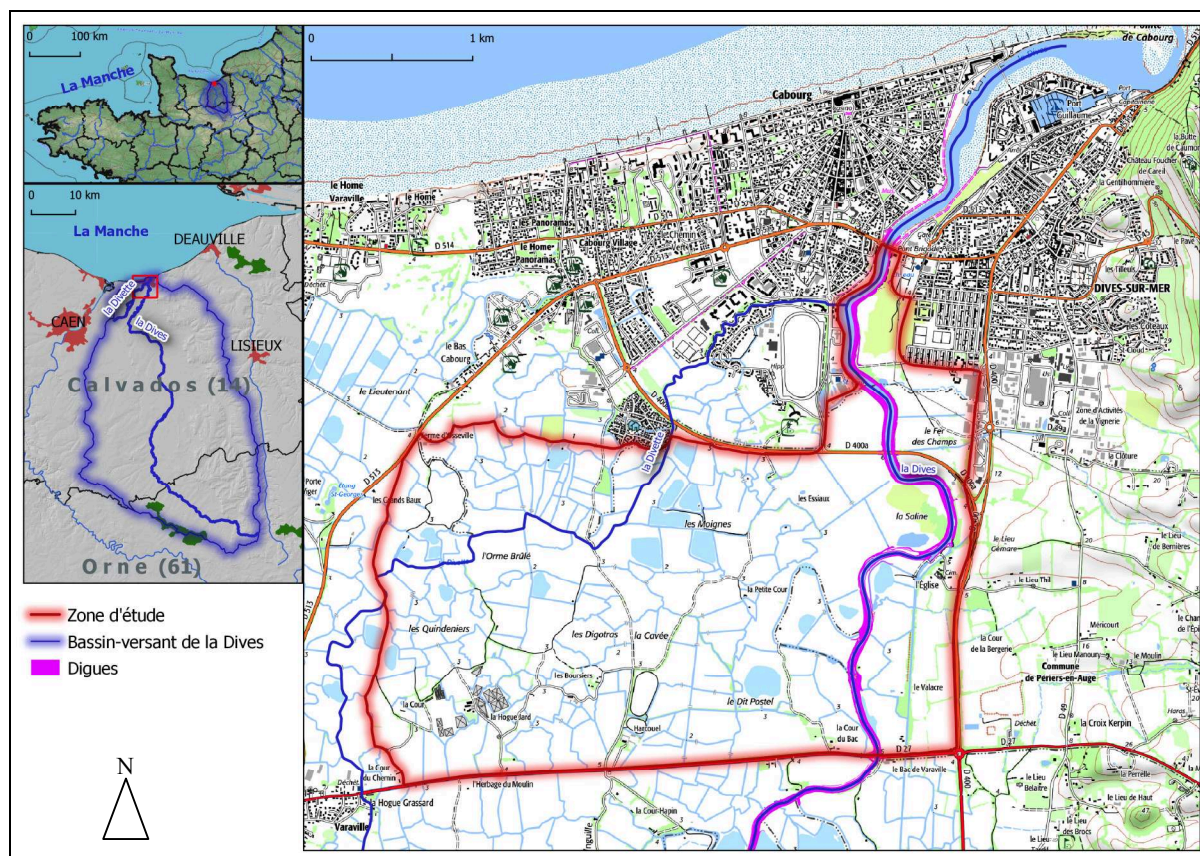


Figure 1 - Carte de localisation et de présentation du site d'étude.

Sources : IGN (BD TOPO, SCAN 25, ROUTE 120, crédits : IGN, 2020), EAUFRANCE SANDRE (BD TOPAGE, crédit : IGN et OFB, 2019) et Open Street Map (crédit : les contributeurs d'OpenStreetMap, 2020).

Aussi l'un des objectifs de cette recherche exploratoire a-t-il consisté à élaborer et tester une méthode de relevé des habitats présents sur la partie inférieure de la Dives. Pour y parvenir, un drone, couplé à des observations *in situ*, a été utilisé. On dispose ainsi d'un état des lieux précis des habitats des rives de la Dives permettant de spatialiser et d'étudier le fonctionnement écologique actuel de ce milieu. Parallèlement, la diversité écologique des paysages est analysée sur les deux rives du fleuve, en prenant en compte, à partir du terrain, l'état des digues sur l'ensemble du linéaire de 4 km. Ce travail permet de mettre en évidence des facteurs de risque susceptibles d'affecter la pérennité des ouvrages et la diversité écopaysagère. Enfin, dans le contexte du changement climatique, une approche prospective est conduite avec une proposition de scénarios d'évolution et de gestion de ces écosystèmes endigués (rupture des digues au niveau des brèches, inondations naturelles ou provoquées, modification de la végétation naturelle ou contrôle par des actions de gestion, présence de taches d'invasion, *etc.*).

In fine, la démarche s'inscrit dans une recherche opérationnelle, qui vise à fournir un ensemble de connaissances utiles aux acteurs confrontés à la difficulté d'évaluer des enjeux, d'arbitrer ou de faire les choix les plus efficaces dans le contexte d'un territoire à l'avenir incertain.

II - MATÉRIELS ET MÉTHODES

1) Un territoire d'étude vaste et difficile d'accès

Délimitée au nord par un cordon littoral urbanisé, la basse vallée de la Dives constitue un ensemble de marais et de fossés traversé par la rivière, endiguée depuis le XII^{ème} siècle. Ce site, au départ marécageux, a connu une mise en valeur progressive aboutissant aujourd'hui à un vaste marais endigué et contrôlé par l'homme (Fig. 2).

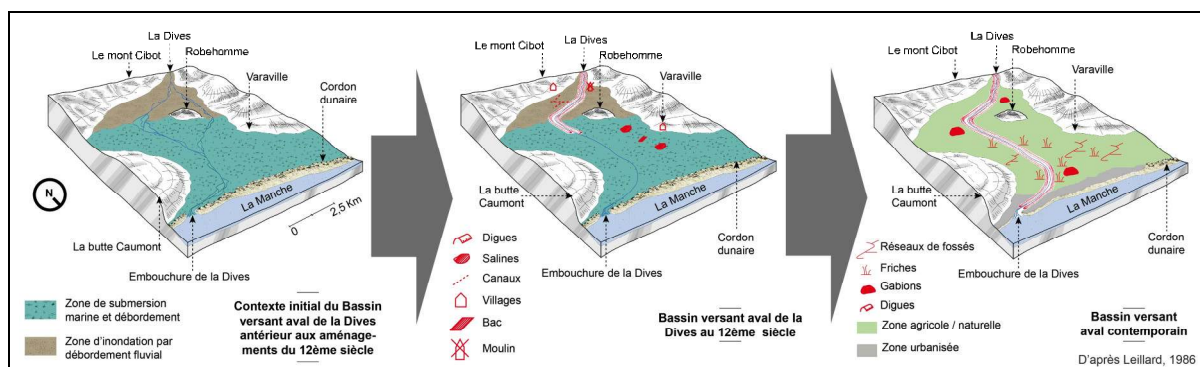


Figure 2 - Évolution des paysages de la partie inférieure du bassin versant de la Dives.

D'après P. LEILLARD (1986).

La gestion hydraulique, fondée sur un système complexe, est à l'origine de nombreuses pressions qui menacent fortement le potentiel écologique de ce milieu humide.

Bien des portions du linéaire des digues de la Dives sont situées dans des domaines privés. Ces digues de terre, parfois associées à des enrochements, contrastent avec les digues maçonnées et bétonnées du front de mer. La hauteur de crête moyenne par rapport au terrain naturel varie de 1 à 2 m, ce qui n'exclut pas un risque d'inondation par débordement fluvial et/ou par submersion marine. Aussi certains ouvrages ont-ils été renforcés et rehaussés, mais l'entretien des digues a été délaissé depuis une cinquantaine d'années.

Actuellement, les digues sont colonisées par une végétation haute, rendant la prospection sur site difficile. Cette situation écarte l'emploi des méthodes terrestres de relevés de végétation et d'habitats, à l'exemple d'un échantillonnage de type Braun-Blanquet (L. DELASSUS, 2015). Nous avons ainsi mobilisé différents moyens pour élaborer une méthode de relevé non invasif et non destructif, permettant de cartographier les habitats des deux rives, notamment à l'aide d'un drone (C. AULER *et al.*, 2019).

2) Méthode et outils

Les dimensions du territoire étudié sont abordées à l'échelle des digues de la basse vallée de la Dives. En complément des expertises naturalistes déjà réalisées (AE SN, 2009 ; X. MONTAIGU et M. DEFLANDRE, 2013 ; J.R. SAVINI, 2021), nous utilisons une approche écopaysagère, afin de qualifier les habitats et d'analyser l'écosystème dans sa globalité.

Si l'on se réfère aux concepts d'écologie du paysage et aux attentes du projet, il est important de mettre en œuvre une méthode appuyée sur des informations variées, dont la combinaison permette d'appréhender la configuration du territoire et d'élaborer ensuite des scénarios d'évolution de l'espace. En conséquence, celle que nous avons appliquée associe différentes sources de données. Un survol de la zone par drone a permis d'obtenir des clichés des berges à haute précision (F. MADROLLES *et al.*, 2013). Les données ainsi collectées ont été affinées grâce aux observations *in situ* effectuées lors d'un parcours aquatique permettant d'identifier certains habitats difficilement accessibles par voie terrestre. La production d'une cartographie fine des habitats des digues de la Dives permet ainsi de caractériser le contexte écopaysager de ce site, notamment en termes d'hétérogénéité et de fragmentation.

a. Relevés aéroportés : acquisition de données à l'aide d'un drone

Deux missions de survol aéroporté ont été réalisées entre juin et juillet 2020. Elles ont permis de couvrir une surface d'environ 47 ha (Fig. 3). 20 km ont ainsi été parcourus en 1h52' pour la réalisation de 2032 clichés (images géolocalisées haute définition, formats JPG et DNG) ainsi que 3 vidéos. Après traitement, le volume de données couvre environ 170 Go.

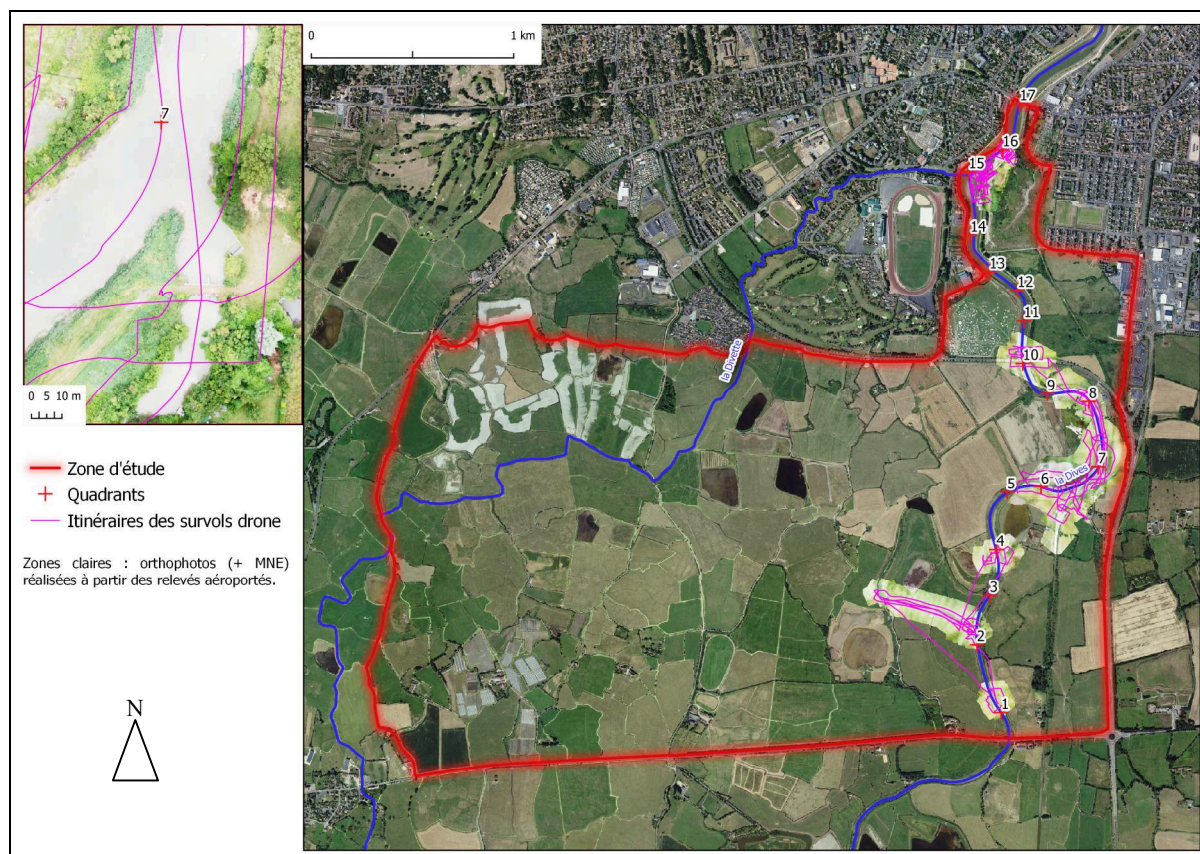


Figure 3 - Carte des points d'échantillonnage numérotés (quadrants), avec itinéraires et zones couvertes (en clair sur la carte) des survols par drone (mission de terrain juin et juillet 2020).

Sources extérieures : IGN (BD TOPO 2020, ORTHO HR 2016, crédits : IGN), EAUFRAANCE SANDRE (BD TOPAGE, crédit : IGN et OFB, 2019).

Source interne (images drone) : N. ROBINET, 2020.

Le modèle de drone utilisé est un DJI Mavic Pro (Capteur : 1/2.3" (CMOS), nombre de pixels effectifs : 12,35 M, nombre total de pixels : 12,71 M) avec un objectif FOV 78,8° 26 mm (35 mm format équivalent f/2.2). Les logiciels de programmation et de contrôle des vols utilisés sont Map Pilot V4.1.12 et DJI GO 4.

Traitement et analyse des données ont été effectués avec les logiciels Agisoft Metashape (photogrammétrie) et QGis 3.10. Le traitement des images par photogrammétrie a permis la réalisation d'orthomosaïques et de modèles numériques d'élévation (MNE) – ou Modèle Numérique de Surface (MNS) – (résolution / précision : 0,8 cm ; projection cartographique : RGF93 / Lambert 93). À partir de ces données, la caractérisation des habitats et de la végétation est réalisée par photo-interprétation et le MNE a permis d'identifier les ruptures de pente, l'exposition et la présence de fossés, ainsi que de réaliser des profils altimétriques (Fig. 4). Cette technique a déjà été utilisée pour caractériser des bandes riveraines de cours d'eau en contextes géographiques variés (A. ALBER et H. PIÉGAY, 2011 ; A. MICHEZ et F. HENROTEY, 2014 ; J. LEJOT *et al.* 2016 ; M. LASLIER, 2018 ; A. LOCQUET et C. CLAUZEL, 2018).



Figure 4 - Résultats du traitement des images drone (orthophoto, modèle numérique d'élévation et numérisation des habitats) et comparaison avec les produits de l'IGN.

Source extérieure : IGN (crédits IGN, 2016, 2020).

Source interne (images drone) : N. ROBINET, 2020.

Au vu de la surface importante à couvrir (4 km linéaires, soit environ 20 hectares en ne prenant en compte que la surface couverte par les digues), le choix a été fait de ne pas survoler en drone l'ensemble du site, mais de se focaliser sur certaines zones concentrant les

habitats principaux du paysage. L'intégralité du linéaire de la rivière et des berges ne pouvant être couvert, les secteurs présentant un intérêt majeur ont été identifiés. Ils avaient été repérés et sélectionnés au préalable par les membres du projet ANR DIGUES en recoupant plusieurs sources d'information (bibliographie, données fournies par les gestionnaires et les acteurs ayant une bonne connaissance du site : associations locales, naturalistes, Conservatoire du Littoral, Conservatoire Botanique National de Brest) et à partir d'une reconnaissance de terrain et de l'analyse des photographies aériennes du site (S. LIÉNARD et P. CLERGEAU, 2011 ; L. HUBERT-MOY, 2012 ; X. MONTAIGU et M. DEFLANDRE, 2013 ; M. VITTER et C. JACQUEMINET, 2017). Ces secteurs permettent d'avoir une connaissance fine des habitats. Les zones non couvertes sont comblées par photo-interprétation à partir des orthophotos haute résolution IGN de 2016 (résolution : 20 cm) et par des relevés de terrain à partir du lit de la rivière. Cette méthode est couramment utilisée dans des études de terrain, notamment celles étudiant l'occupation du sol, lorsqu'il faut combiner plusieurs sources de données de natures différentes (G. COSTE *et al.* 2015 ; B. HORTOBAGYI *et al.*, 2015).

b. Relevés *in situ* par transects et profils

Un parcours aquatique le long des 4 km de la Dives entre les routes départementales D 27 (en amont) et D 513 (en aval) a permis de réaliser un transect utilisant une méthode dite du quadrant par Point Centré (PCQM) ou Point-Centered Quarter Method, méthode validée mathématiquement par M. MORISITA (1954). Masaaki MORISITA a développé un indice de chevauchement ou de dispersion, qui est une mesure statistique de la dispersion spatiale des éléments dans une population, ici d'habitats dans l'écosystème. Il est basé sur l'hypothèse que l'augmentation de la taille des échantillons accroîtra la diversité du fait qu'il inclura une plus grande variété d'habitats. Il est également utilisé pour comparer le chevauchement entre les échantillons. Il s'agit d'une mesure développée et utilisée pour l'échantillonnage de la végétation terrestre (G. COTTAM et J.T. CURTIS, 1956 ; R.L. DIX, 1961 ; W.T. PENFOUND, 1963 ; A. HEYTING, 1968 ; P.G. RISSER et P.H. ZEDLER, 1968 ; D. MARAGE *et al.*, 2008 ; D. VALLAURI *et al.*, 2010), mais aussi de populations animales (G. LEMPÉRIÈRE *et al.*, 2019 ; D. MARAGE *et al.*, à paraître), et qui a été adaptée récemment aux boisements alluviaux (B. FRITSCH et C. HAESSLER, 2017). Elle a été modifiée ici dans le but d'échantillonner *in situ* les différents habitats le long de la Dives sur le parcours aquatique de 4 km en 17 points d'échantillonnage (Fig. 4 et 5). La nature des habitats a été déterminée dans chaque quadrant à partir de chaque point central pour la rive droite (quadrants 2 et 4) et la rive gauche (quadrants 1 et 3). Cette technique est utilisée pour estimer la surface des différents types d'habitats ou d'objets naturels. Couplée aux relevés aéroportés, elle a permis de déterminer les limites des différents habitats classés selon la nomenclature Corine Biotope (2015), leur taille, leur densité, la fréquence de leur répartition et leur arrangement spatial contagieux ou aléatoire.

c. Cartographie des habitats et indices paysagers de la Dives

La numérisation des habitats sous forme de polygones a été réalisée par photo-interprétation à partir des orthophotos issues des relevés drone et des orthophotos haute résolution (0,20 cm) de l'IGN (BD ORTHO HR 2016) et validée par les observations *in situ* (parcours aquatique et piéton).

Cet ensemble de relevés permet d'établir une carte des habitats à une définition scalaire précise et de réaliser des calculs d'indices caractérisant les diversités bêta (renouvellement d'habitats entre deux points d'échantillonnage) et delta (similitude des paysages entre les deux rives). Nous utilisons pour cela les indices de Jaccard (F. DE BELLO *et al.*, 2007), de Sørensen (T. SØRENSEN, 1948) et de Shannon (F. BUREL et J. BAUDRY, 1999), ainsi que l'indice de cohésion (E.J. GUSTAFSON, 1998).

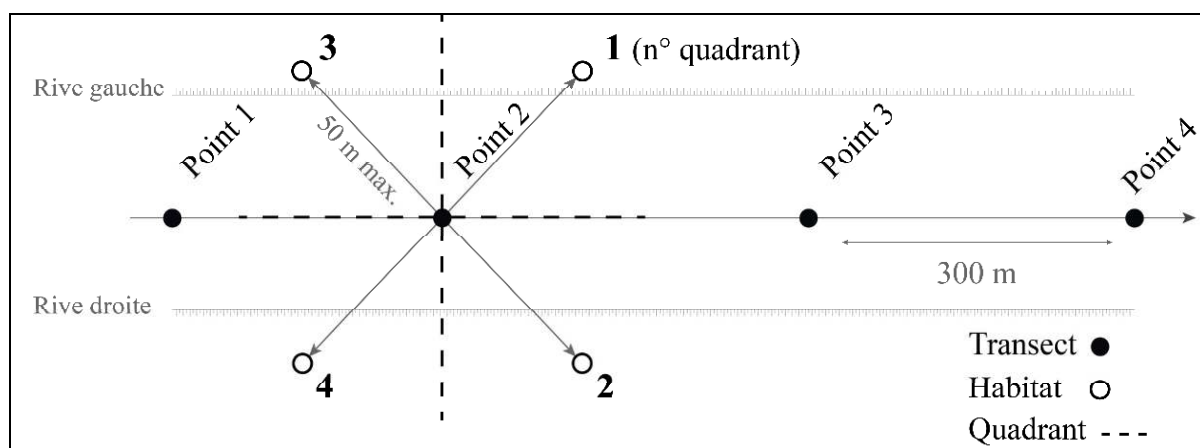


Figure 5 - Schéma de la méthode PCQM utilisée, d'après D. MARAGE *et al.* (2008).

L'indice de Jaccard a été adapté pour permettre de calculer le nombre d'habitats présents en rive gauche, le nombre d'habitats présents en rive droite et celui commun aux deux rives. Il varie entre 0 et 1. L'indice de Sørensen est un indice de similarité, proche de l'indice de Jaccard, qui pondère le terme de cooccurrence. Il varie également de 0 à 1 et a été calculé à partir des comparaisons entre quadrants pour chaque rive. Il permet de visualiser les zones de transition entre habitats et constitue un complément à la cartographie des habitats.

L'indice de Shannon est très faiblement corrélé avec la taille des échantillons ; c'est une condition indispensable pour une étude diachronique où le nombre et l'abondance des taches sont très variables. L'hétérogénéité est minimale lorsque toutes les taches appartiennent à la même classe. L'indice de Shannon est alors nul (on est en présence d'un paysage homogène). Plus l'indice de Shannon est élevé, plus les taches sont diverses et nombreuses.

L'indice de cohésion traduit la diversité du paysage avec une valeur croissante indiquant une diversité de plus en plus grande ; le nombre de taches permet quant à lui de compter le nombre d'unités présentes. Cet indice, exprimé en %, traduit le morcellement du paysage : plus le nombre d'unités est élevé et plus le morcellement est important (Tab. I). Ces deux derniers indices permettent de visualiser l'arrangement spatial de la mosaïque paysagère et le caractère contagieux ou aléatoire de la répartition des habitats.

Tableau I - Mosaïque paysagère et valeurs de l'indice de cohésion.

Code Corine Biotopes	Description	Surfaces (m ²)			Nombre de taches			Indice de cohésion		
		Rive droite	Rive gauche	Ensemble	Rive droite	Rive gauche	Ensemble	Rive droite	Rive gauche	Ensemble
15.62	Fourrés des marais salés atlantiques, <i>Halimion portucaloidis</i>	5717,9	5435,1	11153,0	93	53	146	9,6	9,6	9,6
87.1	Enrochements	3865,8	607,0	4472,8	57	6	63	9,1	9,0	9,1
87.2	Zones rudérales	195,0	1789,9	1984,9	1	2	3	9,3	9,7	9,6
15.33	Communautés du schorre supérieur	11089,8	25754,5	36844,3	40	17	57	9,7	9,8	9,8
84.3	Petits bois, bosquets	119,7	276,2	396,0	2	17	19	8,7	8,0	8,3
44.1	Formations riveraines de saules	18,1	211,1	229,2	1	1	2	7,6	9,3	9,2
83.331	Plantations de peupliers	19549,6	909,9	20459,5	32	3	35	9,7	9,5	9,7
53.11	Roselière à Phragmites australis, phragmitaie	15257,0	8683,9	23941,0	32	16	48	9,7	9,7	9,7
87	Terrains en friche et terrains vagues	491,3	43,4	534,6	1	2	3	9,5	4,2	9,5
87.2+84.3	Zones rudérales mélangées à petits bois, bosquets	9923,5	13113,8	23037,3	33	24	57	9,8	9,8	9,8
Total :		66227,7	56824,8	123052,5	292	141	433			

L'ensemble du travail de cartographie a été réalisé à l'aide du logiciel QGIS. Les surfaces ont été mesurées à partir des polygones numérisés. Les indices de Shannon, de cohésion et le nombre de taches ont été calculés automatiquement grâce à l'extension Lecos dans QGIS, à partir d'une rasterisation des habitats avec une résolution de un mètre. Ces calculs ont été effectués sur l'ensemble des habitats, puis une rive après l'autre.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

1) Principaux résultats

Les termes utilisés se réfèrent à la nomenclature Corine Biotopes et au vocabulaire utilisé en écologie. En écologie du paysage, la structure spatiale d'un paysage est considérée comme une mosaïque composée de plusieurs éléments fondamentaux. La matrice constitue la partie la plus étendue du paysage, celle qui va contenir les autres éléments ; la tache est un élément discret, non linéaire, différent, par sa nature, de la matrice qui l'englobe. Le corridor est un élément strictement linéaire, là encore différent, par sa nature, de la matrice qui le contient. Les habitats répertoriés et échantillonnés le long des berges des 4 km de la partie inférieure du cours d'eau forment la mosaïque paysagère de ce linéaire (voir Tab. I ; Fig. 6). Au nombre de dix, hormis le cours d'eau, ils occupent une superficie de 12 ha. Nos relevés confirment les résultats d'études antérieures sur l'ensemble du bassin versant de la Dives (AE SN, 2009 ; X. MONTAIGU et M. DEFLANDRE, 2013 ; J.R. SAVINI, 2021).

Les habitats de la rive gauche de la Dives couvrent 56824 m², structurés en 141 taches. La matrice est constituée par les communautés du schorre supérieur (15.33, 17 taches, surface totale : 25754 m²). Les taches les plus importantes sont constituées par les zones rudérales seules ou mélangées à de petits bois et bosquets (87.2 et 84.3+87.2, 26 taches, surface totale : 14903 m²), les roselières (53.11, 16 taches, surface totale : 8683 m²) et les fourrés des marais salés atlantiques (15.62, 53 taches, surface totale : 5435 m²). Ce paysage est caractérisé par une fragmentation importante.

Les habitats de la rive droite couvrent 66227 m², structurés en 292 taches, dominés par les plantations de peupliers (83.321, 32 taches, surface totale : 19549 m²), puis par les zones à roselières (53.11, 32 taches, surface totale : 15257 m²), les communautés du schorre supérieur (15.33, 40 taches, surface totale : 11089 m²) et les zones rudérales seules ou mélangées à de petits bois et bosquets (87.2 et 84.3+87.2, 34 taches, surface totale : 10118 m²).

Un indice de Jaccard adapté aux relevés d'habitats le long des digues de la Dives permet d'apprécier et de quantifier la similarité des habitats des deux rives sur les 17 points d'échantillonnage. Les valeurs trouvées varient de 0,25 à 1. Sept sont inférieures à 0,4 (points 1, 2, 9, 13, 14, 16, 17) ; elles correspondent à des zones de rive gauche et de rive droite présentant peu, voire très peu, de similarité. Les points pour lesquels les valeurs sont supérieures à 0,6 (points 3, 8, 10 à 12, 15) correspondent, quant à eux, à des zones de rive droite et de rive gauche montrant une similarité moyenne, à savoir partageant des habitats du schorre supérieur et des fourrés des marais salés atlantiques, comme l'indique la répartition des habitats sur les deux rives (voir Annexe 1).

Les indices de Sørensen appliqués aux habitats des deux rives (diversité bêta) confirment cette tendance, avec des paysages aux habitats différents entre les deux rives, notamment en partie inférieure du cours d'eau : en rive droite, on observe des enrochements, qui favorisent

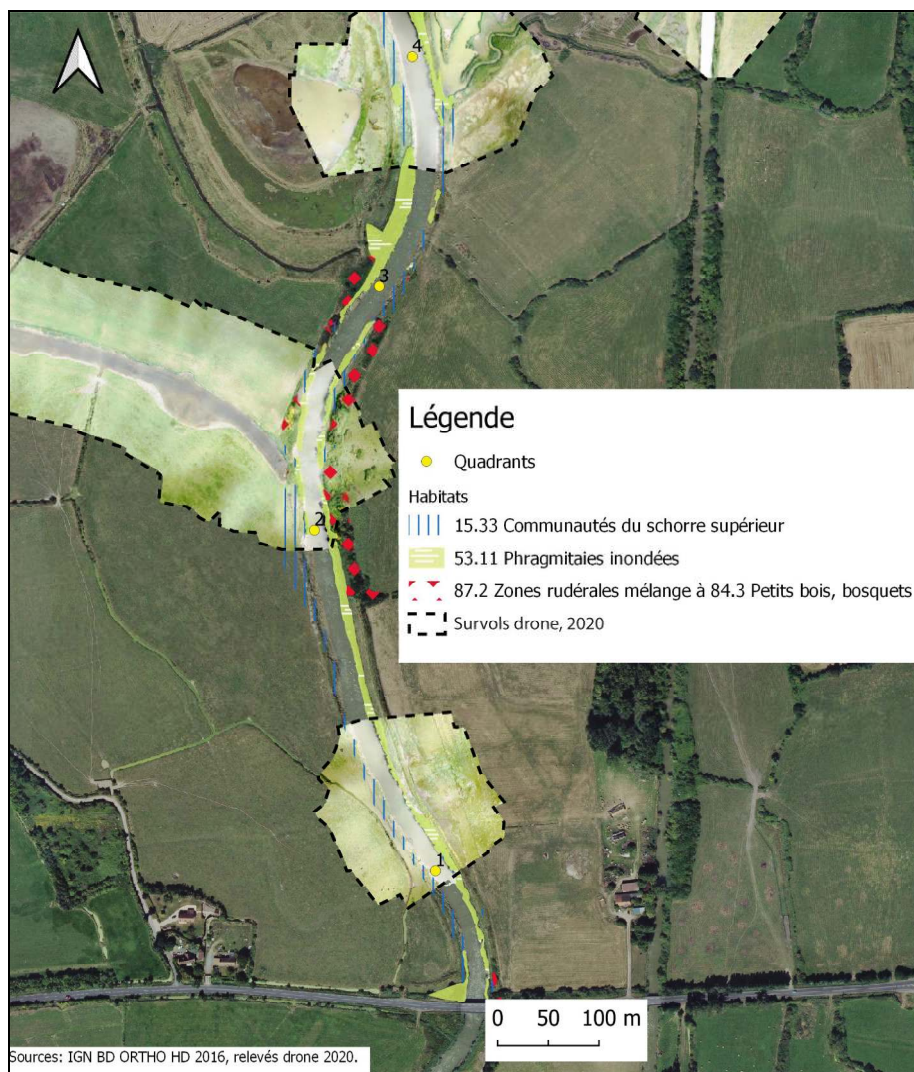


Figure 6 - Extrait de la carte des habitats.

Source extérieure : IGN (crédit IGN, 2016).

l'installation d'espèces pionnières et d'invasives, et des plantations de peupliers, alors qu'en rive gauche, ce sont essentiellement des milieux ouverts où prédominent des communautés du schorre supérieur fortement influencées par le régime des marées et les hauteurs d'étiage de la Dives (Photos 1 et 2). L'hétérogénéité horizontale qui en résulte se traduit par la présence de sept zones distinctes en rive droite comme confirmé par les indices de Sørensen et de onze zones disjointes en rive gauche (voir Annexe 1), ce qui indique une fragmentation accrue des habitats de cette rive alors qu'il existe un relatif *continuum* en rive droite.

Les valeurs des indices de Shannon indiquent une hétérogénéité plus élevée pour la rive droite ($H = 1,67$) en comparaison de la rive gauche ($H = 1,44$) et viennent confirmer les résultats obtenus à partir des indices mentionnés ci-dessus.

Les cartes produites à partir des indices de cohésion et du nombre de taches montrent également une fragmentation importante sur les deux rives, comme mentionné précédemment (voir Tab. I), avec la présence de taches d'invasion, deux de renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) en rive droite et quatre de buddléia (*Buddleia sp.*) en rive gauche (Fig. 7).



Photo 1 - Variété écopaysagère des rives de la Dives. [cliché : auteurs, 2020]

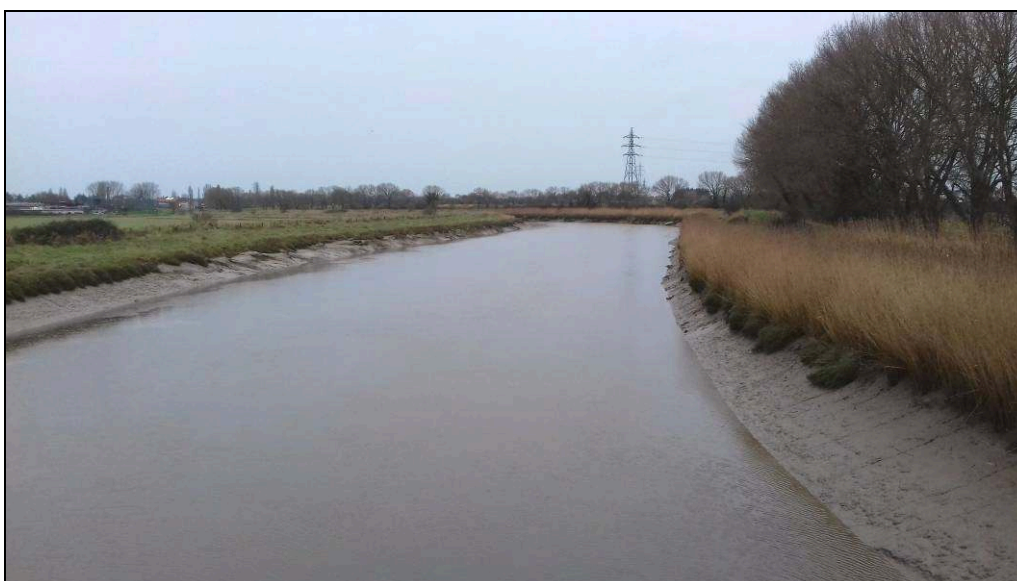


Photo 2 - Variété écopaysagère de la Dives à proximité de son embouchure, avec une différence marquée entre les rives. [cliché : auteurs, 2020]

La rive gauche, colonisée par le schorre supérieur, contraste avec la rive droite, caractérisée par la phragmitaie et la végétation ligneuse.

On peut noter également une différence amont-aval depuis le point d'échantillonnage n° 10 (pont de la départementale D 400a) liée à des interventions d'origine anthropique (zones urbanisées, station d'épuration en rive gauche, ancienne décharge en rive droite). En aval de

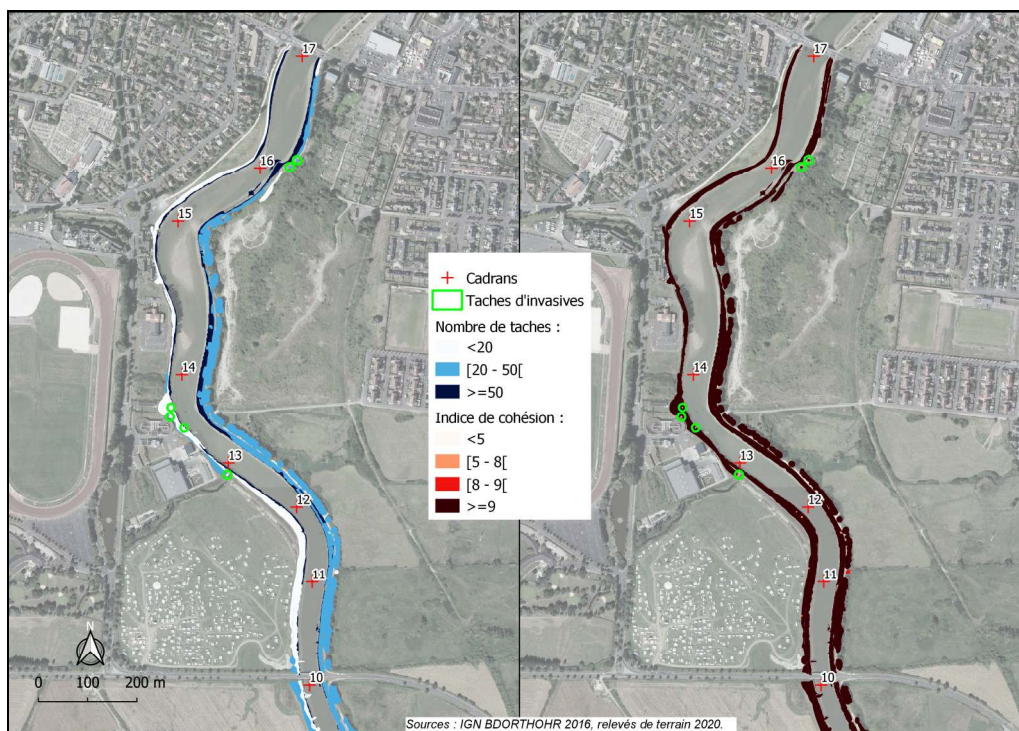


Figure 7 - Cartes du nombre de taches et de l'indice de cohésion par habitat en partie inférieure de la Dives (points d'échantillonnage 10 à 17).

Source extérieure : IGN (crédit IGN, 2016).

ce point, la rive droite présente une plus forte fragmentation que la rive gauche, comme l'indiquent le nombre de taches et les faibles valeurs des indices de cohésion (4,22 à 9,84 pour la rive gauche et 7,63 à 9,80 pour la rive droite – voir Tab. I et Annexe 1).

Ces disparités entre les deux rives et de l'amont vers l'aval s'expliquent en grande partie par l'usage des sols de part et d'autre de la rivière. En partie amont (de la départementale D 27 à 500 mètres en aval du pont de la départementale D 400a), se trouvent des zones de pâturage extensif. Les digues portant les chemins de halage ont été abandonnées, ce qui a conduit à leur enrichissement progressif. Des brèches, réparties tout au long de la rivière et dont profitent les bovins pour venir s'abreuver, participent à la détérioration des digues.

En partie aval, jusqu'au pont de la départementale D 513, les parcelles attenantes à la Dives sont urbanisées et les berges constituent des espaces publics. Elles sont encore surmontées par des sentiers de halage, ce qui a permis de conserver les digues (Photos 3 et 4) sur environ 2 km.

2) Discussion

a. Critique des méthodes de collecte des données et extrapolation

Le diagnostic que nous proposons repose sur une description précise des habitats présents sur les digues de la Dives à l'aide d'un survol par drone couplé à des observations de terrain. L'ensemble est ensuite relié, *via* un Système d'Information Géographique (SIG), pour constituer les données géoréférencées des éléments repérés. Les méthodes mises en œuvre présentent cependant des limites.



Photo 3 - Deux rives bordées de digues de terre végétalisées. [cliché : auteurs, 2020]



Photo 4 - Une digue de terre en bordure de la Dives. [cliché : auteurs, 2020]

Côté fleuve, le profil en pente douce offre des conditions propices au maintien d'une diversité d'habitats. Côté terre, la digue est marquée par la continuité de la bande boisée.

Concernant les relevés *in situ*, ceux-ci ont été réalisés à bord d'un canoë côté cours d'eau ; les habitats situés côté terre à l'arrière de la digue n'ont pas été observés. Le champ visuel étant restreint par les digues, on ne dispose alors que d'une perception partielle des habitats repérés.

Les apports et limites de l'usage d'un drone sont détaillés dans le tableau II. Outre les avantages cités plus hauts et les inconvénients déjà bien connus de cette technique de relevé (J. VIEIRA et L. VIEIRA, 2019 ; C. AULER *et al.*, 2019), nous avons expérimenté d'autres difficultés, principalement au niveau de la digitalisation des habitats naturels, du fait de la haute précision des images (détermination des limites et des seuils).

La cartographie des espaces non survolés par drone est ensuite réalisée à partir des orthophotos HR de l'IGN (d'une résolution de 20 cm) et par extrapolation à partir des observations de terrain et des données issues des relevés par drone. Toutefois cette différence entre les deux échelles spatiales a fait apparaître des difficultés pour différencier certains habitats, comme les zones rudérales de type 87.2 (code Corine Biotopes) ou les petits bois, bosquets (84.3). De plus, la différence temporelle entre les clichés de l'IGN de 2016 et les images du drone de 2020, nous interroge sur l'impact du temps écoulé entre les deux périodes, certains habitats présents en 2016 ne correspondant plus au contexte actuel (changement d'utilisation des sols, croissance ou disparition de la végétation, *etc.*). D'autre part, des zones ombragées rendent la photo-interprétation des habitats quasi impossible, ce que nous avons pu éviter avec le drone en prenant des photos à différentes heures de la journée.

Afin de pallier ces limites, le traitement des images à l'aide des outils de la télédétection (segmentation, par exemple) est à envisager en complément de la photo-interprétation. Les avantages pourraient être un gain de temps important en automatisant la génération des zones d'habitats et en évitant ainsi la phase de numérisation, très chronophage sur une zone très étendue. En revanche, les limites énoncées plus haut ne seraient pas résolues pour autant, et le coût des logiciels de traitement et les compétences techniques qu'ils requièrent sont des paramètres à prendre en compte.

Une approche complémentaire à plus long terme pourrait intégrer l'utilisation du Lidar, afin d'élaborer des profils des aménagements présents et anciens de ce secteur de digues (M. VENNETIER *et al.*, 2015). Cet outil, s'il était retenu, nécessiterait toutefois, comme la télédétection, de dégager de puissants moyens de traitement et d'analyse des données, mais également des moyens techniques et financiers supplémentaires pour équiper un drone. Un Lidar haute densité (HD) est en cours d'acquisition à l'échelle nationale par l'IGN ; il devrait être disponible à partir de 2022-2023 et constituera une bonne première base pour évaluer la pertinence et la complémentarité des deux méthodes.

b. La Digue : un enjeu environnemental majeur pour la Dives et ses marais

- Un corridor s'intégrant dans le paysage

L'approche écopaysagère permet d'intégrer l'objet digue au géosystème des marais de la Dives et donc de mieux comprendre les dynamiques d'interaction mêlant cet environnement aux usages qui y sont liés (C. BERTRAND et G. BERTRAND, 2000 ; L. LESPEZ *et al.*, 2010). La digue est en effet un élément structurant qui s'intègre dans le paysage environnant formé par une mosaïque plus ou moins accessible de prairies et de marais. À l'échelle de la Dives et de ses habitats rivulaires, ce sont les digues en terre qui offrent des conditions propices à l'installation d'une flore et d'une végétation particulières (Photos 5 et 6).

Si l'objectif initial de ces digues était d'empêcher l'érosion des berges et d'éviter l'intrusion des eaux marines, nous ne pouvons pas négliger la fonction écologique et le caractère patrimonial que ces ouvrages revêtent. Dans ce contexte, il paraît nécessaire de développer des réflexions

Tableau II - Apports et limites de la méthode de relevés par drone.

Apports	Limites	Réponses apportées et pistes d'amélioration
Gain de temps dans la prospection, réactivité	Anticipation des procédures d'autorisation de survol des parcelles privées à prévoir en amont des campagnes de relevés (avec possibilité de refus) et adaptation aux aléas météorologiques	Bonne connaissance des enjeux du territoire et des acteurs locaux, en amont des prospections
Saisonnalité et suivi : relevés continus à différentes époques, ou à différentes heures de la journée (pour éviter les zones d'ombre) et différentes saisons	Numérisation des habitats floristiques en sous-bois (étagement de la végétation)	Utilisation de la télédétection : possibilité de générer un processus d'identification automatique des habitats
Coût (si équipé et formé)	Contraintes techniques : coût du matériel et des logiciels, logistique, stockage, temps de traitement des données, formation requise	Opportunité liée à l'équipement du laboratoire pour les actions de recherche et de formation (mutualisation des coûts, subventions, avantages licences logiciels éducation/recherche)
Non-intrusion dans les milieux sensibles (flore)	Dérangement de la faune (non constaté sur la zone étudiée pendant les périodes de prospection)	Choix de la période de vol en fonction des espèces présentes et de leurs cycles écologiques
Couverture de zones difficiles ou non accessibles	Surfaces ou objets non cartographiables : surfaces réfléchissantes (eau, neige, vitres...), objets mobiles ou non-stables (canopée et végétation basse balayées par le vent) : perturbation des capteurs pour générer les orthophotos et MNE	Utilisation des technologies LIDAR pour générer un MNT haute précision (modélisation topographique des digues, comparaison avec MNE pour étude verticale de la végétation, <i>etc.</i>)
Précision infracentimétrique	Numérisation des limites d'habitats floristiques par photo-interprétation complexe quand intrication des milieux et effet lisière	Enrichissement des données par superposition de polygones, création de nouvelles classes

en matière de préservation des espèces et des milieux naturels aux échelles adaptées dans l'espace et dans le temps, en prenant en compte la dynamique naturelle de ce géosystème littoral. Ce corridor constitue aussi un attrait visuel, car l'écologie joue également sur l'esthétique (R.J. NAIMAN et H. DÉCAMPS, 1997 ; N. FORRAY et D. CLÉMENT, 2014), en particulier lorsque la digue n'est pas appareillée de gros blocs ou d'ouvrages en béton qui changent le paysage. Si les digues intègrent une composante écologique participant à la fonctionnalité du paysage, elles doivent aussi être en mesure de constituer des ouvrages qui soient efficaces pour lutter contre les risques d'inondation. Dans ces conditions, il importe d'identifier les

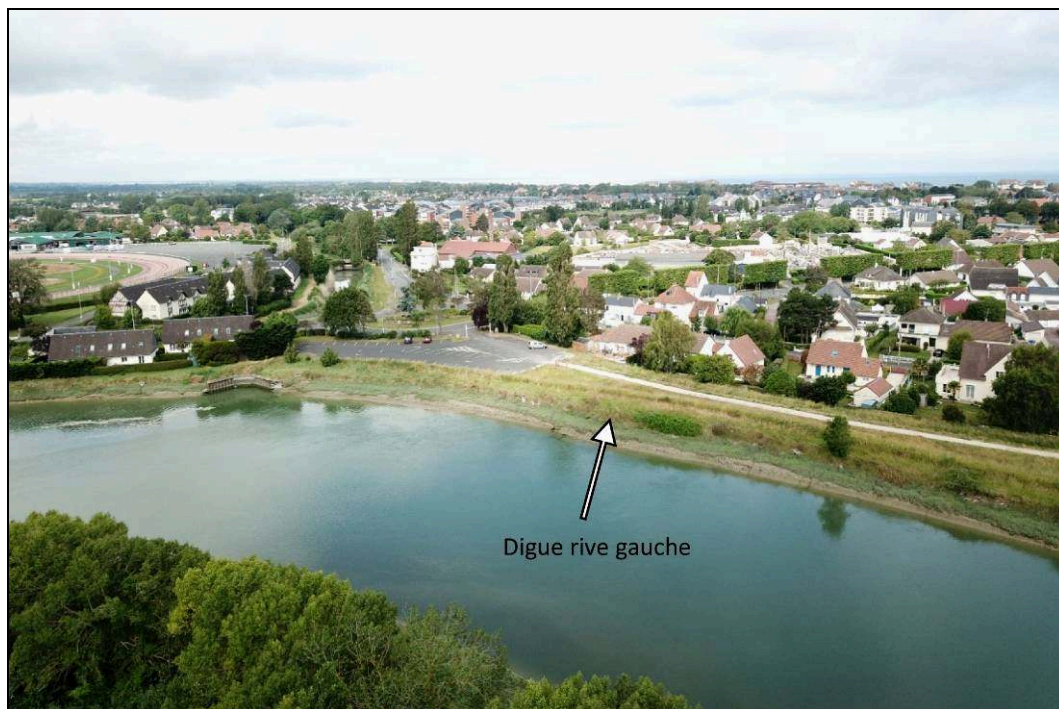


Photo 5 - Succession végétale en bordure des digues de la Dives. [cliché : auteurs, 2020]



Photo 6 - Une digue et son environnement proche en bordure de la Dives.

[cliché : auteurs, 2020]

Les digues bordant la Dives et leur environnement proche (berges, ouvrages hydrauliques annexes, *etc.*) présentent souvent des variations de profil, de largeur, de pente, de sol ou de matériaux. Ces conditions sont propices à l'expression d'une diversité de milieux (ici communautés du schorre supérieur et fourrés des marais salés atlantiques) se succédant selon un gradient halin.

facteurs susceptibles de déstabiliser ces ouvrages et de trouver les types d'action permettant de concilier objectifs écologiques, prévention des inondations et lutte contre l'érosion.

- *Un ouvrage de protection contre le risque*

Dans le contexte actuel de la GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et protection des inondations), les enjeux de protection contre le risque d'inondation sont importants. Sur le site d'étude, ce risque est bien présent, d'autant plus que la Dives constitue un espace hybride, soumis à une double influence, marine et fluviale. Aux surcotes de tempête et aux crues fluviales pouvant entraîner un débordement rapide des eaux, vient se surajouter la montée du niveau marin. Face au risque, il importe que la digue soit bien dimensionnée et surtout régulièrement entretenue afin d'assurer son rôle de protection. Or, en retraçant l'histoire des marais de la Dives, nous constatons une dérégulation du géosystème actuel due à la conjonction de plusieurs facteurs. Le géosystème, à l'origine entretenu par des pratiques agricoles extensives (pâturage), a connu une déprise agricole progressive conduisant à l'enfrichement des abords de la Dives à proximité des surfaces bâties (Fig. 8). À partir des années 1970-1980, celles-ci se sont étendues en arrière du trait de côte avec l'étalement de l'urbanisation vers les marais, alors que la gestion même des digues a été dévalorisée. Plus en amont, au sud de la D 400a, l'artificialisation du géosystème a grandi avec l'apparition puis l'extension croissante de parcelles céréalières et de peupleraies qui se retrouvent délimitées par des digues délabrées.

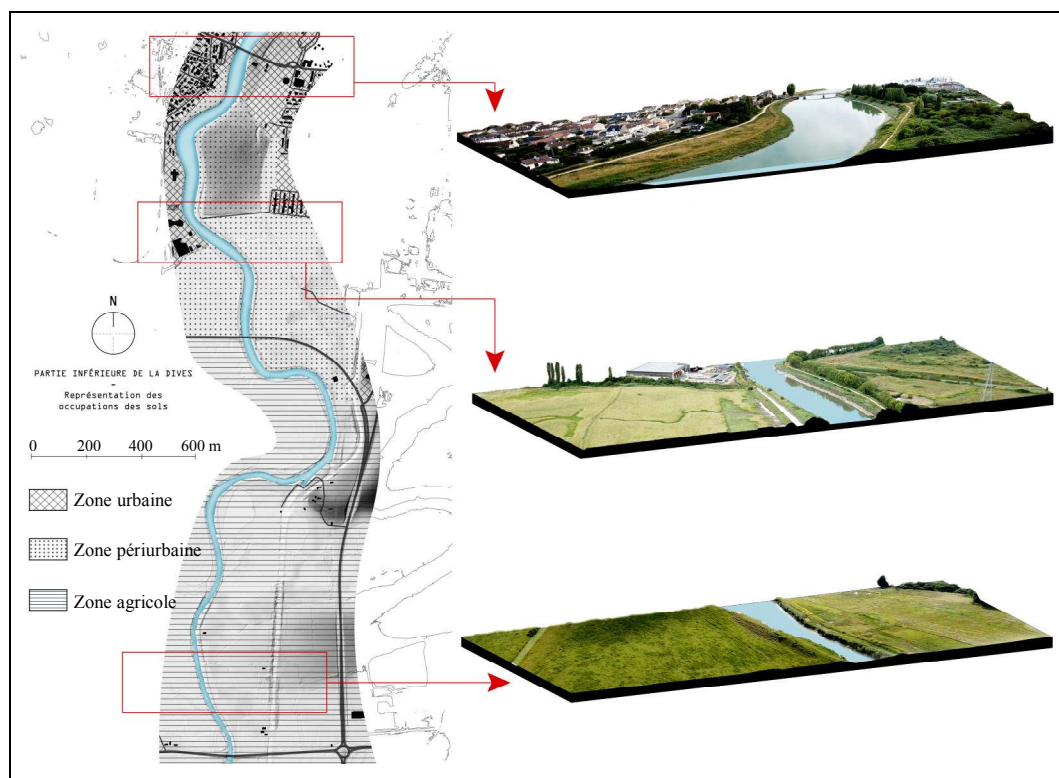


Figure 8 - Diversité écopaysagère aux abords de la Dives inférieure.

Aujourd'hui, par généralisation de cette évolution à l'ensemble du marais, cette zone de 800 hectares, de faible altimétrie, placée à l'exutoire de la Dives, devient un espace exposé aux risques d'inondation et de submersion marine (C.L., 2019.a) qui inquiète les pouvoirs publics et les propriétaires des terrains sous protection des digues.

Le délabrement des digues de la Dives est causé par un ensemble de facteurs qui, cumulés, mettent en danger la pérennité de ces constructions. Nous avons répertorié certains de ces éléments qui ont été regroupés par catégories selon leurs impacts sur la tenue mécanique des digues et sur les écosystèmes en place :

- Influence des ligneux (enfrichement)

Quelques ligneux ont été répertoriés, notamment sur les digues abandonnées (C.L., 2019.b). Ils offrent *a priori* de nombreux avantages, surtout dans le maintien des berges. Cependant, quand les digues sont constituées de remblais, leur présence induit aussi des risques, les houppiers offrant une prise au vent importante et les systèmes racinaires fragilisant la structure mécanique des ouvrages (M. VENNETIER *et al.*, 2003 ; P. MÉRIAUX et M. VENNETIER, 2006 ; C. ZANETTI, 2010). Dans le contexte de la Dives, où les prairies pourraient s'enfricher, ces informations conduisent à préconiser le maintien d'une végétation herbacée adaptée à la pérennité des ouvrages.

- Les taches d'invasion

La renouée du Japon, introduite en Europe au début du XIX^{ème} siècle comme plante ornementale, mellifère et fourragère, est l'une des invasives les plus dynamiques. Elle a conquis la totalité du territoire français en moins d'un siècle, aidée par son implantation dans de nombreux jardins et parcs. En bordure des cours d'eau, sa dissémination est accélérée par les crues et par les travaux d'entretien des berges et des digues.

Des taches de renouée du Japon ont été relevées à proximité de l'embouchure de la Dives (Photos 7 et 8). Si ces dernières restent marginales avec une superficie moyenne de 50 m², il est important d'en contrôler l'extension par une gestion adaptée des berges.

La rive droite, qui présente deux taches d'invasion dans la zone périurbaine, est plus particulièrement à surveiller. D'un point de vue écologique, l'enjeu concerne ici l'impact de ces taches d'invasion sur les habitats du schorre moyen (dans l'hypothèse où elles ne montreraient pas de sensibilité aux milieux salins, ce qui reste à vérifier) (Photos 7 et 8).

Le buddléia (*Buddleia sp.*) est un arbuste originaire de Chine, introduit à la fin du XIX^{ème} siècle en Europe, également comme plante ornementale. Il est considéré comme une espèce invasive, mais pouvant néanmoins constituer une ressource pour des invertébrés pollinisateurs. Cet arbuste, moins problématique que la renouée, peut toutefois constituer une menace pour la stabilité des digues en influant sur leur érosion en période hivernale (Fig. 9).

- Les perturbations liées au pâturage (bovins)

Le pâturage a aussi une forte incidence sur la stabilité des ouvrages. La présence de bovidés est fréquente aux abords des rives de la Dives, avec une tendance au regroupement du bétail en saison estivale, mais cet usage disparaît peu à peu aux frontières des agglomérations. Cependant le piétinement prolongé des digues entraîne l'apparition de brèches qui favorisent l'entrée des eaux dans les terres lors des périodes de crues et la dégradation des ouvrages de protection ainsi que l'inondation des parcelles attenantes.

Les relevés effectués confirment les résultats du diagnostic terrain réalisé en 2019 par la société EGIS (I. RIFAI, 2019) à la demande du Syndicat Mixte du Bassin de la Dives. Les digues sont globalement en mauvais état, en particulier aux abords des brèches où la végétation n'est plus efficace pour stopper leur dégradation (glissement de terre, érosion). Dans ces conditions, quel pourrait être le devenir de ce linéaire endigué ? Face à la montée des eaux, à quoi faut-il s'attendre pour les années à venir ? Quels sont les scénarios possibles et les solutions d'adaptation face aux changements globaux ?

c. Quelles digues face aux changements globaux ?

L'exposition actuelle des littoraux normands au changement climatique se manifeste avant tout par un risque de submersion marine, qui concerne en particulier les zones basses



Photo 7 - Enfrichement des digues et taches d'invasives (*Reynoutria japonica*).
[cliché : auteurs, 2020]

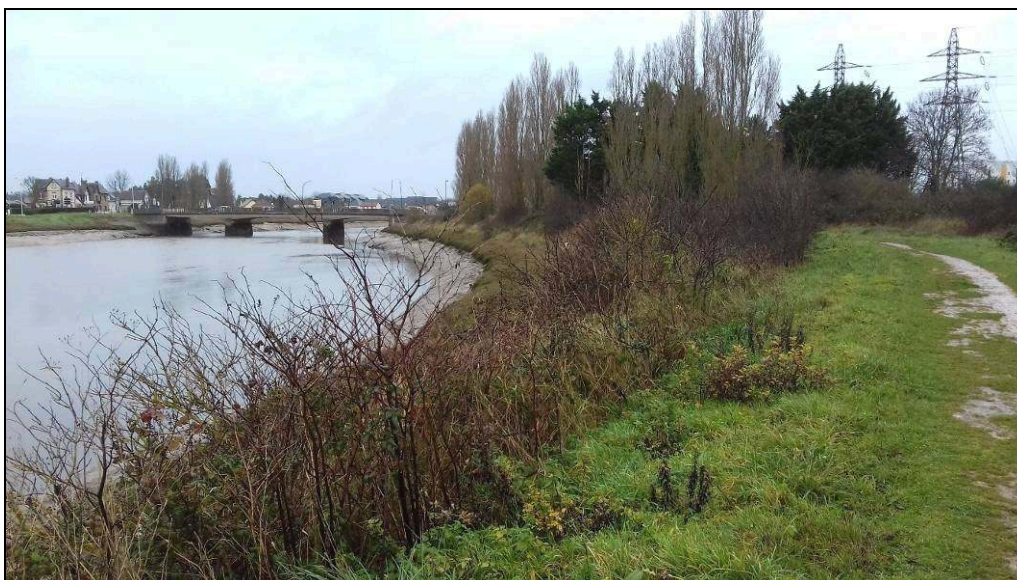


Photo 8 - Variété des habitats en rive droite de la Dives : fourrés à halimione (*Halimione portulacoïdes*), schorre supérieur, petits bois, peupleraies progressant à partir du haut de digue. [cliché : auteurs, 2020]

situées en fond de baie et à l'embouchure des cours d'eau, où le phénomène de submersion peut se combiner à la crue de cours d'eau (O. MAQUAIRE *et al.*, 2019 ; IPCC, 2019).

Par ailleurs, la hausse de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse devrait,

en abaissant le débit d'étiage des cours d'eau, réduire leur capacité à diluer les pollutions diffuses agricoles et les eaux des stations d'épuration, et donc amplifier les phénomènes d'eutrophication (DRIEE, 2015 ; C. VALETTE, 2019). En contexte fluvial et maritime, le changement de pluviométrie combiné à l'accroissement de l'évaporation risquent, à terme, de créer des écarts plus conséquents du seuil de salinité (J. LECROART *et al.*, 2013). Pour la végétation bordant la Dives, ces accroissements d'écart de gradient halin couplés à une remontée des eaux saumâtres en amont pourraient entraîner une modification de certains habitats (habitats rudéraux et phragmitaies), qui pourraient être remplacés par des populations herbacées du schorre supérieur (SMBD, 2019). Cela pourrait entraîner la modification des couvertures végétales sur les digues et aurait des conséquences sur la structure mécanique de ces ouvrages déjà fortement impactés par l'érosion (I. RIFAI, 2019). Ce phénomène ne semble cependant pas encore amorcé, car les habitats des marais maritimes n'ont pas progressé ces dernières années. Face à ces problématiques, trois axes semblent se dessiner aujourd'hui quant à l'évolution future des digues (Fig. 9).

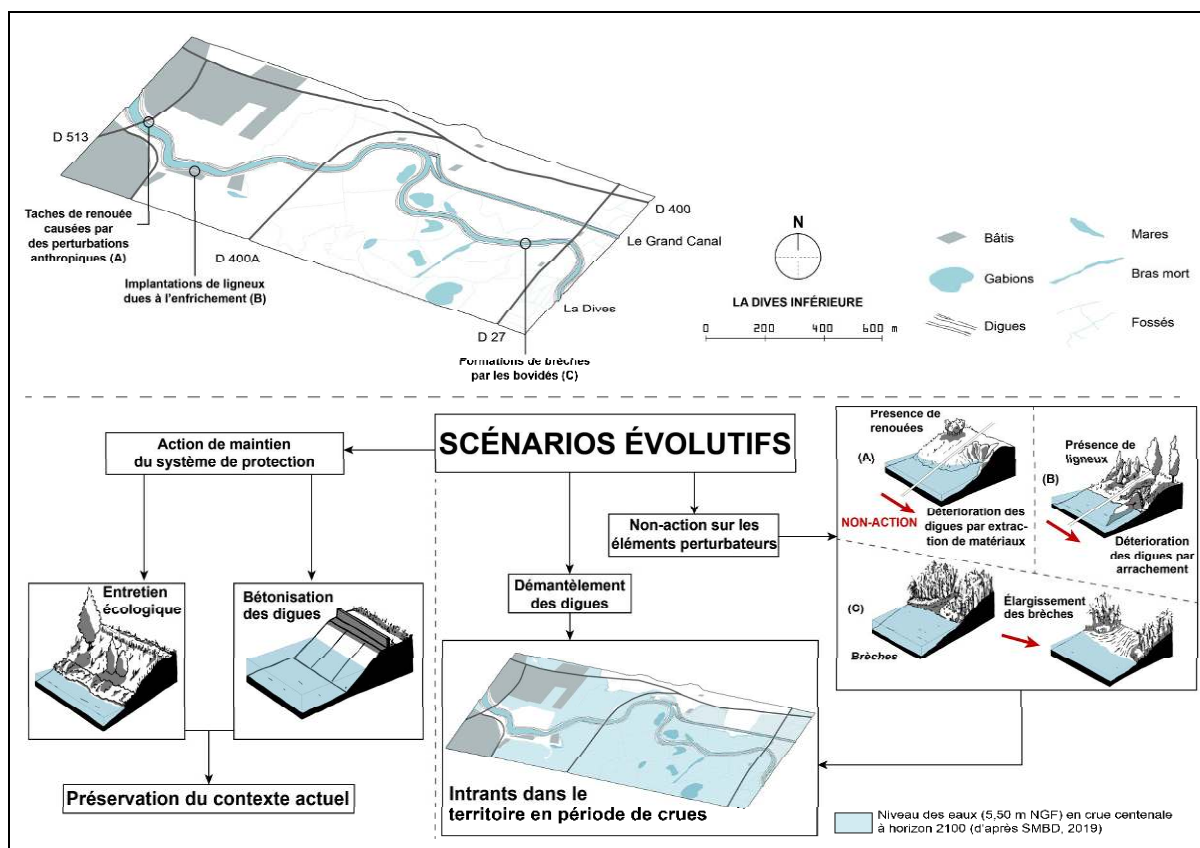


Figure 9 - État actuel des digues en partie inférieure de la Dives et scénarios évolutifs.

Source extérieure : SMBD (2019).

Un premier scénario serait un démantèlement pur et simple des digues, avec pour conséquence un risque accru d'inondation de la zone de marais située derrière elles et un changement brusque de structure des écosystèmes et du paysage environnant. Un second scénario se traduirait par l'absence de gestion, qualifiée de "non-action", sur les différents éléments de perturbation du paysage, à savoir l'impact négatif de l'extension progressive des taches de renouée, la présence renforcée de ligneux engendrant des risques de détérioration des digues

(arrachement, voire formation d'embâcles) et l'élargissement des brèches existantes entraînant des entrées massives d'eau dans les écosystèmes attenants. Le troisième axe concerne des actions de maintien des systèmes de protection : - soit par un renforcement des digues à l'aide de matériaux artificiels (béton, enrochement) créant des taches de zones rudérales si ce n'est des taches d'invasion supplémentaires, - soit par une solution plus respectueuse de l'environnement local, à savoir une solution écopaysagère intégrant les outils du génie végétal et de l'ingénierie écologique garantissant la résilience des écosystèmes (Photos 9 et 10). Cette dernière solution offrirait aussi un intérêt en termes de protection et d'aménités paysagères (F. REY, 2018).



Photo 9 - Des digues vulnérables exposées aux risques côtiers. [cliché : auteurs, 2020]

Ces différents scénarios pourraient amener les parties prenantes à réfléchir aux choix de gestion (ou de non-gestion) et aux différentes alternatives possibles dans la perspective d'une évolution des paysages de ce marais endigué qui est susceptible de s'accélérer avec la montée des eaux.

De la protection lourde (digues renforcées, enrochements) au recul stratégique (dépoldérisation) en passant par des solutions écopaysagères plus souples, tout l'enjeu sera d'améliorer le fonctionnement et la résilience d'un géosystème entre terre et mer soumis à des risques côtiers.

IV - CONCLUSION

Ce travail de recherche intégré dans une ANR s'intéressant au devenir des paysages de digues fluviales et maritimes s'est donné pour objectif principal de tester une méthode d'échantillonnage spatial d'habitats naturels par l'utilisation de relevés par drone et de

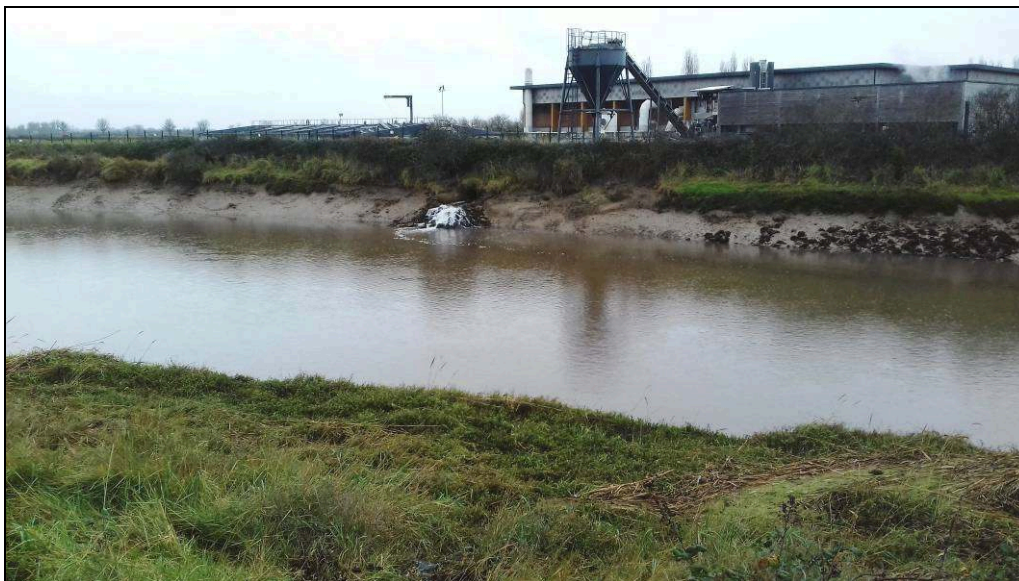


Photo 10 - Le long de la Dives, un exemple de digue étroite présentant des pentes de talus raides. [cliché : auteurs, 2020]

Afin d'empêcher l'érosion, des protections par enrochement sont possibles, mais cette solution accroît le risque de fragmentation écologique. En reprofilant ces digues, avec une gestion précise et circonstanciée, on peut obtenir des variations de composition et de structure de la végétation en mosaïque, très favorables à la diversité, même si la digue elle-même reste herbacée en totalité ou en majorité.

transects écopaysagers. Elle a été testée sur les habitats rivulaires des digues dont la caractérisation et l'analyse écopaysagère n'avaient jusqu'alors jamais été menées. La variété mais aussi la fragmentation des habitats ont été démontrées avec une disparité assez forte entre les deux rives et de l'amont vers l'aval ; cette diversité écopaysagère a été mise en relation avec les changements d'utilisation des sols et l'état des digues prospectées. Une étude complémentaire portant sur l'ensemble des 800 ha du site d'étude fera l'objet d'une seconde recherche et permettra de resituer les digues étudiées dans l'écocomplexe des marais de la Dives.

Par cette démarche, nous souhaitons répondre aux politiques de gestion territoriale en proposant une approche qui pourra être mise en pratique par les gestionnaires, développant ainsi une nouvelle façon de réaliser des suivis d'habitats sur de grands territoires. Le suivi d'habitat constitue aussi un bon moyen pour mettre en évidence des processus susceptibles d'impacter la pérennité des ouvrages. Parallèlement, nous souhaitons apporter aux acteurs et parties prenantes de ce territoire des connaissances nouvelles qui pourront être réinvesties lors de réflexions communes relatives à la conception et à la mise en œuvre partagée de projets de paysage tenant compte des impacts du changement climatique.

ANNEXES : Indices de Sørensen et de Jaccard

Annexe 1 - Légende des tableaux.

	Valeurs <= 0,4
	Valeurs comprises entre 0,4 et 0,6
	Valeurs > 0,6

Annexe 2 - Indice de Sørensen, rive gauche.

Quadrants	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	X	0,4	0,66	0,66	1	1	0,28	0,25	0,4	0,44	0,5	0,5	0,66	0,66	0,4	0,25	0,2
2	0,4	X	0,85	0,5	0,8	0,8	0,25	0,22	0,33	0,4	0,44	0,4	0,57	0,57	0,33	0,22	0,2
3	0,66	0,85	X	0,4	0,66	0,66	0,7	0,6	0,28	0,72	0,8	0,72	0,5	0,5	0,28	0,6	0,54
4	0,66	0,5	0,4	X	0,66	0,66	0,33	0	0,5	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0	0	0
5	1	0,8	0,66	0,66	X	0,28	0,25	0,4	0,36	0,36	0,44	0,22	0,66	0,66	0	0	0
6	1	0,8	0,66	0,66	0,28	X	0,28	0,28	0,4	0,44	0,44	0,44	0,66	0,66	0,4	0,25	0,2
7	0,28	0,25	0,7	0,33	0,25	0,28	X	0,72	0,5	0,83	0,8	0,83	0,44	0,44	0,25	0,54	0,5
8	0,25	0,22	0,6	0	0,4	0,28	0,72	X	0,44	0,92	0,83	0,92	0,6	0,6	0,66	0,83	0,85
9	0,4	0,33	0,28	0,5	0,36	0,4	0,5	0,44	X	0,6	0,66	0,6	0,85	0,85	0,66	0,22	0,4
10	0,44	0,4	0,72	0,25	0,36	0,44	0,83	0,92	0,6	X	0,85	1	0,72	0,72	0,6	0,76	0,85
11	0,5	0,44	0,8	0,25	0,44	0,44	0,8	0,83	0,66	0,85	X	0,92	0,8	0,8	0,66	0,66	0,76
12	0,5	0,4	0,72	0,25	0,22	0,44	0,83	0,92	0,6	1	0,92	X	0,72	0,72	0,6	0,72	0,85
13	0,66	0,57	0,5	0,4	0,66	0,66	0,44	0,6	0,85	0,72	0,8	0,72	X	1	0,66	0,4	0,72
14	0,66	0,57	0,5	0,4	0,66	0,66	0,44	0,6	0,85	0,72	0,8	0,72	1	X	0,85	0,4	0,54
15	0,4	0,33	0,28	0	0	0,4	0,25	0,66	0,66	0,6	0,66	0,6	0,66	0,85	X	0,4	0,6
16	0,25	0,22	0,6	0	0	0,25	0,54	0,83	0,22	0,76	0,66	0,72	0,4	0,4	0,4	X	0,92
17	0,2	0,2	0,54	0	0	0,2	0,5	0,85	0,4	0,85	0,76	0,85	0,72	0,54	0,6	0,92	X

Annexe 3 - Indice de Sørensen, rive droite.

Quadrants	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	X	0,5	0,57	0,25	0,66	0	0,4	0,66	0,5	0,5	0,66	0,66	0,57	0,28	0,5	0,5	0,5
2	0,5	X	0,66	1	0,66	0,66	0,4	0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,28	0,28	0,5	0,5	0,5
3	0,57	0,66	X	0,57	0,44	0,57	0,25	0,75	0,28	0,8	0,22	0,22	0,66	0,66	0,28	0,28	0,28
4	0,25	1	0,57	X	0,66	0,66	0,4	0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,28	0,28	0,5	0,5	0,5
5	0,66	0,66	0,44	0,66	X	0,4	0,85	0,66	0,33	0,8	0,75	0,75	0,66	0,66	0,5	0,5	0,5
6	0	0,66	0,57	0,66	0,4	X	0,5	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0
7	0,4	0,4	0,25	0,4	0,85	0,5	X	0,57	0	0,66	0,57	0,57	0,44	0,25	0	0	0
8	0,66	0,33	0,75	0,33	0,66	0	0,57	X	0,57	0,8	1	1	0,88	0,88	0,66	0,66	0,66
9	0,5	0,5	0,28	0,5	0,33	0	0	0,66	X	0,5	0,66	0,66	0,57	0,57	1	1	1
10	0,5	0,5	0,8	0,5	0,8	0,28	0,66	0,72	0,5	X	0,8	0,8	0,72	0,72	0,5	0,5	0,5
11	0,66	0,33	0,22	0,33	0,75	0	0,57	1	0,66	0,8	X	1	0,88	0,88	0,66	0,66	0,66
12	0,66	0,33	0,22	0,33	0,75	0	0,57	1	0,66	0,8	1	X	0,88	0,88	0,66	0,66	0,66
13	0,57	0,28	0,66	0,28	0,66	0	0,44	0,88	0,57	0,72	0,88	0,88	X	1	0,44	0,44	0,44
14	0,28	0,28	0,66	0,28	0,66	0	0,25	0,88	0,57	0,72	0,88	0,88	1	X	0,57	0,57	0,57
15	0,5	0,5	0,28	0,5	0,5	0	0	0,66	1	0,5	0,66	0,66	0,44	0,57	X	1	1
16	0,5	0,5	0,28	0,5	0,5	0	0	0,66	1	0,5	0,66	0,66	0,44	0,57	1	X	1
17	0,5	0,5	0,28	0,5	0,5	0	0	0,66	1	0,5	0,66	0,66	0,44	0,57	1	1	X

Annexe 4 - Indice de Jaccard modifié, rives gauche et droite.

Quadrants	Jaccard modifié
1	0,33
2	0,25
3	1
4	0,5
5	0,5
6	0,5
7	0,5
8	0,66
9	0,25
10	0,85
11	0,66
12	0,66
13	0,28
14	0,33
15	0,66
16	0,28
17	0,33

Remerciements : Nous remercions l'Agence Nationale de la Recherche qui a permis de financer cette recherche ainsi que l'ensemble des acteurs de ce territoire pour leur soutien et la communication de documents techniques (Syndicat Mixte du Bassin de la Dives, Communauté de Communes Normandie Cabourg Pays d'Auge, Conservatoire du littoral, Mairie de Dives-sur-Mer, Comité Régional d'Étude pour la Protection et l'Aménagement de la Nature en Normandie). Nous remercions aussi Tristan DOUILLARD, doctorant du laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS) intégré à l'ANR DIGUES, pour sa collaboration aux relevés *in situ*.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AE SN (2009) - *Bilan écologique des marais de la Dives et de la Divette (14)*. Édit. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 120 p.
- ALBER A. et PIÉGAY H. (2011) - Spatial disaggregation and aggregation procedures for characterizing fluvial features at the network-scale: application to the Rhône basin (France). *Geomorphology*, vol. 125, n° 3, p. 343-360.
- AULER C., CAVALLIN P., DALOOZ A., KOHLER Y., LEVÈVRE B. et MANTHE N., sous la direction de (2019) - Drones. Au-delà des apparences. *Espaces Naturels*, n° 65, p. 22-37, en ligne : <http://www.espaces-naturels.info/dossier/65>.
- BERTRAND C. et BERTRAND G. (2000) - Le géosystème : un espace-temps anthropisé. Esquisse d'une temporalité environnementale. In : *Les temps de l'environnement*, actes des Journées du Programme "Environnement, vie et société" (Toulouse), BARRUÉ-PASTOR M. et BERTRAND G. édit., Édit. Presses Universitaires du Mirail, Toulouse, p. 65-76.

-
- BLANDIN P. et LAMOTTE M. (1985) - *Écologie des systèmes et aménagement : fondements théoriques et principes méthodologiques. Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire. Cahier de Géographie du Québec*, vol. 30, n° 79, p. 139-162.
- BUREL F. et BAUDRY J. (1999) - *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Édit. Lavoisier, collection "Technique et Documentation", Paris, 362 p.
- C.L. (2019.a) - *Vers une stratégie d'intervention du Conservatoire du littoral dans les marais de la Dives : définition de potentiels périmètres d'intervention publique foncière*. Édit. Conservatoire du Littoral - Délégation de rivages Normandie, note de synthèse, Caen, 18 p.
- C.L. (2019.b) - *Les marais de la Dives : des paysages et des panoramas au fil du temps, des saisons et des lumières*. Édit. Conservatoire du Littoral - Délégation de rivages Normandie, note de synthèse, Caen, 80 p.
- COSTE G., PIERRON V. et ROBINET N. (2015) - Comment utiliser la télédétection ? *Espaces Naturels*, vol. 49, p. 41.
- COTTAM G. et CURTIS J.T. (1956) - The use of distance measure in phytosociological sampling. *Ecology*, vol. 37, n° 3, p. 451-460.
- DE BELLO F., LEPS J. et SEBASTIA M.T. (2007) - Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science*, vol. 18, n° 1, p. 25-34.
- DELASSUS L. (2015) - *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques*. Édit. Conservatoire Botanique National de Brest, Brest, 52 p.
- DIX R.L. (1961) - An application of the point-centered quarter method to the sampling of grassland vegetation. *Journal of Range Management*, vol. 14, n° 2, p. 63-69.
- DOURNEL S. (2020) - Placer l'homme au cœur des dispositifs de protection et de requalification des zones humides. In : *Histoire et évolution des zones humides en lien avec les usages anthropiques*, actes du 11^{ème} séminaire Ramsar (Amiens, 2019), Édit. Conseil Départemental de la Somme, Amiens, p. 48-50.
- DRIEE (2015) - *Plan de gestion des risques d'inondation 2016-2021. Bassin Seine-Normandie*. Édit. Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie d'Île-de-France, Paris, 156 p., en ligne : http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/PGRI_2015_WEB_240416.pdf.
- FORRAY N. et CLÉMENT D. (2014) - *Digues du littoral et paysage. Méthodologie appliquée aux sites classes*. Édit. Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, Paris, 40 p.
- FRITSCH B. et HAESSLER C. (2017) - Suivi de la dynamique de renouvellement des saulaies peupleraies sur la réserve naturelle du Val de Loire. *Séminaire "La végétation alluviale de la Loire"* (Orléans), présentations en ligne : <https://centrederesources-loirenature.com/fr/evenements/centre-de-ressources/seminaire-la-vegetation-alluviale-de-la-loire-comment-etudier-un>.
- GERMAINE M.A. et BARRAUD R. (2013) - Les rivières de l'Ouest de la France sont-elles seulement des infrastructures naturelles ? Les modèles de gestion à l'épreuve de la directive-cadre sur l'eau. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 21, n° 4, p. 373-384.
- GUSTAFSON E.J. (1998) - Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art. *Ecosystems*, vol. 1, n° 2, p. 143-156.

- HEYTING A. (1968) - Discussion and development of the point-centered quarter method of sampling grassland vegetation. *Journal of Range Management*, vol. 21, p. 370-380.
- HORTOBAGYI B., VAUTIER F., BURKART A., WROBEL T.J., PEIRY J.L., STEIGER J. et CORENBLIT J.F. (2015) - *Use of photogrammetry for the study of riparian vegetation dynamics*. I.S.Rivers - 2^{ème} Conférence I.S. River : "Recherches et actions au service des fleuves et grandes rivières" (Lyon), 3 p., en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01170149/document> et <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01170149/file/1P17-51845HOR.pdf>.
- HUBERT-MOY L., NABUCET J., VANNIER C. et LEFEBVRE A (2012) - Cartographie des corridors écologiques : quelles données pour quelles échelles territoriales ? *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 22. n° 4. p. 619-640.
- IPCC (2019) - *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystem. Summary for Policymakers*. Édit. Intergovernmental Panel on Climate Change, 36 p., en ligne : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf.
- LASLIER M. (2018) - *Suivi des impacts d'un arasement de barrage sur la végétation riveraine par télédétection à très haute résolution spatiale et temporelle*. Thèse de l'Université Rennes 2, 332 p.
- LECROART J., JOUAN R., RUSSO L., LONG C., COHEN J.C. et DAMBRIN B. (2013) - *L'adaptation aux effets du changement climatique en Haute et Basse-Normandie*. Bureau d'études ARTELIA, rapport technique final au SGAR de Haute et Basse-Normandie, Paris, 265 p.
- LEILLARD P. (1986) - *Les marais de la Dives : élaboration et évolution d'un géosystème*. Mémoire de Maîtrise, Université de Caen, 95 p.
- LEJOT J., WAWRZYNIAK V., PIÉGAY H. et MICHEL K. (2016) - Caractérisation des mésohabitats fluviaux par imagerie drone. *La Houille Blanche*, vol. 102, n° 2, p. 38-40.
- LEMPÉRIÈRE G., DAY K., PETIT-BERGHEM Y., ROBINET N., PORTIER P., LEATHER S. et MARAGE D. (2019) - Interannual population dynamics of the green spruce aphid *Elatobium abietinum* (Walker) in France. *Annals of Applied Biology*, vol. 176, n° 3, p. 233-240.
- LESPEZ L., sous la direction de (2012) - *Paysages et gestion de l'eau : sept millénaires d'histoire des vallées en Normandie*. Édit. Presses universitaires de Caen - MRSH, collection "Bibliothèque du pôle rural", vol. 3, Caen, 336 p.
- LESPEZ L., CADOR J.M., CARPENTIER V., CLET-PELLERIN M., GERMAINE M.A., GARNIER E. et MARCIGNY C. (2010) - Trajectoire des paysages des vallées normandes et gestion de l'eau, du Néolithique aux enjeux de la gestion contemporaine. In : *Paysages et Environnement. De la reconstitution du passé aux modèles prospectifs*, D. GALOP édit., Édit. Presses Universitaires de Franche-Comté (Annales Littéraires, série "Environnement, sociétés et archéologie"), p. 249-263.
- LIÉNARD S. et CLERGEAU P. (2011) - Trame Verte et Bleue : utilisation des cartes d'occupation du sol pour une première approche qualitative de la biodiversité. *Cybergeo*, vol. 519, en ligne : <https://journals.openedition.org/cybergeo/23494>.
- LOCQUET A. et CLAUZEL C. (2018) - Identification et caractérisation de la trame verte et bleue du PNR des Ardennes : comparaison des approches par habitat et par perméabilité des milieux. *Cybergeo*, vol. 877, en ligne : <http://journals.openedition.org/cybergeo/29864>.

-
- MADROLLES F., LEFÈVRE S., PILLE L., DE PINEL M. et DURAND P. (2013) - Un drone pour détecter et délimiter les zones humides : une réalité imminente ? *Revue Forestière Française*, vol. 65, n° 6, p. 547-555.
- MAQUAIRE O., DETOURBE S. et COUDRAY N., sous la direction de (2019) - *Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 3 : du cap d'Antifer au cap de la Hague*. Édit. Centre d'Études et d'Expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA), collection "Connaissances", 609 p., en ligne : <https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/hal-02373454/document>.
- MARAGE A., BRUCIAMACCHIE M., LEMPÉRIÈRE G. et BOBIEC A. (2008) - Performance of sampling methods to assess dead wood material for forest management and biodiversity purposes. *Colloque IUFRO "Forest, wildlife, and wood sciences for society development"* (Bialowieza, Pologne), présentation d'un poster, accessible en ligne.
- MARAGE A., LEMPÉRIÈRE G., BOBIEC A. BRUCIAMACCHIE M. et MITCHELL K. (à paraître) - Performance of sampling methods to assess dead wood material for forest management and conservation purposes. *Canadian Journal of Forestry Research*.
- MÉRIAUX P., VENNETIER M., AIGOUY S., HOONAKKER M. et ZYLBERBLAT M. (2006) - Diagnosis and management of vegetation growth on embankments dams and dikes. *Actes du 22^{ème} Congrès des Grands Barrages* (Barcelone), Édit. International Commission on Large Dams, p. 1089-1129.
- MICHEZ A., HENROTAY F. et CLAESSENS H. (2014) - *Exploitation des données aéroportées (Lidar et drone) dans le cadre des programmes d'actions sur les rivières par une approche intégrée et sectorisée (PARIS) – projet IMAGEAU 2*. Édit. Agro-Bio Tech., Université de Liège, Gembloux (Belgique), rapport final au Service Public de Wallonie (DCENN), 44 p.
- MONTAIGU X. et DEFLANDRE M. (2013) - *Détermination de la Trame Verte et Bleue sur les marais de la Dives*. Comité Régional d'Études pour la Protection et l'Aménagement de la Nature en Normandie (CREPAN), rapport pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie et la Région Basse Normandie, Caen, 140 p.
- MORISITA M. (1954) - Estimation of population density by spacing method. *Memoirs of Faculty of Sciences*, Université de Kyushu, série E (Biologie), vol. 1, p. 187-197.
- NAIMAN R.J. et DÉCAMPS H. (1997) - The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 28, p. 621-658.
- PENFOUND W.T. (1963) - A modification of the point-centered quarter method for grassland analysis. *Ecology*, vol. 44, n° 1, p. 175-176.
- PIOCH S. et SOUCHE J.C (2021) - *L'écoconception des infrastructures maritimes. Vers un aménagement intégré à l'environnement*. Édit. ISTE éditions, Londres, 286 p.
- REY F., sous la direction de (2018) - *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pour qui ? Pour quoi ? Pour quels bénéfices ?* Édit. ASTEE, 134 p., en ligne : <http://www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/biblio/ouvrage-benefices-de-lie.pdf>.
- RIFAI I (2019) - *Étude de la dynamique fluviale des cours d'eaux du bassin de la Dives et des potentialités de protection contre les inondations. Synthèse du diagnostic terrain des digues*. Édit. Société d'ingénierie EGIS, rapport au Syndicat Mixte du Bassin de la Dives, Guyancourt, 21 p.
- RISSER P.G. et ZEDLER P.H. (1968) - An evaluation of the grassland quarter method. *Ecology*, vol. 49, n° 5, p. 1006-1009.

-
- SAVINI J.R. (2021) - *Marais de la Dives et des affluents*. Édit. INPN, SPN-MNHN, Paris, 95 p., en ligne : <https://inpn.mnhn.fr/zone/znief/250008455.pdf>.
- SMBD (2019) - *Étude de la dynamique fluviale des cours d'eau de la Dives et des potentialités de protection contre les inondations*. Édit. Syndicat Mixte du Bassin de la Dives, cahier des clauses techniques particulières, 45 p.
- SØRENSEN T. (1948) - A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Kongelige Dansk Videnskabernes Selskabs, série Biologie*, vol. 5, n° 4, p 1-46.
- VALETTE C. (2019) - Lecture critique des projets d'adaptation du littoral au changement climatique. In : *Le littoral en tension. Rigidités, stratégies d'adaptation et préservation écologique*, Édit. Presses Universitaires de Caen, p. 117-130.
- VALLAURI D., ANDRÉ J., GENOT J.C., DE PALMA J.P., EYNARD-MACHET R., sous la direction de (2010) - *Biodiversité, naturalité, humanité. Pour inspirer la gestion des forêts* Édit. Lavoisier, Paris, 474 p.
- VENNETIER M., CHANDLOUX O., RIPERT C. et ESTÈVE R. (2003) - Bases de gestion de la végétation des digues et berges sous contraintes de sécurité. *Forêt Méditerranéenne*, vol. 24, n° 3, p. 263-274.
- VENNETIER M., MÉRIAUX P., ZANETTI C. (2015) - *Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai*. Édit. Cardère éditeur et Irstea Aix-en-Provence, Avignon, 229 p.
- VIEIRA J. et VIEIRA L. (2019) - Technologies mobiles : quand l'innovation vole au secours des écosystèmes. *Communication, Technologies et Développement*, vol. 2018-6, en ligne : <https://journals.openedition.org/ctd/2316>.
- VITTER M. et JACQUEMINET C. (2017) - Cartographier l'occupation du sol par photo-interprétation. L'apport de la segmentation d'image. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 27, n° 2, p. 151-178.
- ZANETTI C. (2010) - *Caractéristique du développement des systèmes racinaires ligneux dans les digues*. Thèse de l'Université de Provence (Aix-Marseille 1), 197 p. (188 p. + annexes).

Article soumis le 27 avril 2021.

Version corrigée acceptée par les réviseurs le 4 janvier 2022.

Mise en ligne le 8 janvier 2022.