



HAL
open science

Les services écosystémiques au sein du Parc Naturel Régional de Brière : évaluation et vulnérabilité au changement climatique

Philip K Roche, C. Sylvie Campagne, Tom Baudouin

► **To cite this version:**

Philip K Roche, C. Sylvie Campagne, Tom Baudouin. Les services écosystémiques au sein du Parc Naturel Régional de Brière : évaluation et vulnérabilité au changement climatique. INRAE; PNR de Brière. 2021, pp.100. hal-04233332

HAL Id: hal-04233332

<https://hal.science/hal-04233332>

Submitted on 9 Oct 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Une autre vie s'invente ici



Les services écosystémiques au sein du Parc Naturel Régional de Brière : évaluation et vulnérabilité au changement climatique

Philip ROCHE, Sylvie CAMPAGNE et Tom BAUDOIN



INRAE

Ce rapport s'appuie sur les travaux réalisés dans le cadre du mémoire de master de l'Université de Rennes réalisé par Tom Baudouin sous la supervision de Philip Roche (INRAE) et Grégory Jechoux (PNR de Brière) en 2021.

Citation :

Roche, P., Campagne, S., & Baudouin, T. 2022. Les services écosystémiques au sein du Parc Naturel Régional de Brière : évaluation et vulnérabilité au changement climatique. Rapport d'étude scientifique, INRAE, PNR de Brière, 98p.

Sommaire

1	Introduction	5
2	Quelques mots sur le Parc Naturel Régional de Brière	7
2.1	Origines et exploitation passée du territoire	8
2.2	Paysages actuels de Brière	9
3	Évaluation de la capacité en services écosystémiques du PNR de Brière.....	12
3.1	Le concept de services écosystémiques.....	12
3.1.1	Un concept récent.....	12
3.1.2	La définition de la notion	13
3.2	La méthode de la matrice de capacité	16
3.2.1	Principe et fonctionnement de la méthode	16
3.2.2	Méthodologie	17
4	Évaluation des services écosystémiques du Parc Naturel Régional de Brière.....	18
4.1	Les éléments constituant la matrice de capacité du PNR de Brière.....	18
4.1.1	Liste et la cartographie des habitats	18
4.1.2	Les services écosystémiques	27
4.1.3	L'Atelier participatif.....	29
4.1.4	La matrice de capacité du PNR de Brière	30
5	Évaluation de l'impact du changement climatique sur la fourniture en services écosystémiques du PNR Brière	39
5.1	Changement climatique, du global au local.....	39
5.1.1	Situation globale : état des lieux du changement climatique.....	39
5.1.2	Situation régionale : trajectoire climatique du PNR Brière	43
5.2	Vulnérabilité des services écosystémiques du PNR Brière	57
5.2.1	Diagnostic de vulnérabilité	57
5.2.2	Quelles modifications de la fourniture de services écosystémiques ?	69
6	Bilan de l'étude et intérêt d'une intégration territoriale	75
7	Bibliographie.....	78
7.1	Autres documents non cités dans le rapport	80
8	Annexes.....	82
	Annexe 1 : Synthèse des référentiels utilisés pour chaque couche d'habitat naturel cartographié	82
	Annexe 2 : Détail des assemblages de champs pour chaque habitat naturel	83
	Annexe 3 : Matrice des moyennes	84
	Annexe 4 : Matrice des écarts-types.....	85
	Annexe 5 : Matrice des indices de confiance	86
	Annexe 6 : Matrice des moyennes pondérées.....	87
	Annexe 7 : Carte des services d'approvisionnements	88
	Annexe 8 : Carte des services de régulation.....	89
	Annexe 9 : Carte des services culturels.....	90
	Annexe 10 : Tableau complet des projections climatiques (moyennes et sommes annuelles) pour tous les scénarios et tous les horizons retenus.....	91
	Annexe 11 : Tableau complet des tendances d'évolutions climatiques par rapport à la situation de référence (1950 – 2005) pour tous les scénarios et horizons retenus	92
	Annexe 12 : Scores bruts de sensibilité, d'exposition et de capacité d'adaptation des habitats naturels....	93

9	Table des abréviations	94
10	Table des illustrations et des tableaux	95
11	Table des annexes	98

1 Introduction

La menace du réchauffement climatique et l'emprise croissante des activités anthropiques sur les écosystèmes sont des faits avérés et palpables depuis des décennies (IPBES 2019). La hausse des températures, l'érosion des sols et de la biodiversité à l'échelle mondiale figurent parmi les exemples les plus criants. Malgré la prise de conscience croissante des grands enjeux environnementaux, les politiques de préservation de la biodiversité peinent à atteindre leurs objectifs. Celles-ci sont généralement perçues comme trop restrictives pour l'aménagement de l'espace. Pourtant, certains environnements nécessitent pour être maintenus d'être protégés et restaurés. C'est le cas des zones humides qui font partie des écosystèmes les plus menacés à l'échelle mondiale car 64% des zones humides de la planète auraient disparu depuis 1900. Les causes de cette disparition seraient multiples avec, entre autres, l'expansion de l'agriculture, la pollution ou encore l'expansion urbaine.

La notion des services écosystémiques permet d'apporter une vision différente de la préservation de la nature. Définie par le Millenium Ecosystem Assessment en 2005 comme « *les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes* », cette notion doit mener à leur meilleure considération par l'homme. L'acquisition de connaissances sur le fonctionnement des milieux naturels et leur importance dans la contribution au bien-être humain permet d'alerter sur notre dépendance aux services et donc sur le besoin de les conserver en bon état. Cette notion met en avant la multifonctionnalité des écosystèmes par la diversité des services rendus par ces écosystèmes à l'homme tels que le stockage de carbone, les réservoirs de biodiversité, la protection contre les inondations ou encore la régulation des débits d'étiages. Les services écosystémiques sont de plus en plus reconnus et pris en compte dans les politiques de conservation de la biodiversité. Cependant leur utilisation reste généralement focalisée sur seulement quelques services et à l'échelle de quelques milieux spécifiques. La méthode de la matrice de capacité (Campagne et Roche, 2018) est un outil permettant la prise en compte de la multifonctionnalité des écosystèmes. Cette approche permet l'évaluation conjointe de l'ensemble des services écosystémiques sur un large panel d'habitats naturels représentatifs d'un territoire donné.

Le parc naturel régional de Brière, entre mer et marais, est touché par les problématiques climatiques à venir. Bien qu'accompagnant déjà les acteurs du territoire sur la gestion de la biodiversité, le parc souhaite aller plus loin en faisant appel à la notion des services écosystémiques afin d'évaluer la capacité des écosystèmes à contribuer au bien-être des habitants. C'est au travers de ce questionnement sur la fourniture potentielle de services rendus aux humains que sera étudiée la vulnérabilité du territoire aux impacts du changement climatique à venir. L'étude de ces impacts à moyen et long terme pourrait permettre la mise en place d'une gestion adaptée du territoire face au changement climatique.

Le but de cette étude est de savoir si le changement climatique aura un impact sur la capacité des habitats naturels à fournir des services écosystémiques ? Si oui, de quelle nature seront ces impacts (perte en qualités, en quantités) ?

Cette étude est donc divisée en 2 parties.

La première partie est consacrée à l'évaluation de la capacité en services écosystémiques des habitats naturels et artificiels du PNR de Brière. Après l'acquisition de l'état de l'art autour de la notion de services écosystémiques et de la méthode des matrices de capacité, le déroulement méthodologique est développé et un dernier temps est consacré à la présentation des résultats obtenus (cartes, graphiques) et à leur analyse.

La deuxième partie concerne l'analyse climatique. Une revue bibliographique rapide présente dans un premier temps l'état de l'art sur l'impact du changement climatique sur les marais côtiers, la situation climatique actuelle, puis le récit climatique du territoire du parc selon les scénarios et le pas de temps retenu. L'étude des données obtenues par le biais de portails comme DRIAS (<http://www.drias-climat.fr>) ainsi que, entre autres, des rapports publiés par le GIEC ou des données à l'échelle de la région permettent de représenter l'évolution des indicateurs climatiques retenus (températures, précipitations...). Un diagnostic de vulnérabilité des écosystèmes permet en dernier lieu de questionner la potentielle évolution des services écosystémiques qu'ils rendent.

Les perspectives de cette étude sont multiples et permet en premier lieu d'ouvrir une discussion sur l'application d'une telle étude pour la construction de politiques d'adaptations territoriales concertées autour de la thématique du changement climatique.

2 Quelques mots sur le Parc Naturel Régional de Brière

Situé en Loire Atlantique, le Parc Naturel Régional de Brière est l'un des plus anciens PNR français et il fêtait en 2020 ses 50 ans. Comprenant 18 communes lors de sa création en 1970, celui-ci englobe aujourd'hui 21 communes réparties en 3 intercommunalités :

- La Communauté d'Agglomération de la Région Nazairienne (CARENE)
- La Communauté d'Agglomération de la Presqu'île de Guérande-atlantique (Cap Atlantique)
- La Communauté de communes du Pays de Pontchâteau - Saint-Gildas-des-Bois.

Le Parc Naturel Régional de Brière appartient à la région Pays-de-la-Loire et au département de la Loire Atlantique (Figure 1). Ce territoire de 56 500 hectares est unique pour la diversité d'habitats naturels qui le composent. Occupant la majeure partie de la presque-Ile de Guérande, ce territoire de bocage et de marais n'est connecté au littoral qu'à l'Est au niveau des communes d'Assérac, Saint-Molf et de Mesquer. Cette configuration répond d'une volonté d'inclure la majorité des espaces naturels d'importance patrimoniale, floristique et faunistique majeure, présents au niveau des continuités écologiques du bassin versant du Mès (à l'Ouest) et du cours du Brivet, connecté aux marais intérieurs. Cette volonté de cohérence conduit également le territoire à inclure une partie des espaces naturels de certaines villes littorales comme Guérande, La Baule et Saint Nazaire (Charte 2014-2026, Avril 2014, PNR Brière). Le reste du littoral demeure cependant à l'extérieur des limites du parc, en raison de caractère très urbain des communes qui y sont situées. L'attractivité du littoral conditionne d'ailleurs une pression démographique ressentie sur l'ensemble de la Presqu'île puisque ces communes hébergent à elles seules plus d'habitants à l'année que les 21 communes du Parc.



Figure 1: Situation géographique du PNR Brière, Parc Naturel Régional de Brière

Bien que principalement rural (reconnu pour son patrimoine bâti de chaumières), c'est un espace très attractif et dynamique, puisqu'il est influencé au Sud par le pôle industriel et portuaire de Saint-Nazaire, et au Sud-Ouest et à l'Est par un important pôle touristique (Pornichet, Guérande et la

Baule). La présence de la ville de Saint-Nazaire au Sud en fait un territoire relativement bien desservi, et le classe parmi les parcs naturels régionaux les plus densément peuplés de France puisque ce territoire s'inscrit dans un bassin de vie de plus de 180 000 habitants. A l'image des PNR des marais du Cotentin, du Bessin et de la Camargue, le PNR de Brière est caractérisé par ses paysages de zones humides et littorales. S'étalant sur près de 20 500 hectares. Ces écosystèmes de marais d'importance patrimoniale majeure sont inscrits à la convention de RAMSAR et classées Zones Natura 2000, ZNIEFF, Réserve Naturelle Régionale et sites inscrits.

Le PNR de Brière a été labellisé pour la 3^e fois en 2014. Dès lors, l'instauration de la 4^e charte 2014-2029, mobilise les 38 agents (20 agents permanents) sur les 5 grandes ambitions du parc parmi lesquelles figurent la maîtrise de la gestion de l'espace et la qualité des paysages ainsi que la préservation de la biodiversité.

Ces ambitions répondent des fortes pressions exercées sur le territoire. L'importante dynamique démographique a notamment engendré une forte consommation d'espaces agricoles et naturels sur les différents bocages du parc. De plus, les invasions biologiques (ragondin, écrevisse, jussie, crassule...) perturbent les écosystèmes de zones humides à l'équilibre déjà très fragile. Si l'on ajoute à cette liste les impacts du changement climatique (submersion marine, hausse des températures, changement des régimes pluviométrique), nombreux seront les défis auxquels le parc devra faire face à l'horizon 2050 et 2100.

2.1 Origines et exploitation passée du territoire

Situées dans une cuvette quadrillée par l'estuaire de la Vilaine au Nord, celui de la Loire au Sud, le Coteau de Guérande au Sud-Ouest (environ 60m de relief) et le sillon de Bretagne au Nord-Est (environ 90m), Les zones humides occupent près des 2/3 du territoire. S'ils étaient, entre 2500 et 1600 avant J-C., submergés à chaque marée haute, le marais indivis de Grande Brière Mottière, ainsi que les marais de Donges et de la Boulaie à l'Est sont aujourd'hui des marais d'eaux douces. Cette eau douce a progressivement été apportée par le bassin versant du Brivet, menant à l'installation de zones humides. La disparition du chêne, fossilisé en morta, laisse la place aux saules, bouleaux et aulnes, les roselières s'installent également et la tourbe apparaît vers 2300 suite à la saturation en eaux des milieux et au manque d'oxygène dans les sols. Le développement de l'agriculture aux alentours de ces zones humides vers 1600 av. J.C. fait reculer les forêts et commence à façonner les paysages d'aujourd'hui (PNRB, 2021).

Ces paysages donnent à voir un territoire riche et chargé d'histoire. Ce patrimoine réside en partie dans le statut juridique des territoires de marais puisque la propriété en indivision du marais de Grande Brière Mottière est énoncée dans les lettres de François II, Duc de Bretagne, en 1461. Celui-ci fait mention du peuple nécessitant directement de ces marais pour se loger, se chauffer ainsi que pour leur bétail. L'originalité de ce statut pourrait également s'expliquer par l'impossibilité d'atterrissement (et donc d'appropriation) de cet espace. Ce régime est aujourd'hui toujours en place et les droits des habitants sur le marais sont assurés par la Commission Syndicale de la Grande Brière Mottière.

Particulièrement pauvres, les briérons tiraient leur économie des matériaux naturels présents sur le territoire (pierre, argile, terre, roseau, bois de chêne et de châtaignier). Ainsi, l'activité de tourbage (extraction de la tourbe) remplaçait celle de l'exploitation de bois, étant donné la faible proportion de forêts. La chaumière briéronne est l'élément le plus emblématique du patrimoine architectural de Brière. La conservation de ce patrimoine fait d'ailleurs l'objet d'aides financières accordées aux particuliers pour la rénovation de leurs toits de chaume. Au 19^{ème} siècle, la révolution industrielle arrivant dans la région avec l'essor de la ville de Saint-Nazaire à progressivement élevé le niveau de vie des habitants. Les activités comme la chasse et la pêche sont devenues des loisirs tandis que la récolte de la tourbe ainsi et la coupe du roseau ont été abandonnées. Cet abandon pose des problèmes de gestion de ces milieux humides qui se combrent par accumulation de vase et par la progression des roselières. Pour pallier à ces phénomènes, des travaux de curage des canaux sont effectués tous les ans.

2.2 Paysages actuels de Brière

Une gestion du cours d'eau du Brivet, connecté à la Loire au Sud et traversant le marais jusqu'au Nord du parc via un système de canaux est opérée afin de permettre la régulation des niveaux d'eau tout au long de l'année (« *le bassin versant du Brivet-Brière s'étend sur 80 000 ha dont environ 20 000 ha de marais* », PNRB, 2021). Il est effectivement nécessaire d'effectuer des entrées d'eaux salées l'été, de manière à soutenir les débits d'étiages, mais également d'en évacuer l'hiver pour limiter les risques d'inondations. Le cours du Mès, au nord-ouest, alimente quant à lui un marais salant sur lequel sont situés des vasières et des prés salés. Le reste du territoire est constitué d'espaces bocagers aux spécificités variées :

- le bocage tourné vers le marais à l'Est, occupé par des îles et presqu'îles ;
- le bocage tourné vers les terres au Nord, plus arboré ;
- le bocage péri-urbain au Sud, proche du pôle industriel de Saint-Nazaire ;
- le bocage touristique à l'Ouest, tourné vers Guérande, la Baule et où est présent un important patrimoine de chaumières.

La multiplicité des paysages (Figure 2) conditionne une multitude d'appellations. On parle tantôt de pays noir pour désigner les marais et la tourbe qui en était autrefois extraite, de pays blanc, caractérisé par le sel extrait des vasières, ou encore de Brière des terres, des îles et des marais (Portal, Sellier, 2013).



Figure 2: Illustrations des paysages du PNR Brière : Marais salants du Mès, en haut à gauche (Bonnet), Réserve Pierre Constant en haut à droite (Hennion), paysage de bocage en bas à gauche (Cap Atlantique), roselières de la réserve Pierre Constant en bas à droite

Si les activités traditionnelles de récolte de la tourbe ou de coupe du roseau ne sont aujourd'hui plus pratiquées, le territoire ne manque pas d'activités. Les marais intérieurs conditionnent à eux seuls la majeure partie des activités de chasse, de pêche, de tourisme, d'élevage, mais également de loisirs divers (ornithologie, balade en chalands). L'équilibre de ces zones humides dépend du rôle de chacun. L'élevage extensif bovin notamment, en contrat MAEC (Mesures Agri Environnementales et Climatiques) soutenues par le PNR, permet de maintenir les habitats des prairies humides menacées du comblement par les espèces de fourrés, de boisements humides ou par les roselières. Le Syndicat de Bassin Versant du Brivet (SBVB), en assurant le maintien des niveaux d'eaux, au-delà de permettre la régulation des débits d'étiages en été et de crues en hiver, est également garant de la bonne tenue des activités agricoles, de chasse et de pêche (exigences de hauts niveaux d'eaux pour les uns et de bas niveaux d'eaux pour les autres). Ces marais intérieurs, labellisées Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF), zone Natura 2000 et site RAMSAR, présentent une richesse et une diversité d'espèces remarquable. « *Les roselières hébergent une flore et une faune spécifique adaptées à une végétation haute et dense. Elles peuvent accueillir une centaine d'espèces d'insectes, plus d'une trentaine d'oiseaux, divers poissons, batraciens, reptiles et mammifères.* » (Parc naturel régional de Brière, 2010). Celles-ci jouent également un rôle de refuge pour les oiseaux migrateurs. Les espèces végétales aquatiques comme les herbiers conditionnent le début de la chaîne trophique des canaux de marais. Ces espèces et mécanismes écologiques sont cependant aujourd'hui menacés par des problématiques d'invasions biologiques : ragondins (*Myocastor coypus*), poissons

chats (*Ameiurus melas*) écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*), jussies (*Ludwigia peploides*) et crassule (*Crassula sp.*) prolifèrent à grande vitesse dans le marais et y sont aujourd'hui parfaitement installée.

Hors du marais, les paysages de bocage assurent également de multiples fonctions écologiques. Les haies et talus notamment, situées en bordure de parcelles et de routes, permettent à la fois de limiter l'érosion des terres en retenant l'eau de ruissellement, mais également de protéger les cultures du vent. Celles-ci permettent également d'assurer le maintien des continuités écologiques, en jouant le rôle de corridors pour le passage des espèces animales. L'alternance de cultures maraîchères, de prairies et de mares assure le maintien d'une richesse spécifique remarquable.

Enfin, une partie des zones humides (environ 650 hectares) est lié au bassin versant du Mès, situé au Nord-Ouest et s'étendant sur 11360 hectares. La proximité littorale de cette partie du parc donne à voir une succession d'écosystèmes de végétations saumâtres. L'extrémité de l'estuaire donne lieu à des platiers rocheux, plages de sables et vasières intertidales (slikke). Les 263 hectares de vasières sont exploités par l'homme pour l'activité de saliculture, étant donné la faiblesse des précipitations estivales, la durée d'ensoleillement et les vents réguliers. Enfin, en contact avec ces lagunes sont également présents des prés salés, également nommés schorres.

3 Évaluation de la capacité en services écosystémiques du PNR de Brière

3.1 Le concept de services écosystémiques

3.1.1 Un concept récent

Ayant émergée entre les années 1970 et les années 1990, c'est au travers de certains travaux comme l'article de Robert Costanza *et al.* « *The value of the world's ecosystem services and natural capital* », publiés dans le journal scientifique *Nature* en 1997, que la notion de services écosystémiques a gagné en visibilité. Celle-ci s'inscrit à la suite de la notion de développement durable, mise en avant par la commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations Unies (Rapport Brundtland) en 1987, ainsi que par la conférence de Rio en 1992. Déplorant le manque de prise en compte des services écosystémiques rendus par les écosystèmes dans les politiques de gestion et l'urgence de considérer l'impact de nos activités sur ceux-ci, Costanza *et al.* développent une approche de quantification économique de la valeur de 17 services sur 16 biomes. Le constat obtenu, de l'ordre de 18 trillions d'US\$ par an, souligne que les services écosystémiques ont une véritable valeur économique, dépassant de loin les sommes affichées par les PIB des pays les plus développés. En considérant le fonctionnement des milieux naturels comme partie intégrante du fonctionnement de notre économie, assurer leur protection devrait donc relever d'une logique élémentaire.

Le nombre de publications scientifiques sur le sujet a fortement augmenté ces vingt dernières années et un cadre méthodologique clair et uniformisé a été proposé en 2005 par le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), qui qualifie les services écosystémiques comme étant « *les services rendus par la nature et dont l'homme tire des bénéfices* ». Au-delà de proposer une vision uniforme et institutionnalisée, les travaux du MEA ont participé à l'opérationnalisation du concept. Désormais, la notion de services écosystémiques n'est plus seulement réservée aux sphères scientifiques, mais se développent dans le discours des gestionnaires et décideurs, qui plus tard, entament des réflexions autour de programmes de recherches pour des applications territoriales à l'échelle locale, régionale ou globale (Dufour *et al.*, 2016).

En France, l'Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosystémiques (EFESE), mis en place par le ministère de l'écologie en 2012, élabore un état des lieux des services rendus sur le plan national et développe des outils de sensibilisation concrets (EFESE, 2020). Cette initiative fait écho aux activités de la Plate-forme Intergouvernementale Scientifique et Politique sur la Biodiversité et les Services Écosystémiques (IPBES), créé la même année au sein de l'ONU.

L'évaluation des services écosystémiques d'un territoire contribue à la mise en œuvre de politiques de préservation de la nature plus tangibles, efficaces et durables. Les études menées au début du XXI^e siècle, en donnant à voir la dépendance de l'homme aux écosystèmes et les coûts impliqués par la mauvaise gestion sur le temps long de ceux-ci, poussent les acteurs d'un territoire à adopter des

pratiques de gestion plus durables, allant dans le sens du maintien de la soutenabilité de celui. Offrant une meilleure appréhension du fonctionnement systémique d'un territoire et de l'interaction entre les services d'un seul ou plusieurs écosystèmes, des réflexions ont été engagées autour de différentes méthodologies permettant leur évaluation, leur quantification ainsi que leur répartition géographique, conjointement à l'appropriation du concept par les décideurs et gestionnaires.

3.1.2 La définition de la notion

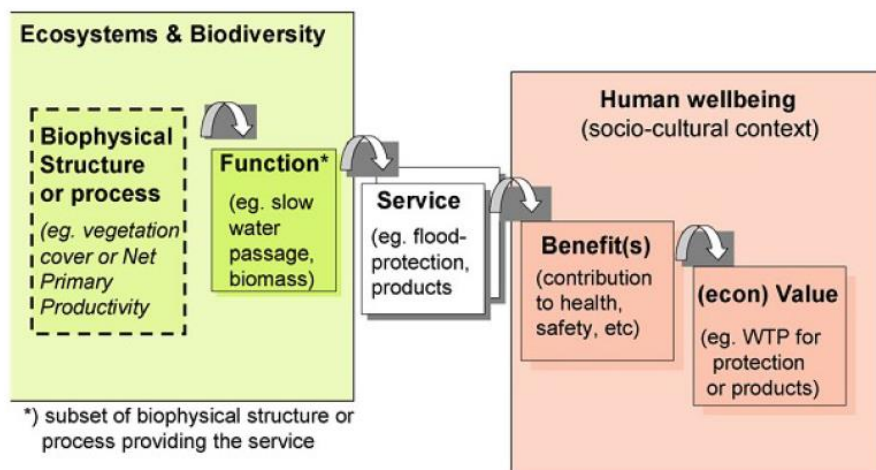


Figure 3: Cascade de services écosystémiques (Haines-Young and Potschin, 2011)

Les services écosystémiques sont généralement présentés dans un modèle dit de la « Cascade de services » (Figure 3) qui explicite la notion dans un système socio-écologique (Haines-Young, Potschin, 2011). Il fait le lien successif entre la structure des écosystèmes et les bénéfices que l'Homme tire de la nature et sous-entend une fourniture spontanée des services et des bénéfices par les écosystèmes. Il permet ainsi la distinction entre la structure ou processus biophysique (l'écosystème biophysique), les fonctions écologiques, les services écosystémiques et les bénéfices. Les services écosystémiques sont par définition à l'interface entre les écosystèmes et le système socio-économique – la société. C'est de cette interaction que découle le caractère anthropocentré de la notion : les écosystèmes régissant l'offre, la société la demande. S'intéresser à l'ensemble des fonctions écologiques des écosystèmes comme répondants aux besoins de nos activités permet non seulement de considérer la production de biens matériels (comme la production de bois par les forêts), mais également immatériels (comme le stockage de carbone par les sols). De plus, comparativement aux approches « classiques » de préservation de la biodiversité, la prise en compte du fonctionnement des écosystèmes et de leur utilité pour les activités humaines permet de considérer également la biodiversité ordinaire (prairies, surfaces agricoles, etc.) et pas seulement la biodiversité remarquable.



Figure 4: Les différents types de services écosystémiques (source : <http://futurs-souhaitables.org>)

Trois catégories de services écosystémiques (SE) sont généralement distinguées (Figure 4) :

- **Les services d'approvisionnement** regroupent la production de biens à usages directs à destination alimentaire ou non, parmi lesquels figurent la production de bois, de fibres et autres matériaux.
- **Les services de régulation** regroupent les services non matériels relatifs au fonctionnement plus profond des écosystèmes et dont l'homme bénéficie de façon indirecte : stockage de carbone par le sol, régulation des crues, pollinisation...
- **Les services culturels** regroupent les valeurs immatérielles de la nature, ayant attirés aux inspirations esthétiques, aux usages récréatifs, supports d'instruction, etc.

Une quatrième catégorie de services, les « services de support ou de soutien » tend aujourd'hui à disparaître des classifications en raison de la trop forte ressemblance avec la notion de fonctions écologiques des écosystèmes.

Les SE se décomposent en sous-notions d'offre (production/fourniture de la nature sur une période et dans un lieu précis), d'usages (quantités de SE consommés ou utilisés directement ou indirectement en fonction de la demande) et de demande (régie par les besoins/désirs de l'homme à un moment donné).

Les SE sont sur trois domaines de valeurs qui définissent les différentes approches d'évaluation : les approches biophysique, économique et socio-culturelle. Si la valeur économique permet de « *donner une valeur économique permettant de prendre en compte les milieux naturels et aider à leur considération lors des prises de décision et de gestion* » (Russi *et al.*, 2013; Campagne *et al.*, 2015), comme en attestent les études de Costanza *et al.* ou de TEEB, la prise en compte des deux autres

approches n'en demeure pas moins importante. L'approche biophysique évalue le fonctionnement de l'écosystème, son état ainsi que les facteurs pouvant influencer sa composante biologique, écologique et physique (EFESE, 2017, Campagne, 2019). L'approche socio-culturelle complète l'interprétation des services rendus à l'homme en évaluant les préférences individuelles et collectives, les perceptions faites des différents services, ainsi que les compromis réalisés entre ces services et les parties prenantes (Santos-martín *et al.*, 2016, Campagne 2019). Ces 3 approches sont utilisées de façon complémentaire dans de nombreuses méthodes évaluations.

L'étude des services écosystémiques permet d'appréhender la complémentarité des écosystèmes dans leur fonctionnement et l'intérêt de préserver l'ensemble de leurs interactions afin d'assurer leur bon état écologique au niveau d'un territoire. La prise en compte de la multifonctionnalité des écosystèmes passe donc par l'appréhension de divers types d'interactions :

- Les relations de compromis (*Trade-off*), au caractère antagoniste, impliquent une balance entre le gain d'un ou de plusieurs SE et la perte d'autres. C'est une relation gagnant-perdant.
- Les relations synergiques correspondent à l'association positive de deux ou plusieurs SE, et donc à la création d'un cercle vertueux. Relation gagnant-gagnant.
- Les relations « improductives » résultent de l'interaction des services étant néfastes l'un pour l'autre, on parle alors de relation perdant-perdant.

3.2 La méthode de la matrice de capacité

3.2.1 Principe et fonctionnement de la méthode

La méthode de la matrice de capacité a été choisie pour évaluer les services écosystémiques du PNR de Brière. Popularisée avec l'article de Burkhard *et al.* en 2009, cette méthode d'évaluation permet l'estimation de la fourniture de l'ensemble des SE d'un territoire à partir d'un tableau à double entrée services/habitats naturels ou occupation du sol, dans lequel chaque case a un score représentant la capacité de chaque habitat naturel à rendre le service attribué. La matrice peut être remplie par des données quantitatives issues d'indicateurs ou de modèles ainsi que par la mobilisation du dire d'experts ce qui est l'approche la plus utilisée (Campagne *et al.* 2020). La méthode de la matrice de capacité a été utilisée pour la première fois en France sur l'ensemble des milieux naturels du PNR des Baronnies Provençales en 2014 et a été depuis appliqué dans de nombreux PNR (entre autres le PNR Scarpe-Escaut et le PNR des Alpilles) ainsi que sur d'autres territoires tel que sur l'ensemble de la région Hauts-de-France (Campagne et Roche, 2019).

Cette méthode d'évaluation est de plus en plus utilisée en raison des nombreux avantages qu'elle présente (Campagne *et al.*, 2020). Son format de tableau à double entrée permet la prise en compte de l'ensemble des services écosystémiques et permet d'adapter à tous les contextes les listes de services et d'habitats. L'utilisation d'une même échelle pour chaque service permet une homogénéité des résultats surtout s'ils sont obtenus à partir de la même méthode d'évaluation comme c'est le cas lorsqu'ils sont définis à partir du dire d'experts. D'un point de vue pratique, cette méthode est rapide à mettre en place (environ 6 mois d'étude entre la prise de connaissance d'un territoire et l'exploitation des résultats). Cette approche est désignée comme l'une des méthodes d'évaluations des services écosystémiques les plus simples à mettre en place tout en gardant une robustesse des valeurs lorsqu'elle est appliquée en suivant une méthodologie précise (Maes *et al.*, 2014, Grêt-regamey *et al.*, 2015, Campagne, 2018).

La définition des scores via le dire d'experts fonctionne sur la mobilisation de l'intelligence collective. La mobilisation d'experts provenant d'organismes diversifiés autour d'une même table permet d'une part la création d'un score intégrant l'ensemble des expertises d'un territoire et d'autre part la création d'échanges et la transmission de connaissances là où certains acteurs n'ont pas forcément l'occasion de se rencontrer dans d'autres circonstances. Cet atelier de remplissage de la matrice est l'occasion pour beaucoup d'entre eux d'acquérir des compétences/connaissances dans un domaine qu'ils n'ont pas forcément l'habitude d'aborder en temps normal. Ces experts auront par la suite l'occasion de transmettre à leurs collaborateurs ces mêmes compétences/connaissances, participant alors à la diffusion de la notion dans les organismes de gestion des territoires. Enfin, un des bénéfices non négligeables retirés de la mobilisation de l'intelligence collective est l'apport de connaissances encore non acquises sur certaines fonctions écologiques des habitats naturels, mais également sur certains services écosystémiques moins connus.

3.2.2 Méthodologie

Nous avons appliqué la méthodologie en 7 points (Figure 5) développée en 2018 à partir d'une étude de la littérature scientifique utilisant cette approche Campagne et Roche 2018). La première étape consiste à lister les services écosystémiques et les habitats naturels jugés pertinents pour l'étude, ainsi qu'à sélectionner les experts du territoire à mobiliser pour définir les scores de la matrice de capacité. La deuxième étape consiste à la réalisation d'un atelier participatif pour recueillir les scores des experts. Il existe différents choix de remplissage de la matrice (étapes 3 et 4) qui ont chacune des avantages et inconvénients, tous détaillés dans le papier Campagne et Roche (2018). Les scores doivent ensuite être compilés en prenant en compte des indicateurs de fiabilités (étapes 5 et 6). La dernière étape est la réalisation de tableaux, cartes et diagrammes (étape 7) permettant l'analyse et la dissémination des résultats.

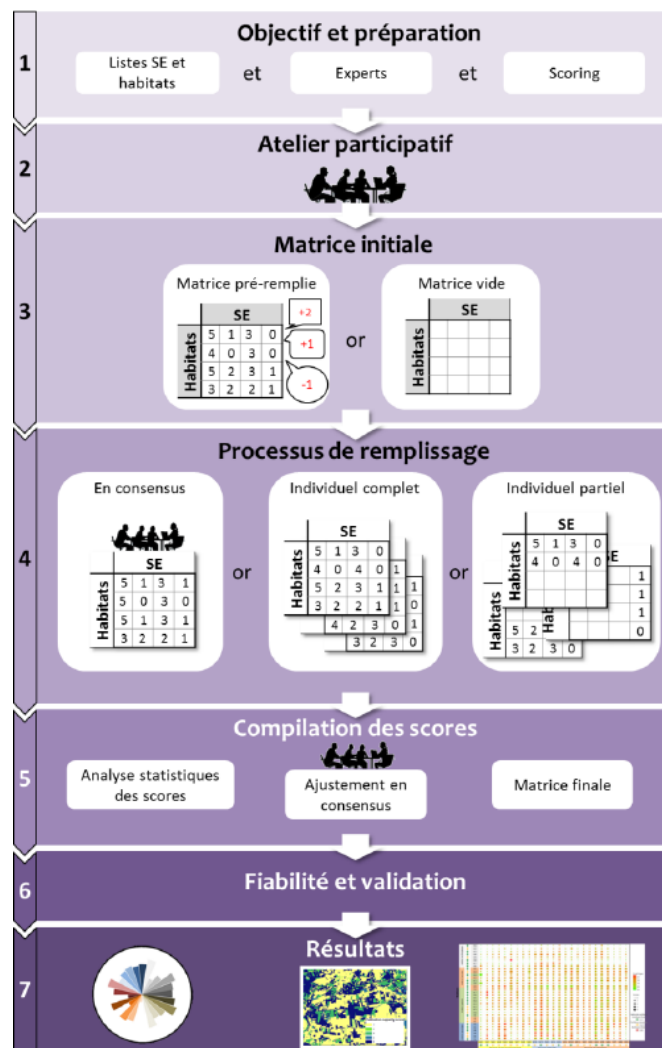


Figure 5: Les 7 étapes de la méthode de la matrice de capacité, Campagne et Roche, 2018

4 Evaluation des services écosystémiques du Parc Naturel Régional de Brière

4.1 Les éléments constituant la matrice de capacité du PNR de Brière

4.1.1 Liste et la cartographie des habitats

L'une des premières étapes de préparation de la matrice est la définition de la liste des écosystèmes à considérer. Afin de réaliser des cartes de fourniture des services écosystémiques, la liste des habitats doit correspondre à des entités cartographiées sous format SIG.

Après une première étape bibliographique d'acquisition de l'état de l'art sur le sujet des services écosystémiques et sur les problématiques et enjeux du PNR, la découverte du territoire du parc, de ses acteurs et de ses problématiques s'est avérée être primordiale pour la compréhension globale de son fonctionnement. Plusieurs entretiens individuels ont été réalisés avec les agents du pôle biodiversité spécialisés sur diverses composantes (agriculture, espèces invasives, milieux humides, botanique). Il a été très rapidement nécessaire de compléter les connaissances acquises lors de la phase d'acculturation par des données surfaciques. Après avoir récupéré les jeux de données cartographiques possédés par le parc, un tri de celles-ci a été réalisé.

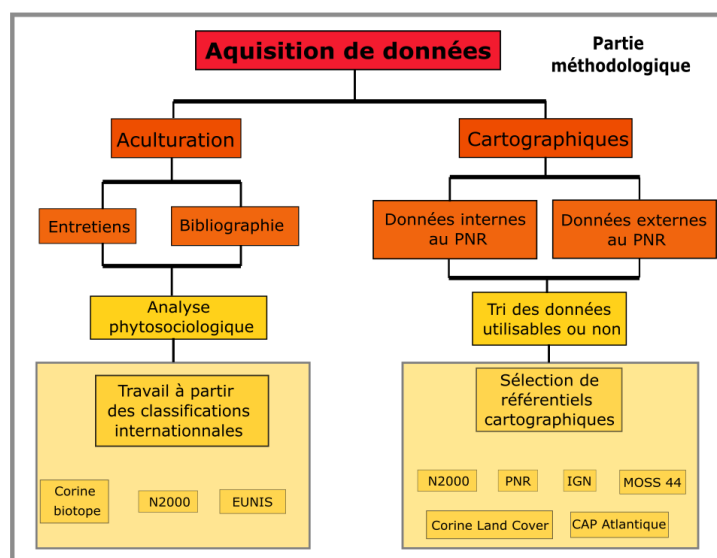
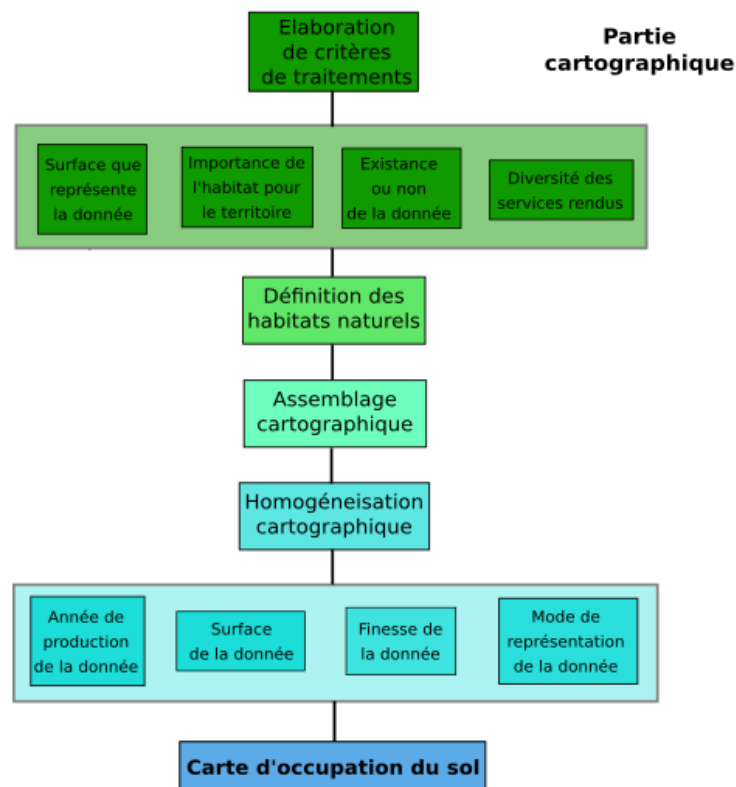


Figure 6: Organigramme de traitements de données

La recherche d'une méthodologie de traitements (Figure 6) a été complexifiée par la nécessité de prendre en compte l'importance des habitats classés Natura 2000 présents sur le territoire. Ces habitats patrimoniaux d'intérêts communautaires sont classifiés selon la méthode de la phytosociologie. Se référer à cette discipline botanique était primordial pour caractériser les habitats naturels à prendre en considération dans l'analyse. Un travail d'acculturation des classifications

internationales et européennes (EUNIS, Natura 2000 et Corine Biotopes) a permis de structurer l'analyse des données en définissant dans un premier temps jusqu'à quel niveau de détail il était pertinent de travailler. Le choix retenu fut celui de prendre en compte seulement le premier niveau de détail de cette classification. Conjointement à ce travail, l'analyse des données cartographiques acquises auprès du parc et sur internet a permis la sélection de référentiels géographiques¹ sur lesquels se baser afin de diminuer au maximum la déperdition d'informations, de faciliter les traitements et de garantir une homogénéité de lecture sur les cartes produites en sortie. Chaque référentiel possède ses avantages et ses biais de représentation de l'information. Les données d'occupation du sol produites par l'IGN par exemple, constituent une excellente clef de lecture pour les espaces de types parcellaires. Nous les avons donc retenues pour les habitats forestiers, bâtis et pour les surfaces de prairies et de cultures (RPG). En revanche, en ce qui concerne les autres habitats, il est nécessaire de se référer à d'autres types d'occupation du sol. L'importante composante en zones humides du PNR a rendu nécessaire l'utilisation de cartographies plus fines comme celles ayant fait l'objet d'une campagne d'inventaire en 2018 sur le périmètre Natura 2000 (15 000 hectares). Cette cartographie a donc permis de rendre visibles les spécificités du territoire (roselières, prairies humides...). Les Annexe 1 : Synthèse des référentiels utilisés pour chaque couche d'habitat naturel cartographié et Annexe 2 : Détail des assemblages de champs pour chaque habitat naturel détaillent les référentiels ainsi que les couches et champs utilisés pour la caractérisation de chaque habitat naturel.



¹ Un référentiel cartographique est un fond de carte représentant un territoire géographique, avec – ou non – une traduction symbolique de la représentation (géobretagne.fr).

Figure 7: Organigramme de traitements des couches cartographiques

Une fois la caractérisation des habitats effectuée, il a été possible de réaliser l'assemblage de couches d'occupation du sol sur laquelle se base la cartographie des services écosystémiques (Figure 7). Il a été primordial d'imposer des critères de sélection pour caractériser les habitats naturels retenus. Selon les lectures et l'analyse des données réalisées précédemment, les critères retenus sont les suivants :

- Surface que représente la donnée : compte tenu de l'hétérogénéité des données cartographiques acquises et du temps nécessaire à la récupération et au traitement des couches, il était inutile de chercher à représenter des écosystèmes de trop faibles surfaces, même s'ils représentent un intérêt particulier pour le territoire (exemple des tourbières à sphaignes qui représentent 2 hectares à l'échelle du parc).
- Importance de l'habitat pour le territoire : Cela peut paraître paradoxal après l'énoncé du critère précédent, mais le remplissage de la matrice étant effectué en partie par des experts d'organismes différents, externes à l'équipe du parc naturel, il était important de tenter de prendre en compte l'ensemble des écosystèmes d'intérêt patrimoniaux. De fait, la définition des habitats retenus est également fonction de critères de « représentation collective » du territoire du parc. Ce critère a pu être pris en compte grâce aux lectures et aux discussions avec les gestionnaires.
- Existence ou non de la donnée, pertinence de celle-ci : Il était parfois impossible d'obtenir des données concernant certains habitats spécifiques, soit due à leur aspect trop spécifique (lié plutôt à un type de substrat qu'à un couvert végétal), soit de par l'inexistence de jeux de données ou la non pertinence de ceux-ci.

Suite au travail des données réalisé à l'aide des outils de géotraitement, de gestion et de recherche du logiciel QGIS ainsi que quelques recalibrages méthodologiques et cartographiques, la liste des habitats naturels a pu être élaborée et représentée en couches d'occupation du sol. Un dernier travail de « lissage de la donnée », permettant d'homogénéiser les différentes couches d'occupation du sol en une seule a mobilisé la méthode du géoscore² appliqué sur un maillage cartographique à l'échelle 50m. Cette étape a été primordiale pour corriger les biais relevant de l'assemblage de plusieurs couches (erreurs de géométries, superposition, différence de finesse cartographique, complétude de l'information géographique).

Ce type de traitement ayant pour but de corriger les problèmes d'entités se superposant, le scoring de chaque couche d'habitat naturel écrasera de nombreuses surfaces ayant été enregistrées comme appartenant à un autre habitat (Figure 7). De fait, un ordre est à définir pour le renseignement de chaque couche d'habitats naturels dans la grille. Cet ordre est défini selon des critères de finesse de

² La méthode du géoscore permet de renseigner dans une même couche SIG, les informations d'une multitude de couches par le biais d'un score attribué à chacune (outil sélection par localisation à partir de la grille pour chaque couche d'habitat).

la donnée qui est fonction du référentiel utilisé. Les données parcellaires de l'IGN et du RPG sont généralement plus « grossières » que les données Natura 2000, et seront donc renseignées dans un premier temps afin de limiter au maximum les pertes d'informations. Le renseignement s'effectue à partir des systèmes prairiaux et culturaux, ensuite par les écosystèmes forestiers, bâtis et pour finir, sur les zones de marais. Il est également tenu compte de l'année de production de la donnée dans cette hiérarchie (Tableau 1).

Tableau 1: Référentiels géographiques utilisés

Référentiel géographique	Fournisseur de données	Types d'habitats considérés	Année de production de la donnée	Finesse cartographique
Registre Parcellaire Graphique (RPG)	Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN)	Parcelles agricoles déclarées à la PAC	2018	Variable, fonction de l'espace cartographié étant la grande offre cartographique de l'organisme Surfaces parcellaires, comme forêts ou plus fines comme les équipements urbains et autres
BD TOPO		Surfaces forestières Surfaces bâties	2016	
Corine Land Cover	data.gouv.fr	Prairies indifférenciées Marais salants	2018	Très grossière, représentation du couvert végétal de l'ensemble du territoire français
Mode d'Occupation du Sol Loire Atlantique (MOSS 44)	data.loire-atlantique.fr	Landes Habitats urbains	2016	Grossière
Service d'Administration National des données et référentiels sur l'eau (Sandre)	Eau France	Cours du Brivet	2019	Très fine
Parc Naturel Régional de Brière		Zones Natura 2000 (zones humides continentales)	2019	Très fine, comprenant tous les niveaux de détail des classifications phytosociologiques Eunis, N2000 et Corine biotope
Cap Atlantique		Près salés Zones intertidales et estran	2001	Très fine

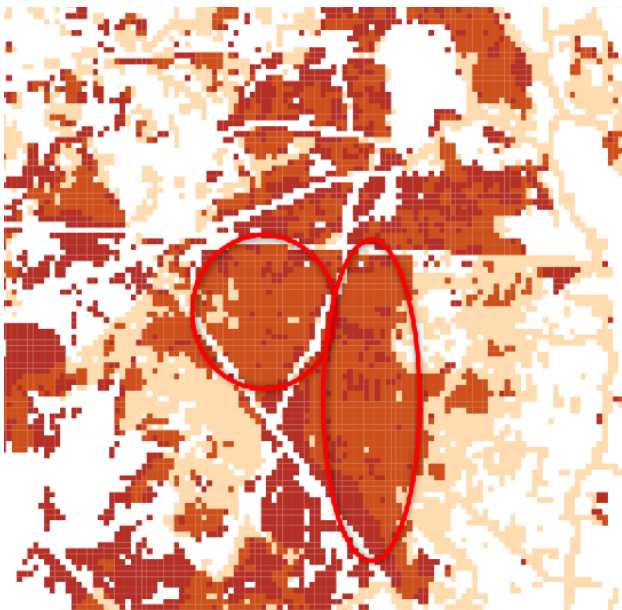


Figure 8: Illustration des couches en superposition (en orange les surfaces d'eaux stagnantes se superposant au roselières)

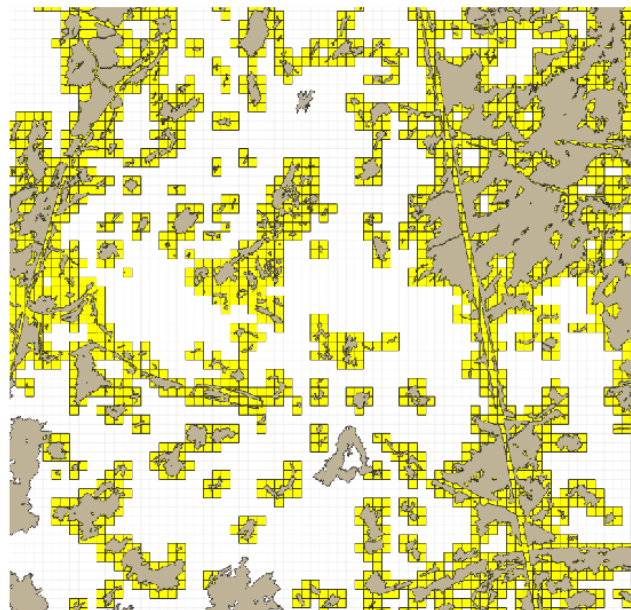


Figure 9: Pertes d'informations surfaciques sur la couche des roselières

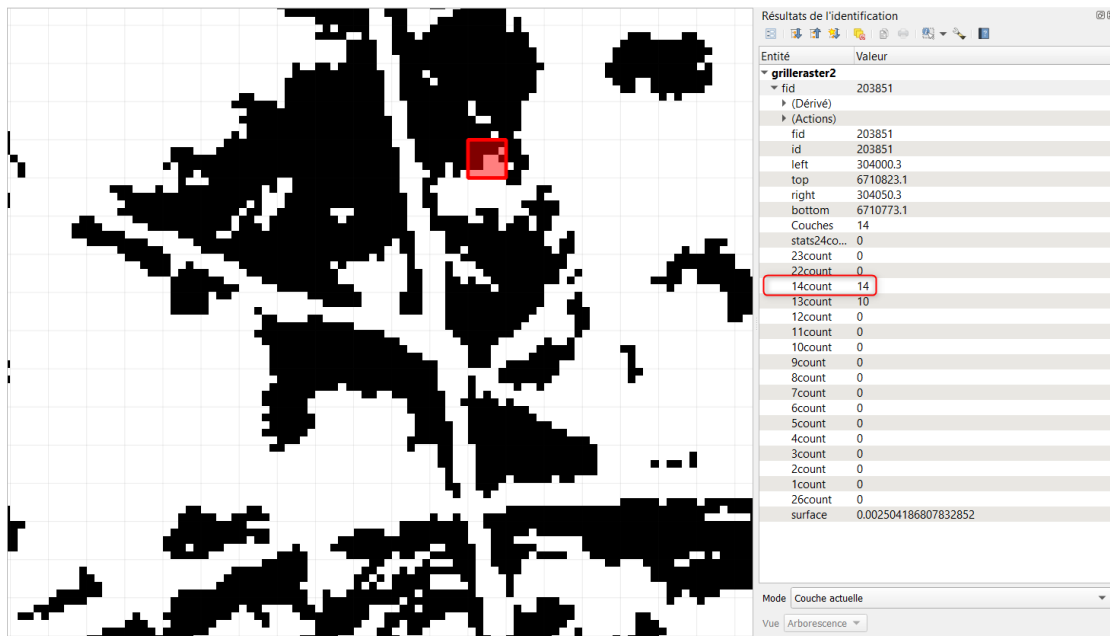
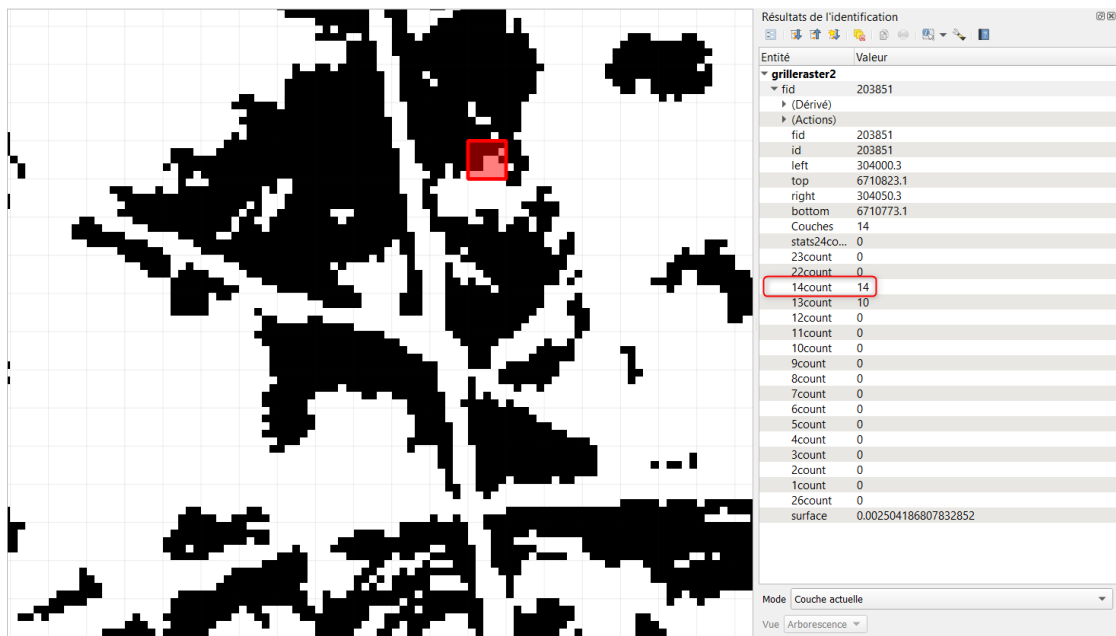


Figure 10: Nombre de pixels de la couche Roselières présents dans un carreau du carroyage (ici validée)

La création de ce carroyage homogénéisé est cependant complexifiée par l'existence de nombreuses anomalies (erreurs de géométries, indexations spatiales inexistantes, etc.) inhérentes à l'assemblage des divers référentiels cartographiques réalisé précédemment. La résolution de ces anomalies est très chronophage. De plus, les résultats obtenus via cette méthode sont biaisés par le fait que de nombreuses cases seront prises en compte dans le scoring alors que les surfaces des habitats sélectionnés ne sont pas toujours représentatives (Figure 10: Nombre de pixels de la couche Roselières présents dans un carreau du carroyage (ici validée)).

Une autre méthodologie a donc été retenue afin de résoudre ce biais : le passage des données au format raster. Ce format permet en effet de réduire les pertes d'informations tout en annulant les erreurs de géométries évoquées précédemment. En voici le déroulement :

- Conversion Raster à 20m avec l'outil « Rasteriser ».
- Boîte à outils, Analyse Raster, Statistiques de zone (on cherche ici à connaître le nombre de pixels de telle couche compris dans chaque case de la couche de carroyage). Cette fonction permet également d'obtenir un degré de finesse supplémentaire à celui de la méthode employée précédemment (
-



- Figure 10).
- Expression par localisation, « Champ >= '13' (on « valide » une case de carroyage à partir du moment où elle comprend une majorité de pixels pleins).
- Mettre à jour la sélection avec le code correspondant à la couche d'habitat concernée.

Selon les critères évoqués précédemment et après ajustements en concertation avec l'équipe du parc, voici la liste des habitats naturels retenus pour l'étude (Tableau 2). Celle-ci se décompose en 25 habitats naturels répartis dans 6 grandes familles, chacune exposant les écosystèmes selon des gradients différents :

- Les habitats aquatiques et de marais
- Les prairies humides, différenciées par la richesse du sol en nutriments
- Les landes, fruiticées et forêts, répartis selon un gradient de strates de végétation
- Les habitats agricoles
- Les habitats littoraux et halophiles, gradient de teneur en sel du substrat
- Les habitats artificiels, répartis selon un gradient de densité de bâti

Une carte a également été réalisée (Figure 11), permettant d'appréhender la répartition des habitats naturels sur le territoire. A noter qu'une 26^e classe d'habitat a été rajoutée suite à l'homogénéisation cartographique. Cette classe d'habitat, nommée « Prairies indifférenciées », comble les surfaces demeurant vierges et permet ainsi l'obtention d'une occupation du sol complète et exploitable pour la production de cartes. Cette couche d'habitat est extraite des données de prairies de Corine Land Cover 2018 et les scores lui étant attribués sont la moyenne des scores des prairies permanentes (H19) et des prairies temporaires (H20). Cet habitat ne figure donc pas dans le tableau 2 ci-dessus étant donné son rajout postérieur à la tenue de l'atelier de remplissage.

Tableau 2: Liste des habitats naturels, semi-naturels et anthropisés

Familles d'habitats	Code	Habitats	Définition
Habitats littoraux et halophiles	H01	Marais salants (lagunes côtières)	Étendues d'eau salée côtières, peu profondes, de salinité et de volume d'eau variables.
	H02	Zones intertidales	Partie de la vasière recouverte à chaque marée, essentiellement composée de vases molles lisses et sans végétation.
	H03	Prairies subhalophiles	Végétations herbacées anciennement sujettes aux influences marines, caractérisées par une végétation halophile (qui aime le sel).
	H04	Shores (prés salés)	Végétations herbacées se développant sur des sols inondés par les eaux salées lors des hautes marées.
Habitats aquatiques et marais	H05	Cours d'eau	Eaux douces courantes de surface. Habitat dépourvu de végétation.
	H06	Étangs et plans d'eau	Eaux douces stagnantes de surface, d'origine naturelle ou anthropique et de profondeur variable, dépourvues de végétations.
	H07	Végétations aquatiques et amphibies	Végétations pionnières herbacées, se développant dans les eaux stagnantes ou sur des sols inondables, généralement tourbeux.
	H08	Roselières	Groupements végétaux composés majoritairement du roseau commun ainsi que d'autres espèces (phragmites, marisques, baldingères faux-roseau, masettes).
	H09	Magnocaricaies et groupements mixtes	Groupements végétaux dominés par les carex en peuplements monospécifiques ou en mélange avec les autres types de roseaux.
	H10	Prairies envahies	Prairies et vases exondées colonisés principalement par la jussie et la crassule.
Landes fructifiées et forêts	H11	Landes sèches et humides	Végétations de sols pauvres et acides, secs ou humides, dominées par les arbrisseaux et sous-arbrisseaux (0.20 à 5m)
	H12	Végétations arbustives	Végétations ligneuses composée d'arbustes ou d'arbrisseaux, non ramifiées dès la base dont la hauteur à maturité est comprise entre 1 et 8m.
	H13	Forêts et boisements humides (saulaies et aulnaies marécageuses)	Végétations arbustives et arborées, se développant sur des sols très fortement engorgés, souvent tourbeux et pauvres en nutriments.
	H14	Forêts et boisements de feuillus	Végétations ligneuses à feuilles caduques (caducifoliés), dépassant les 7m de haut
	H15	Forêts et boisements de conifères	Végétations ligneuses à aiguilles (résineux), dépassant les 7m de haut.
	H16	Forêts et boisements mixtes	Végétations ligneuses de résineux et de caducifoliés, dépassant les 7m de haut.
Prairies humides	H17	Prairies humides oligotrophiles	Végétations herbacées se développant sur des sols pauvres (acides, argileux ou tourbeux), inondées en hiver.
	H18	Prairies humides mésotrophiles à eutrophiles	Végétations herbacées se développant sur des sols humides, basiques, minéraux ou parfois légèrement argileux et riches en éléments nutritifs.
Habitats agricoles	H19	Cultures maraîchères	Surfaces agricoles cultivées pour la production de légumes (oléagineux, protéagineux, légumineuses) destinés à la consommation humaine.
	H20	Prairies permanentes	Toute surface de production d'herbe ou autres plantes fourragères, qui n'a pas été retournée (c'est-à-dire convertie en terre arable ou culture permanente) depuis 5 ans au moins .
	H21	Prairies temporaires	Surfaces de production fourragères non retournées (c'est-à-dire convertie en terre arable ou culture permanente) depuis moins de 5 ans
	H22	Cultures annuelles (céréales)	Surfaces agricoles cultivées pour la production de céréales, à vocation alimentaire ou l'élevage (fourrages, engrais).
Habitats artificiels	H23	Habitats Urbains denses	Espaces bâtis regroupant les centres-bourgs et centres-villes, les habitats mixtes et collectifs, les activités et équipements et les infrastructures de transport.
	H24	Habitats Urbains discontinus (pavillonnaire)	Espaces bâtis non denses destinés au logement individuel comprenant les habitations pavillonnaires et hameaux ruraux.
	H25	Habitats Urbains végétalisés (parcs, jardins, etc)	Espaces végétalisés relevant d'un aménagement volontaire, comprenant les parcs et jardins urbains, les équipements sportifs et de loisir, le camping et caravaning.

Répartition des habitats naturels du Parc naturel régional de Brière

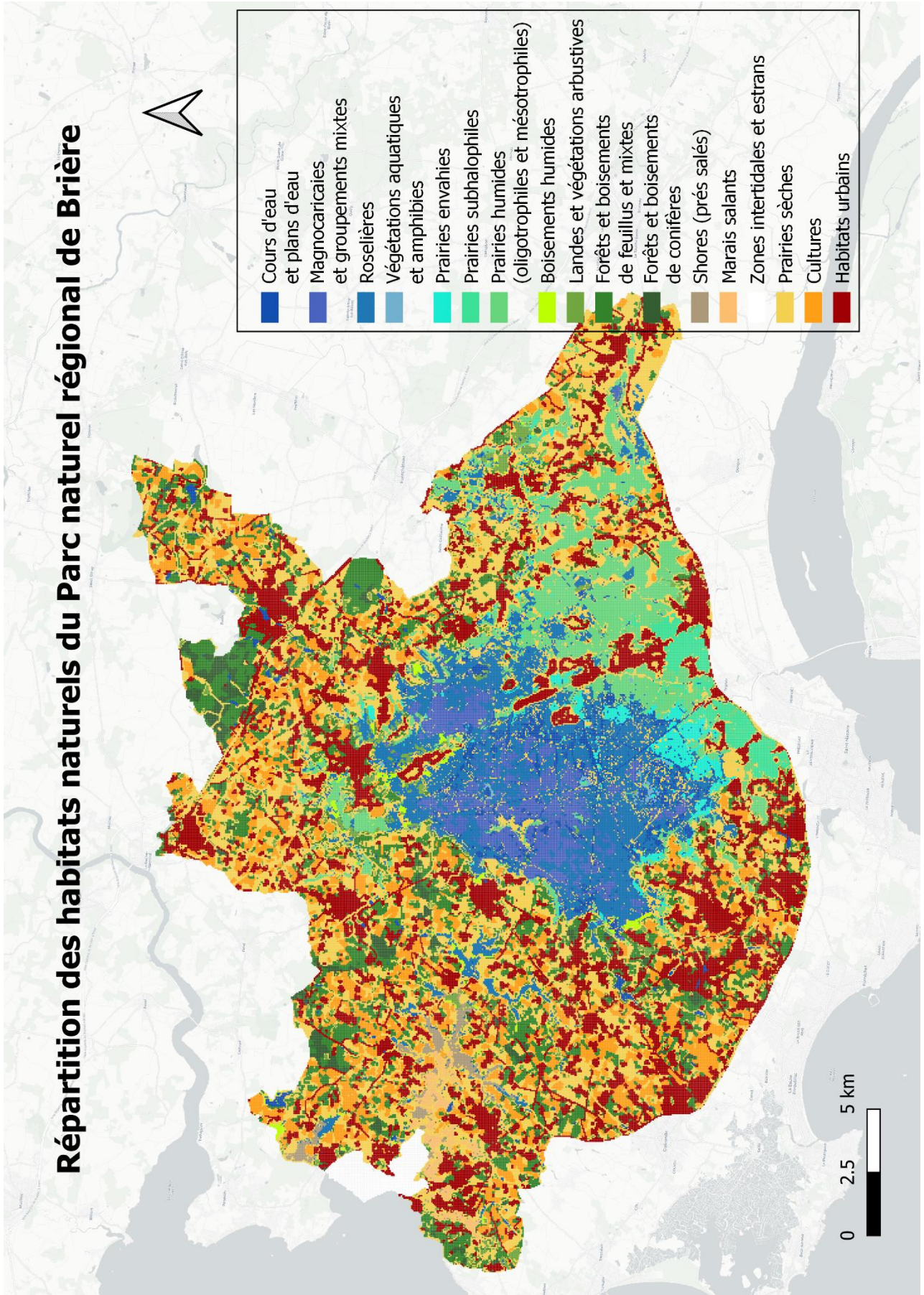


Figure 11: Carte de répartition des habitats naturels sur le territoire

4.1.2 Les services écosystémiques

Le format de la matrice de capacité, s'il permet le croisement de l'intégralité des services écosystémiques avec les habitats naturels, requiert de procéder à une sélection des services écosystémiques car la taille de la matrice est liée au temps de remplissage des experts. Une matrice de capacité comprenant trop de cases peut entraîner une fatigue des experts, ce qui peut altérer leur capacité à définir le score de la matrice de façon « objective ». De plus, il convient d'adapter la liste des services écosystémiques au territoire, à ses enjeux et à l'objectif de l'étude.

La liste de services écosystémiques a ainsi été élaborée en concertation avec les agents et quelques élus du parc. En partant d'une classification existante, le *Common International Classification of Ecosystem Services* (Haines-Young and Potschin, 2018), une liste de 22 services retenus est définie pour représenter le territoire du PNR de Brière (Tableau 3). La matrice finale utilisée lors de l'atelier de remplissage comprend ainsi 550 cases.

Tableau 3: Liste des services écosystémiques pris en compte pour l'évaluation du PNR de Brière

Services d'approvisionnement	Biomasse	Production végétale alimentaire (culture)	SA1
		Production animale alimentaire (élevage)	SA2
		Ressource animale alimentaire sauvage (récolte)	SA3
	Eau douce	Eau douce (quantité)	SA4
	Matériaux	Matériaux et fibres (non énergétiques)	SA5
		Ressource secondaire pour l'agriculture (fourrage, engrais vert)	SA6
	Énergie	Biomasse à vocation énergétique	SA7
Services de régulation et d'entretien	Maintien des conditions biologiques, physiques et chimiques	Séquestration du carbone	SR1
		Régulation du climat local	SR2
		Offre d'habitat, de refuge et de nurserie	SR3
		Pollinisation	SR4
		Maintien de la qualité des eaux	SR5
		Maintien de la qualité du sol	SR6
		Régulation des débits d'étiages	SR7
	Régulation des risques naturels	Régulation des inondations et des crues	SR8
		Protection contre les tempêtes	SR9
		Contrôle de l'érosion	SR10
Services culturels	REPRESENTATIONS	Emblème ou symbole	SC1
		Héritage et Existence	SC2
		Esthétique	SC3
	USAGES	Activités récréatives	SC4
		Connaissances et éducation	SC5

4.1.2.1 La sélection des experts

Les experts sont des spécialistes de domaines environnementaux divers sélectionnés pour leurs compétences/ expériences/ connaissances du fonctionnement des écosystèmes du territoire. En raison de la grande variété d'écosystèmes pris en compte et notamment dans des territoires de zones humides comme au sein du Parc Naturel Régional de Brière, alliant systèmes de prairies humides, forestiers, roselières, ou encore habitats littoraux, c'est l'hétérogénéité de leur expertise qui garantira le succès de l'atelier de remplissage de cette matrice. De fait, plus le panel d'expert sera large, plus la moyenne des résultats sera considérée comme proche de la réalité, réduisant la part des écosystèmes pour lesquels les connaissances sont moins étendues, mais augmentant également les chances d'une bonne estimation pour l'ensemble des services écosystémiques. L'expérience des études antérieures utilisant cette méthodologie démontre que la mobilisation d'au minimum 15 personnes permet l'obtention de moyennes de résultats stables (Campagne *et al.*, 2019).

Tableau 4: Experts retenus pour le remplissage de la matrice

	Organisme	Fonction	Sexe	Secteur d'expertise	Date de remplissage
P1	Agglomération La CARENE	Chargé d'étude environnement	Femme	Presqu'île de Guérande	Première session
P2	Conseil Départemental Loire Atlantique	Technicien Espaces naturels sensibles	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P3	Syndicat de Bassin Versant du Brivet	Chargé de mission règlement d'eau et prévention des inondations	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P4	Parc Naturel Régional de Brière	Chargé de mission biodiversité et zones humides	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P5	Parc Naturel Régional de Brière	Chargé de mission SIG	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P6	Parc Naturel Régional de Brière	Technicien agro-environnement	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P7	Parc Naturel Régional de Brière	Chargé de mission environnement	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P8	Parc Naturel Régional de Brière	Chargé d'opération Atlas de la Biodiversité Communale	Femme	Presqu'île de Guérande	Première session
P9	Parc Naturel Régional de Brière	Responsable du Pôle biodiversité et patrimoine naturel	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
P10	Parc Naturel Régional de Brière	Chargé d'opérations Atlas de la Biodiversité Communale	Homme	Presqu'île de Guérande	Seconde session
P11	Parc Naturel Régional de Brière	Chargé d'opération en ornithologie	Femme	Presqu'île de Guérande	Seconde session
P12	Centre National de Propriété Forestière Antenne Loire Atlantique	Chargé de mission Animation territoriale et projet Mellifor Responsable de l'antenne Loire Atlantique	Femme	Loire Atlantique	Première session
P13	Agrocampus Ouest	Professeur en écologie et aménagement	Homme	Bretagne	Première session
P14	Université Rennes 2	Etudiant Master Environnement	Homme	Presqu'île de Guérande	Première session
	Agence d'Urbanisme de la région Nazairienne	Chargé de mission environnement et urbanisme	Femme	Presqu'île de Guérande	Seconde session
P16	Office Français de la Biodiversité	Animateur Régional Solutions d'Adaptation Fondées sur la Nature	Homme	Pays-de-la-Loire	Seconde session

Les experts ont été sélectionnés selon leurs compétences et leurs connaissances de gestionnaires du territoire. Parmi eux figuraient des chargés de mission et de projet de profils divers : biodiversité zones humides, agroforesterie, gestion des cours d'eau, mais également des techniciens d'espaces naturels, SIG, ainsi qu'un professeur en écologie-aménagement à Agrocampus Ouest (Tableau 4). En tout, 16 experts ont remplis une matrice.

4.1.3 L'Atelier participatif

Avant l'atelier avec l'ensemble des experts, des phases tests ont été réalisées en interne afin de consolider la matrice de capacité et corriger des éventuelles erreurs, redéfinir certains termes et tester la cohérence ou non de la présence de certains habitats. Ces séances de remplissage en interne ont permis de consolider un niveau d'aisance nécessaire à l'animation de l'atelier ainsi que de préparer les questions potentielles concernant l'incompréhension de certains choix, les méthodes de remplissage et autre.

Enfin, l'atelier de remplissage s'est déroulé le 30 juin après-midi, 12 personnes ont participées (Figure 12). Un premier temps fut consacré à la présentation des objectifs de l'étude, de la méthode de la matrice de capacité ainsi que des habitats naturels et services écosystémiques retenus. Ce temps est indispensable pour harmoniser la compréhension de l'exercice et des définitions par l'ensemble des participants. Le remplissage fut effectué dans un second temps. Pour tous les participants, celui-ci s'est étalé sur 2h à 2h30. A différents moments, des échanges ont été sollicités pour résoudre à quelques questions et résoudre quelques incompréhensions. Il est apparu que les services de régulation semblaient plus complexes à évaluer.

Pour les personnes n'ayant pas pu participer au premier, un second atelier fut animé le vendredi 23 juillet. Le second atelier a permis à 4 personnes supplémentaires de participer à l'étude. Au total, 16 matrices seront comptabilisées (Tableau 4).



Figure 12: Atelier de remplissage, salle des nénuphars, Saint-Joachim, le 30 juin 2021

Afin d'assurer l'obtention de résultats les plus cohérents possible, certaines règles ont été respectées lors du remplissage.

- Premièrement, il est utile de rappeler que le but de cette méthode est de définir la capacité d'un habitat à fournir un service écosystémique. C'est le potentiel de fourniture

de service de l'écosystème que l'on cherche à estimer, de fait, l'usage actuel réalisé sur le territoire n'est pas pris en compte. En effet, la notion de capacité est définie comme le « *rendement maximal hypothétique des écosystèmes en services écosystémiques* » (Baro et al., 2017 ; Ramirez-Gomez et al., 2015 ; Schroter et al., 2016). Ce potentiel de « production » de services est lui-même dépendant de la bonne condition écologique (ou condition écosystémique) des écosystèmes : « *somme des propriétés biophysiques qui sous-tendent les services* » (Campagne, 2019).

- On considère un état moyen de l'habitat naturel sur le territoire. En prenant l'exemple d'une forêt, la productivité de celle-ci pour le service de fourniture de matériaux et fibres sera donc pour un état de santé (ou condition écologique) moyen.
- Seule la capacité actuelle est prise en compte. La capacité passée ou future ne compte pas dans l'analyse.

Concernant les scores, ceux-ci sont détaillés comme suit :

- 0 : capacité nulle
- 1 : capacité très faible
- 2 : capacité faible
- 3 : capacité modérée
- 4 : forte capacité
- 5 : très forte capacité

Ces scores sont à inscrire tels quels (en nombres entiers et non décimaux). Une telle échelle de notation distingue le caractère semi-quantitatif de cette approche, comparativement à une approche quantitative se basant sur des indicateurs spécifiques (pourcentages, unités de mesures adaptées).

Des indices de confiance permettent également de renforcer les résultats. Ils sont définis par l'expert afin d'exprimer, pour chaque service et chaque habitat, sa confiance sur sa propre notation :

- 1 : confiance faible
- 2 : confiance modérée
- 3 : confiance fort

4.1.4 La matrice de capacité du PNR de Brière

Les résultats finaux

Après restitution de toutes les matrices par les participants, un travail de saisie de celles-ci sous le logiciel Excel a été nécessaire afin de pouvoir en extraire les résultats (étape 5). Ces données permettent de calculer le score moyen pour chaque service et pour chaque habitat, ainsi que la variabilité estimée par l'écart-type inter-notateur. Ces matrices permettent l'analyse de la capacité en service, mais également la réalisation de diverses illustrations, notamment des bouquets de

services écosystémiques et des cartes. Pour produire les cartes, il convient de réaliser une jointure avec la couche d'occupation du sol réalisée dans le logiciel QGIS.

L'interprétation des résultats s'effectue à la lecture de la matrice des **scores finaux** (scores moyens entre les notateurs) (Annexe 3 : Matrice des moyennes), des cartes et des diagrammes. La prise en compte de la variation des scores des participants via **l'écart-type** (Annexe 4 : Matrice des écarts-types) est également importante à prendre en compte: un écart-type faible témoigne d'une forte homogénéité dans les estimations des participants tandis qu'un écart-type fort indique à l'inverse une forte divergence de ceux-ci. L'examen des **indices de confiance** (Annexe 5 : Matrice des indices de confiance) constitue une information complémentaire pour la compréhension de certains résultats. Ces indices permettent en effet de connaître les habitats et services plus difficiles à noter et donc d'obtenir davantage de recul sur ces résultats.

Interprétation des résultats par services écosystémiques

Les résultats montrent que les services de production alimentaire cultivée et élevée soient fortement rendus (scores supérieurs à 4) respectivement par les cultures maraîchères et annuelles (cultures) et par les prairies mésophiles (élevage). Concernant le service de production animale alimentaire élevée (SA2), les prairies humides affichent également des scores forts, mais moins élevés que ceux des prairies mésophiles, situées hors marais (2.6 et 3.1), comme l'attestent les deux cartes ci-dessous (

Figure 13 et

Figure 14). Les prairies humides, de par leur importante diversité floristique, leur inondabilité retardant la mise en pâture des bêtes et leur plus faible capacité à être support de graminées à forte composante nourricières, affichent une capacité de fourniture de services moindre que les prairies mésophiles à caractère plus mono-spécifique. L'eau douce (SA4) est rendue majoritairement par les cours d'eau et les étangs. Les matériaux et fibres (SA5) sont fournis essentiellement par les forêts (fourniture de bois) et les roselières (matériau utilisé pour le chaume, caractéristique du territoire). Les ressources secondaires pour l'agriculture (SA6) sont produites par les prairies (encore une fois, une supériorité sur les scores est observée sur les prairies mésophiles par rapport aux prairies humides), mais également en partie par les roselières en raison de l'utilisation du roseau pour la litière du bétail. Enfin, les boisements et arbustes sont les habitats les plus en capacité de produire de l'énergie (SA7), de par leur fourniture en bois de chauffe, même si les roselières (méthanisation) et les cultures annuelles (colza) figurent parmi les habitats comprenant les scores les plus élevés.

Pour les services de régulation, les familles d'habitats forestiers et des landes affichent les plus hauts scores pour l'ensemble des services (entre 2.1 et 4.6), suivis par les habitats des prairies humides (entre 3 et 4). Cela se constate à la lecture du diagramme en bouquet du service de séquestration du carbone (SR1) par exemple (Figure 15), ou encore à la lecture de la carte de fourniture de l'ensemble des services de régulation (Annexe 8 : Carte des services de régulation. Cette prédominance des habitats arborés s'explique néanmoins aisément pour le service de protection contre les tempêtes (SR9), la présence d'espèces ligneuses ayant une forte capacité à réduire l'impact des vents. Les forts

scores obtenus par cet habitat ne compensent néanmoins pas la faible surface qu'ils occupent à l'échelle du territoire : 9% en Loire Atlantique contre 20% à l'échelle de la métropole. Les résultats des services de régulation des étiages et crues (SR7 et SR8) sont élevés pour les habitats des prairies humides, ce qui entre en cohérence avec leur forte capacité à stocker l'eau. Enfin, les habitats urbains et halophiles ont les scores les plus faibles. Le service d'offre d'habitat, de refuge et de nurserie (SR3) comprend des scores supérieurs à 3 pour la grande majorité des classes d'habitats (Figure 16). Cela confirme qu'une grande richesse faunistique et floristique est observée sur l'ensemble du territoire du parc. L'indice de confiance pour la notation de ce service est d'ailleurs très élevé (2.50 en moyenne).

Une forte homogénéité des scores des services culturels est constatée dans les résultats pour les 5 services culturels. Ce sont les habitats des zones humides qui ont des scores les plus forts, notamment en ce qui concerne le service d'emblème et de symbole. Les roselières et marais salants constituent entre autres un patrimoine et un héritage très important, représentatifs de l'identité du parc (pays noir et pays blanc). La grande diversité des habitats naturels des zones humides du territoire offre également un grand panel d'activités récréatives et, est support d'activités éducatives et d'études scientifiques.

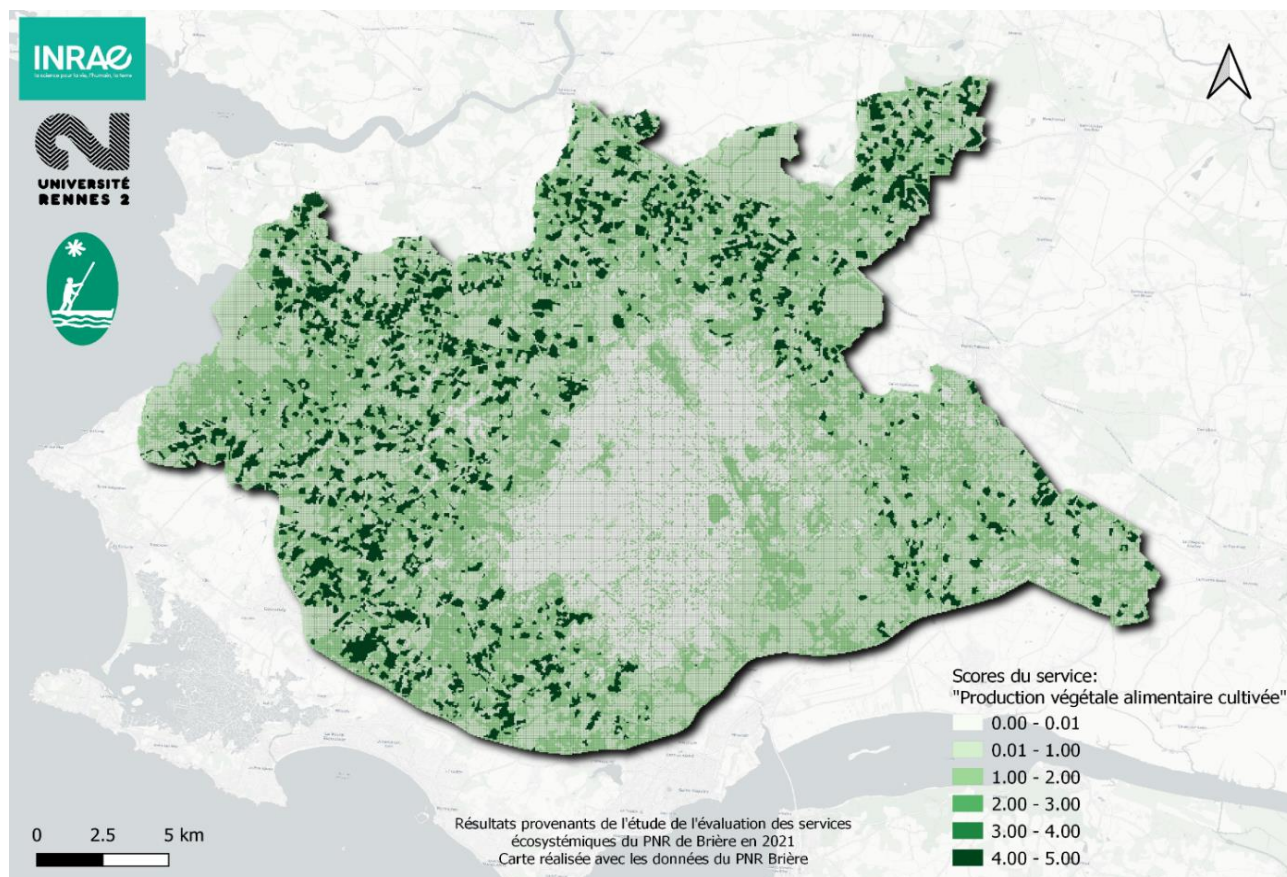


Figure 13: Carte de fourniture du service "Production végétale alimentaire cultivée" (SA1)

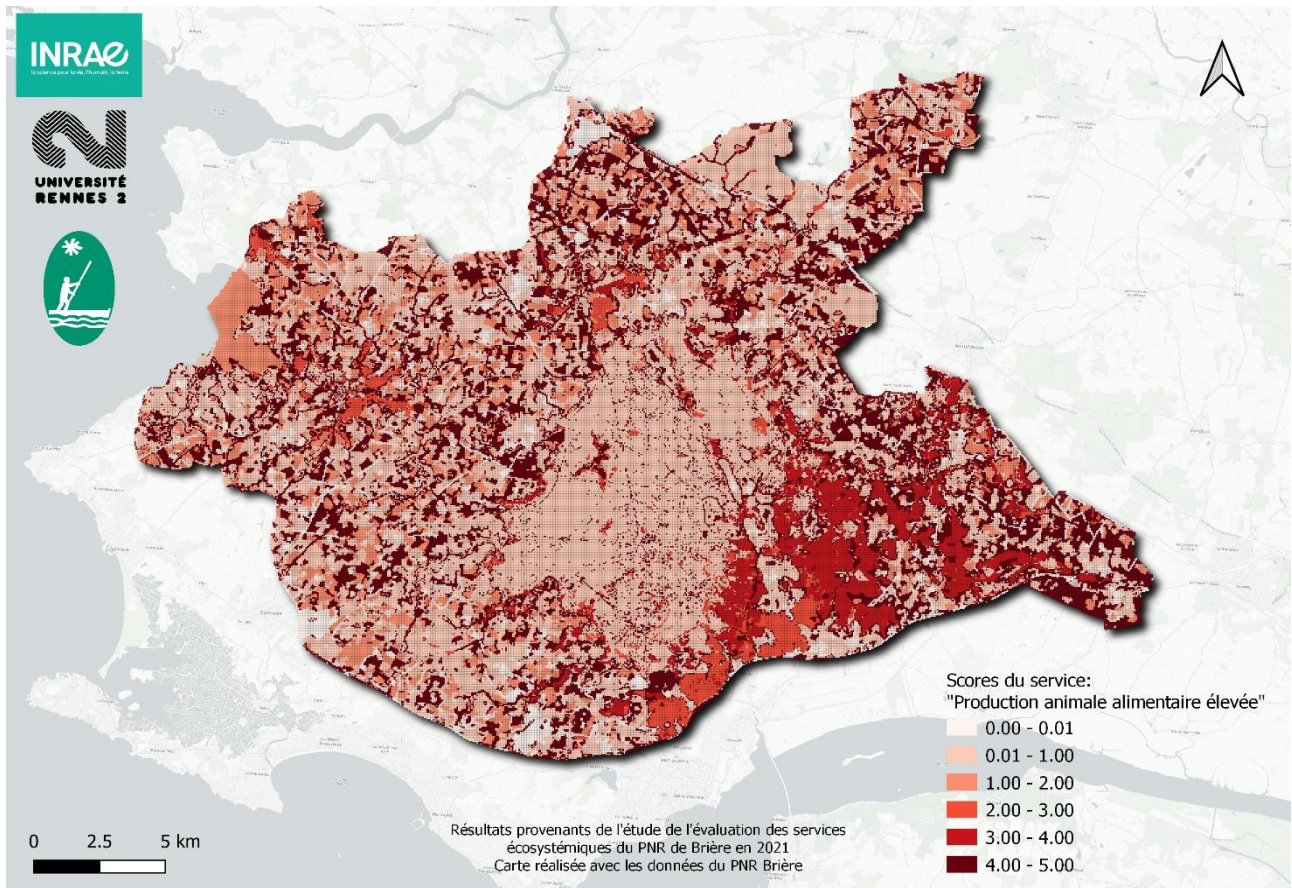


Figure 14: Carte de fourniture du service "Production animale alimentaire élevée" (SA2)

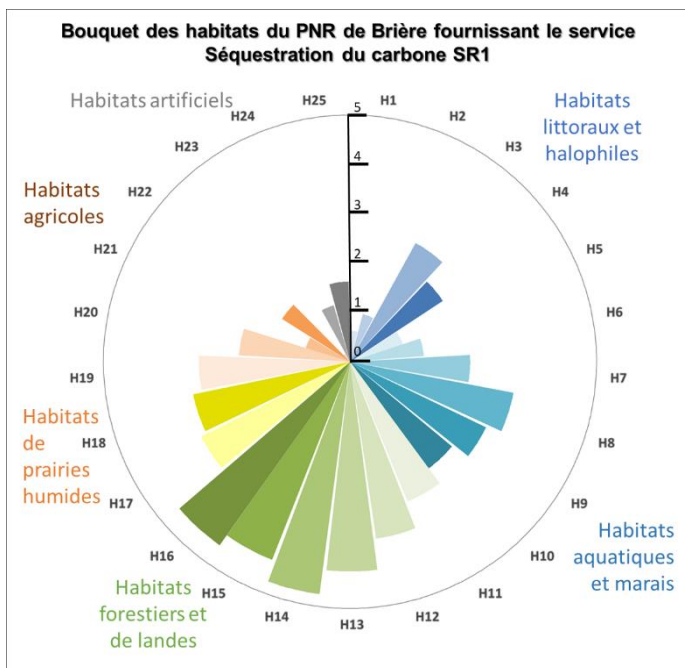


Figure 15: Diagramme en bouquet de fourniture du service "Séquestration du carbone" (SR1) par les habitats

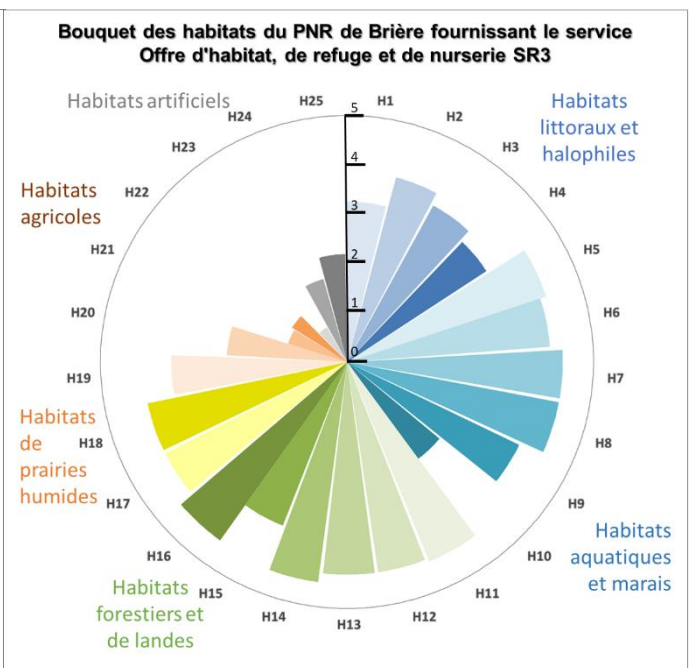


Figure 16: Diagramme en bouquet de fourniture du service "Offre de refuge, d'habitat et de nurserie (SR3) par les habitats

Interprétation des résultats par habitats

Les habitats urbains sont les moins aptes à rendre des services écosystémiques d'approvisionnement, de régulation et culturel, ce qui est cohérent avec la nature des services écosystémiques. Une légère nuance est observée en ce qui concerne les services culturels associés aux notions d'héritages (SC2), d'esthétique (SC3) et les activités récréatives qui sont présentes dans les habitats urbains végétalisés.

Les prairies envahies ont peu de scores supérieurs à la moyenne (Figure 17). Étant donné la forte prolifération observée de la jussie et de la crassule au sein des marais (près de 1000 hectares recensés), il semblerait que leur expansion au détriment d'autres espèces de zones humides implique une perte progressive de services écosystémiques. La jussie notamment, en formant d'épais matelas sur les prairies humides du Sud du marais pourraient réduire à terme la capacité fourragère de ces habitats, impactant directement les activités d'élevage. De plus, la prolifération de la plante en formations denses dans les canaux, bloque les débits et prive le milieu d'oxygène, menant à l'envasement et à l'eutrophie des cours d'eau. Ces facteurs impactent les services d'offre, de refuge et d'habitat (SR3) mais également de maintien de la bonne qualité de l'eau et des sols (SR6).

Quant aux marais salants et zones intertidales, ceux-ci fournissent essentiellement des services culturels. Pour les marais salants, la production de sel n'étant pas comprise comme un service écosystémique (car c'est une ressource naturelle abiotique) ne peut donc figurer dans les services d'approvisionnement, tout comme aucun service de régulation (à l'exception du service de nurserie) ne semble être rendu par l'habitat. L'historique et la richesse ces lagunes confirment cependant ses hauts scores obtenus dans les services culturels (Figure 18).

La faible confiance des experts dans la notation de l'habitat des prairies subhalophiles (1.88 en moyenne sur une échelle de 1 à 3) confirme la discussion entretenue au début de l'atelier sur la difficile distinction de cette classe d'habitat avec les autres classes de prairies humides (oligotrophiles, mésotrophiles et mésophiles). Faible confiance que l'on retrouve également dans la classe des magnocariçaies et groupements mixtes (1.94), également complexe à appréhender parce qu'assimilables aux roselières sauf pour les services de fourniture de fibres, de ressources secondaires pour l'agriculture ainsi que d'énergie (SA5, SA6 et SA7).

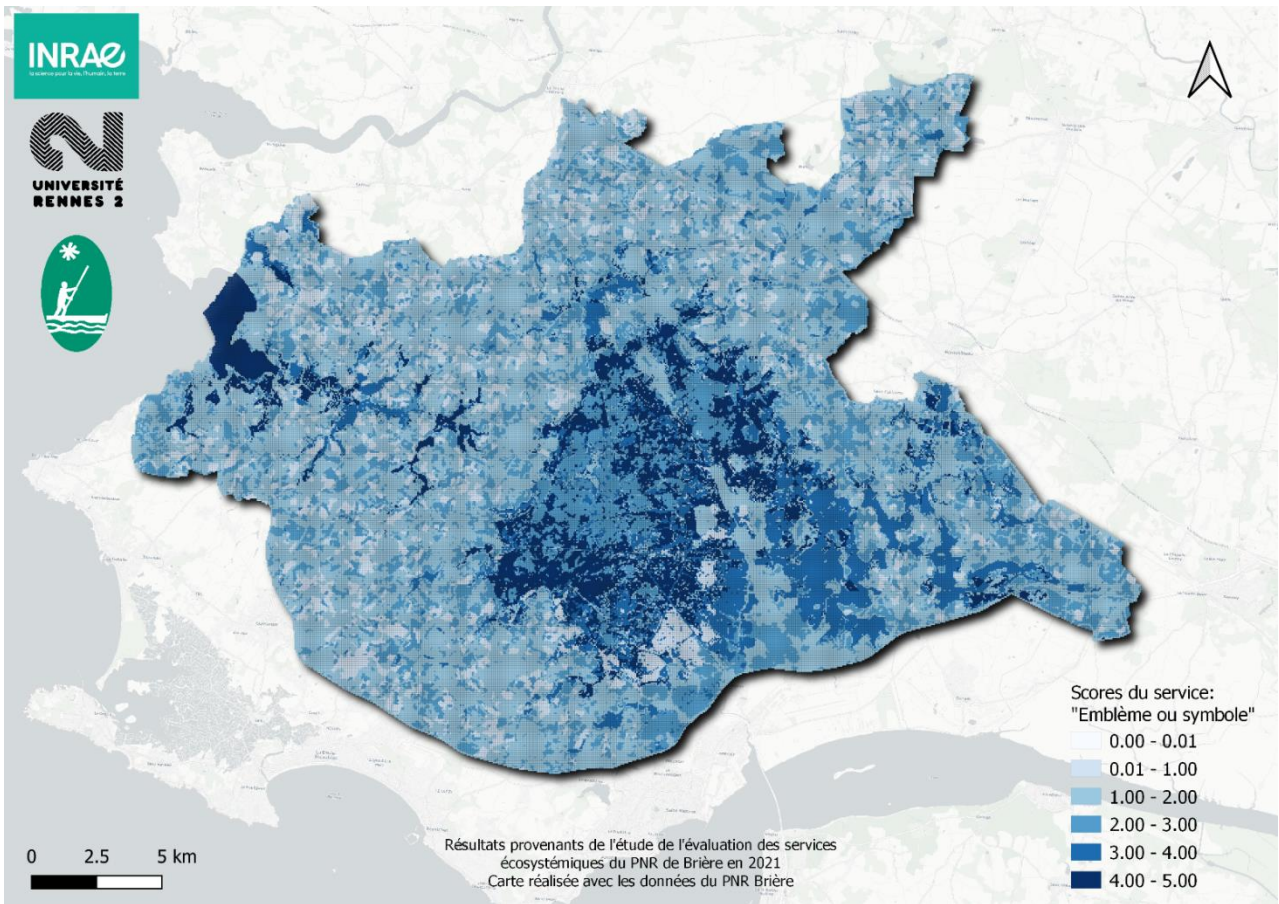


Figure 17: Carte de fourniture du service "Emblème ou symbole" (SC1)

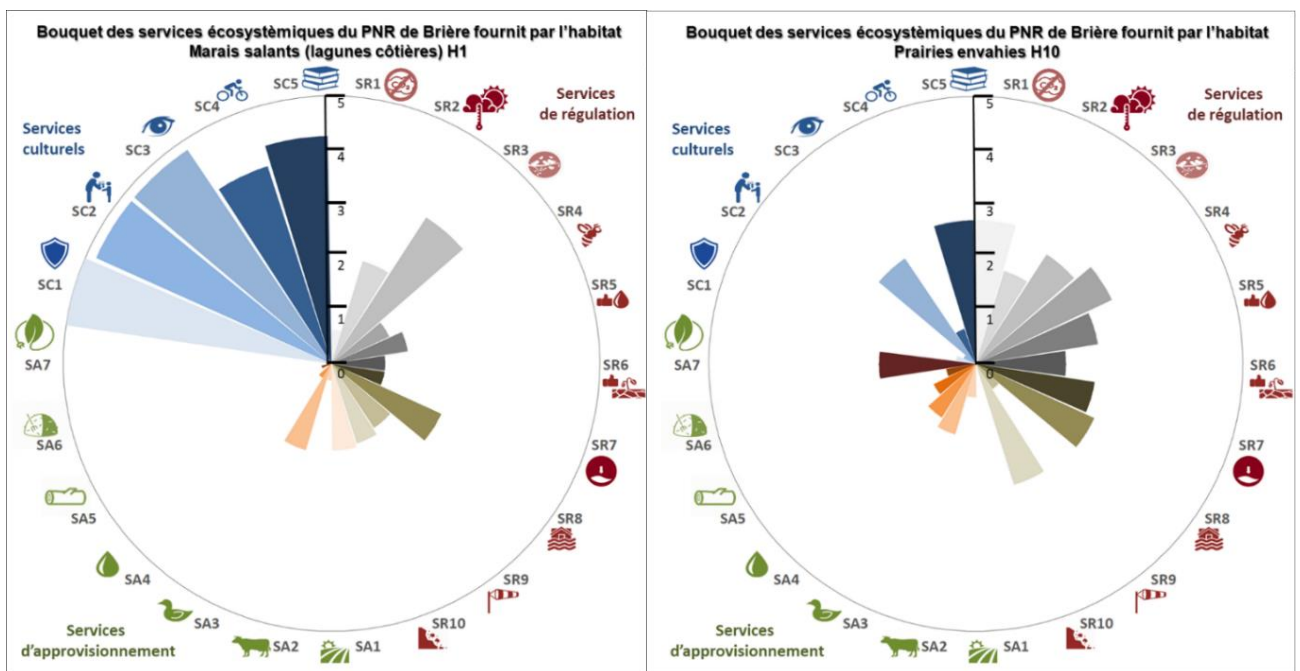


Figure 23 : Diagramme en bouquet des services écosystémiques rendus par l'habitat "Marais salants" (H1)

Figure 24 : Diagramme en bouquet des services écosystémiques rendus par l'habitat "Prairies envahies" (H10)

La capacité en services écosystémiques du territoire du PNR de Brière

Sur la base des résultats déjà présentés, il est possible de calculer une matrice avec les scores pondérés par la superficie de chaque habitat (Annexe 6 : Matrice des moyennes pondérées) qui permet ainsi d'avoir une vision de la capacité de l'ensemble du territoire du PNR à fournir des services écosystémiques. Il convient de noter qu'alors le score des services n'est plus borné entre 0 et 5, mais sur une échelle ouverte qui dépend des superficies. Les résultats de cette matrice permettent donc la lecture de la capacité en services écosystémiques des écosystèmes du territoire, ayant des superficies variées, contrairement à la matrice initiale permettant la lecture du score unitaire de services (selon une surface équivalente pour chaque habitat considéré). Les surfaces de roselières (8.5 % du territoire) illustrent bien l'hétérogénéité de surfaces occupées par les écosystèmes des zones humides. Présentes sur 4917 hectares, ces roselières sont 5 à 10 fois plus étendues que les autres habitats. Par exemple, un score de 4.3 pour le service de fourniture d'eau douce est pondéré à 5.6 pour les surfaces de plans d'eau alors qu'un score de 1.8 par les roselières est pondéré à 17.3 sur le même service car les roselières ont une surface plus importante. En conséquence, la matrice pondérée montre que la grande majorité des services rendus par les zones humides proviennent des roselières et des magnocariçaies, réparties sur l'ensemble des territoires de marais. Sur le bocage, ce sont les surfaces boisées et en particulier les feuillus (8.7% du territoire) qui rendent la majorité des services écosystémiques. En ce qui concerne les surfaces de prairies, les prairies humides mésotrophiles à eutrophiles (à sol moyennement à très riche en nutriments) sont 8 fois plus étendues que les prairies oligotrophiles (à sol plus pauvre en nutriments), rendant en proportion plus de services pour des scores généralement équivalents. Les surfaces de prairies permanentes, temporaires et de cultures annuelles céréalières obtiennent des scores pondérés plus importants que les surfaces maraichères, comprises sur des parcelles de tailles plus réduites. Enfin, les habitats urbains discontinus (pavillonnaires) qui sont sur 12.3% du territoire affichent des résultats comparables pour certains services à ceux des habitats de prairies à cause de leur forte présence sur le territoire.

Ainsi certains habitats ayant des scores de capacité plus faibles que d'autres dans la matrice initiale s'avèrent fournir davantage de services d'après la matrice pondérée, dû à leur superficie plus étendue.

La multifonctionnalité

Le caractère hautement multifonctionnel des habitats est également à considérer. Ainsi les roselières qui sont fortement présentes sur le territoire affichent également une grande multifonctionnalité de services rendus : fourniture de fibres (SA5), offre de refuge et d'habitat (SR3), maintien de la qualité de l'eau (SR5), régulation des débits d'étiages (SR7), des inondations (SR8), ainsi que de nombreux services culturels. Il est également intéressant de constater que les habitats naturels prédominants des forêts et des zones humides (boisements de feuillus, conifères et mixtes, roselières et prairies humides) semblent être ceux séquestrant les plus grandes quantités de carbone. Pour ces raisons,

ces habitats naturels représentent une importance majeure pour l'équilibre des espaces de zones humides bocagères et il convient donc de les préserver au maximum.

Retour sur les résultats

Il est également important de considérer certaines limites inhérentes à ces analyses afin de pouvoir prendre du recul sur certaines observations. Certaines sont relatives à la méthode (non prise en compte de l'hétérogénéité spatiale, de la temporalité) et d'autres à la cartographie (typologie, erreurs d'attribution, erreurs de contours). Concernant la cartographie, un des biais concerne les surfaces de « prairies indifférenciées » (H26). Résultantes des prairies non caractérisées dans l'assemblage initial, cet habitat est dispersé sur l'ensemble du territoire (13.8%), en grande majorité sur le bocage, mais également sur quelques zones de marais. Considéré par approximation comme prairies mésophiles (scores obtenus par la moyenne des scores des prairies temporaires et permanentes, H19 et H20), il est possible que les scores globaux obtenus pour les services d'approvisionnement et de régulation soient en partie surestimés par cet habitat.

Une fois ces biais et limites pris en considération, il semble qu'à l'image des exemples énoncés précédemment, la concordance des résultats obtenus avec les réalités du territoire apparaît assez forte. Le caractère quantifiable et localisé des services d'approvisionnement semble cohérent avec la répartition des habitats les rendant, tandis que l'aspect patrimonial important des zones humides pour le territoire se retrouve dans la répartition des services culturels (Annexe 9 : Carte des services culturels). Des éléments de discordance pourraient cependant concerner les services de régulation, pour lesquels la notation s'est avérée plus complexe pour la majorité des participants en plus des difficultés rencontrées pour la compréhension/différenciation de certains habitats naturels (végétations aquatiques et amphibies, eaux dépourvues de végétations, prairies subhalophiles...).

Incertitudes et limites de la méthode

Comme toute méthode, la méthode de la matrice de capacité comporte des limites qu'il importe de prendre en considération dans l'interprétation des résultats obtenus. La grande majorité de ces limites ont été compilées, entre autres, dans la thèse de Sylvie Campagne (2018), ayant pour sujet l'analyse méthodologique de la méthode de la matrice de capacité.

La méthode des matrices de capacité permet de prendre en compte un nombre important d'habitats naturels et de modes d'occupation du sol, couplé à un grand nombre de services écosystémiques. La représentation de ces habitats naturels comprend des limites généralement rencontrées en écologie puisque la cartographie en tant que telle donne à voir une seule vision d'un territoire, découlant de choix techniques et méthodologiques. Ainsi, cette vision peut déformer la réalité et donc l'interprétation du territoire « *De ce fait, la qualité du proxy « écosystèmes » est dépendante de la qualité de la typologie et de son adéquation aux services écosystémiques considérés* » (Campagne, 2019). Certaines limites sont également dues au manque de prise en compte de l'hétérogénéité spatiale (Jacobs *et al.*, 2014). Il en résulte une homogénéisation au niveau du territoire, avec la même

capacité en services pour le même habitat, indépendamment de sa position géographique, de son couvert végétal, de son état écologique ou d'autres caractéristiques écologiques. Néanmoins, cette limite peut être prise en compte dans la liste des habitats de la matrice en intégrant directement des habitats détaillés (par exemple en intégrant directement des cultures en fonction des espèces cultivées ou des modes de gestion).

Comme pour la majorité des modèles analysant la fourniture de services par les milieux naturels, la prise en compte de chaque service écosystémique de façon indépendante limite la prise en compte de relations fonctionnelles entre services. S'il est possible de produire des diagrammes en bouquets suite à l'analyse des résultats, permettant la visualisation des relations de compromis ou de synergies, ce type de visuel ne permet pas d'appréhender les interactions à proprement parler entre services, celles-ci résultant du fonctionnement complexe des écosystèmes. Il est cependant possible de faire des analyses de corrélations entre services.

Certaines limites sont relatives également à la compréhension et à l'interprétation de la méthode elle-même par les experts remplissant la matrice. Les notions d'offres, de demande et de valeurs de la biodiversité peuvent être difficiles à appréhender. L'atelier de remplissage permet notamment de résoudre ces réduire les problèmes de compréhension, la notion de services écosystémiques et l'approche utilisée étant alors détaillées et les experts ont la possibilité de poser des questions.

Bien entendu, la subjectivité de chaque participant ne peut être totalement éliminée. Celle-ci est non seulement fonction de la bonne compréhension de la méthode par l'expert, de la notion de services, mais également de son état d'esprit au moment du remplissage, de ses connaissances sur certains domaines, de son niveau de confiance dans sa notation (Campagne 2019 ; Wolff *et al.* 2015 ; Hou *et al.*, 2013, Jacobs *et al.*, 2014). Une manière de limiter l'importance de la subjectivité individuelle est de prêter une attention à la composition du panel d'expert (diversité des expertises) et de constituer un panel d'une taille suffisante.

5 Évaluation de l'impact du changement climatique sur la fourniture en services écosystémiques du PNR Brière

5.1 Changement climatique, du global au local

5.1.1 Situation globale : état des lieux du changement climatique

Définition

Malgré les préconisations répétées du GIEC, le choix du maintien d'une croissance économique basée sur le carbone fossile ne permet pas de réduire considérablement nos émissions de gaz à effets de serre, rendant les conséquences de nos activités de plus en plus irréversibles.

Ce réchauffement planétaire « est lié au renforcement de l'effet de serre naturel par l'ajout de quantités massives de gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère, liées à la combustion d'énergies fossiles comme le pétrole ou le charbon » (Mauguit, Futura). Ces émissions proviennent des activités des secteurs industriels, agricoles, des transports ou encore de la déforestation. La Terre ayant déjà connu des épisodes de réchauffement climatique, il est sans équivoque que les hommes, à partir de l'ère préindustrielle, ont eu un impact sans précédent sur le réchauffement actuel : « il y a une relation quasi-linéaire entre la quantité cumulée de GES dans l'atmosphère et le réchauffement climatique. Chaque 1000 Gt (Gigatonne = milliard de tonnes) de CO₂ supplémentaire augmente la température de surface mondiale moyenne d'environ 0.45°C » (Beny *et al.*, 2021).

"It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred" (IPCC, 2021: Summary for Policymakers)

Cette accélération s'explique entre autres par les phénomènes des boucles de rétroactions positives : toutes les rétroactions entre les différents chaînons d'un processus conduisent à amplifier celui-ci, c'est une réaction en chaîne (Figure 18). Pour citer quelques exemples de processus liés au réchauffement climatique, il est possible de mentionner la rétroaction de l'albédo : la fonte des glaces réduit l'albédo ce qui accroît la capacité d'absorption de la chaleur, accélérant le processus de réchauffement et de fonte des glaces. Un autre exemple observé à des latitudes proches concerne les surfaces terrestres gelées en permanence, que l'on nomme pergélisol. Celles-ci en fondant relâchent de grandes quantités de méthane, stocké dans le sol depuis des millions d'années. Ce gaz à une très haute capacité d'effet de serre puisque son impact est 84 fois supérieur à celui-ci du CO₂, malgré un séjour dans l'atmosphère plus court (20 ans contre une centaine d'années pour le CO₂). La libération de ce gaz accélérera à terme significativement le réchauffement climatique, et donc sa libération dans l'atmosphère, etc.

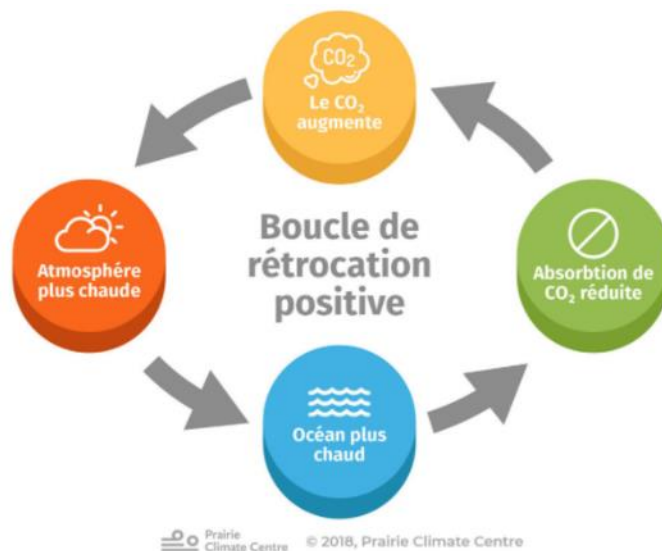


Figure 18: Schéma conceptuel d'une boucle de rétroaction positive, Prairie Climat Centre

Il convient de redéfinir rapidement le concept de réchauffement climatique en différenciant phénomènes climatiques et phénomènes météorologiques. « *La météorologie est une discipline scientifique interdisciplinaire qui vise à comprendre les phénomènes atmosphériques.* » (Chaput, Futura). La météorologie s'inscrit sur le court terme puisqu'elle s'intéresse aux phénomènes à l'œuvre à l'échelle d'une journée, d'une semaine, voire d'une saison. Elle concerne les événements tels que les orages, les précipitations, les sécheresses ou encore les événements extrêmes comme les cyclones, tornades, etc. La météorologie pourrait donc se définir comme une science ancrée dans le présent, ou dans le futur très proche. À l'inverse, la climatologie, notamment au travers de l'étude du changement climatique, s'inscrit sur le temps long, puisque cette discipline cherche à connaître le climat passé, mais également les tendances futures d'évolution de celui-ci. En général, les pas de temps retenus pour l'estimation de tendances sont de plusieurs décennies. Faire le lien entre climat et météo peut s'avérer très complexe dans de nombreux cas puisque des phénomènes météorologiques à caractère « ponctuel » (tempêtes, cyclones, tornades, pluies intenses) peuvent être influencés par le réchauffement climatique qui est une tendance d'évolution à long terme. (Mazeau, 2018).

Ces liens entre météorologie et climatologie conditionnent l'expression de ce phénomène de réchauffement climatique. Bien que celui-ci évolue de façon « lente » et sur le long terme, les paramètres concernés (températures, niveau marin, événements météorologiques) sont d'ores et déjà perceptibles et de plus en plus intenses année après année, et ce sur toute la surface de la planète « *En perturbant le climat, l'humanité a également provoqué des changements dans la fréquence des événements météorologiques et climatiques extrêmes, globalement plus fréquents et plus intenses depuis 1950. C'est le cas des chaleurs extrêmes [...], des feux de forêt, des inondations ainsi que des ouragans. À cela s'ajoutent les sécheresses des sols dans certaines régions* » (Beny et al, 2021).

Le GIEC et les modélisations climatiques

En août 2021, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a publié dans le premier document relatif au 6^e cycle d'étude, des constats alarmants sur le climat actuel, mais également sur ses possibles futurs.

Concernant le climat actuel, les observations prédisent une accélération des forçages climatiques par rapport au siècle dernier (Beny *et al.*, 2021) :

- « La température moyenne mondiale de surface sur la période 2011-2020 était 1.09°C plus élevée que celle sur la période 1850-1900, avec un réchauffement plus important sur les continents (+1.59°C) qu'au-dessus des océans (+0.88°C). »
- « La fonte de la calotte groenlandaise a été 4 fois plus rapide sur la décennie 2010-2019 que sur la période 1992-1999 ». En réponse, « le niveau de la mer s'est élevé de 20cm entre 1901 et 2018. D'un rythme de 1.3 mm/an entre 1901 et 1971, l'augmentation s'est accélérée pour atteindre +3.7 mm/an sur la période 2006-2018. »
- Enfin, « la fréquence des chaleurs extrêmes aurait doublé depuis les années 1980. »

En ce qui concerne les possibles climats futurs,

- « Les températures continueront d'augmenter sur l'ensemble de la planète – en moyenne 1,4 à 1,7 fois plus sur terre que sur mer, et au moins deux fois plus au Pôle Nord qu'ailleurs »
- « Un été presque sans banquise dans l'Arctique est probable avant 2050, quoi que nous fassions. »
- Même si nous arrivons à limiter l'augmentation de température à 1,5°C d'ici 2100, trois changements majeurs sont irréversibles à l'échelle d'une vie humaine : le réchauffement et l'acidification des océans, la fonte des glaciers et calottes polaires et la montée du niveau de la mer.

Pour ses modélisations climatiques, le GIEC se base sur divers scénarios permettant de dresser un panel de trajectoires d'évolutions variées, de la plus optimiste à la plus pessimiste. À l'origine, dénommés SRES pour « Special Report on Emissions Scenarios », ces scénarios étaient traduits en termes d'émissions de gaz à effet de serre pour le XXI^e siècle. À caractère socio-économique, ceux-ci proposaient 4 futurs possibles de nos sociétés et de nos modes de vie. Définis en 1990 et diffusés en 2000, ces projections sont rapidement devenues obsolètes, témoignant d'un système socio-économique et d'une perception des évolutions du climat aujourd'hui dépassée. Étant donné le caractère primordial de prendre en compte à la fois l'évolution des paramètres climatiques, socioculturels et économiques, une nouvelle stratégie fut mise en place pour la rédaction du 5^e rapport. Celle-ci s'est basée sur le travail conjoint de climatologues, de sociologues et d'économistes. À partir de profils représentatifs d'évolution de concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols, nommés les RCP : « Representative Concentration Pathways », les climatologues peuvent produire des projections tandis que les sociologues et économistes élaborent des scénarios cohérents avec celles-ci, les SSPs : « Shared Socio-economic Pathways ». Une table de correspondance entre les

scénarios RCP et SSP est disponible en Tableau 5: Correspondance entre les scénarios RCP et SSP, IPCC AR6 WGI, (source : .

Tableau 5: Correspondance entre les scénarios RCP et SSP, IPCC AR6 WGI, (source : source : IPCC AR6 WGI, Summary for Policymakers, 2021)

Scenario	Near term, 2021–2040		Mid-term, 2041–2060		Long term, 2081–2100	
	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 to 1.7	1.6	1.2 to 2.0	1.4	1.0 to 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.7	1.3 to 2.2	1.8	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 to 1.8	2.1	1.7 to 2.6	3.6	2.8 to 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 to 1.9	2.4	1.9 to 3.0	4.4	3.3 to 5.7

Chaque scénario RCP correspond à une évolution des modes d'émissions, conditionnant l'atteinte de différents paliers de hausses de températures (Figure 19) :

- RCP2.6 - Scénario très strict : Il implique une baisse des émissions à partir de 2020 pour devenir nulles en 2100, la moitié des émissions de méthane de 2020 à ce même stade. La réussite de ce scénario se qualifierait par un maintien des hausses de températures au-dessous des 2°C. Ce scénario correspond au scénario SSP1 selon lequel la hausse des températures serait comprise entre 1.3 et 2.4°C à horizon 2100.
- RCP4.5 - Scénario intermédiaire : Pic d'émissions en 2040 puis déclin. Selon ce scénario, les émissions commenceraient à décliner aux alentours de 2045 pour être aux alentours de 2100 la moitié de celles observées en 2050. Arrêt des hausses d'émissions de méthane d'ici 2050 et déclin d'environ 75% de celles-ci aux alentours de 2040. Ce scénario correspond au scénario SSP2 selon lequel la hausse des températures serait comprise entre 2.1 et 3.5°C à horizon 2100.
- RCP7.0 : Pic d'émissions aux alentours de 2080 puis déclin. Ce scénario correspond au scénario SSP2 selon lequel la hausse des températures serait comprise entre 2.8 et 4.6°C à horizon 2100.
- RCP8.5 – « Business as usual » : Selon ce scénario, les émissions continueraient à augmenter après le 21^e siècle. Peu probable selon le 5^e rapport du GIEC, mais de moins en moins imaginable au regard de l'inaction des politiques et du manque global de

compréhension et de capacité à modéliser les phénomènes de rétroactions positives. C'est le pire scénario. Ce scénario correspond au scénario SSP2 selon lequel la hausse des températures serait comprise entre 3.3 et 5.7°C à horizon 2100.

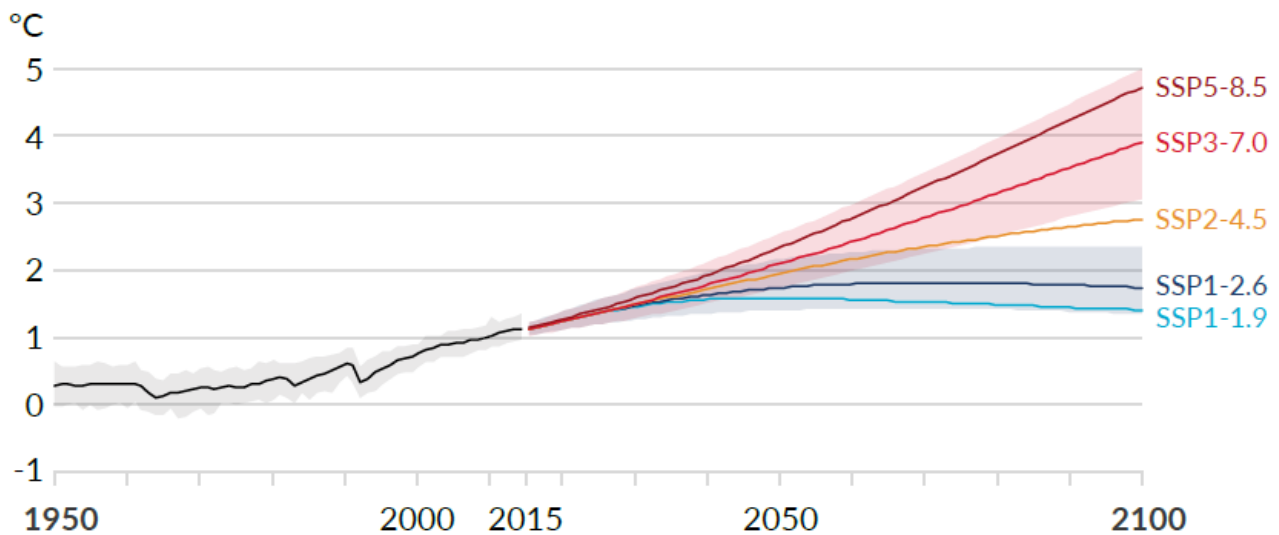


Figure 19: Evolution des températures globales de surfaces à horizon 2100 par rapport à la période 1850 – 1900, (source : IPCC AR6 WGI, Summary for Policymakers, 2021)

5.1.2 Situation régionale : trajectoire climatique du PNR Brière

Méthodologie, obtention et compilation des données climatiques

Dans un premier temps une revue non-systématique de la littérature scientifique a été réalisée. Cette revue a ciblé les publications scientifiques traitant du fonctionnement des zones humides côtières ainsi que de rapports et comptes rendus de diagnostics sur la vulnérabilité de ces écosystèmes au changement climatique. Pour compléter cette revue et développer une connaissance globale de tous ces paramètres, des entretiens ont été menés avec les agents du parc, mais également avec des personnes d'autres organismes travaillant sur des thématiques similaires (ADDRN, SBVB, LPO, Cap Atlantique, Conservatoire du littoral).

Pour projeter le climat futur du PNR de Brière, nous nous sommes appuyés sur les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ont été considérés selon plusieurs critères de réflexion. Ces scénarios s'appuient sur des projections du forçage climatique par les gaz à effets de serres selon différentes trajectoires. Le scénario RCP 2.6, le plus optimiste et qui aboutirait à une stabilisation de la température globale en 2100 à +1,5°C par rapport à l'actuel, apparaît peu probable. En effet, il semblerait que « *la barre des +1.5°C sera atteinte, et a une chance sur deux d'être dépassée d'ici 2040* » (Beny et al, 2021). De plus, un maintien des hausses des températures sous la barre des 2°C est ambitieux puisqu'il implique une baisse des émissions de gaz à effet de serre significative dans les années qui viennent, or, ce n'est pas la direction qui semble prise par les nations à l'heure actuelle. Le scénario RCP 8.5 apparaît à l'inverse de plus en plus probable, fonction de l'action, entre autres, des rétroactions positives enclenchées et dont

l'ampleur des conséquences demeure difficilement modélisable. Les projections du dernier rapport du GIEC (AR6) nous place actuellement plutôt sur une trajectoire à +3°C qui se situerait entre le RCP 4.5 et le RCP 8.5. La volonté étant de dresser un panel d'évolutions climatiques sur les habitats naturels et leurs services écosystémiques, le RCP 4.5 représentera donc le scénario optimiste tandis que le RCP 8.5 le scénario pessimiste.

Concernant les périodes futures considérées, nommées « horizons climatiques », la volonté du parc était d'étudier deux horizons temporels distincts : un horizon d'évolution sur le moyen terme, jusqu'à 2050, et un horizon sur le long terme, 2100. Les modélisations climatiques sont réalisées sur des périodes de 30 ans, cette étude prendra donc en compte 3 horizons : un horizon proche H1 : 2021-2050 ; un horizon moyen H2 : 2040 – 2070 ; ainsi qu'un horizon lointain H3 : 2070 – 2100. La période de référence à partir de laquelle sont basées les projections, correspond aux observations réalisées sur la période 1950 -2005.

Les données utilisées pour la réalisation du récit climatique proviennent du portail DRIAS (<http://www.drias-climat.fr>). Développé en 2009 et constitué en 2011 par Météo-France, les laboratoires français du climat (IPSL, CERFACS, CNRM) et soutenu par le Ministère de la Transition Écologique, cet outil est une avancée majeure du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNCC). À destination du territoire français métropolitain, il s'appuie sur des modèles tels qu'Aladin, Arpège, Safran ou encore Isba développés par le CNRM. Nous utilisons ici les données de ces 2 derniers modèles. Compilées en 2020, elles correspondent aux modélisations effectuées à partir des points de mesures localisés sur la presqu'île de Guérande (Figure 20).

Les 3 principaux impacts liés au changement climatique qui concernent le territoire du PNR à horizon 2100 ont trait aux températures, aux précipitations et au niveau marin. En ce qui concerne l'évolution des températures, celles-ci se déclinent en plusieurs indicateurs de mesure permettant une lecture et une interprétation fine des évolutions modélisées :

- Températures journalières (moyennes, maximales et minimales) en °C.
- Températures saisonnières (saison végétative et saison hivernale) en °C. La saison végétative, également appelée « cycle végétatif », « période végétative » ou encore « saison de croissance » est la partie de l'année pendant laquelle les conditions météorologiques locales (c'est-à-dire les précipitations et la température) permettent une croissance normale des plantes. Cette période s'étend généralement sur 7 mois, entre les mois d'avril et les mois d'octobre. La saison hivernale concerne le reste de l'année (de novembre à mars).
- Nombre de jours de fortes chaleurs (supérieures à 35°C).
- Nombre de jours de gel par an.

Pour les précipitations (P), la déclinaison retenue s'attarde sur 5 indicateurs :

- Somme des précipitations annuelles, en mm par an.
- Somme des précipitations journalières moyennes, en mm par jour.

- Somme des précipitations saisonnières, en mm par an (saison végétative et saison hivernale).
- Nombre de jours de précipitations par an.
- Nombre de jours de précipitations par saisons (saison végétative et hivernale).

Les indicateurs relatifs à la sécheresse sont au nombre de 3 :

- Nombre de jours de sécheresse météorologique par an (nombre de jours consécutifs où les précipitations ne dépassent pas 1mm/jour).
- Évapotranspiration Potentielle annuelle (ETP), en mm par an : l'évapotranspiration est la somme de la transpiration du couvert végétal (à travers les stomates des plantes) et de l'évaporation des sols. L'évapotranspiration potentielle d'un sol est définie comme la quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant.

À partir de l'Évapotranspiration et des précipitations, il est possible de calculer le bilan hydrique ($P - ETP$) qui donne un premier aperçu du stress hydrique potentiellement subit par les plantes. Enfin, le paramètre de la montée du niveau marin provient du GIEC étant donné la non-obtention de données issues de points de mesures locaux. Ces estimations sont donc à prendre avec davantage de recul, car donnant à voir des tendances observées au niveau mondial.

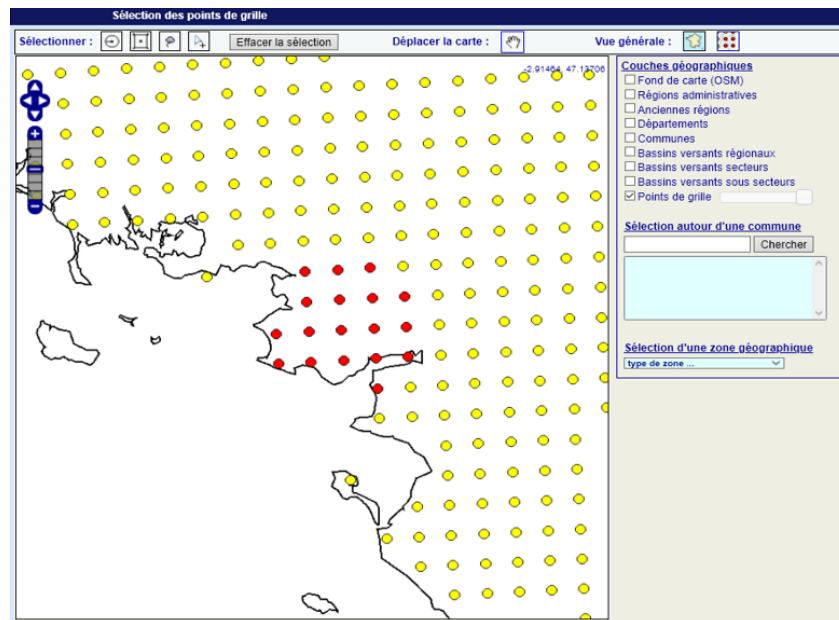


Figure 20: Zone de captures points SAFRAN, <http://www.drias-climat.fr>

Suite aux premières phases d'assimilation de la littérature et de collecte des données, il a été choisi pour cette partie d'analyse de l'évolution des facteurs climatiques de retenir la méthodologie utilisée dans les programmes LIFE Natur Adapt'. Ce projet européen, coordonné par Réserves Naturelles de France vise à « *intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des aires protégées en France et en Europe* ». Cette méthodologie consiste dans un premier temps à construire un **récit climatique**. Une fois l'évolution futur des paramètres climatiques détaillée et comparée aux normales

climatiques de la période de référence, une synthèse de ces données est réalisée sous forme d'un tableau combinant l'ensemble des horizons et des scénarios considérés. Afin de rédiger le récit climatique, plusieurs traitements ont été nécessaires à partir des données issues de DRIAS.

La création de visuels (tableaux, graphiques) permet de visualiser les trajectoires climatiques, un travail de synthèse a été nécessaire afin de compiler l'ensemble des modélisations dans 2 tableaux : un tableau de données brutes donnant à voir les moyennes et sommes annuelles de chaque paramètre climatique pour chaque horizon et scénario retenu, et un tableau d'écarts à la référence (1950 – 2005) pour ces mêmes paramètres. Ces 2 tableaux sont disponibles en Annexe 10 : Tableau complet des projections climatiques (moyennes et sommes annuelles) pour tous les scénarios et tous les horizons retenus et Annexe 11 : Tableau complet des tendances d'évolutions climatiques par rapport à la situation de référence (1950 – 2005) pour tous les scénarios et horizons retenus.

Climat passé et actuel de la Presqu'île de Guérande

Le climat en région Pays-de-la-Loire est, sur sa façade littorale, de type océanique franc (type 5). Celui-ci correspond à une amplitude thermique moyenne annuelle faible ainsi qu'à des moyennes annuelles de précipitations généralement supérieures à 1000mm. Cependant, la presqu'île de Guérande, où est situé le PNR Brière, affiche majoritairement un climat de type méditerranéen altéré (type 6) similaire à celui observé sur les Préalpes du sud, en Ardèche ou en encore en rive gauche du Rhône (Figure 21). Ce climat affiche généralement des étés secs et des hivers humides à très humides avec un cumul de précipitations annuelles légèrement plus faible que pour un climat de type de 5 (800 à 950 mm). Les températures moyennes annuelles sont généralement moyennement élevées, comprenant un nombre réduit de jours froids et 15 à 23 jours chauds par an. (*Rapport de phase 1 – Diagnostic du territoire Impacts du changement climatique en Pays-de-la-Loire, 2021 ; Joly et al, 2010*).

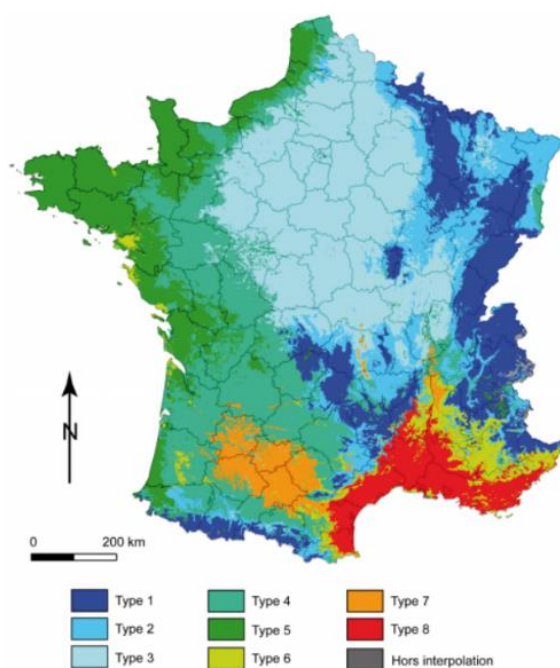


Figure 21: Typologie climatique du territoire français, Joly et al, 2010

Les normales climatiques de la période 1950 – 2005 confirment ces caractéristiques. En ce qui concerne les données de températures, on constate une amplitude thermique journalière de quasi 7°C en moyenne, oscillant entre 4.6°C pour le mois le plus froid et 8.9°C pour le mois le plus chaud. En moyenne, le minimum des températures atteint au mois de janvier est de 3.5°C et le maximum au mois d’août de 24°C (Figure 22). Ces observations confirment un climat tempéré régulé par l’influence littorale, à hiver doux et a été moyennement chaud. Quant aux jours de gel, on en compte environ 20 par an, répartis essentiellement sur les mois de décembre, janvier et février.

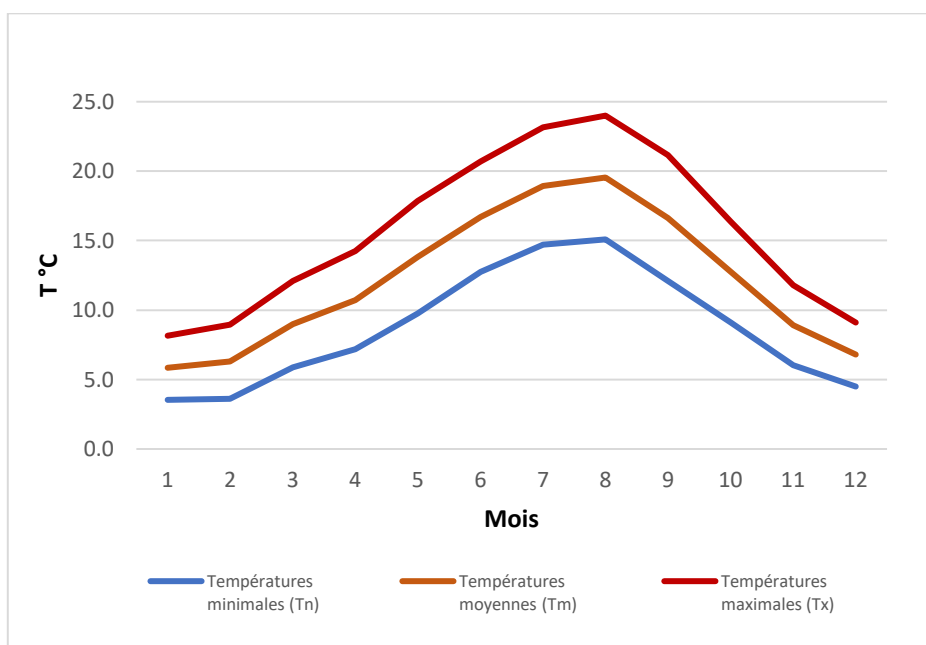


Figure 22: Températures moyennes journalières sur la période 1950 – 2005, DRIAS, 2020

Le territoire de la presqu’île de Guérande reçoit des précipitations réparties sur toute l’année (Figure 23). Néanmoins, si on compte en moyenne, 763 mm de pluies par an sur la période 1950 – 2005, celles-ci sont plus abondantes durant la saison hivernale que durant la saison estivale. On observe ainsi 56,3 mm de pluie en moyenne pour les mois d’avril à octobre, et 74,6 mm pour ceux de novembre à mars. Au regard de ces données saisonnières, on constate que pour environ 118 jours de pluie par an, près de 61 jours sont répartis sur la saison de croissance de la végétation où il est observé environ 1.8 mm/j contre 57 jours à 2.5 mm/j sur la saison hivernale. Les mois de décembre et de janvier sont les plus pluvieux (entre 70 et 80 mm répartis sur 12 à 13 jours) tandis que les mois de juin, juillet et août sont les plus secs (40 à 50 mm répartis sur 6 à 7 jours), (Figure 23 et Figure 24).

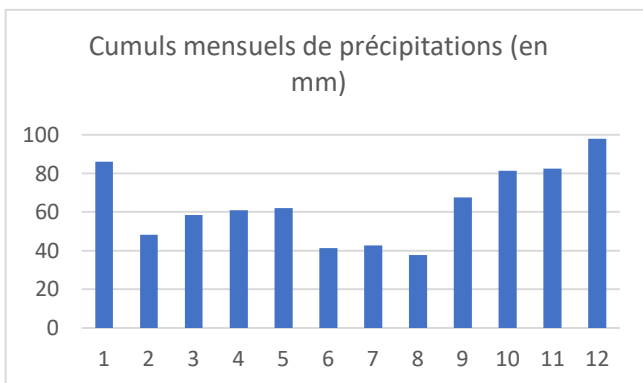


Figure 23: Moyennes mensuelles des cumuls de précipitations sur la période 1950 - 2005, DRIAS, 2020

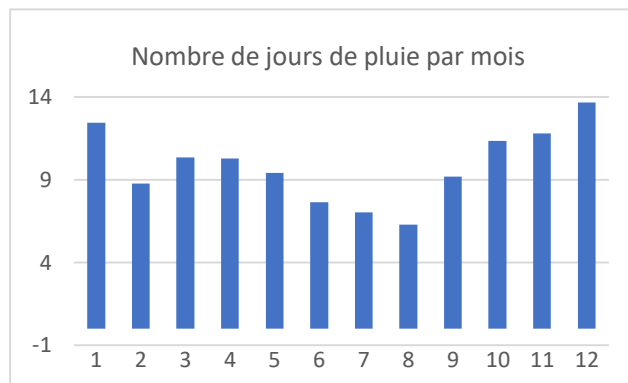


Figure 24: Nombre de jours de précipitations en moyenne par mois sur la période 1950 - 2005, DRIAS, 2020

Ces observations concordent avec le pic du nombre de jours de sécheresse observé (nombre de jours consécutifs où la pluviométrie ne dépasse pas les 0.1 mm) pour le mois d'août avec 13 jours. La lecture de l'indicateur d'évapotranspiration potentielle³ renseigne de plus une forte croissance de celle-ci sur la période mars-août. En effet, si plus de 60 mm d'eau sont émis par la végétation et les sols entre les mois de mars et d'octobre, ces chiffres atteignent les 120 mm sur les mois de juin, juillet et août (Figure 25). Cette croissance est expliquée par la hausse de la productivité du couvert végétal lors de la phase végétative (hausse du rayonnement conditionnant la hausse de l'activité de photosynthèse), ainsi que la hausse de l'intensité radiative. Le calcul du bilan hydrique ($P - ETP$), donne à voir un potentiel déficit hydrique sur ces mêmes mois (Figure 26). Un recul est à prendre cependant avec cet indicateur, on parle ici de déficit hydrique potentiel (calculé à partir de l'ETP) et non de déficit hydrique réel, prenant en compte l'évapotranspiration réelle des plantes (ETR), ainsi que la réserve

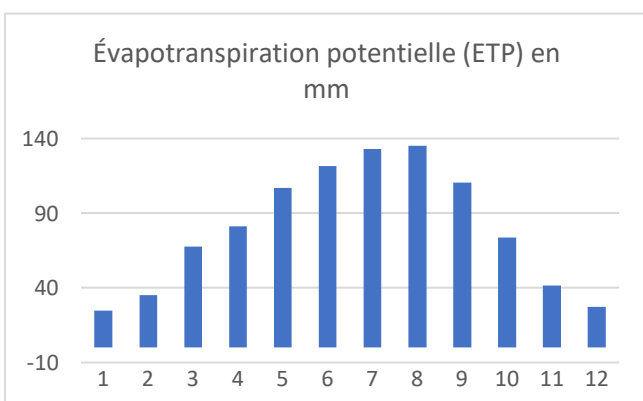


Figure 25: Cumuls mensuels d'évapotranspiration potentielle, calculées à partir de la formule de Turc, sur la période 1950-2005, DRIAS 2020

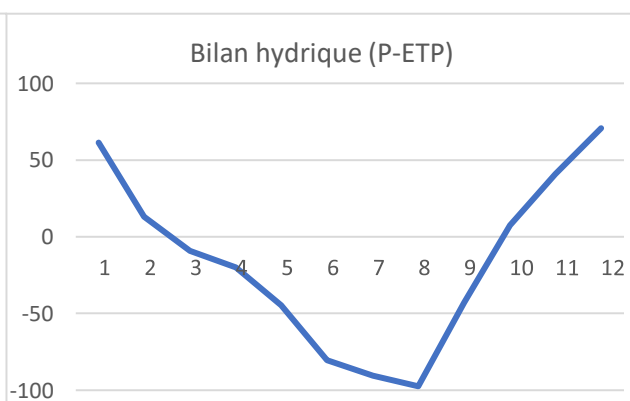


Figure 26: Calcul du bilan (cumul mensuel) hydrique sur la période 1950-2005, DRIAS 2020

utile (RU) disponible dans le sol. La forte composante imperméable des sols argileux et le très faible

³ L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par évapotranspiration sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré.

niveau topographique (majoritairement entre 0 et 4 m) caractérisent la composante géologique des territoires de marais du PNR. L'important maillage de canaux ainsi que les surfaces de prairies inondables permettent le maintien de ces écosystèmes de zones humides. Les précipitations de la période hivernale (période de recharge) permettent donc de compenser la baisse de la période estivale (période d'étiage). Les prairies humides notamment, jouent le rôle de tampons l'hiver, permettant de limiter les risques de crues, mais également le rôle de soutien aux débits d'étiages des cours d'eau l'été, en restituant l'eau accumulée jusqu'alors.

Climats futurs de la Presqu'île de Guérande

À l'horizon 2050, une hausse de 0.70°C à 1°C sera déjà observée sur l'ensemble des variables thermiques (minimales, moyennes et maximales journalières). Pour la période 2040 – 2070, les modélisations donnent une moyenne annuelle comprise entre 13.5°C pour le RCP 4.5, et 14°C pour le RCP 8.5 (Figure 27). **Les températures de la saison estivale seront alors supérieures à 2°C de celles la période de référence (1950 – 2005). C'est enfin pour 2070 - 2100 (horizon lointain) que se distingue clairement le caractère exponentiel de ce réchauffement puisqu'un gain de 3.45°C est observé pour le RCP8.5 sur toute l'année** (Figure 28). Il ferait donc 15.6°C en moyenne durant l'année, tandis que les températures maximales journalières du mois d'août avoisineraient les 28°C.

Des étés plus chauds, mais également des hivers plus doux : à l'exception des mois de janvier et février, les minimales journalières ne descendraient pas en dessous de la barre des 4°C et dépasseraient 16°C l'été. Les jours de très fortes chaleurs (supérieurs à 35°C) devraient se multiplier sur les prochaines décennies. Si l'on dénombre une hausse de 1 à 2 journées très chaude par an en moyenne sur tous les horizons considérés, une hausse exceptionnelle de plus de 6 jours est projetée pour le scénario le plus pessimiste à horizon 2100. À l'inverse, il serait observé une forte diminution du nombre de jours de gel par an. D'une vingtaine sur le siècle dernier, on n'en compterait plus que la moitié en 2100 selon le scénario optimiste, seulement 4 pour le scénario pessimiste. Une synthèse des projections des températures est disponible Tableau 6, tandis que les tendances d'évolution relatives à ces paramètres climatiques sont proposées en Tableau 7).

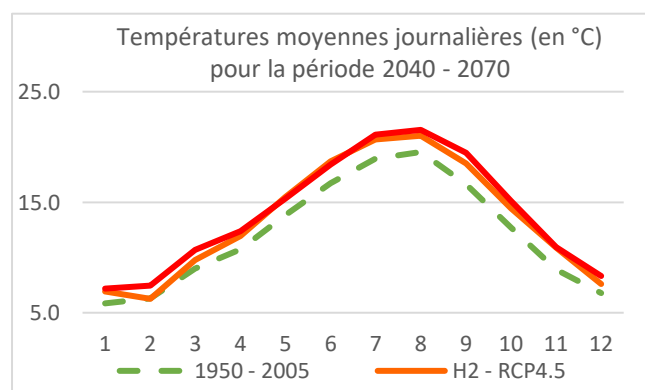


Figure 27: Températures moyennes journalières des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour l'horizon H2, DRIAS, 2020

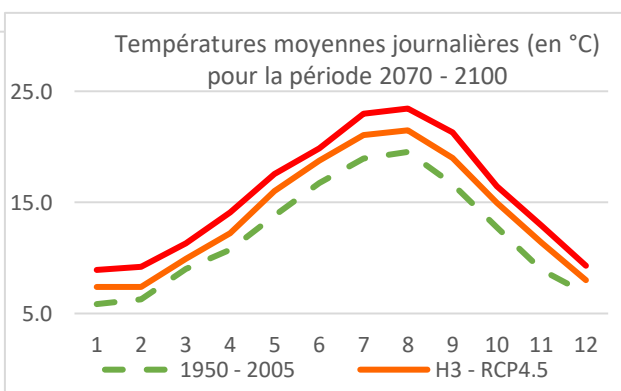


Figure 28: Températures moyennes journalières des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour l'horizon H3, DRIAS, 2020

Tableau 6: Synthèse des projections climatiques pour les données de températures (moyennes et sommes annuelles),

Paramètres climatiques		1950 - 2005	RCP 4.5			RCP 8.5		
			Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain
Température annuelles (en °C)	maximales journalières	15.6	16.6	17.1	17.6	16.6	17.6	19.3
	moyennes journalières	12.2	13.1	13.5	14.0	13.1	14.0	15.6
	minimales journalières	8.7	9.5	9.9	10.4	9.6	10.4	11.9
	Amplitude thermique	6.9	7.0	7.2	7.2	7.0	7.2	7.4
Température saisonnières (en °C)	saison végétative	15.6	16.6	17.2	17.6	16.7	17.6	19.4
	saison hivernale	7.4	8.0	8.3	8.8	8.0	8.9	10.3
Nombre de jours de fortes chaleurs par an (> 35°C)		0.3	1.8	2.0	2.0	1.3	2.0	6.8
Nombre de jours de gel par an		19.7	17.6	15.9	10.7	14.6	10.4	4.4

DRIAS, 2020

Tableau 7: Tendances d'évolution des projections climatiques pour les données de températures (moyennes et sommes

Paramètres climatiques		1950 - 2005	RCP 4.5			RCP 8.5			Tendances
			Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain	
Température annuelles (en °C)	maximales journalières	15.6	+0.93	+1.47	+1.92	+0.95	+1.94	+3.66	↗
	moyennes journalières	12.2	+0.88	+1.35	+1.80	+0.93	+1.83	+3.45	↗
	minimales journalières	8.7	+0.84	+1.23	+1.67	+0.90	+1.72	+3.23	↗
	Amplitude thermique	6.9	+0.09	+0.24	+0.25	+0.04	+0.21	+0.43	↗
Température saisonnières (en °C)	saison végétative	15.6	+1.04	+1.65	+2.05	+1.13	+2.03	+3.79	↗
	saison hivernale	7.4	+0.67	+0.92	+1.44	+0.65	+1.54	+2.96	↗
Nombre de jours de fortes chaleurs par an (> 35°C)		0.3	+1.46	+1.72	1.67	+0.99	+1.68	+6.48	↗
Nombre de jours de gel par an		19.7	-2.16	-3.83	-9.05	-5.16	-9.33	-15.27	↘

annuelles), DRIAS, 2020

L'évolution possible des précipitations est plus complexe à modéliser. Il n'est pas attendu de baisse ou de hausse significative globale, mais plutôt un renforcement du contraste saisonnier. Le scénario RCP 8.5 montre une hausse de quelques dizaines de millimètres de précipitations par an, nuancée par une baisse du nombre de jours de précipitations : de -4 à -7 jours pour les horizons intermédiaires, -7 à -8 pour les horizons lointains. Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montrent que la saison estivale est nettement plus concernée par cette baisse du nombre de jours de pluie que la saison hivernale, laissant présager une tendance à l'accentuation des régimes saisonniers déjà observés. **En saison estivale, on observerait moins de précipitations (-20 mm environ) contrairement à la saison hivernale (+34 mm à horizon 2100 pour le scénario RCP 4.5, +63 mm pour le scénario RCP 8.5).** Les épisodes pluvieux devraient donc être de plus en plus intenses en hiver, amplifiant le risque de crues tandis qu'un allongement des épisodes de sécheresse serait observé l'été.

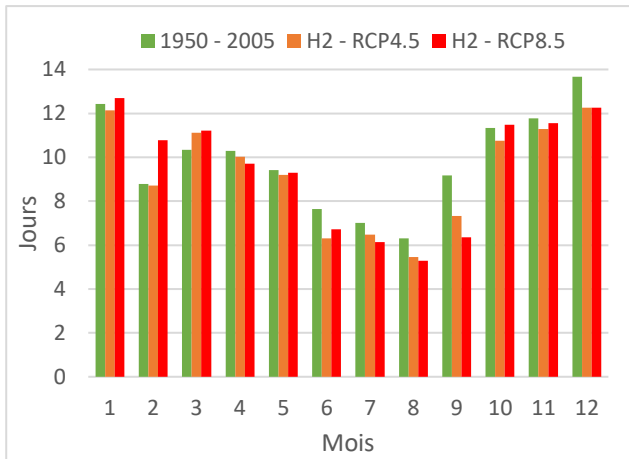


Figure 29: Nombre de jours de précipitations en moyenne par mois pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sur l'horizon H2, DRIAS, 2020

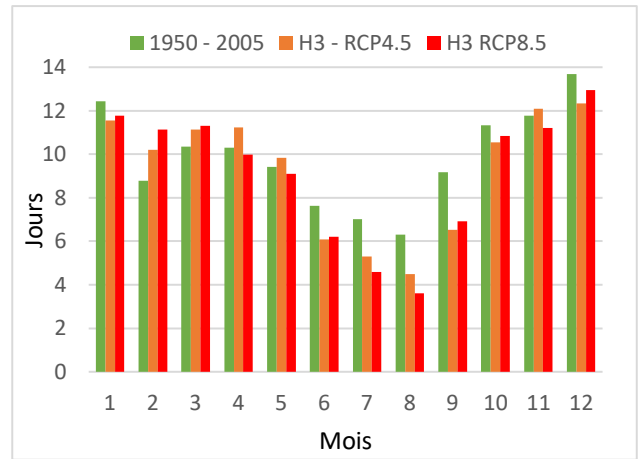


Figure 30: Nombre de jours de précipitations en moyenne par mois pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sur l'horizon H3, DRIAS, 2020

Les projections climatiques donnent à voir une évolution plutôt hétérogène du nombre de jours de sécheresse. Néanmoins, leur répartition majoritairement sur la saison estivale amplifie les phénomènes d'évapotranspiration. En effet, sur la saison végétative, 40 mm supplémentaires sont émis chaque année à partir de l'horizon moyen, et jusqu'à 80 mm à horizon 2100 pour le RCP 8.5 (Figure 31). Ces résultats se constatent également au regard du bilan hydrique potentiel, notamment à horizon 2100 (Figure 32). Tous ces facteurs cumulés rendent non négligeables les risques d'assecs des cours d'eau et de stress hydrique des plantes (Tableau 8 et

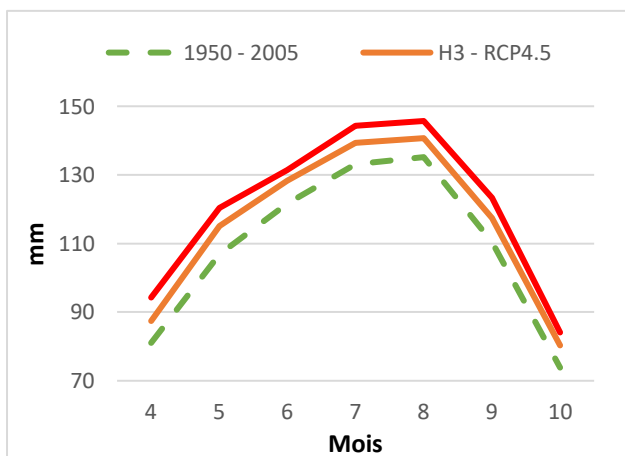


Figure 31: Cumuls mensuels d'évapotranspiration potentielle de la saison végétative, pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, sur l'horizon H3, DRIAS 2020

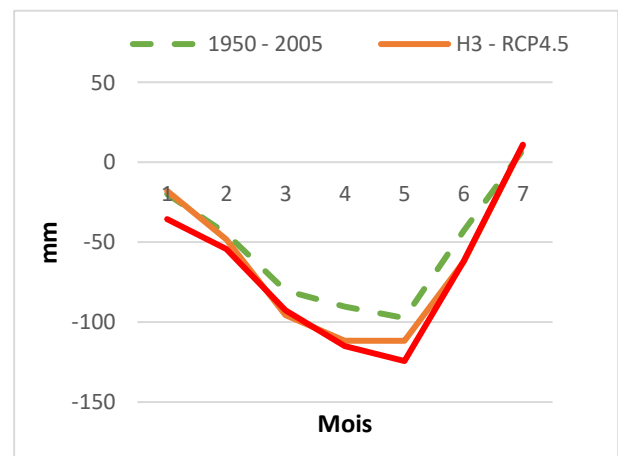


Figure 32: Calcul du bilan hydrique (cumul mensuel) de la saison végétative, pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, sur l'horizon H3, DRIAS, 2020. Les valeurs négatives indiquent un déficit hydrique.

Tableau 9).

Tableau 8: Synthèse des projections climatiques pour les données de précipitations et d'évapotranspiration (moyennes et sommes annuelles), par rapport à la situation de référence (1950 – 2005), DRIAS, 2020

Paramètres climatiques		1950 - 2005	RCP 4.5			RCP 8.5		
			Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain
Précipitations annuelles	mm/an	767.3	750.1	765.3	779.5	807.8	781.7	806.8
	jours/an	118.2	114.7	111.0	111.3	119.5	113.5	109.6
Précipitations journalières moyennes (mm)		25.2	24.6	25.1	25.6	26.6	25.7	26.5
Précipitations saisonnières	saison végétative (mm)	394.0	377.5	369.2	371.8	406.7	366.2	370.4
	saison végétative (nb de jours)	61.185	58.9	55.5	54.0	61.0	55.0	51.3
	saison hivernale (mm)	373.3	372.6	396.1	407.7	401.0	415.6	436.4
	Saison hivernale (nb de jours)	57.02	55.87	55.50	57.31	58.51	58.50	58.39
Nombre de jours de sécheresse par an		116.2	120.5	123.8	121.5	115.1	119.7	124.8
Evapotranspiration Potentielle (en mm)	Cumul annuel	958.2	993.5	1010.0	1026.7	995.7	1028.5	1083.7
	Cumul saison végétative	762.2	786.4	800.0	808.5	788.8	807.5	843.3
Bilan hydrique (P - ETP)	Cumul annuel	-190.9	-243.4	-244.7	-247.2	-187.9	-246.8	-276.9
	Cumul saison végétative	-368.2	-408.9	-430.8	-436.6	-382.0	-441.4	-472.9

Tableau 9: Tendances d'évolution des projections climatiques pour les données de précipitations et d'évapotranspiration, par rapport à la situation de référence (1950 – 2005), DRIAS, 2020

Paramètres climatiques		1950 - 2005	RCP 4.5			RCP 8.5			Tendances
			Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain	
Précipitations annuelles	mm/an	767.3	-17.21	-2.06	+12.14	+40.44	+14.43	+39.52	↗
	jours/an	118.2	-3.46	-7.19	-6.88	1.26	-4.71	-8.56	↘
Précipitations journalières moyennes (mm)		25.2	-0.55	-0.06	+0.42	+1.38	+0.51	+1.35	↗
Précipitations saisonnières	saison végétative (mm)	394.0	-16.44	-24.78	-22.16	+12.75	-27.82	-23.58	↘
	saison végétative (nb de jours)	61.185	-2.31	-5.67	-7.17	-0.23	-6.19	-9.93	↘
	saison hivernale (mm)	373.3	-0.77	+22.71	+34.30	+27.68	+42.255	+63.10	↗
	Saison hivernale (nb de jours)	57.02	-1.14	-1.51	+0.29	+1.49	+1.48	+1.37	↗
Nombre de jours de sécheresse par an		116.2	+4.27	+7.55	+5.27	-1.11	+3.44	+8.6	↗
Evapotranspiration Potentielle (en mm)	Cumul annuel	958.2	+35.36	+51.81	+68.48	+37.51	+70.31	+125.53	↗
	Cumul saison végétative	762.2	+24.2	+37.7	+46.2	+26.5	+45.3	+81.1	↗
Bilan hydrique Potentiel (P - ETP)	Cumul annuel	-190.9	-52.5	-53.8	-56.3	+2.9	-55.8	-86.0	↘
	Cumul saison végétative	-368.2	-40.6	-62.5	-68.4	-13.8	-73.1	-104.7	↘

Enfin, concernant la montée du niveau de la mer, concernant le scénario intermédiaire, la hausse du niveau marin serait de 0.20m par rapport à 2020 et de 0,4m à 0,8m d'ici la fin du siècle. Pour le scénario le plus pessimiste en revanche, le niveau marin pourrait très certainement avoir progressé de 0,6m à 1m en 2100. De plus, comme illustré par la Figure 33, une exponentielle bien plus pessimiste, incluant l'instabilité de fonte des glaces, pourrait conduire à une montée de plus de 1,5m pour la même période « *La perte de carbone du pergélisol suite au dégel du pergélisol est irréversible à l'échelle du centenaire (confiance élevée). La poursuite de la perte de glace au cours du XXIe siècle est pratiquement certaine pour l'inlandsis groenlandais et probable pour l'inlandsis antarctique. Il est très probable que la perte totale de glace de l'inlandsis groenlandais augmentera avec les émissions cumulées.* » (IPCC, 2021: Summary for Policymakers).

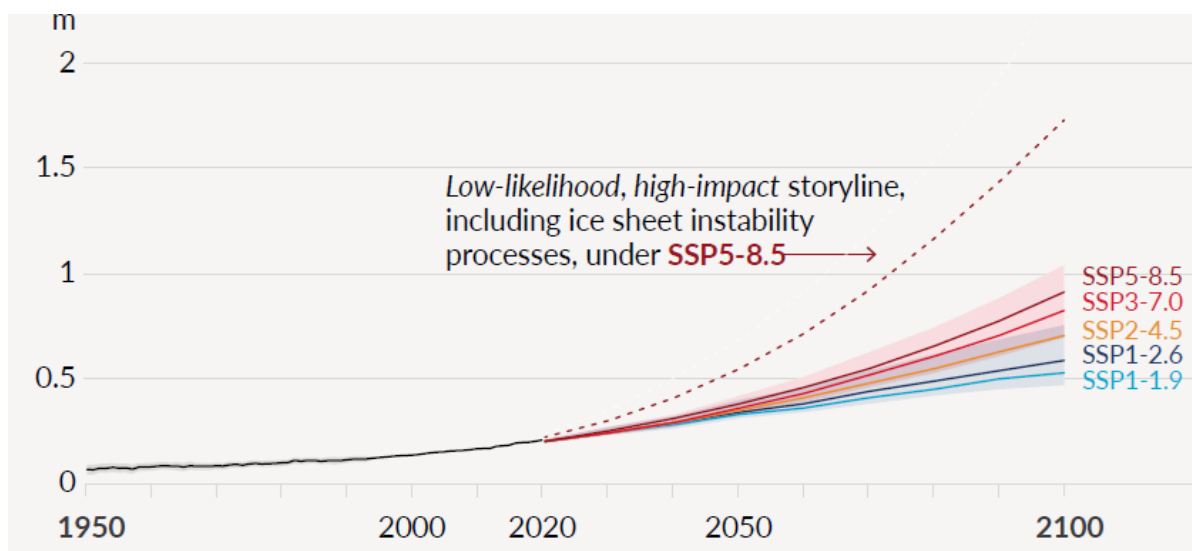


Figure 33: Montée globale du niveau de la mer à horizon 2100, (source : IPCC AR6 WGI, Summary for Policymakers, 2021)

Impacts sur le cours du Brivet et sur les territoires de marais

Une telle hausse du niveau marin pourrait présenter des impacts très importants pour le territoire du PNR de Brière. En effet, cette hausse du niveau marin rendrait l'exercice d'apports et de sorties d'eaux par les ouvrages de régulation situés au Sud, à proximité de Donges, Montoir, Saint-Nazaire ou encore Lavau-sur-Loire (Figure 34) complexifiés par des délais de plus en plus courts, fonction du rythme des marées. La hausse du niveau de la mer, en modifiant l'intensité des courants dans l'estuaire, pourrait également conduire à des phénomènes d'envasements plus importants liés à la remontée du bouchon vaseux⁴. Ces envasements sont d'ailleurs déjà notables au niveau du bief⁵ de Lavau-sur-Loire, situés à l'ouest du PNR où les submersions marines et l'érosion des sols impactent l'ouvrage qui est installé. L'endommagement subit et les travaux de désenvasements annuels (1m de vase par an à proximité de l'ouvrage) rendent cet ouvrage ponctuellement inutilisable. La part de gestion de l'eau ne pouvant plus être réalisée par celui-ci est alors à compenser par les autres ouvrages situés en amont. Les risques d'inondations sont donc plus importants lors des années à hivers très pluvieux puisque l'ouvrage de Lavau évacue en temps normal 18% des eaux hivernales. Ces risques d'inondations pourraient s'avérer bien plus prononcés dans le cas où ces phénomènes d'envasement concerneraient des ouvrages à enjeux supérieurs comme l'ouvrage du Méan à partir duquel 50% des eaux hivernales sont évacuées. Des pertes de surfaces agricoles liées à l'érosion des étiers sont également observées, pénalisant les activités d'élevage sur ces secteurs. Il est néanmoins

⁴ Le bouchon vaseux est un phénomène caractéristique des estuaires. Il s'agit d'une zone de turbidité (teneur en matières en suspension) élevée due au blocage des sédiments en suspension apportés par le fleuve. La concentration en matières en suspension du bouchon vaseux est directement liée à l'intensité des courants, qui est elle-même liée à l'amplitude de la marée et au marnage (Consortium Magest -Sméag – Epidor).

⁵ Les biefs étaient des petits canaux chargés d'amener l'eau aux roues à aubes ou aux turbines de moulins, de scieries ou d'usines de tissage.

à noter que l'ouvrage de Lavau est un cas particulier puisque situé à proximité d'un polder, ce qui n'est pas le cas des autres ouvrages sur le Brivet. Les dynamiques d'envasements ne seront donc pas similaires sur les autres ouvrages. Enfin, la remontée du niveau marin et du bouchon vaseux aurait également pour conséquence de provoquer une remontée du front de salinité⁶ rendant les eaux du marais plus saumâtres et pouvant potentiellement provoquer le déclin ou le changement d'état de nombreux types de végétations (Deckert Romain, 2021).

L'impact de la montée du niveau marin se présente également pour les espaces situés à proximité du bassin du Mès à l'Ouest.

Cependant, mis à part les vasières, situées à un niveau topographique quasi similaire à celui de la mer, les autres types d'habitats littoraux semblent afficher une vulnérabilité moins élevée. Les prés salés sont situés quasi au même niveau topographique que les vasières, les végétations qui y sont présentes : spartines (*Spartina anglica*), salicorne (*Salicornia*), obione (*Halimione portulacoides*) sont habitués à être ponctuellement immergées par l'eau salée, mais pourraient être soumis à une salinisation des sols qui induirait un changement de type de végétation.

Quant aux roselières halophiles, celles-ci sont généralement situées à un niveau topographique supérieur. Mais pourraient avoir leur dynamique modifiée en fonction de l'effet combiné de l'augmentation du niveau d'eau et de l'attérissement.

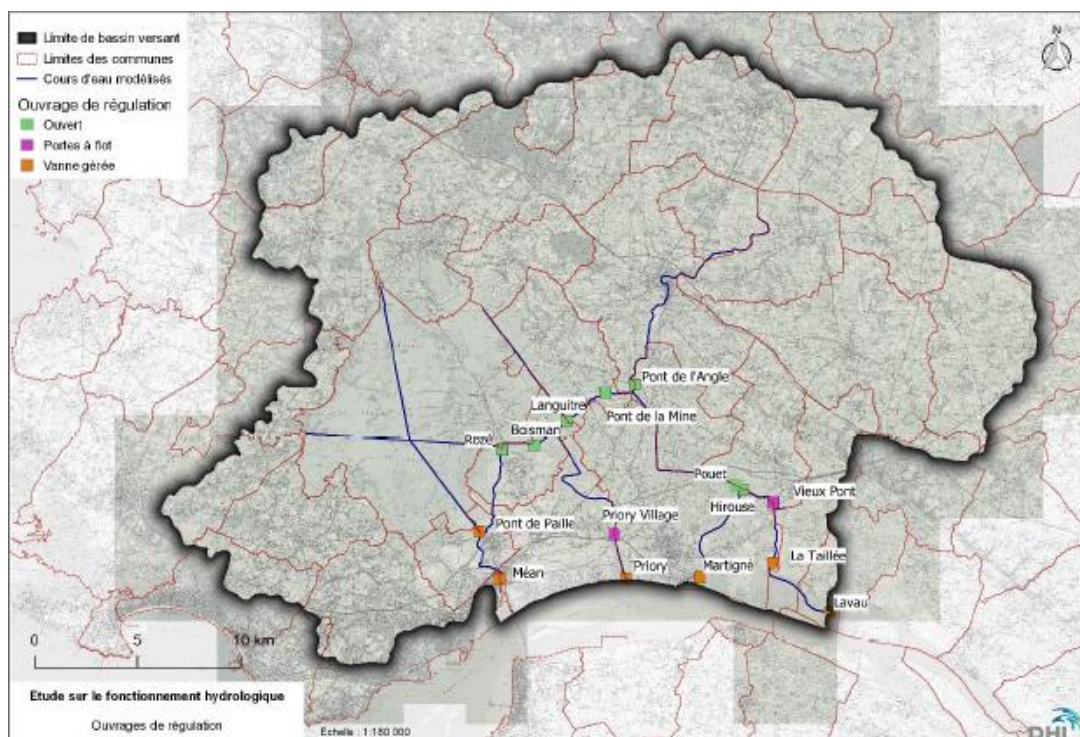


Figure 34: Ouvrages de régulation du Bassin versant du Brivet, ALLARD, 2021

⁶ La limite du front de salinité est définie par la zone où la salinité moyenne en surface est supérieure ou égale à 1 ‰.

Le régime des précipitations faisant varier les niveaux d'eau pourrait également impacter le couvert végétal des zones de marais. Si la hausse en nombre et en durée des épisodes de sécheresses semble amplifier la vulnérabilité de certains écosystèmes à ce paramètre, des inondations plus fréquentes pourraient également conduire à une régression ou à des changements d'état de ces végétations. L'utilisation des données provenant de la plate-forme <https://global-surface-water.appspot.com> permet notamment de constater l'évolution de présence de l'eau au sein des marais de Brière. Développé dans le cadre du programme COPERNICUS par l'Union européenne, cet outil est issu de l'imagerie Landsat et cartographie la répartition des surfaces en eau à l'échelle mondiale au cours des dernières décennies (1984 – 2020). Après l'extraction de ces données en format raster, puis la conversion de celles-ci en format vecteur, il est possible de créer des cartes graduées permettant d'interroger l'information sous divers angles. Suite à la lecture et à la comparaison des indices de saisonnalités⁷, de récurrence⁸ et de transitions⁹, deux constats majeurs sont retirés :

- Entre 1984 et 2020, 2719 hectares de surface de marais sont devenus inondables au moins 1 mois durant l'année (Figure 35).
- Si 203 hectares sont passés de « saisonnier » à « permanent » aucune surface n'est passée à l'inverse de « permanent » à « saisonnier ».

Ces résultats indiquent une présence de l'eau au sein du marais de plus en plus importante au fil des décennies, potentiellement provoquées par l'intensification du régime pluviométrique hivernal. Les hausses de courants engendrées pourraient être en mesure de creuser certains fonds et par conséquent de drainer les surfaces de zones humides latérales, empêchant l'expansion en cas de crues. Ces résultats sont cependant à prendre avec précaution car uniquement issus d'imageries satellitaires. Il semble en effet que seules les évolutions perçues au niveau des cours et plans d'eaux ne soient restituées compte tenu de l'absence des surfaces de prairies humides notamment, comme illustrées par l'exemple des données de récurrence de présence de l'eau sur les marais (Figure 36).

7 Saisonnalité : comportement intra-annuel des surfaces en eau pour une seule année (2020). Indique le nombre de mois durant lesquels l'eau était présente.

8 Récurrence : comportement inter-annuel des surfaces d'eau. Rends compte de la fréquence à laquelle l'eau revient chaque année.

9 Transitions : évolution de la saisonnalité entre la première et la dernière année

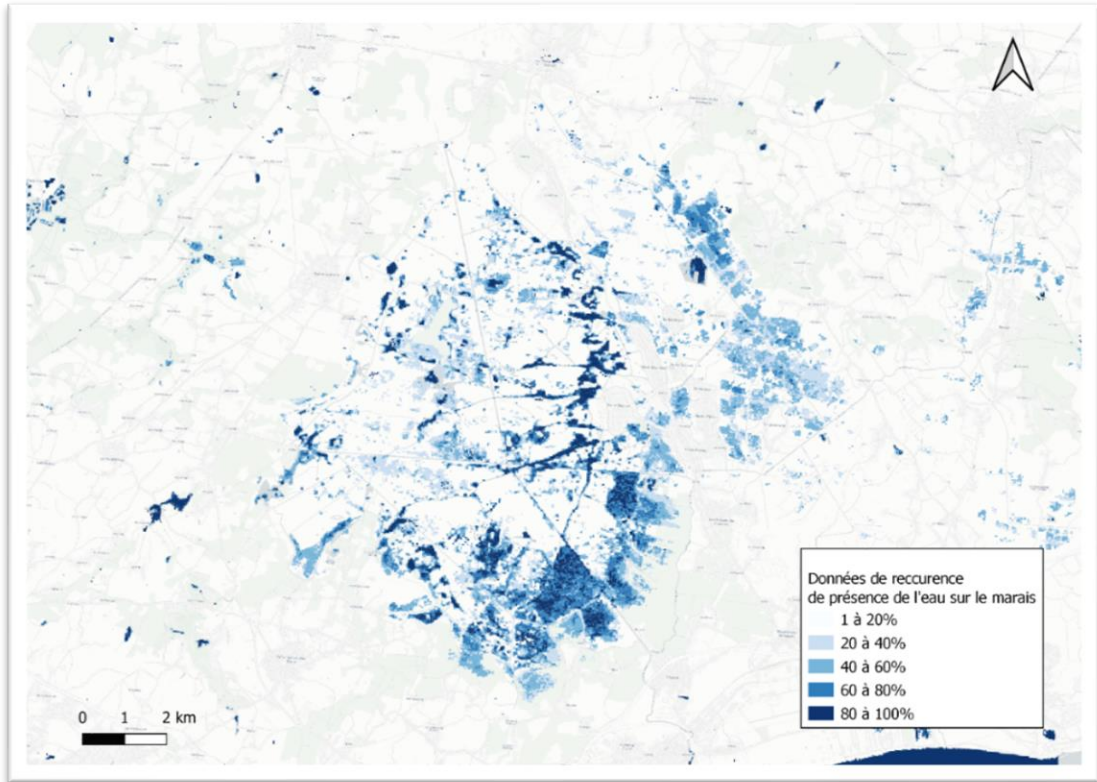


Figure 35: Carte des surfaces de marais nouvellement inondables observées sur la période 1984 – 2020, <https://global-surface-water.appspot.com>

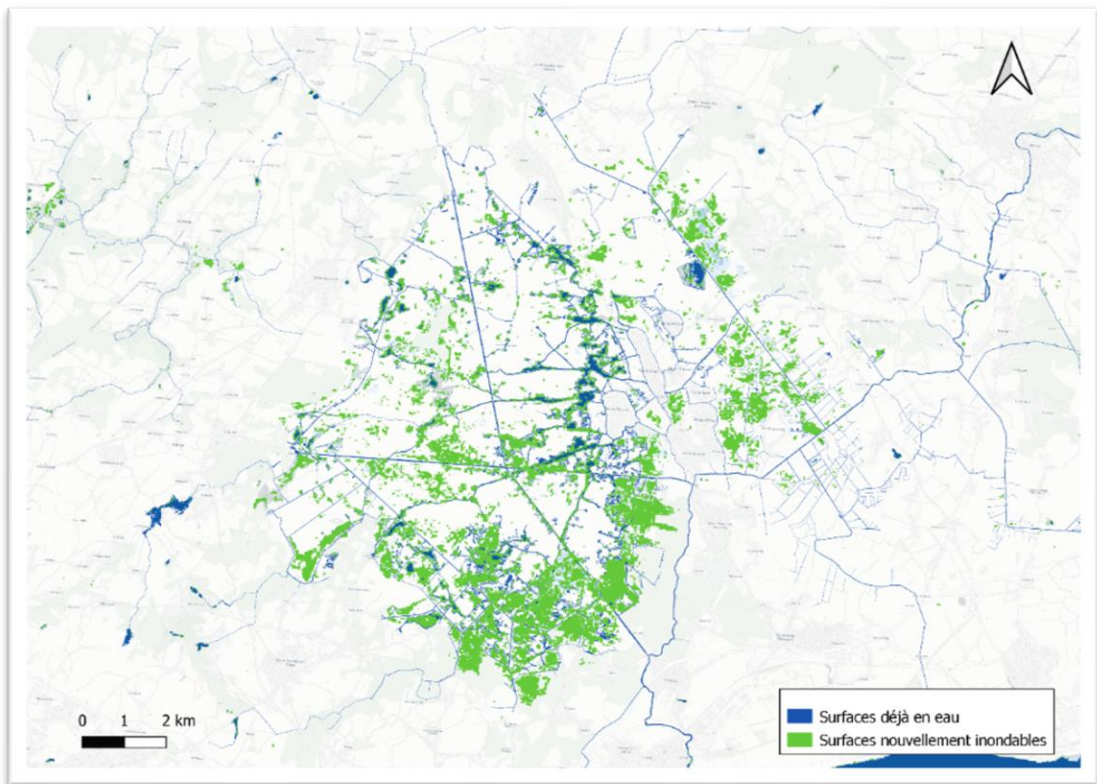


Figure 36: Carte démontrant l'absence de prise en compte de l'eau retenue au sein des surfaces de prairies humides dans les données proposées (ici exemple des données de récurrences), <https://global-surface-water.appspot.com>

5.2 Vulnérabilité des services écosystémiques du PNR Brière

5.2.1 Diagnostic de vulnérabilité

Méthodologie

La détermination du degré d'incidence de chaque paramètre climatique sur les écosystèmes du PNR, fut réalisée en fonction de données issues de la littérature, ainsi que d'entretiens réalisés avec les agents internes et externes à la structure. Il a été tenté en premier lieu de retranscrire points par points les impacts de l'évolution des paramètres climatiques sur chaque habitat en détaillant étape par étape les conséquences de chaque événement (ex : pour les cours d'eau, la baisse des précipitations estivales conduirait à une baisse des débits qui elle-même augmenterait les probabilités d'atterrissement du cours d'eau, le tout serait favorable à l'installation des roselières). Cette méthode semblait présenter l'avantage de permettre à la fois de connaître le chemin pris par chaque habitat en fonction du forçage climatique, de déterminer l'effet de seuil atteint par celui-ci, mais également de connaître sa dynamique d'évolution. Cependant, cette méthode s'est avérée difficilement compatible avec les réalités d'écosystèmes de zones humides au fonctionnement complexe et n'évoluant pas de la même façon selon leur localisation, la topographie, la composition du sol, la proximité ou non à un point d'eau, etc. Le choix d'adopter la méthodologie DVO a permis de simplifier la démarche tout en confortant le niveau de certitude des informations renseignées.

La vulnérabilité est définie dans le 6^{ème} rapport du GIEC **comme la propension ou la prédisposition à être affecté négativement et englobe une variété de concepts et d'éléments, notamment la sensibilité ou la susceptibilité aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter.**

La construction du Diagnostic de Vulnérabilité et d'Opportunité (DVO) s'inscrit dans la continuité de celle du récit climatique. La vulnérabilité des habitats naturels face aux impacts climatiques est déterminée ici à partir de l'évaluation combinée de la sensibilité, de l'exposition et de la capacité d'adaptation de ces habitats (Figure 37). Il convient néanmoins de rappeler que chaque diagnostic de vulnérabilité est spécifique à un territoire donné.

Afin de se familiariser avec ces termes, des définitions et questionnements spécifiques sont renseignés dans les rapports LIFE. A ces questionnements, une grille de lecture est proposée, permettant d'évaluer la vulnérabilité globale de l'habitat (Tableau 10).

Ainsi, **l'exposition** représente « la nature, le degré et la fréquence des variations climatiques (et leurs « conséquences physiques ») susceptibles d'être subies par les systèmes humains ou naturels. Pour qualifier l'exposition, il faut se demander comment évoluent les paramètres et aléas climatiques auxquels l'objet est particulièrement sensible ».

La **sensibilité** : « la propension intrinsèque d'un système humain ou naturel à être affecté favorablement ou défavorablement par des variations climatiques (et leurs « conséquences

physiques »). Pour qualifier la sensibilité, il faut se demander quels sont les principaux paramètres et aléas climatiques qui jouent sur l'objet et à quel point il est sensible à l'évolution de ces paramètres ».

Enfin, la **capacité d'adaptation** est définie comme étant la « qualité intrinsèque qui permet à un système humain ou naturel de réduire les effets négatifs et/ou de tirer parti des effets positifs du CC. Pour qualifier la capacité, on se demande si l'objet, pris isolément, est capable de s'adapter à des variations climatiques et à leurs effets. Si oui, à quel point ? ».

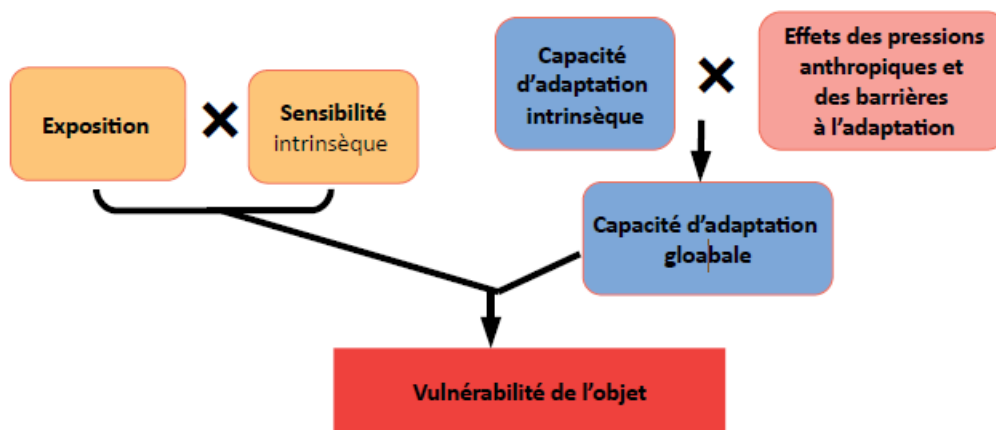


Figure 37: Principe d'analyse de la vulnérabilité d'un écosystème (Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle des Tourbières du Morvan, 2020)

Tableau 10: Grille d'analyse de la vulnérabilité, Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle des Tourbières du Morvan

		Capacité d'adaptation globale			
Sensibilité intrinsèque	Exposition	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Forte	Défavorable	Très fortement vulnérable	Très fortement vulnérable	Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable
Moyenne		Très fortement vulnérable	Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable	Faiblement vulnérable
Faible		Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable	Faiblement vulnérable	Faiblement vulnérable
Forte	Neutre	Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Moyenne					
Faible					
Faible	Favorable	Faiblement opportuniste	Faiblement opportuniste	Moyennement opportuniste	Fortement opportuniste
Moyenne		Faiblement opportuniste	Moyennement opportuniste	Fortement opportuniste	Très fortement opportuniste
Forte		Moyennement opportuniste	Fortement opportuniste	Très fortement opportuniste	Très fortement opportuniste

Les paramètres climatiques considérés dans cette analyse de vulnérabilité sont ceux étudiés pour la construction du récit climatique, à savoir :

- Hausse des températures
- Hausse de l'évaporation
- Hausse des sécheresses
- Hausse des précipitations hivernales
- Baisse des précipitations estivales
- Hausse du niveau de la mer
- Hausse des taux de sels contenus dans le substrat

Conformément aux différents niveaux d'analyse des indicateurs de sensibilité, d'exposition et d'opportunité, une échelle de notation spécifique a été attribuée chacun d'entre eux (Tableau 11).

Tableau 11: Grille de notations des Indicateurs de sensibilité, d'exposition, de capacité d'adaptation et symboles spéciaux attribués, permettant de caractériser la vulnérabilité des habitats naturels

Indicateurs de la méthodologie DVO							
Sensibilité		Exposition		Capacité d'adaptation		Symboles spéciaux	
0	Faible	0	Favorable	0	Nulle	-/+	Dépendant de la localisation
1	Moyenne	1	Neutre	1	Faible	?	Données non acquises
2	Forte	2	Défavorable	2	Moyenne		Hésitations sur l'allocation du score
				3	Forte		

Le choix a été pris pour caractériser l'indice d'exposition de considérer seulement l'horizon moyen (2040 – 2070) et l'horizon lointain (2070 – 2100) pour le scénario RCP 8.5. Enfin, des symboles spéciaux ont été définis dans le cas où il n'était pas possible d'attribuer de notation. Le tableau récapitulant les notations de chaque indice point par point est disponible en annexe 12.

L'adaptation de cette grille d'évaluation au territoire de Brière est donnée par le tableau 12.

Tableau 12: Grille d'évaluation de la vulnérabilité des habitats du territoire de Brière au changement climatique.

Sensibilité	Exposition	Capacité d'adaptation		
		Faible	Moyenne	Forte
Forte	Forte	Très fortement vulnérable	Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable
Moyenne		Très fortement vulnérable	Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable
Faible		Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable	Faiblement vulnérable
Forte	Moyenne	Fortement vulnérable	Moyennement vulnérable	Faiblement vulnérable
Moyenne		Moyennement vulnérable	Faiblement vulnérable	Très faiblement vulnérable
Faible		Faiblement vulnérable	Faiblement vulnérable	Très faiblement vulnérable
Forte	Faible	Faiblement vulnérable	Très faiblement vulnérable	Non vulnérable
Moyenne		Très faiblement vulnérable	Non vulnérable	Non vulnérable
Faible		Non vulnérable	Non vulnérable	Non vulnérable

Résultats par habitats

Nous avons réalisé un diagnostic de vulnérabilité pour les différents habitats naturels du territoire du PNR. En conclusion de chaque commentaire, une estimation de la dynamique de végétation est proposée. Les mots-clefs utilisés « Dégradation » ; « Régression » ; « Maintien » ; « Progression » et « Changement d'état » donnent un aperçu de l'évolution de la végétation pouvant résulter des forçages climatiques opérés sur les écosystèmes. Un 6^{ème} terme « Incertitudes », ainsi que des points d'interrogation ont été renseignés lorsqu'il n'était pas possible de projeter d'évolution.

Habitat : Cours d'eau

Diagnostic de vulnérabilité : Fortement vulnérable

Synthèse : Les surfaces d'eaux libres comme les cours d'eau seront très fortement impactées par le changement climatique. Soumis aux variations plus importantes de précipitations saisonnières, ces habitats pourraient observer des phénomènes de crues et d'étiages plus intenses. Les hausses de températures pourraient également mener à la prolifération d'espèces invasives qui perturbent les débits d'eau en bloquant les canaux des marais notamment. Le réchauffement des températures de l'eau, la hausse des taux de salinité, et les assecs estivaux impacteront la faune piscicole. (THIBAUT Marc, BECK Nicolas, *Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue*, PNR de Camargue ; *Cahier indicateur n°1, Un groupement végétal représentatif : les Roselières*, novembre 2007, GIP Loire Estuaire)

hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Dégradation de la qualité/ Diminution de la quantité de la ressource en eau en période d'étiage prolongés

Habitat : Etangs et plans d'eau

Diagnostic de vulnérabilité : Très fortement vulnérable

Synthèse : Les phénomènes d'atterrissements et d'assecs prolongés des mares seraient favorables à l'installation d'espèces de boisements humides (saulaies - aulnaies) en bordures de plans d'eaux qui menaceraient de refermer les milieux. La hausse des températures menant à l'eutrophisation des cours d'eau (bloom d'algues), sera particulièrement impactante pour ces habitats et causera la mortalité de la faune piscicole. (ONILLON Laurène, MASSARD Ollivier, MARQUET Matthieu, Actualisation de la carto. des habs. Grande Brière et marais de Donges, PNR Brière ; THIBAUT Marc, BECK Nicolas, *Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue*, PNR de Camargue)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Dégradation / Régression (atterrissement et comblement des mares)

Habitat : Végétations aquatiques

Diagnostic de vulnérabilité : Très fortement vulnérable

Synthèse : Situées en majorité au niveau du bocage au sein des cours d'eau et des mares, les espèces de plantes aquatiques comme les herbiers, lentilles d'eau (*Lemna minor*), ou renoncule d'eau (*Ranunculus aquatilis*), semblent favorisées par la hausse des précipitations hivernales (extension de leur habitat). L'exondation des plans et cours d'eau

pourrait conduire à la prolifération d'espèces invasives plus compétitives comme la jussie ou la crassule, ou encore à l'installation de roselières et magnocariçaies. La remontée du front de salinité et la hausse du niveau marin impacteront également les cortèges floristiques de ces types de végétations, notamment au Sud du marais et sur le bassin versant du Mès. (ONILLON Laurène, MASSARD Ollivier, MARQUET Matthieu, Actualisation de la carto. des hab. Grande Brière et marais de Donges, PNR Brière ; THIBAUT Marc, BECK Nicolas, Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue, PNR de Camargue)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Dégradation / Régression

Habitat : Végétations amphibies

Diagnostic de vulnérabilité : Très fortement vulnérable

Synthèse : Certaines végétations amphibies sont favorisées par les exondations estivales prolongées. Certaines espèces de cet habitat résistent également plutôt bien aux hausses de températures de l'eau et du substrat. En revanche, la remontée du front de salinité et la hausse du niveau marin, au Sud du marais notamment, impacteront fortement les cortèges floristiques de cet habitat. Au nord du marais, les espèces plus compétitives comme la jussie et la crassule pourrait se développer au détriment de ces végétations amphibies lors des exondations estivales. (ONILLON Laurène, MASSARD Ollivier, MARQUET Matthieu, Actualisation de la carto. des hab. Grande Brière et marais de Donges, PNR Brière ; THIBAUT Marc, BECK Nicolas, Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue, PNR de Camargue ; Végétations amphibies, Guide des végétations des zones humides de Normandie orientale)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Incertitude

Habitat : Roselières

Diagnostic de vulnérabilité : Fortement vulnérables

Synthèse : Les roselières devraient être fortement impactées par les sécheresses, bien que ces végétations s'adaptent généralement aux sols secs. Cependant, un changement d'état de ces espèces sera probablement observé en réponse à la montée du niveau de la mer et du front de salinité. Il est à noter cependant que celles-ci pourraient devenir plus vulnérables aux risques d'incendies qui auraient des conséquences catastrophiques sur les zones de marais où elles sont présentes en grand nombre. (Cahier indicateur n°1, Un groupement végétal représentatif : les Roselières, novembre 2007, GIP Loire Estuaire; SCHLOESSER Daphné, MERCKLING Léa, 2020, Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle de la Petite Camargue Alsacienne, LIFE Natur' Adapt, Réserve Naturelle de la Petite Camargue Alsacienne, Petite Camargue Alsacienne; Le HIR et al, Novembre 2014, Conséquences du Changement Climatique sur l'Écogéomorphologie des Estuaires (projet C3E2), Rapport final, Université Bretagne Ouest, GIP Loire Estuaire, Ifremer, ARTELIA)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Progression

Habitat : Magnocariçaies et groupements mixtes

Diagnostic de vulnérabilité : Fortement vulnérables

Synthèse : Les magnocariçaies sont situées sur un niveau trophique plus haut que les roselières. Ces végétations ne devraient pas souffrir des hausses de températures ni des précipitations en période hivernale. Par contre, les assècs prolongés estivaux conduisent à l'installation des prairies humides oligotrophes (*Molinio caeruleae* - *Juncetea acutiflori*)

ou à des mégaphorbiaies mésotrophes (*Loto pedunculati* – *Filipenduletalia ulmariae*) avant colonisation par les fourrés marécageux (*Salicion cinereae*). (Caricaies des sols mésotrophes à dystrophes, Avril 2016, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et aquatiques en Pays de la Loire, Conservatoire Botanique de Brest). Régression si salinisation/ enrichissement sur les niveaux topographiques les plus élevés en ceinture de marais. Globalement, les espèces invasives comme la jussie et la crassule pourraient être favorisées par rapport aux habitats spécialisés en raison de leur meilleure capacité d'adaptation. De plus, ces espèces supportent généralement bien les fortes variations de régimes pluviométriques le long de l'année. La hausse de la teneur en sel du substrat, pourrait en revanche limiter leur prolifération. (THIBAUT Marc, BECK Nicolas, Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue, PNR de Camargue)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Expansion au Nord du marais, déclin au Sud

Habitat : [Prairies envahies](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Moyennement vulnérables](#)

Synthèse : Globalement, les espèces invasives telle que la jussie et la crassule pourraient être favorisées par rapport aux habitats spécialisés en raison de leur meilleure capacité d'adaptation. De plus, ces espèces supportent généralement bien les fortes variations de régimes pluviométriques le long de l'année. La hausse de la teneur en sel du substrat, pourrait en revanche limiter leur prolifération au Sud du marais. (THIBAUT Marc, BECK Nicolas, Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue, PNR de Camargue)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Progression au Nord du marais, déclin au Sud

Habitat : [Prairies humides oligotrophes, mesotrophes et eutrophes](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Très fortement vulnérables](#)

Synthèse : Concernant les prairies humides, une perte de productivité des composantes végétales et un stress hydrique de celles-ci est à attendre en réponse à la hausse des sécheresses (+ 8 jours par an à horizon 2100 pour le RCP 8.5). La hausse des taux de salinité du substrat pourrait accélérer la déprise pastorale car les bovins ne supportent pas le sel au-delà de 3 à 5gl. Ce paramètre pourrait d'ailleurs modifier la composante végétale du sol : les prairies humides de ce type, localisées au Sud du marais, pourraient potentiellement évoluer vers des prairies subhalophiles. Les prairies situées plus au nord pourraient quant à elles être davantage concernées par la prolifération de la jussie et par une fermeture progressive du milieu liée à l'installation des fourrés et boisements humides.

(Prairies humides des sols acides et oligotrophes, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et atlantiques en Pdl, Avril 2016, CBNB ; ONILLON Laurène, MASSARD Ollivier, MARQUET Matthieu, Actualisation de la carto. des habs. Grande Brière et marais de Donges, PNR Brière ; Plan de Gestion Pastoral, Marais Indivis de Grande Brière Mottière, 2018, Commission Syndicale de Grande Brière Mottière)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Dégradation/ Régression

Habitat : [Landes humides](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Moyennement vulnérables](#)

Synthèse : La hausse du nombre de jours de sécheresses (+ 8 jours par an à horizon 2100 pour le RCP 8.5), ainsi que la hausse de la variabilité intra-annuelle des précipitations, impacteront différemment certaines espèces de cet habitat

nécessitant un équilibre particulier. Les autres paramètres climatiques : hausses du niveau marin et remontée du sel notamment ne semblent pas impacter ces végétations.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Dégradation/ Régression

Habitat : Landes sèches

Diagnostic de vulnérabilité : Moyennement vulnérables

Synthèse : Pour les landes sèches, une hausse des précipitations hivernales entrainerait probablement à terme une modification des cortèges floristiques en faveur des espèces les plus xéro-thermophiles. Les autres paramètres climatiques : hausses du niveau marin et remontée du sel notamment ne semblent pas impacter ces végétations (pas de proximité aux cours d'eau ou situées en hauteur pour les landes sèches littorales).

(Landes intérieures, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et aquatiques en Pays de la Loire, Avril 2016, Conservatoire Botanique de Brest ; Landes littorales, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et aquatiques en Pays de la Loire, Avril 2016, CBNB)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Maintien/Progression

Habitat : Végétations arbustives (hors landes)

Diagnostic de vulnérabilité : Faiblement vulnérable

Synthèse : Il semblerait que les espèces arbustives mésophiles ne soient que modérément vulnérables aux hausses de températures et aux variations de pluviosité envisagés. (Choisir les arbres et arbustes de nos paysages de Brière, 2006, PNR Brière)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Maintien

Habitat : Boisements humides (saulaies et aulnaies marécageuses)

Diagnostic de vulnérabilité : Très fortement vulnérables

Synthèse : Les boisements humides (saulaies, aulnaies) subissent d'ores et déjà des épisodes de sécheresses ainsi que des variations intra-annuelles de niveaux d'eau, ils sont impactés par ces facteurs. Une conversion vers des boisements sec pourraient être envisagés dans les secteurs les exposés. La hausse des taux de sel du substrat ainsi que les risques de crue mèneront probablement à un changement d'état de ces végétations (saule roux, saule marsault, saule blanc...) voir même à une évolution, avec présence d'espèces plus tolérantes au sel notamment au Sud du marais.

(Choisir les arbres et arbustes de nos paysages de Brière, 2006, PNR Brière ; ONILLON Laurène, MASSARD Ollivier, MARQUET Matthieu, Actualisation de la carto. des hab. Grande Brière et marais de Donges, PNR Brière)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : Changement d'état au Sud du marais indivis/ Progression

Habitat : Forêts et boisements de feuillus et mixtes (conifère/feuillus)

Diagnostic de vulnérabilité : Moyennement vulnérables

Synthèse : Les espèces de boisements mésophiles, situées hors zone de marais, sont sensibles aux phénomènes de sécheresses. Néanmoins, leur localisation en zones bocagère semble les épargner des impacts liés à la montée du niveau marin et du front de salinité. La variation des régimes de pluies ne semble également pas concerner ces écosystèmes.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : **Maintien**

Habitat : Forêts et boisements de conifères

Diagnostic de vulnérabilité : **Moyennement vulnérables**

Synthèse : Les essences de conifères (pins maritime, pins sylvestres) sont plutôt adaptées aux hautes températures. Celles-ci ne semblent donc pas fortement impactées par le changement climatique, il est même probable que ces végétations s'en retrouvent avantagées et qu'elles puissent étendre leur aire de répartition. Une plus grande exposition au risque d'incendie est à attendre.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : **Maintien/Progression possible**

Habitat : Cultures annuelles (céréales)

Diagnostic de vulnérabilité : **Moyennement vulnérables**

Synthèse : La hausse des températures moyennes annuelles, la baisse des précipitations estivales et les épisodes de sécheresses plus longs auront des répercussions sur la phénologie de la végétation et l'évapotranspiration des plantes, accentuant leurs besoins en eaux et les risques de stress hydrique. Ces habitats semblent néanmoins épargnés par les impacts marins, étant situés sur le bocage. La vulnérabilité est à nuancer en fonction des variétés et des espèces cultivées.

(Plan d'adaptation au changement climatique pour le bassin Loire-Bretagne, Juin 2018, Comité du bassin Loire-Bretagne ; SCHLOESSER Daphné, MERCKLING Léa, 2020, Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle de la Petite Camargue Alsacienne, LIFE Natur' Adapt, Réserve Naturelle de la Petite Camargue Alsacienne, Petite Camargue Alsacienne)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : **Maintien/Dégradation**

Habitat : Cultures maraichères

Diagnostic de vulnérabilité : **Fortement vulnérables**

Synthèse : La hausse des températures moyennes annuelles, la baisse des précipitations estivales et les épisodes de sécheresses plus longs auront des répercussions sur la phénologie de la végétation et l'évapotranspiration des plantes, accentuant leurs besoins en eaux et les risques de stress hydrique. Ces habitats semblent néanmoins épargnés par les impacts marins, étant situés sur le bocage. La vulnérabilité est à nuancer en fonction des variétés et des espèces cultivées.

(Plan d'adaptation au changement climatique pour le bassin Loire-Bretagne, Juin 2018, Comité du bassin Loire-Bretagne ; SCHLOESSER Daphné, MERCKLING Léa, 2020, Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle de la Petite Camargue Alsacienne, LIFE Natur' Adapt, Réserve Naturelle de la Petite Camargue Alsacienne, Petite Camargue Alsacienne)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : **Maintien/Dégradation**

Habitat : [Prairies permanentes et temporaires](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Fortement vulnérables](#)

Synthèse : La hausse des températures et les déficits hydriques estivaux croissants impacteront probablement fortement la phase de floraison des plantes. La hausse des températures moyennes annuelles, la baisse des précipitations estivales, et les épisodes de sécheresses plus longs auront des répercussions sur la phénologie de la végétation et l'évapotranspiration des plantes, accentuant leurs besoins en eaux et les risques de stress hydrique. Ces habitats semblent néanmoins épargnés par les impacts marins, étant situés sur les zones de bocage.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : [Maintien/Dégradation](#)

Habitat : [Marais salants et lagunes côtières](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Moyennement vulnérable](#)

Synthèse : Les surfaces de marais salants sont globalement favorisées par les impacts du changement climatique (hausse des températures et de l'évaporation favorable à l'activité de saliculture). Néanmoins, l'impact de la submersion marine pourrait mener à la perte de nombre de ces surfaces étant donnée leur forte inondabilité.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : [Maintien/Régression](#)

Habitat : [Zones intertidales et estrans](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [non vulnérables](#)

Synthèse : Ces habitats ne semblent globalement pas impactés par les impacts du changement climatique, l'acidification de l'eau pourrait cependant s'avérer néfaste pour le développement des cyanobactéries et autres organismes.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : [Déplacement/Remontée](#)

Habitat : [Prairies subhalophiles](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Fortement vulnérables](#)

Synthèse : La hausse des taux de sel dans le substrat induit par la montée du niveau de la mer "entraînera une extension des halophytes véritables comme les salicornes, les spartines ou les obiones aux dépens de la végétation dulçaquicole ou des plantes simplement halotolérantes telles les fétuques" (Verger, 2008). Un potentiel déclin des espèces spécialisées des prairies subhalophiles, nécessitant un équilibre entre eaux douces et eaux salées pourrait être observé. La hausse des températures ainsi que du nombre de jours de sécheresse pourraient impacter la phénologie de la végétation.

(Zones Humides Infos - 59-60 - 1er et 2ème trimestres 2008)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : [Déplacement/Progression vers le Nord](#)

Habitat : [Schorres et près salés](#)

Diagnostic de vulnérabilité : [Moyennement vulnérables](#)

Synthèse : La hausse des taux de sel dans le substrat induit par la hausse du niveau de la mer "entraînera une extension des halophytes véritables comme les salicornes, les spartines ou les obiones aux dépens de la végétation dulçaquicole ou des plantes simplement halotolérantes telles les fétuques" (Verger, 2008). Il est probable donc d'observer une expansion des surfaces de ce type d'habitat au niveau du marais du Mès.

(Zones Humides Infos - 59-60 - 1er et 2ème trimestres 2008)

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : **Progression**

Habitat : Habitats urbains denses, discontinus et végétalisés

Diagnostic de vulnérabilité : **Très faiblement vulnérables**

Synthèse : Difficile d'élaborer des hypothèses sur ces types d'habitats étant donné la variété d'espèces, la hauteur à laquelle celles-ci se trouvent, et le caractère anthropisé de leur plantation, entretien. Il semble que leur exposition à la submersion marine et au sel soit fonction de leur localisation (proche des zones de marais ou non). La répartition principalement côtières des habitations va les exposer aux aléas associés à la montée des eaux et aux phénomènes extrêmes. Les habitations plus à l'intérieur des terres devraient être peu touchées.

Hypothèses sur l'évolution de l'habitat naturel : -

On constate en premier lieu qu'une majorité d'habitats en Brière est vulnérable au changement climatique avec 80% des habitats de moyennement à très fortement vulnérables.

Tableau 13 : Vulnérabilité des habitats du PNR de Brière aux changements climatiques à horizon lointain pour le scénario climatique. Les codes correspondent aux niveaux de vulnérabilité de la grille d'évaluation : 0 – Non vulnérable ; 1 – Très faiblement vulnérable ; 2 – Faiblement vulnérable ; 3 – Moyennement vulnérable ; 4 – Fortement vulnérable ; 5 – Très fortement vulnérable

Code	Habitat	Score vulnérabilité H3
H01	Marais salants (lagunes côtières)	3
H02	Zones intertidales et estrans	1
H03	Prairies subhalophiles	4
H04	Shorres (prés salés)	3
H05	Cours d'eau	4
H06	Etangs et plans d'eau	5
H07	Végétation aquatique	5
H07	Végétation amphibie	5
H08	Roselières	4
H09	Magnocaricaies et groupements mixtes	4
H10	Prairies envahies	3
H11	Landes sèches à humides	3
H12	Végétations arbustives	2
H13	Boisements humides (saulaies et aulnaies marécageuses)	5
H14	Forêts et boisements de feuillus	3
H15	Forêts et boisements mixtes	3
H16	Forêts et boisements de conifères	1
H17	Prairies humides oligotrophes	5
H18	Prairies humides mésotrophiles à eutrophiles	5
H19	Prairies permanentes	4
H20	Prairies temporaires	4
H21	Cultures maraichères	4
H22	Cultures annuelles (céréales)	3
H23	Habitat urbains denses	2
H24	Habitats urbains discontinus	2
H25	Habitats urbains végétalisés	2

À l'exception des prairies envahies, une vulnérabilité forte à très forte est évaluée pour les écosystèmes de zones humides. Celle-ci s'explique par la forte sensibilité de ces écosystèmes aux modifications de régimes (températures, pluviométrie), mais également par leur localité les rendant vulnérables aux impacts marins. Les étiages estivaux prolongés auront des conséquences non négligeables sur les masses d'eau. La multiplication et l'amplification de ces phénomènes pourrait en effet provoquer des ruptures de continuités entre les cours d'eau et les plans d'eau (bien qu'il semblerait que peu de cas de connexion cours d'eau/ plans d'eaux soient observés sur le territoire). Quant aux lieux de reproduction et de repos de la faune piscicole comme les frayères à brochets par exemple, ceux-ci seront impactés par les baisses d'oxygène liés à l'eutrophisation.

L'ensemble de ces impacts auront très probablement pour conséquences d'influencer la répartition globale de ces écosystèmes. Les atterrissements des cours d'eau, et plans d'eaux pourraient favoriser l'installation des roselières ou des boisements humides de saulaies et d'aulnaies (l'expansion de ces boisements est d'ailleurs déjà observée au nord de la Grande Brière Mottière, au niveau de la commune de la Chapelle-des-Marais).

La mesure de la prolifération de la jussie est en revanche plus nuancée. D'un côté, il est possible d'affirmer que les hausses de précipitations hivernales pourraient favoriser la dissémination de cette espèce. Leur prolifération dans les plans et cours d'eau eutrophiserait à terme ces milieux, et accélérerait leur comblement et leur atterrissement, notamment au nord du marais, au détriment des végétations aquatiques des canaux et des mares. De plus, il est également fort probable d'observer une expansion des jussies et crassules sur les surfaces de végétations amphibies, dont l'exondation prolongée mène en temps normal au développement d'espèces de prairies humides oligotrophiles. D'un autre côté néanmoins, les hausses de teneur en sel attendues dans les substrats liés à la montée du niveau marin, limiteront leur expansion, notamment au Sud du marais de Grande Brière Mottière. Il semblerait également que l'on constate un changement d'état des roselières selon ce même facteur (recul des roselières d'eaux douces au profit des roselières d'eaux saumâtres), s'opérant de façon graduelle du sud au nord du marais. Enfin, bien que l'agglomération de Saint-Nazaire puisse épargner les prairies subhalophiles de la submersion marine, la hausse des taux de sel présents dans le substrat impactera probablement également ces habitats, au point de provoquer leur régression.

Contrairement aux habitats des prairies humides, les écosystèmes bocagers sont épargnés par les impacts liés à la hausse du niveau marin et à l'avancée du front de salinité et sont moins vulnérables aux variations des régimes de pluies. Pourtant la vulnérabilité des habitats agricoles est également élevée. Les sécheresses et la hausse des températures hivernales ont pour ces milieux davantage d'influence sur le stress hydrique, la phénologie de la végétation ainsi que sur la recrudescence de ravageurs. Combinés au décalage de floraison des plantes, causée par la hausse des températures, ces paramètres influenceront directement les rendements et la durée de mise en pâture du bétail.

Seuls les habitats ligneux (landes, végétations arbustives et boisements) ainsi que les habitats littoraux et halophiles (à l'exception des prairies subhalophiles, exposant des indices de vulnérabilité et de sensibilité similaires aux autres types de prairies humides) semblent ne pas être particulièrement vulnérables. Cela semble s'expliquer pour les habitats littoraux principalement par la capacité d'adaptation des végétations saumâtres aux sécheresses climatiques et aux variations de régimes de pluies. Les paramètres liés au sel et au niveau marin n'influencent pas particulièrement ces habitats, étant donné qu'ils sont régulièrement submergés. Concernant les habitats ligneux, cette faible vulnérabilité s'explique par leur localisation, généralement hors marais (les épargnants des impacts liés au sel et à la submersion marine), ainsi que par leur capacité à s'adapter aux variations de régimes pluviométriques. A noter cependant qu'il semblerait que les espèces de boisements mésophiles comme les chênes et châtaigniers soient sensiblement plus vulnérables aux impacts du changement climatique que les espèces de boisements humides (saulaies - aulnaies). Ces végétations ne sont pas non plus épargnées par la propagation de bactéries et de ravageurs, favorisées par les

hivers de plus en plus doux. Enfin, l'ensemble des espèces de boisements (humides ou secs) sont concernés par la hausse des risques d'incendies lors des importants épisodes de sécheresses. Ce propos est cependant à nuancer en raison des faibles surfaces que représentent ces habitats sur le territoire.

5.2.2 Quelles modifications de la fourniture de services écosystémiques ?

Sur la base des résultats obtenus, il est désormais possible de tenter d'apporter des hypothèses sur l'évolution des services écosystémiques rendus par les écosystèmes à horizon 2100. A noter que ces hypothèses sont réalisées selon un scénario à « gestion constante », c'est-à-dire partant du principe que la gestion actuelle opérée sur les habitats naturels sera la même sur toute la période projetée. Ce choix répond de l'incapacité à projeter l'évolution des activités humaines sur une si grande période de temps sans un travail complémentaire dédié.

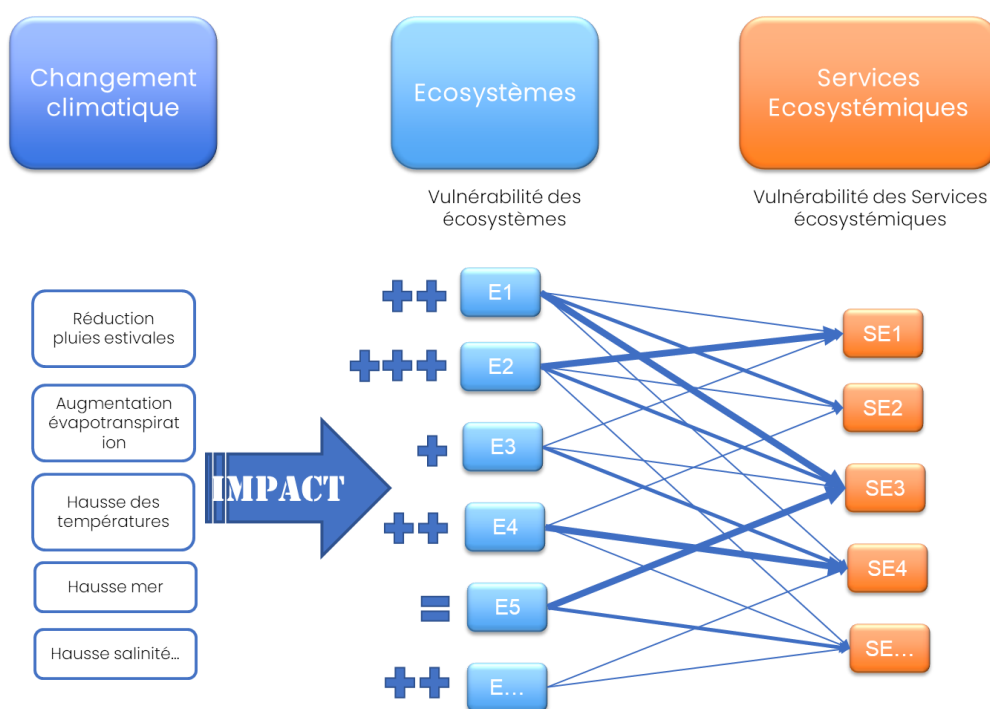


Figure 38 : L'impact du changement climatique sur les services écosystémiques est modulés par les impacts sur la différents écosystèmes produisant les services

La vulnérabilité des habitats naturels et gérés permet d'approcher la vulnérabilité des services écosystémiques. Cependant la relation est complexe car au niveau du territoire plusieurs habitats contribuent à différents services écosystémiques et donc les effets peuvent s'additionner ou bien se compenser (Figure 38).

Une revue rapide de la littérature permet d'envisager de manière générique l'impact du changement climatique à venir sur les services écosystémiques au sein des marais côtiers sous climat tempéré (Figure 39 et Figure 40).

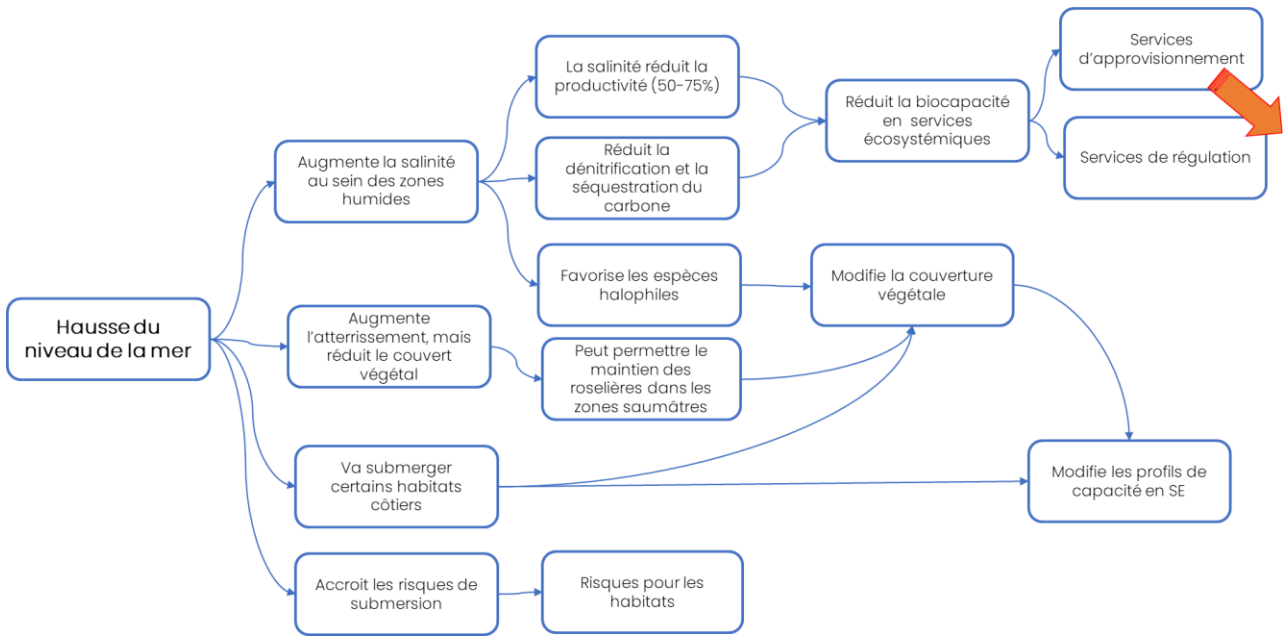


Figure 39: Impact de la hausse du niveau de la mer sur les services écosystémiques des marais côtiers (analyse bibliographique non exhaustive).

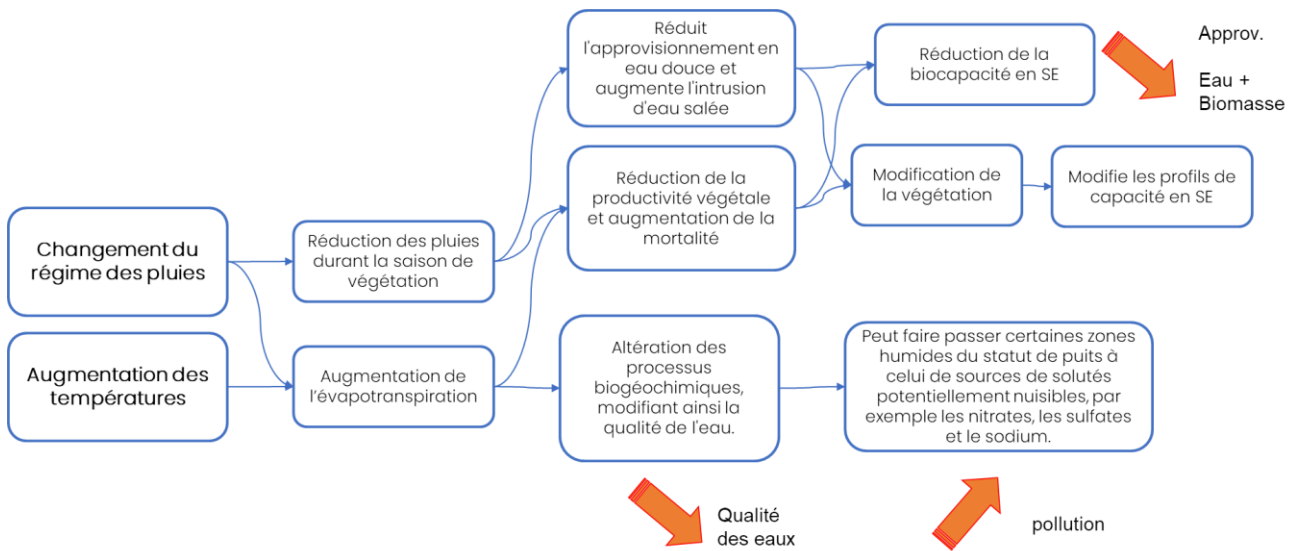


Figure 40: Impact de changement de régime des pluies et de la température sur les services écosystémiques des marais côtiers (analyse bibliographique non exhaustive).

La littérature scientifique nous indique donc une dégradation probable de l'ensemble de la capacité actuelle en services écosystémiques notamment pour habitats dépendant fortement de l'eau et soumis à des remontées de salinité.

En croisant la matrice de capacité en services écosystémiques du territoire et la vulnérabilité des habitats, il est possible de réaliser une première évaluation de la vulnérabilité des services écosystémiques (Figure 41).

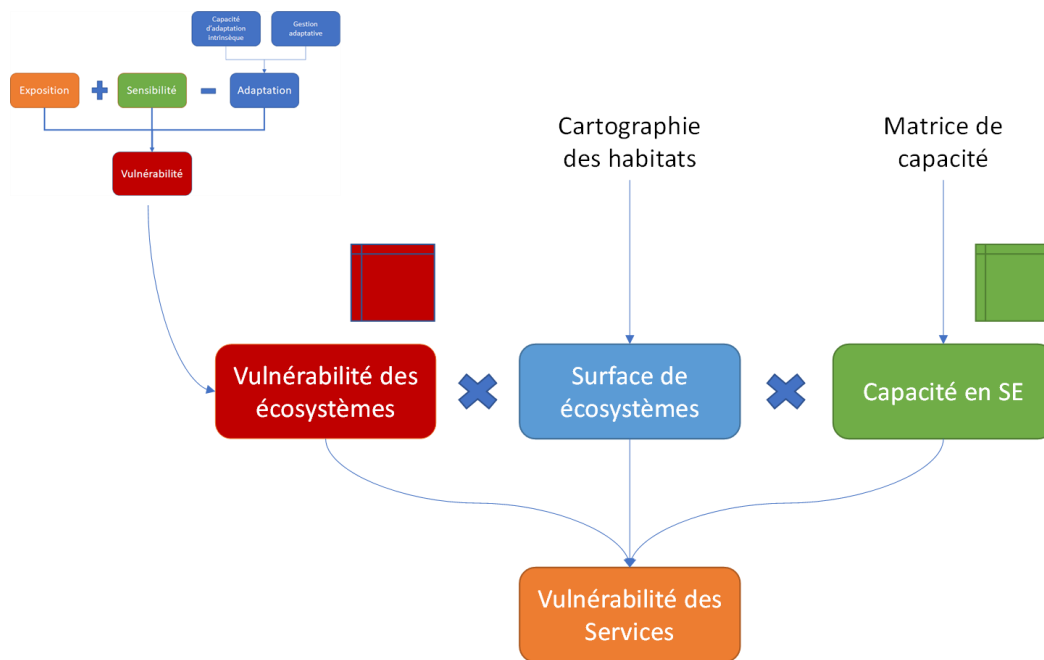


Figure 41: schéma d'évaluation de la vulnérabilité des services écosystémiques

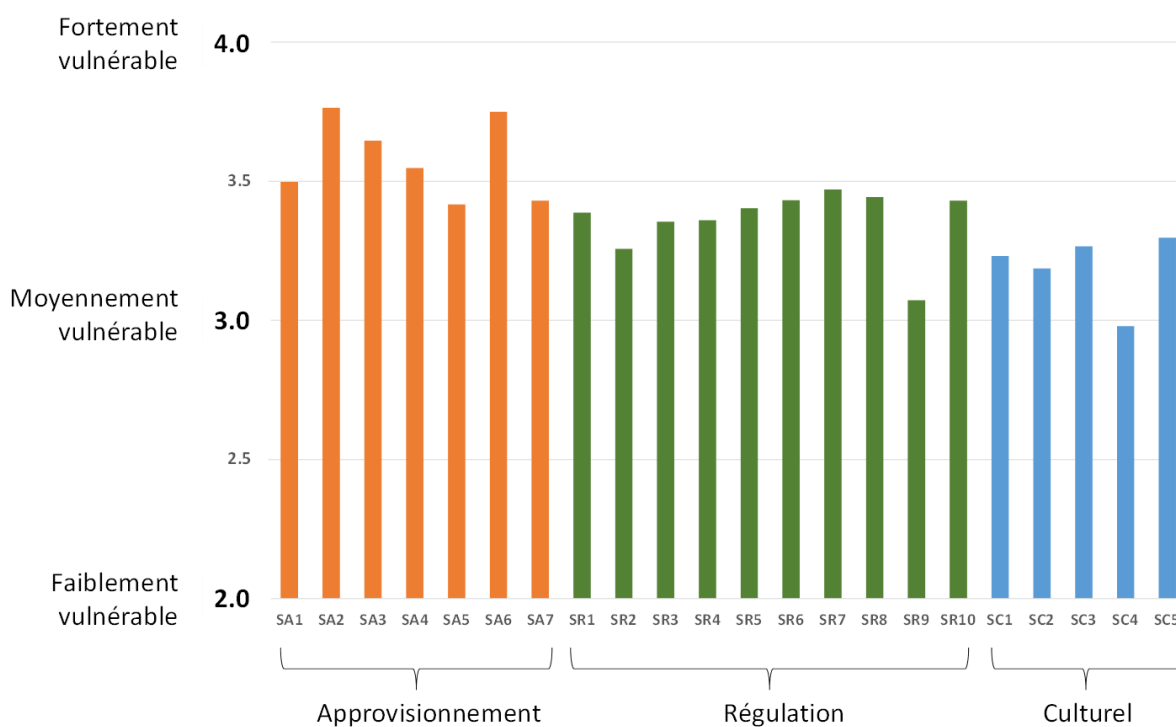


Figure 42: Score de vulnérabilité des services écosystémiques du territoire de Brière au changement climatique

Sans tenir compte des modifications de gestion humaine pouvant être appliquées pour s'adapter, les services de fournitures alimentaires et sauvage cultivée et élevée, d'eau ainsi que de ressources secondaires pour l'agriculture (SA1, SA2, SA3, SA4 et SA6) semblent être les plus concernés (Figure 42Figure 41. En particulier, la production de fourrage (SA6), l'élevage (SA2) et la chasse et la pêche (SA3).

Face à ce constat, il semblerait donc que les activités agricoles soient grandement impactées par le changement climatique à horizon 2100. Les sécheresses et la hausse des températures ayant des impacts majeurs sur les espèces cultivées en zone bocagère (décalage de la phénologie, recrudescence des ravageurs, stress hydrique), des récoltes bien moindres pourrait être attendue. Le maintien de nombreuses exploitations céréalières comme maraichères pourrait être mis à mal dans le cas d'importants phénomènes de sécheresses observés plusieurs années de suite. Les activités d'élevage au sein du parc rencontreront également des difficultés puisque s'ajoutant aux potentielles pertes de surfaces de praires mésophiles (soumises aux mêmes impacts climatiques), des baisses de rendements fourragers pourraient également être constatés (SA6).

Il est néanmoins plus difficile d'émettre des hypothèses concernant l'évolution de l'élevage sur les des prairies humides. S'il semble que les végétations de ces habitats seront impactées par la hausse du nombre de jours de sécheresse ainsi que par les variations plus importantes des régimes intra-annuels de précipitations, la remontée du front de salinité dans les marais aura potentiellement un impact plus nuancé. Ce facteur pourrait en effet être le déclencheur d'un changement d'état graduel de végétations : les prairies subhalophiles présentent sur les communes de Montoir et Trigniac remonteraient au nord, laissant la place aux végétations « halophytes véritables » (Verger, 2008) des habitats des prés salés. De plus, la remontée du front de salinité permettrait, au-delà d'un certain seuil, de stopper l'expansion de la jussie, au moins sur le Sud du marais « *à partir de 2g/l de sel dans l'eau, la croissance des jussies est divisée par deux ; elle devient très faible au-delà de 5g/l* » (Thibault, Beck). Si les bovins ne supportent pas le sel au-delà de 3 à 5g/l, il sera peut-être possible de réaliser de l'élevage ovins sur les futurs prés salés comme c'est déjà le cas sur les prés salés du bassin du Mès, aux alentours d'Asserac, de Saint-Molf et de Mesquer.

Le maintien du service de fourniture de matériaux et fibres semble en revanche être garanti par la faible vulnérabilité des boisements mésophiles et des roselières. Ce constat permet de mentionner les réflexions actuellement engagées au sujet d'une relance de la filière chaume, actuellement très restreinte sur le territoire. Exploiter le roseau en Brière apporterait en effet de nombreux avantages, pour l'homme ((Brasselet Anne, Wisser Aurélie, Pascal Demoulin, Stéphane Guidat).

- « Le roseau étant un matériau biosourcé, celui-ci est renouvelable et possède une faible empreinte environnementale ».
- « Le roseau possède des qualités d'isolation thermique et phonique importantes permettant un confort accru pour les usagers et ce, en toute saison, sans compter qu'il participe à la régulation de l'hygrométrie des espaces et de la qualité de l'air intérieur ».

- « Grâce à la création d'emplois non délocalisables, ce matériau mobilise des ressources et des filières locales valorisant les circuits courts et favorisant une économie verte ».
- Le développement d'une filière chaume permettrait également de garantir le maintien d'un savoir-faire artisanal (coupe, pose du roseau), ainsi que d'un élément majeur du patrimoine local. L'exportation de la matière coupée permettra par ailleurs de limiter l'atterrissement et la fermeture du milieu par les fourrés et boisements humides.

On observe une vulnérabilité plus faible pour les services de régulation qui reposent sur les écosystèmes naturels de fait principalement de mécanismes de compensations entre habitats. Il semblerait donc que la faune puisse continuer à nicher au sein de ces végétations (SR3), que l'épuration de l'eau soit assurée (SR5) ou encore que d'importantes quantités de carbone puissent continuer à être stockées au sein des marais (SR1). Il est important de préciser cependant que les assecs prolongés résultants des périodes de sécheresses estivales seront néfastes pour le maintien de ce service au sein des zones humides. Ces assecs, priveraient en effet la condition anaérobie¹⁰ des sols tourbeux, alors incapables de réaliser l'activité de turfigénèse¹¹. Les grandes quantités de carbone jusqu'alors stockées dans le sol seront restituées dans l'atmosphère, amplifiant son réchauffement (rétroaction positive) « *Les tourbières ne couvrent que 3% de la superficie terrestre, mais stockent plus de carbone que toutes les forêts du monde – à condition de rester humides* » (Fiche technique 8, *Gardons les tourbières humides – un gage d'avenir*, Ramsar, 2015). Le stockage de carbone devrait par contre être assuré par le maintien des espèces ligneuses mésophiles (feuillus, conifères, mixtes) situées en zones bocagère.

Malgré l'importance des roselières sur le territoire, l'altération des fonctions écologiques des autres écosystèmes des zones humides impactera majoritairement la fourniture des services de régulation. Si une fourniture moindre de ces services semble être attribuée à ces écosystèmes de marais (cours d'eau, plans d'eau, végétations amphibies et aquatiques), leur présence conditionne pourtant le maintien de l'équilibre de l'ensemble des écosystèmes de zones humides. En effet, ces mosaïques d'écosystèmes garantissent l'interaction des paramètres physico-chimiques, hydrologiques et biologiques nécessaires au bon fonctionnement des zones humides. La circulation de l'eau (hydrosystème) a notamment une importance primordiale dans cet environnement puisque c'est des flux souterrains, de surfaces et de ruissellements que découle, entre autres, la répartition des autres habitats naturels, et donc des services qui leur sont attribués. Par exemple la capacité des prairies humides à soutenir les débits d'étiages ainsi qu'à réguler les crues est fonction de la proximité de ces habitats au cours d'eau. L'importante diversité spécifique recensée au sein de ces écosystèmes est également liée à ces mosaïques d'habitats « *un grand nombre d'espèces qui accomplissent une partie de leur cycle biologique dans une zone humide, comme les oiseaux (50 %) et les amphibiens, utilisent également les habitats alentours pour se nourrir, y séjourner ou se reproduire. Elle assure également une fonction vis-à-vis de la connectivité pour les espèces* » (Porteret, Jaunatre, Valee,

¹⁰ Anaérobiose : « Condition asphyxiante de la litière végétale qui ne se minéralise que très lentement et très partiellement, s'accumulant alors progressivement, formant un dépôt de matière organique mal ou non décomposée : la tourbe » (Lebourgeois, 2020)

¹¹ Turfigénèse : Activité de production de la tourbe

2020). C'est enfin cette importante connectivité qui régit les caractères multifonctionnels de certains habitats. Pour ces raisons, les phénomènes de fermeture des milieux ainsi que de prolifération d'espèces invasives s'avèrent dangereux puisqu'ils impactent directement la diversité spécifique de l'ensemble du système des marais.

Les services culturels semblent être les moins impactés, notamment les activités récréatives qui reposent beaucoup sur des écosystèmes côtiers, aquatiques et forestiers faiblement vulnérables. Cependant, il faut nuancer car les valeurs attribuées aux différents habitats peuvent évoluer au cours du temps, notamment en fonction de leur état. Comment auront évolué les notions d'emblèmes, de symbole (SC1) et d'esthétique (SC3) d'ici 2050 ou 2100 ? À quoi ressemblera le Parc Naturel régional de Brière d'ici là ? Il est probable bien sûr que les pertes de biodiversité observées sur les marais intérieurs, ainsi que les risques de submersion pesant sur les marais salants jouent un rôle dans l'évolution de fourniture de ces types de services, étant donné leur importance patrimoniale. Cependant, il apparaît complexe de juger de l'évolution de valeurs et de préférences morales et subjectives en fonction de l'évolution du couvert végétal d'un environnement donné.

Bien que peu vulnérable, il semble possible en revanche d'émettre des hypothèses concernant l'évolution des activités récréatives (SC4) et ayant attrait à la connaissance et l'éducation (SC5). Au sein des marais, les activités de chasse et de pêche seront concernées par la modification des régimes pluviométriques (faisant varier les niveaux d'eau) mais également par la hausse des températures, d'eutrophisation, et de taux de sels, jouant sur la faune piscicole notamment. Les activités touristiques comme les promenades en chaland seront probablement également impactées par la modification des niveaux d'eaux ainsi que des dynamiques d'envasement, perturbant la circulation dans les canaux. En ce qui concerne les habitats halophiles, les phénomènes de submersion observés sur les lagunes côtières (+ 0.50m à +0.65m à horizon 2070, + 0.60m à 1.21m à horizon 2100 selon le GIEC), pourraient en réduisant leur surface, conduire à une baisse de l'offre touristique des marais salants.

De nombreux habitats affichent des bilans de vulnérabilité neutres face à ces forçages climatiques, parmi lesquels, les habitats arbustifs et boisés. Il est d'ailleurs probable qu'à terme, un recul des zones humides au profit de ces boisements soit constaté, au moins sur une partie du territoire. Une expansion des prés salés au niveau du bassin du Mès est également envisageable. Cette recomposition du territoire aura une importance forte sur l'évolution future de l'offre de services écosystémiques. Bien que l'essor des forêts sur les prairies implique des changements de biodiversité, il semblerait que le panel de services de régulation rendus par ces habitats n'en soit pas moindre, à l'exception de certains habitats spécifiques comme les tourbières, qui stockent de bien plus importantes quantités de carbone.

6 Bilan de l'étude et intérêt d'une intégration territoriale

a) Biais et limites méthodologiques et techniques

Le bilan de cette étude croisée services écosystémiques et changement climatique se présente plutôt satisfaisant aux vues des résultats obtenus.

Les premières limites sont d'ordre méthodologique, notamment lors des choix à réaliser relatifs à la construction de la liste d'habitats naturels. Ce nombre restreint d'habitats à prendre en compte afin de ne pas surcharger la matrice implique d'opérer à une sélection en fonction de l'importance patrimoniale de l'habitat, de la surface qu'il représente au sein du parc, de sa valeur écologique ainsi que de la disponibilité de la donnée SIG le concernant.

Les limites cartographiques résident cette fois-ci dans la multitude de référentiels utilisés. Les données provenant de ces référentiels étaient difficilement assimilables les unes aux autres, étant donné l'hétérogénéité de l'information (date, provenance, finesse). Cela concerne particulièrement les espaces de zones humides, pour lesquels la grande variété, la dynamique et le classement de ces milieux en zone Natura 2000 implique de faire un choix parmi les différents niveaux de classifications phytosociologiques. La superposition de cet ensemble de couches SIG a nécessité un travail de découpage, de fusion et d'assemblage afin de ne pas fausser les résultats surfaciques des habitats naturels. La multiplication de ces traitements a cependant causé des erreurs de géométries rendant nécessaire un dernier travail d'homogénéisation cartographique. Une autre limite de cet assemblage de données de sources variées résidait dans les zones demeurant non représentées qu'il était nécessaire de combler par la suite. Cela a entraîné notamment des erreurs possibles concernant les surfaces en prairies indéterminées.

Les limites relatives au récit climatique du PNR concernent principalement l'obtention et le traitement des données sur certains paramètres climatiques retenus. Premièrement, le manque d'informations sur les taux actuels et futurs de sel dans le substrat ainsi que de mesures précises de la hausse du niveau marin ne permet pas d'émettre de certitudes quant aux variations potentielles de couvert végétal au sein des marais. Le manque de compréhension des projections concernant les sécheresses des sols et agricoles (indices SWI et SPI), de données topographiques, et de connaissances sur le fonctionnement des masses d'eau souterraines, limite également la précision de certaines informations apportées, notamment en ce qui concerne la progression du front de sel et du bilan hydrique des sols tourbeux. Bien que les projections climatiques disponibles sur le portail DRIAS soient corrigées sur les observations actuelles, celles-ci ne sont pas disponibles dans les bases de données. Il a été choisi pour des soucis de cohérence de ne pas considérer celles d'autres portails comme Météo-France pour la période actuelle (2005 - 2021). Il est donc possible que leur absence dans ce document rende l'interprétation des résultats plus complexe pour le lecteur.

Enfin, des limites furent également rencontrées lors de la construction des diagnostics de vulnérabilité des habitats naturels. Il s'est avéré en effet, au cours du renseignement des tableaux de

scores de sensibilité, d'exposition et d'opportunité qu'il était souvent difficile de faire un choix. Ces indécisions étaient régies par plusieurs facteurs : hésitation entre plusieurs valeurs, points de vue divergents sur la probable réaction/adaptation des écosystèmes (échanges avec les agents), ou en raison de biais d'appellations. Enfin, le manque de données permettant la spatialisation des impacts sur le territoire constitue également une limite pour l'appréciation de l'évolution de la fourniture de services écosystémiques. Une perspective à envisager afin d'obtenir une meilleure justesse des résultats serait un remplissage de ce tableau par plusieurs experts botanistes et de travailler avec des moyennes de façon similaire à la méthodologie employée pour la matrice de capacité.

a) Incertitudes et limites

Il s'avère cependant que la méthode de la matrice de capacité comporte de nombreuses limites, comme toute approche, qu'il importe de prendre en considération afin de nuancer les résultats obtenus lors de l'analyse de ceux-ci.

La méthode des matrices de capacité permet de prendre en compte un nombre assez important d'habitats naturels et de modes d'occupation du sol, couplé à un grand nombre de services écosystémiques. La représentation de ces habitats naturels comprend cependant des limites généralement rencontrées en écologie puisque la cartographie en tant que telle donne à voir une seule vision d'un territoire, découlant de choix techniques et méthodologiques. Ainsi, cette vision peut déformer la réalité et donc l'interprétation du territoire « *De ce fait, la qualité du proxy « écosystèmes » est dépendante de la qualité de la typologie et de son adéquation aux services écosystémiques considérés* » (Campagne, 2019). Certaines limites sont également inhérentes à l'hétérogénéité spatiale, celle-ci ne pouvant exister par définition au sein d'une table à double entrée (Jacobs *et al.*, 2014). Il en résulte une homogénéisation au niveau du territoire, avec la même capacité en SE pour le même habitat, indépendamment de sa position géographique, de son couvert végétal, de son état écologique, etc.

Bien entendu, la subjectivité de chaque participant au panel d'évaluation ne peut être totalement éliminée. Celle-ci est non seulement fonction de la bonne compréhension de la méthode par l'expert, de la notion de SE, mais également de son état d'esprit au moment du remplissage, de ses connaissances sur certains domaines, de son niveau de confiance dans sa notation, de sa fatigue... (Campagne 2019 ; Wolff *et al.* 2015 ; Hou *et al.*, 2013, Jacobs *et al.*, 2014). Cependant, nous avons construit le protocole d'évaluation des scores à dire d'expert de sorte à réduire de nombreux biais cognitifs

b) Ouverture : Cohérence de l'approche pour la mise en place de plans d'adaptation territoriaux

La nécessité de prendre en compte de façon conjointe les problématiques du changement climatique et de gestion de la biodiversité est importante. L'étude de l'évolution de la fourniture de services écosystémiques semble par ailleurs être une approche intéressante pour questionner les impacts du changement climatique à venir sur nos territoires, puisqu'elle souligne la dépendance de l'homme à

son environnement. Ces réflexions sont d'autant plus importantes pour un territoire comme le PNR de Brière, abritant une biodiversité remarquable déjà menacée par l'urbanisation, les espèces invasives ou encore la dégradation de la qualité de l'eau.

Les résultats obtenus au cours de cette étude, corrélés aux nombreux projets actuellement en cours au sein du parc (LIFE Natur Adapt', Brière 2060), ou dans d'autres structures (SBVB, Adrn, Conservatoire du Littoral sur des questions de submersion marine et d'érosion littorale notamment) peuvent donc être considérés comme des pistes à approfondir pour la construction de solutions de gestions.

7 Bibliographie

- Baró, F., Gómez-Baggethun, E., & Haase, D. (2017). Ecosystem service bundles along the urban-rural gradient: Insights for landscape planning and management. *Ecosystem Services*, 24, 147-159.
- Beny, F., Canas, S., Chavanne, M., Deutsch, D., Persoz, L. & Tuel, A. (2021). Synthèse vulgarisée du résumé aux décideurs du groupe de travail I de l'AR6. The Shifters. 10p.
- Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291-294.
- Campagne, C. S. (2018). Evaluation des services écosystémiques par la méthode des matrices de capacité: analyse méthodologique et applications à l'échelle régionale. Thèse de Doctorat en Sciences, Université Aix-Marseille.
- Campagne, C. S., & Roche, P. (2018). May the matrix be with you! Guidelines for the application of expert-based matrix approach for ecosystem services assessment and mapping. *One Ecosystem*, 3, e24134.
- Campagne, C. S., Roche, P., Müller, F., & Burkhard, B. (2020). Ten years of ecosystem services matrix: Review of a (r) evolution. *One Ecosystem* 5 (2020), 5, e51103.
- Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P., & Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine pollution bulletin*, 97(1-2), 391-400.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.
- Diagnostic du territoire Impacts du changement climatique en Pays-de-la-Loire (2021). Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire –DDT (M) -Interprofessions, 75P.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guèze, M., Agard, J., ...Zayas, C. (2019). The global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- Dufour, S., Sartre, X. A. D., Castro, M., Oszwald, J., & Rollet, A. J. (2016). Origine et usages de la notion de services écosystémiques: éclairages sur son apport à la gestion des hydrosystèmes. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 25).
- Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. (2017). Le cadre conceptuel. Thema, MTE, CGDD, 87p.
- Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. (2020). Rapport de première phase de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques : Du constat à l'action., La documentation Française, MTE, CGDD, 268p.
- Grêt-Regamey, A., Weibel, B., Kienast, F., Rabe, S. E., & Zulian, G. (2015). A tiered approach for mapping ecosystem services. *Ecosystem Services*, 13, 16-27.
- Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. (2018). Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5. 1): a policy brief. *One Ecosystem*, 3, e27108.

- Hou, Y., Burkhard, B., & Müller, F. (2013). Uncertainties in landscape analysis and ecosystem service assessment. *Journal of environmental management*, 127, S117-S131.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., & Schneiders, A. (2015). 'The Matrix Reloaded': A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, 295, 21-30.
- Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., Cavailhes, J., Hilal, M., & Wavresky, P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeog: European Journal of Geography*.
- Lebourgeois, V. (2020). Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle des Tourbières du Morvan, Novembre 2020, LIFE Natur' Adapt, Réserve Naturelle des Tourbières du Morvan, Parc Naturel Régional du Morvan, 77p.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Murphy, P., Paracchini, M. L., Barredo, J. I., ... & Lavalle, C. (2014). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020.
- Mazeau, A. (2018). Le changement climatique ou en est-on ?. Adaptation des marais littoraux au changement climatique | 27 28 29 novembre 2018 | La Rochelle. https://life.reserve-baie-aiguillon.fr/wp-content/uploads/2019/04/190219_GABARIT_Alain-MAZEAU.pdf
- Millennium Assessment Board (2005) *Millennium ecosystem assessment*. New Island Press, Washington DC
- Porteret, J., Jaunatre, R., Valee, S., & Mainetti, A., (2020). Guide pour la promotion et l'utilisation des services écosystémiques dans les zones humides, RestHALp, 86 pages
- Potschin, M. B., & Haines-Young, R. H. (2011). Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. *Progress in physical geography*, 35(5), 575-594.
- Ramirez-Gomez, S.O.I., Torres-Vitolas, C.A., Schreckenberg, K., Honzák, M., Cruz-Garcia, G.S., Willcock, S., Palacios, E., Pérez-Miéana, E., Verweij, P.A., Poppy, G.M., (2015). Analysis of ecosystem services provision in the Colombian Amazon using participatory research and mapping techniques. *Ecosyst. Serv.* 13, 93–107.
- Roche, P. K., & Campagne, C. S. (2019). Are expert-based ecosystem services scores related to biophysical quantitative estimates?. *Ecological Indicators*, 106, 105421.
- Russi, D., ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Förster, J., ... & Davidson, N. (2013). The economics of ecosystems and biodiversity (TEEB) for water and wetlands. IEEP: London, UK.
- Santos-Martín F. and Martín-López B. et al. (2016). Social assessment methods for ecosystem services and applications. Deliverable D4.3 EU Horizon 2020 ESMERALDA Project, Grant agreement No. 642007.
- Schröter, M., Albert, C., Marques, A., Tobon, W., Lavorel, S., Maes, J., ... & Bonn, A. (2016). National ecosystem assessments in Europe: a review. *BioScience*, 66(10), 813-828.
- Sellier, D., & Portal, C. (2013). Le patrimoine géomorphologique du Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique) et la sélection de géomorphosites: héritages naturels et héritages culturels. *Collection EDYTEM. Cahiers de géographie*, 15(1), 163-170.

Wolff, C. E., van den Bogert, N., Jarodzka, H., & Boshuizen, H. P. (2015). Keeping an eye on learning: Differences between expert and novice teachers' representations of classroom management events. *Journal of teacher education*, 66(1), 68-85.

7.1 Autres documents non cités dans le rapport

Prairies humides des sols acides et oligotrophes, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et atlantiques en Pdl, Avril 2016, Conservatoire Botanique National de Brest, 5 pages

Plan de Gestion Pastoral, Marais Indivis de Grande Brière Mottière, 2018, Commission Syndicale de Grande Brière Mottière, 63 pages

ONILLON Laurène, MASSARD Olivier, MARQUET Matthieu, GUITTON Hermann, LACHAUD Aurélia, *Actualisation de la cartographie des habitats et des espèces végétales d'intérêt communautaire du site natura 2000*, Parc naturel régional de Brière, Conservatoire Botanique National de Brest, Bretagne Vivante, 183 pages

ALLARD E, Etude du fonctionnement hydrologique sur le bassin versant du Brivet et réalisation de supports de communication, Rapport de modélisation, Calage, 9 Avril 2021, 74 pages

THIBAUT Marc, BECK Nicolas, Cahier technique n°3, Les jussies, des plantes qui envahissent les milieux humides de Camargue, PNR de Camargue, 20 pages

A la découverte de la Flore de Brière, Parc Naturel Régional de Brière, 40 pages

BRASSELET Anne, WISSER Aurélie, DEMOULIN Pascal, GUIDAT Stephane, *Vers une filière roseau pour construire demain*, Parcs naturels régionaux de France

Cahier indicateur n°1, Un groupement végétal représentatif : les Roselières, novembre 2007, GIP Loire Estuaire, 8 pages

Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes Etude des zones humides, Octobre 2012, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Hydreco Guyane, Biotope

MONDON Sylvain, MAURICE Imbard, *Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC*, Septembre 2013, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 12 pages

Le HIR *et al*, *Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires (projet C3E2)*, Rapport final, Novembre 2014, Université Bretagne Ouest, GIP Loire Estuaire, Ifremer, ARTELIA, 104 pages

Landes intérieures, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et aquatiques en Pays de la Loire, Avril 2016, Conservatoire Botanique de Brest

Landes littorales, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et aquatiques en Pays de la Loire, Avril 2016, Conservatoire Botanique de Brest

Plan d'adaptation au changement climatique pour le bassin Loire-Bretagne, Pour une dynamique partagée d'adaptation au changement climatique de la gestion des ressources en eau et des milieux associés sur le bassin Loire-Bretagne, Juin 2018, Comité du bassin Loire-Bretagne, 80 pages

Colloque International Adaptation des marais littoraux au changement climatique, novembre 2018, Parc Naturel Régional du Marais Poitevin, Université de La Rochelle, Forum des Marais Atlantiques, 308 pages

LEGRAS Laurette, ERMINE Adèle, LECROART, LECROART Jean, *Impacts du changement climatique en Pays-de-la-Loire, Rapport de phase 1 – Diagnostic du territoire*, 2020, ARTELIA, Conseil Régional des Pays-de-la-Loire, 65 pages

Zones-Humides-Infos, n°59-60, 1^{er} et 2^{ème} trimestre 2008

Mars 2010, Découvrez le patrimoine naturel et culturel du Parc naturel régional de Brière... au travers de fiches pédagogiques illustrées, Parc naturel régional de Brière, 52 pages

Avril 2014, Charte 2014 – 2026, *Demande de renouvellement de classement*, Parc naturel régional de Brière, 167 pages

Caricaies des sols mésotrophes à dystrophes, Avril 2016, Guide de reconnaissance des groupements végétaux de zones humides et aquatiques en Pays de la Loire, Conservatoire Botanique de Brest

DECKERT Romain, 25 mai 2021, *Secteur de Lavau/ Taillée*, Bassin du Brivet, SBVB, 34 pages

8 Annexes

Annexe 1 : Synthèse des référentiels utilisés pour chaque couche d'habitat naturel cartographié

Familles d'habitats	Habitats	Surface en ha (après homogénéisation)	Année	Référentiels
Habitats aquatiques et marais	Cours d'eau	831	2015 + 2019	PNR + SANDRE
	Étangs et plans d'eau	651	2015	PNR
	Végétations aquatiques et amphibies	82	2019	
	Roselières	4917	2013	
	Magnocaricaies et groupements mixtes	2075		
	Prairies envahies	719	2020	
Prairies humides	Prairies humides oligotrophes	430	2019	PNR
	Prairies humides mésotrophes à eutrophiles	3438		
Landes, fructiciées et forêts	Landes sèches et humides	758	2015 + 2016	PNR + MOSS 44
	Végétations arbustives	274	2016	IGN
	Boisements humides (saulaies et aulnaies marécageuses)	244	2019	PNR
	Forêts et boisements de feuillus	5030	2016	IGN
	Forêts et boisements de conifères	1005		
	Forêts et boisements mixtes	1545		
Habitats agricoles	Cultures maraîchères	814	2018	RPG IGN
	Prairies permanentes	3437		
	Prairies temporaires	3997		
	Cultures annuelles (céréales)	5681		
	Prairies indifférenciées	7958		Corine Land Cover
Habitats littoraux et halophiles	Marais salants (lagunes côtières)	318	2018	Corine Land Cover
	Zones intertidales et estrans	555	2001	Cap Atlantique
	Prairies subhalophiles	722	2019	PNR
	Shorres (prés salés)	377	2001	Cap Atlantique
Habitats artificiels	Habitats Urbains denses	3793	2016	IGN + Moss 44
	Habitats Urbains discontinus (pavillonnaire)	7094		MOSS 44
	Habitats Urbains végétalisés (parcs, jardins, etc)	902		MOSS 44
Surface totale		57647		

Annexe 2 : Détail des assemblages de champs pour chaque habitat naturel

Familles d'habitats	Habitats	Surface	Année de production de la donnée	Référentiels	Couches et champs utilisés
Habitats aquatiques et marais	Cours d'eau		2015 + 2019	PNR + SANDRE	- Surf_eau_brière2015 (PNR) - Cours d'eau (SANDRE)
	Étangs et plans d'eau		2015	PNR	- Eaux douces stagnantes (PNR)
	Végétations aquatiques et amphibies		2019		- Végétation aquatiques libres des canaux et des mares (PNR) - Végétation aquatiques enracinées des canaux et des mares (PNR) - Végétations vivaces amphibies oligotrophes (PNR) - Végétation annuelles amphibies oligotrophes courtement inondables (PNR) - Végétations annuelles amphibies longuement inondables (PNR) - Végétation annuelles amphibies mésotrophes à eutrophes (PNR)
	Roselières		2013		-Roselières (PNR)
	Magnocaricaies et groupements mixtes				- Magnocaricaies (PNR) - Groupements mixtes (PNR)
	Prairies envahies				- Jussies niv3 (PNR) - Crassule niv3 (PNR)
Prairies humides	Prairies humides oligotrophes		2019	PNR	- Prairies hygrophiles acidiphiles oligotrophes (PNR) - Prairies mésohygrophiles acidiphiles à eutrophes (PNR) - Molinais acidiphiles (PNR)
	Prairies humides mésotrophes à eutrophes				- Prairies humides mésotrophes à eutrophes (PNR)
Landes, fructiciées et forêts	Landes sèches et humides		2015 + 2016	PNR + MOSS 44	- Landes et broussailles (MOSS) - Landes mésohygrophiles (PNR)
	Végétations arbustives		2016	IGN	- Formations arbustives et sous-arbrissaux (IGN)
	Boisements humides (saulaies et aulnaies marécageuses)		2019	PNR	- Fourrés marécageuses (PNR) - Saulaies et aulnaies tourbeux (Cap atlantique)
	Forêts et boisements de feuillus		2016	IGN	- Feuillus (IGN)
	Forêts et boisements de conifères				- Conifères (IGN)
	Forêts et boisements mixtes				- Mixtes (IGN)
Habitats agricoles	Cultures maraîchères		2018	RPG IGN	- Mélange de légumineuses (RPG) - Oignons/ échalottes (RPG) - Carottes (RPG) - Pommes de terres (RPG) - Chou (RPG) - Courge (RPG) - Radis (RPG) - Betterave (RPG) - Tomate (RPG) - Haricots (RPG) - Melon (RPG) - Fétuque (RPG)
	Prairies permanentes				- Prairies permanentes (RPG)
	Prairies temporaires				- Autres prairies temporaires (RPG) - Prairies en rotations longues (RPG) - Jachères de 5 ans ou moins (RPG) - Jachères de 6 ans ou moins (RPG) - Jachères de 6 ans ou plus (RPG)
	Cultures annuelles (céréales)				- Orge (RPG) - Maïs (RPG) - Colza (RPG) - Avoine (RPG) - Sarasin (RPG)
	Prairies indifférenciées				Corine Land Cover
Habitats littoraux et halophiles	Marais salants (lagunes côtières)		2018	Corine Land Cover	- Marais salants (CLC2018)
	Zones intertidales et estrans		2001	Cap Atlantique	- Estuaire (Cap Atlantique)
	Prairies subhalophiles		2019	PNR	- Prairies subhalophiles hygrophiles (PNR) - Prairies subhalophiles mésohygrophiles (PNR)
	Shorres (prés salés)		2001	Cap Atlantique	- Prés salés (Cap Atlantique) -Prairies à chiendent (Cap Atlantique)
Habitats artificiels	Habitats Urbains denses		2016	IGN + Moss 44	- Centre-bourg centre-ville (MOSS) - Zones artificialisées (IGN) - Activités et équipements (MOSS) - Autres espaces artificialisés (MOSS)
	Habitats Urbains discontinus (pavillonnaire)			MOSS 44	- Hameaux ruraux (MOSS) - Habitat pavillonnaire (MOSS)
	Habitats Urbains végétalisés (parcs, jardins, etc)			MOSS 44	- Espaces verts artificialisés (MOSS)

Annexe 3 : Matrice des moyennes

Habitat		Code		Services d'approvisionnement						Services de régulation et d'entretien										Services culturels						
				Biomasse		Eau douce	Matériaux		Énergie	Maintien des conditions biologiques, physiques et chimiques					Régulation des risques naturels					REPRESENTATIONS		USAGES				
				SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	
Habitats littoraux et halophiles	Marais salants (lagunes côtières)	H01	1.6	0.3	1.7	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	2.0	3.3	1.2	1.4	1.0	1.0	2.3	1.4	1.6	5.0	4.8	4.8	3.9	4.3	
	Zones intertidales	H02	0.5	1.3	2.5	0.4	0.1	0.5	0.4	1.0	2.0	3.9	0.3	1.7	1.1	0.8	1.8	1.4	1.4	4.2	3.6	4.1	4.1	3.8		
	Prairies subhalophiles	H03	0.3	2.7	2.1	0.8	0.7	2.8	0.9	2.8	2.1	3.6	3.4	2.8	2.7	2.4	3.4	1.1	2.3	2.8	2.9	3.2	2.0	2.7		
	Schorres (prés salés)	H04	0.8	2.4	1.7	0.2	0.3	1.2	0.3	2.3	1.9	3.4	1.4	2.3	2.2	1.4	2.7	1.6	2.5	3.2	3.4	3.4	2.3	3.1		
	Cours d'eau	H05	0.0	0.9	3.6	4.4	0.2	0.1	0.3	1.1	3.3	4.3	0.4	2.5	1.6	2.6	2.4	0.2	0.8	3.8	3.8	4.0	4.3	4.4		
Habitats aquatiques et marais	Étang et plans d'eau	H06	0.1	2.3	3.9	4.3	0.3	0.0	0.3	1.5	3.2	4.1	0.4	1.9	1.0	2.3	2.6	0.1	0.9	3.8	3.8	3.6	4.2	3.8		
	Végétation aquatique et amphiphile	H07	0.0	0.4	1.9	1.6	0.4	0.4	0.6	2.4	1.8	4.4	1.4	4.0	1.3	2.3	2.1	0.4	2.0	3.1	2.9	3.5	1.6	2.8		
	Roselières	H08	0.0	0.8	2.8	1.8	3.9	2.5	2.4	3.4	2.4	4.4	1.4	4.1	3.1	2.9	3.4	1.5	3.4	4.3	3.8	4.1	2.5	3.5		
	Magrécarnales et groupements mixtes	H09	0.0	1.0	2.6	1.6	1.5	1.3	1.7	3.1	2.2	3.9	1.8	3.8	2.9	2.8	3.3	1.1	3.1	2.1	2.1	3.3	2.1	2.3		
	Prairies envahies	H10	0.0	0.6	1.4	1.2	0.9	0.6	1.8	2.7	1.8	2.4	2.8	2.3	1.7	2.3	2.4	0.6	2.4	0.4	0.3	2.4	0.7	2.7		
Habitats forestiers et de landes	Landes sèches et humides	H11	0.2	1.3	2.7	1.0	1.3	1.7	1.6	1.6	2.1	4.4	3.9	2.6	3.1	2.1	2.8	1.6	3.1	2.9	3.5	3.9	2.4	3.5		
	Autres végétations arbustives	H12	0.6	0.8	2.6	1.1	2.4	1.4	1.4	3.3	3.6	3.3	4.3	3.9	3.6	3.9	2.6	3.2	3.4	4.1	2.6	2.7	3.1	2.0	2.9	
	Boisements humides (saules et aulnaies marécageuses)	H13	0.1	0.3	2.8	1.6	3.3	0.8	3.1	4.3	4.1	4.3	2.9	3.9	3.9	3.7	4.0	4.0	4.1	2.3	2.8	3.3	2.1	2.7		
	Forêts et boisements de feuillus	H14	0.4	0.5	3.1	1.3	4.6	1.2	4.9	4.8	4.2	4.5	3.3	3.7	4.4	2.7	3.1	4.2	4.6	2.3	3.4	3.9	3.8	3.5		
	Forêts et boisements de conifères	H15	0.2	0.3	2.5	1.1	4.6	0.8	4.2	4.3	3.8	3.6	2.5	2.8	2.6	2.3	2.5	3.8	3.9	1.6	2.9	2.8	3.6	3.1		
Habitats de prairies humides	Forêts et boisements mixtes	H16	0.4	0.5	3.1	1.3	4.6	1.1	4.6	4.6	4.1	4.4	3.1	3.3	3.8	2.6	2.9	4.1	4.3	1.9	3.1	3.6	3.8	3.4		
	Prairies humides oligotrophes	H17	0.1	2.6	2.6	2.2	0.9	2.8	1.3	3.4	2.3	4.1	3.9	4.0	3.1	3.4	3.4	3.6	0.6	2.7	3.2	3.6	3.3	1.8	3.4	
	Prairies humides mésotrophes à eutrophiles	H18	0.6	3.1	2.8	2.2	0.8	3.6	1.4	3.3	2.4	4.1	3.9	4.1	3.7	3.4	3.5	0.6	2.9	3.1	3.3	3.2	1.8	3.3		
	Prairies permanentes	H19	0.8	4.6	2.8	1.2	1.4	4.6	1.3	3.1	2.2	3.6	4.1	3.2	3.7	2.5	3.0	0.5	3.1	2.1	2.6	3.1	1.8	2.6		
	Prairies temporaires	H20	1.4	4.1	2.3	0.7	1.3	4.4	1.3	2.3	1.7	2.4	2.8	2.0	2.3	1.7	2.1	0.5	2.1	1.4	1.6	2.1	1.3	2.1		
Habitats agricoles	Cultures annuelles (céréales)	H21	4.6	1.3	1.6	0.3	1.9	3.1	3.0	0.9	1.0	1.3	1.6	0.6	0.8	0.4	0.6	0.3	0.8	0.8	1.3	1.6	1.1	0.4	1.5	
	Cultures maraîchères	H22	4.8	0.4	0.6	0.3	0.8	1.3	0.9	1.6	1.1	1.3	2.3	0.4	1.2	0.3	0.4	0.2	0.9	1.1	1.8	1.1	0.4	1.3		
	Habitats Urbains denses	H23	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.8	0.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.4	1.8	2.0	1.4	2.3	1.3
	Habitats Urbains discontinus (pavillonnaire)	H24	1.7	0.6	0.1	0.2	0.3	0.5	0.4	1.2	1.2	1.8	1.9	0.9	1.0	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	1.6	1.9	2.1	2.9	1.8	
	Habitats Urbains végétalisés (parcs, jardins, etc)	H25	1.7	0.8	0.3	0.5	0.6	0.9	0.8	1.6	1.6	2.4	2.2	2.4	1.5	1.7	0.8	1.3	1.0	1.3	1.8	2.9	2.9	3.9	2.1	
Habitats artificiels	Prairies indifférenciées	H26	1.1	4.3	2.5	0.9	1.3	4.5	1.3	2.7	1.9	3.0	3.4	2.6	3.0	2.1	2.6	0.5	2.6	2.6	2.1	2.6	1.5	2.3		

Matrice des moyennes des scores de la capacité en services écosystémiques du PNIR de Brière

Annexe 5 : Matrice des indices de confiance

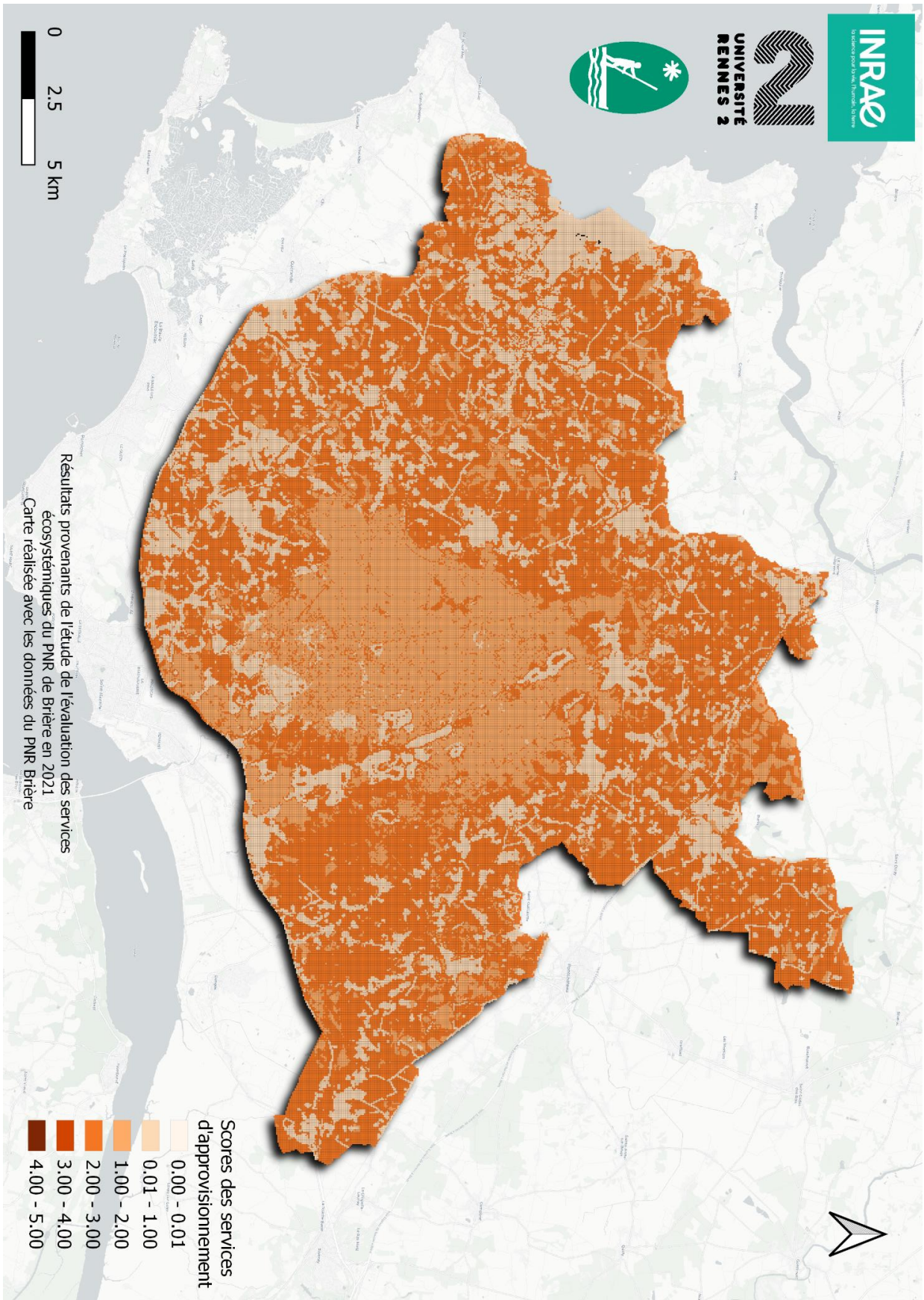
Indices de confiance: varie de 1 (confiance faible) à 9 (confiance élevée)

Code	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SCT	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
H01	4.3	4.4	4.5	4.4	4.0	4.4	3.5	4.0	3.4	4.0	4.5	4.1	4.0	3.4	3.5	4.3	4.0	3.4	3.3	4.4	4.1	3.5	
H02	4.2	4.2	4.5	4.2	3.9	4.2	3.1	3.9	3.2	4.7	4.3	3.9	3.9	3.2	3.1	4.0	3.9	3.3	3.0	4.1	3.9	3.1	
H03	4.2	4.2	4.5	4.2	3.9	4.2	3.1	3.9	3.2	4.7	4.3	3.9	3.9	3.2	3.1	4.0	3.9	3.3	3.0	4.1	3.9	3.1	
H04	3.8	3.9	4.0	3.9	4.1	3.9	4.0	3.4	2.9	4.2	3.9	3.4	3.4	2.9	3.1	3.6	3.4	3.0	1.1	3.1	3.4	3.1	
H05	3.3	3.3	3.5	3.3	4.0	3.3	4.4	4.0	4.0	3.8	3.4	4.0	4.0	4.0	4.4	3.0	4.0	4.2	3.9	3.2	4.0	4.4	
H06	3.3	3.3	3.5	3.3	4.0	3.3	4.4	4.0	4.0	3.8	3.4	4.0	4.0	4.0	4.4	3.0	4.0	4.2	3.9	3.2	4.0	4.4	
H07	3.2	3.2	3.5	3.2	4.6	3.2	4.3	4.6	3.9	3.5	3.3	4.3	4.6	3.9	4.3	4.9	4.6	4.0	3.9	3.1	4.9	4.2	
H08	4.4	4.4	4.5	4.4	4.1	4.4	3.8	4.5	3.9	3.6	4.1	4.0	4.5	3.9	3.5	4.1	3.9	3.4	3.1	4.2	4.6	3.5	
H09	4.4	4.4	4.5	4.4	4.1	4.4	3.8	4.5	3.9	3.6	4.1	4.0	4.5	3.9	3.5	4.1	3.9	3.4	3.1	4.2	4.6	3.5	
H10	3.1	3.1	3.3	3.1	4.2	3.1	4.2	4.2	3.3	3.6	3.2	4.8	4.2	3.3	4.2	4.3	4.2	3.9	3.1	4.9	4.6	4.2	
H11	3.2	3.2	3.5	3.2	4.6	3.2	4.3	4.6	3.9	3.5	3.3	4.3	4.6	3.9	4.3	4.9	4.6	4.0	3.9	3.1	4.9	4.2	
H12	3.3	3.3	3.5	3.3	4.6	3.3	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	
H13	3.2	3.2	3.4	3.2	4.6	3.2	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	
H14	3.3	3.3	3.5	3.3	4.6	3.3	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	
H15	3.1	3.1	3.3	3.1	4.1	3.1	4.2	4.2	3.3	3.6	3.2	4.8	4.2	3.3	4.2	4.3	4.2	3.9	3.1	4.9	4.6	4.2	
H16	3.3	3.3	3.5	3.3	4.6	3.3	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	
H17	3.2	3.2	3.4	3.2	4.6	3.2	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	
H18	4.9	4.9	4.2	4.9	4.4	4.9	4.1	4.4	3.7	3.1	3.4	4.4	4.4	3.7	4.1	4.6	4.4	4.0	3.9	4.1	4.6	4.1	
H19	3.5	3.5	3.2	3.5	4.9	3.5	4.6	4.9	4.1	4.1	3.6	3.0	4.1	4.1	4.1	4.6	4.4	4.0	3.9	4.1	4.6	4.1	
H20	4.9	4.9	4.2	4.9	4.4	4.9	4.1	4.4	3.7	3.1	3.4	4.4	4.4	3.7	4.1	4.6	4.4	4.0	3.9	4.1	4.6	4.1	
H21	4.1	4.1	3.5	4.1	4.1	4.1	4.4	4.1	3.6	3.5	3.4	4.5	4.1	3.6	4.1	4.6	4.4	4.0	3.9	4.1	4.6	4.1	
H22	4.9	4.9	4.0	4.9	4.9	4.9	4.1	4.9	3.9	3.9	4.5	4.9	4.9	3.9	4.5	4.9	4.9	4.0	3.9	4.1	4.6	4.1	
H23	3.9	3.9	3.6	3.9	4.9	3.9	4.1	4.9	4.0	3.9	3.3	4.9	4.9	4.0	4.1	4.9	4.9	4.2	3.9	3.9	4.2	4.1	
H24	3.2	3.2	3.4	3.2	4.6	3.2	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	
H25	3.2	3.2	3.4	3.2	4.6	3.2	4.3	4.6	4.0	3.6	3.3	4.3	4.6	4.0	4.1	3.0	4.6	4.2	3.9	3.1	4.9	4.2	

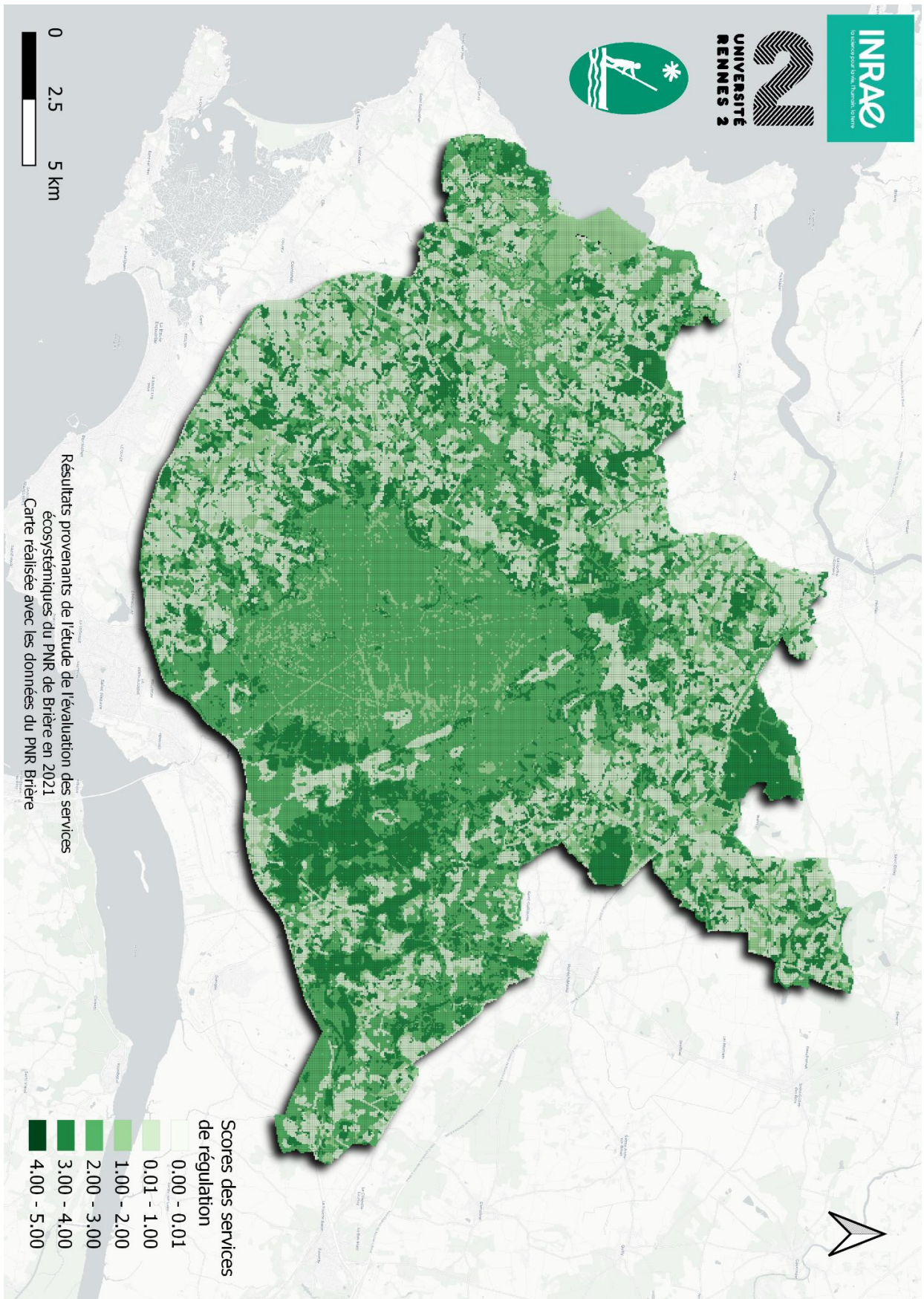
Annexe 6 : Matrice des moyennes pondérées

Habitat		Services d'approvisionnement										Services de régulation et d'entretien										Services culturels				
		Biomasse		Eau douce		Matériaux		Énergie		Maintien des conditions biologiques, physiques et chimiques					Régulation des risques naturels					REPRESENTATIONS		USAGES				
		SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9	SR10	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5			
Habitats littoraux et halophiles	Marais salants (lagunes côtières)	H01	1.0	0.2	1.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.4	1.3	2.1	0.8	0.9	0.6	0.6	1.4	0.9	1.0	3.2	3.1	3.1	2.5	2.7		
	Zones intertidales	H02	0.6	1.5	2.8	0.4	0.1	0.6	0.5	1.1	2.2	4.3	0.3	1.9	1.2	0.9	2.0	1.5	1.5	4.7	4.0	4.3	4.6	4.2		
	Prairies subhalophiles	H03	0.5	3.9	3.0	1.1	1.0	4.1	1.4	4.0	3.1	5.3	5.0	4.0	3.9	3.5	5.0	1.5	3.4	4.0	4.3	4.6	2.9	3.9		
	Schorres (prés salés)	H04	0.6	1.8	1.3	0.1	0.2	0.9	0.2	1.7	1.5	2.6	1.1	1.8	1.7	1.0	2.0	1.2	1.9	2.4	2.6	2.6	1.8	2.4		
	Cours d'eau	H05	0.0	1.6	6.0	7.4	0.3	0.1	0.5	1.9	5.4	7.1	0.6	4.2	2.7	4.4	4.1	0.3	1.4	6.3	6.4	6.7	7.2	7.3		
Habitats aquatiques et marais	Étangs et plans d'eau	H06	0.1	2.9	5.1	5.6	0.3	0.0	0.3	2.0	4.2	5.4	0.6	2.5	1.3	3.0	3.4	0.1	1.2	5.0	4.9	4.7	5.5	4.9		
	Végétation aquatique et amphibie	H07	0.0	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.7	0.2	0.7	0.2	0.4	0.3	0.1	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5		
	Roselières	H08	0.0	7.4	27.8	17.3	39.0	24.7	23.5	33.4	23.5	49.3	13.6	40.8	30.3	29.1	34.0	14.8	34.0	42.7	37.1	40.2	24.7	34.6		
	Mégacarciales et groupements mixtes	H09	0.0	4.2	11.0	6.8	6.3	5.5	7.0	12.8	9.1	16.2	7.6	15.7	12.3	11.5	13.6	4.7	13.0	6.9	6.6	13.6	8.6	9.7		
	Prairies envasées	H10	0.0	0.9	2.0	1.7	1.3	0.8	2.6	3.9	2.6	3.5	4.1	3.3	2.4	3.3	3.5	0.8	3.4	0.5	0.4	3.4	1.0	3.9		
Habitats forestiers et de landes	Landes sèches et humides	H11	0.3	2.0	4.1	1.5	1.9	2.6	2.5	4.7	3.3	6.7	6.0	3.9	4.7	3.1	4.2	2.4	4.8	4.4	5.3	6.0	3.7	5.3		
	Autres végétations arbustives	H12	0.3	0.4	1.4	0.6	1.3	0.8	1.8	2.0	1.8	2.4	2.2	2.0	2.1	1.4	1.8	1.9	2.3	1.4	1.5	1.7	1.1	1.6		
	Boisements humides (saules et autres marécageux)	H13	0.1	0.2	1.4	0.8	1.6	0.4	1.5	2.1	2.0	2.1	1.4	1.9	1.9	1.8	2.0	2.0	2.0	1.1	1.4	1.6	1.0	1.3		
	Forêts et boisements de feuillus	H14	4.4	5.1	31.0	12.7	48.8	12.0	49.3	48.1	42.4	45.6	33.5	37.3	44.3	27.2	31.6	42.4	46.2	23.4	34.2	39.2	36.6	35.4		
	Forêts et boisements de conifères	H15	0.4	0.6	5.1	2.1	9.2	1.6	8.5	8.7	7.6	7.2	5.1	5.6	5.9	4.7	5.1	7.6	7.8	3.5	5.8	5.7	7.3	6.2		
Habitats de prairies humides	Forêts et boisements mixtes	H16	1.4	1.6	9.5	3.9	14.4	3.5	14.2	12.6	13.8	9.5	10.3	11.7	8.0	8.9	12.8	13.4	6.0	9.7	11.1	11.7	10.5			
	Prairies humides oligotrophes	H17	0.1	2.2	2.3	1.9	0.8	2.4	1.1	2.9	1.9	3.6	3.4	3.5	2.7	3.0	3.1	0.5	2.3	2.8	3.1	2.9	1.6	3.0		
	Prairies humides mésotrophes à eutrophiles	H18	3.9	21.6	19.0	15.1	5.6	24.6	9.5	22.5	16.9	28.5	28.8	28.1	25.5	23.8	24.2	3.9	20.3	21.2	22.5	22.1	12.5	22.9		
	Prairies permanentes	H19	5.6	31.6	19.0	8.2	9.5	32.0	9.1	21.2	15.1	24.6	28.1	22.0	25.5	17.3	20.8	3.5	21.6	14.3	18.2	21.2	12.1	18.2		
	Prairies temporaires	H20	11.1	32.7	18.1	9.5	10.1	39.2	10.6	18.1	13.6	19.6	22.6	16.1	18.1	13.6	17.1	4.0	16.6	11.1	13.1	16.6	10.6	16.6		
Habitats agricoles	Cultures annuelles (céréales)	H21	52.9	15.0	17.9	2.9	22.2	39.0	34.3	10.7	11.4	14.3	17.9	6.4	9.9	4.3	6.4	2.9	9.3	9.9	15.0	20.0	7.9	14.3		
	Cultures maraichères	H22	7.8	0.6	0.9	0.5	1.2	2.2	1.5	2.7	1.8	2.2	3.7	0.7	1.9	0.4	0.6	0.3	1.5	1.8	2.9	1.8	0.7	2.5		
	Habitats Urbains denses	H23	4.8	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	1.4	2.9	6.2	4.8	1.0	0.9	0.5	0.0	1.9	3.3	13.8	15.3	10.5	17.7	10.0		
Habitats artificiels	Habitats Urbains discontinus (pavillonnaire)	H24	24.1	8.9	0.9	2.7	4.5	7.1	6.2	17.0	17.0	23.0	27.7	13.3	14.3	6.2	8.9	8.0	10.7	22.3	26.6	29.4	41.9	23.0		
	Habitats Urbains végétalisés (parcs, jardins, etc)	H25	3.1	1.4	0.5	0.9	1.1	1.6	1.5	2.9	4.4	4.0	4.4	2.7	3.1	1.5	2.3	1.8	2.3	3.3	5.2	9.3	7.1	3.9		

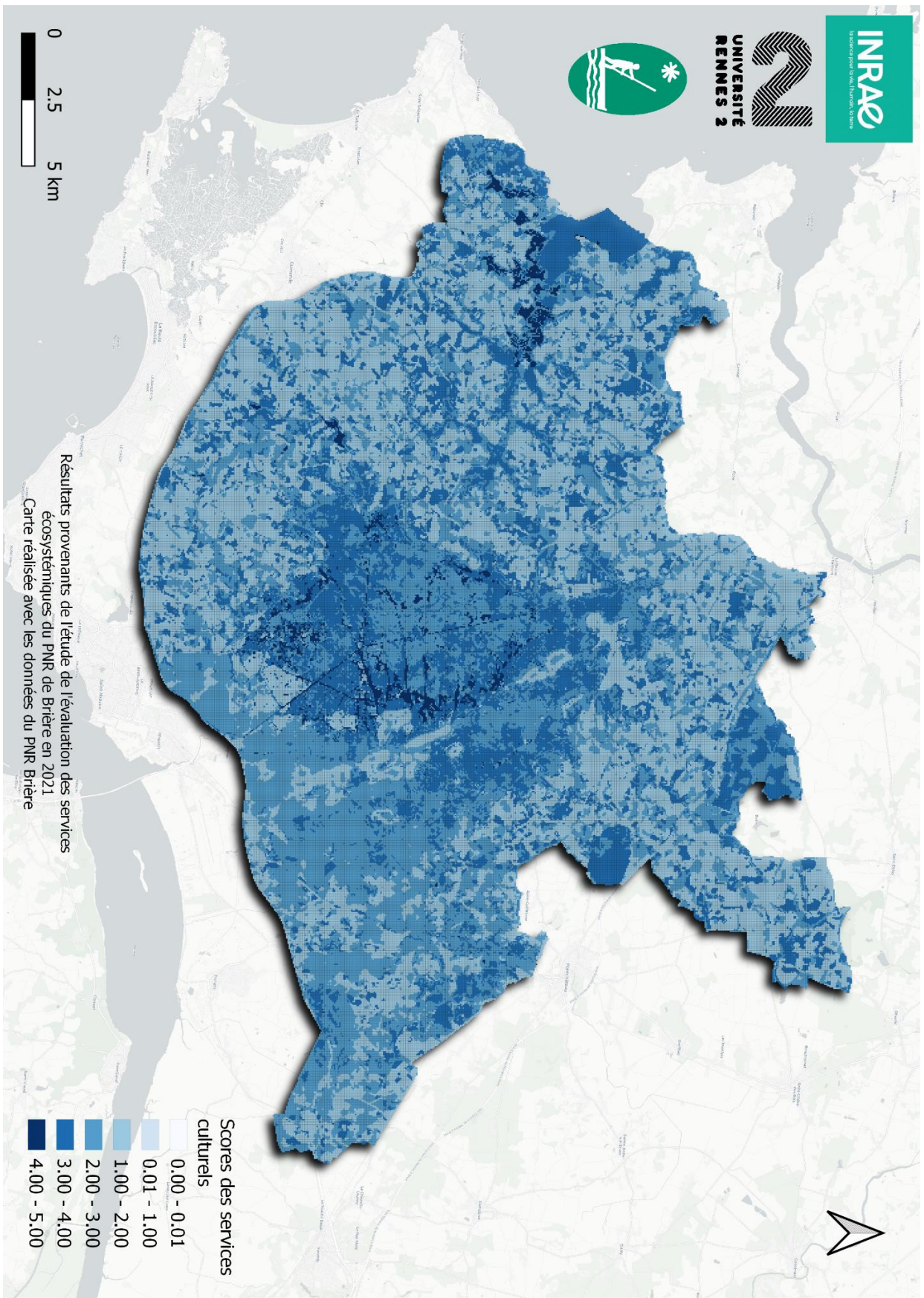
Annexe 7 : Carte des services d'approvisionnements



Annexe 8 : Carte des services de régulation



Annexe 9 : Carte des services culturels



Annexe 10 : Tableau complet des projections climatiques (moyennes et sommes annuelles) pour tous les scénarios et tous les horizons retenus

Paramètres climatiques		1950 - 2005	RCP 4.5			RCP 8.5		
			Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain
Température annuelles (en °C)	maximales journalières	15.6	16.6	17.1	17.6	16.6	17.6	19.3
	moyennes journalières	12.2	13.1	13.5	14.0	13.1	14.0	15.6
	minimales journalières	8.7	9.5	9.9	10.4	9.6	10.4	11.9
	Amplitude thermique	6.9	7	7.1	7.1	6.9	7.1	7.3
Température saisonnières (en °C)	saison végétative	15.6	16.6	17.2	17.6	16.7	17.6	19.4
	saison hivernale	7.4	8.0	8.3	8.8	8.0	8.9	10.3
Nombre de jours de fortes chaleurs par an (> 35°C)		0.3	1.8	2.0	2.0	1.3	2.0	6.8
Nombre de jours de gel par an		19.7	17.6	15.9	10.7	14.6	10.4	4.4
Précipitations annuelles	mm/an	767.3	750.1	765.3	779.5	807.8	781.7	806.8
	jours/an	118.2	114.7	111.0	111.3	119.5	113.5	109.6
Précipitations journalières moyennes (mm)		25.2	24.6	25.1	25.6	26.6	25.7	26.5
Précipitations saisonnières	saison végétative (mm)	394.0	377.5	369.2	371.8	406.7	366.2	370.4
	saison végétative (nb de jours)	61.185	58.9	55.5	54.0	61.0	55.0	51.3
	saison hivernale (mm)	373.3	372.6	396.1	407.7	401.0	415.6	436.4
	Saison hivernale (nb de jours)	57.02	55.87	55.50	57.31	58.51	58.50	58.39
Nombre de jours de sécheresse par an		116.2	120.5	123.8	121.5	115.1	119.7	124.8
Evapotranspiration Potentielle (en mm)	Cumul annuel	958.2	993.5	1010.0	1026.7	995.7	1028.5	1083.7
	Cumul saison végétative	762.2	786.4	800.0	808.5	788.8	807.5	843.3
Bilan hydrique (P - ETP)	Cumul annuel	-190.9	-243.4	-244.7	-247.2	-187.9	-246.8	-276.9
	Cumul saison végétative	-368.2	-408.9	-430.8	-436.6	-382.0	-441.4	-472.9
Montée du niveau de la mer (m)		0.20 (en 2020)	0.40	0.50	0.64 - 0.96	0.45	0.65	0.83 - 1.21

Annexe 11 : Tableau complet des tendances d'évolutions climatiques par rapport à la situation de référence (1950 – 2005) pour tous les scénarios et horizons retenus

Paramètres climatiques		1950 - 2005	RCP 4.5			RCP 8.5			Tendances
			Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain	
Température annuelles (en °C)	maximales journalières	15.6	+0.93	+1.47	+1.92	+0.95	+1.94	+3.66	↗
	moyennes journalières	12.2	+0.88	+1.35	+1.80	+0.93	+1.83	+3.45	↗
	minimales journalières	8.7	+0.84	+1.23	+1.67	+0.90	+1.72	+3.23	↗
	Amplitude thermique	6.9	+0.09	+0.24	+0.25	+0.04	+0.21	+0.43	
Température saisonnières (en °C)	saison végétative	15.6	+1.04	+1.65	+2.05	+1.13	+2.03	+3.79	↗
	saison hivernale	7.4	+0.67	+0.92	+1.44	+0.65	+1.54	+2.96	↗
Nombre de jours de fortes chaleurs par an (> 35°C)		0.3	+1.46	+1.72	+1.67	+0.99	+1.68	+6.48	↗
Nombre de jours de gel par an		19.7	-2.16	-3.83	-9.05	-5.16	-9.33	-15.27	↘
Précipitations annuelles	mm/an	767.3	-17.21	-2.06	+12.14	+40.44	+14.43	+39.52	↗
	jours/an	118.2	-3.46	-7.19	-6.88	1.26	-4.71	-8.56	↘
Précipitations journalières moyennes (mm)		25.2	-0.55	-0.06	+0.42	+1.38	+0.51	+1.35	↗
Précipitations saisonnières	saison végétative (mm)	394.0	-16.44	-24.78	-22.16	+12.75	-27.82	-23.58	↘
	saison végétative (nb de jours)	61.185	-2.31	-5.67	-7.17	-0.23	-6.19	-9.93	↘
	saison hivernale (mm)	373.3	-0.77	+22.71	+34.30	+27.68	+42.255	+63.10	↗
	Saison hivernale (nb de jours)	57.02	-1.14	-1.51	+0.29	+1.49	+1.48	+1.37	↗
Nombre de jours de sécheresse par an		116.2	+4.27	+7.55	+5.27	-1.11	+3.44	+8.6	↗
Evapotranspiration Potentielle (en mm)	Cumul annuel	958.2	+35.36	+51.81	+68.48	+37.51	+70.31	+125.53	↗
	Cumul saison végétative	762.2	+24.2	+37.7	+46.2	+26.5	+45.3	+81.1	↗
Bilan hydrique Potentiel (P - ETP)	Cumul annuel	-190.9	-52.5	-53.8	-56.3	+2.9	-55.8	-86.0	↘
	Cumul saison végétative	-368.2	-40.6	-62.5	-68.4	-13.8	-73.1	-104.7	↘
Montée du niveau de la mer (m)		0.20 (en 2020)	+0.20 environ en 2050	+0.3 environ en 2070	de +0.44 à +0.76 en 2100	+0.25 environ en 2050	+0.45 environ en 2070	de +0.63 à +1.01 en 2100	↗

Annexe 12 : Scores bruts de sensibilité, d'exposition et de capacité d'adaptation des habitats naturels

Habitats naturel	Sensibilité globale	Exposition globale H2	Exposition globale H3	Capacité d'adaptation globale
Cours d'eau	2	1	2	1
Etangs et plans d'eau	2	1	2	0
Végétation aquatique	2	1	2	0
Végétation amphibie	2	1	2	0
Roselières	2	1	2	1
Magnocaricaies et groupements mixtes	2	1	2	1
Prairies envahies	0	1	2	1
Prairies humides oligotrophes	2	1	2	0
Prairies humides mésotrophiles à eutrophiles	2	1	2	0
Landes sèches à humides	1	1	2	1
Végétations arbustives	0	1	1	1
Boisements humides(saulaies et aulnaies marécageuses)	1	1	2	1
Forêts et boisements de feuillus	0	1	2	1
Forêts et boisements mixtes	0	1	2	1
Forêts et boisements de conifères	0	1	1	2
Cultures maraichères	2	1	2	1
Prairies permanentes	2	1	2	1
Prairies temporaires	2	1	2	1
Cultures annuelles (céréales)	2	1	1	1
Marais salants (lagunes côtières)	1	1	2	2
Zones intertidales et estrans	1	1	1	2
Prairies subhalophiles	2	1	2	1
Shorres (prés salés)	1	1	2	1
Habitat urbains denses	1	1	2	2
Habitats urbains discontinus	1	1	2	2
Habitats urbains végétalisés	1	1	2	1

9 Table des abréviations

PNR : Parc Naturel Régional

PNRB : Parc Naturel Régional de Brière

SBVB : Syndicat Mixte de Bassin Versant du Brivet

ADDRN : Agence d'Urbanisme de la Région NAZAIRIENNE

MAEC : Mesures Agro-Environnementales et Climatiques

LPO : Ligue de Protection des Oiseaux

SE : Services Écosystémiques

SA : Services d'approvisionnement

SR : Services de régulation

SC : Services culturels

MEA : Millenium Ecosystems Assessments

TEEB : The Economic of Ecosystems and Biodiversity

MAES : Mapping and Assessments of Ecosystems and their Services

EFESE : Évaluation Française des Services Écosystémiques

IGN : Institut National de l'Information géographique et forestières

RPG : Registre Parcellaire Graphique

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

RCP : Representative Concentration Pathway

SSP : Shared Socio-economic Pathways

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur L'Évolution du Climat

PNCC : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique

CESER : Conseil Économique, Social et Environnemental Régional

P : Précipitations

ETP : Évapotranspiration Potentielle

ETR : Évapotranspiration Réelle

RU : Réserve Utile

DVO : Diagnostique de Vulnérabilité et d'Opportunité

10 Table des illustrations et des tableaux

Figure 1: Situation géographique du PNR Brière, Parc Naturel Régional de Brière.....	7
Figure 2: Illustrations des paysages du PNR Brière.....	10
Figure 3: Cascade de services écosystémiques de Haines-Young and Potschin, 2009.....	13
Figure 4: Les différents types de services écosystémiques	14
Figure 5: Les 7 étapes de la méthode de la matrice de capacité.....	17
Figure 6: Organigramme de traitements de données	18
Figure 7: Organigramme de traitements des couches cartographiques	20
Figure 8: Illustration des couches en superposition (en orange les surfaces d'eaux stagnantes se superposant au roselières).....	21
Figure 9: Pertes d'informations surfaciques sur la couche des roselières.....	21
Figure 10: Nombre de pixels de la couche Roselières présents dans un carreau du carroyage (ici validée).....	22
Figure 11: Carte de répartition des habitats naturels sur le territoire	26
Figure 12: Atelier de remplissage, salle des nénuphars, Saint-Joachim, le 30 juin 2021.....	29
Figure 13: Carte de fourniture du service "Production végétale alimentaire cultivée" (SA1)	32
Figure 14: Carte de fourniture du service "Production animale alimentaire élevée" (SA2)	33
Figure 15: Diagramme en bouquet de fourniture du service "Séquestration du carbone" (SR1) par les habitats.....	33
Figure 16: Diagramme en bouquet de fourniture du service "Offre de refuge, d'habitat et de nurserie (SR3) par les habitats.....	33
Figure 17: Carte de fourniture du service "Emblème ou symbole" (SC1).....	35
Figure 18: Schéma conceptuel d'une boucle de rétroaction positive, Prairie Climat Centre.....	40
Figure 19: Evolution des températures globales de surfaces à horizon 2100 par rapport à la période 1850 – 1900.....	43
Figure 20: Zone de captures points SAFRAN	45
Figure 21: Typologie climatique du territoire français	46
Figure 22: Températures moyennes journalières sur la période 1950 – 2005.....	47
Figure 23: Moyennes mensuelles des cumuls de précipitations sur la période 1950 - 2005.....	48
Figure 24: Nombre de jours de précipitations en moyenne par mois sur la période 1950 - 2005.....	48
Figure 25: Cumuls mensuels d'évapotranspiration potentielle, calculées à partir de la formule de Turc, sur la période 1950-2005	48
Figure 26: Calcul du bilan (cumul mensuel) hydrique sur la période 1950-2005,	48
Figure 27: Températures moyennes journalières des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour l'horizon H2	49
Figure 28: Températures moyennes journalières des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour l'horizon H3,	49
Figure 29: Nombre de jours de précipitations en moyenne par mois pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sur l'horizon H2	51

Figure 30: Nombre de jours de précipitations en moyenne par mois pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sur l'horizon H3.....	51
Figure 31: Cumuls mensuels d'évapotranspiration potentielle de la saison végétative, pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, sur l'horizon H3.....	51
Figure 32: Calcul du bilan hydrique (cumul mensuel) de la saison végétative, pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, sur l'horizon H3, DRIAS, 2020. Les valeurs négatives indiquent un déficit hydrique.	51
Figure 33: Montée globale du niveau de la mer à horizon 2100).....	53
Figure 34: Ouvrages de régulation du Bassin versant du Brivet	54
Figure 35: Carte des surfaces de marais nouvellement inondables observées sur la période 1984 – 2020.....	56
Figure 36: Carte démontrant l'absence de prise en compte de l'eau retenue au sein des surfaces de prairies humides dans les données proposées (ici exemple des données de récurrences),	56
Figure 37: Principe d'analyse de la vulnérabilité d'un écosystème (Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle des Tourbières du Morvan, 2020).....	58
Figure 38 : L'impact du changement climatique sur les services écosystémiques est modulés par les impacts sur la différents écosystèmes produisant les services	69
Figure 39: Impact de la hausse du niveau de la mer sur les services écosystémiques des marais côtiers (analyse bibliographique non exhaustive).	70
Figure 40: Impact de changement de régime des pluies et de la température sur les services écosystémiques des marais côtiers (analyse bibliographique non exhaustive).	70
Figure 41: schéma d'évaluation de la vulnérabilité des services écosystémiques	71
Figure 42: Score de vulnérabilité des services écosystémiques du territoire de Brière au changement climatique.....	72
Tableau 1: Référentiels géographiques utilisés	21
Tableau 2: Liste des habitats naturels, semi naturels et anthropisés	24
Tableau 3: Liste des services écosystémiques pris en compte pour l'évaluation du PNR de Brière...	27
Tableau 4: Experts retenus pour le remplissage de la matrice.....	28
Tableau 5: Correspondance entre les scénarios RCP et SSP.....	42
Tableau 6: Synthèse des projections climatiques pour les données de températures (moyennes et sommes annuelles).....	50
Tableau 7: Tendances d'évolution des projections climatiques pour les données de températures (moyennes et sommes annuelles).....	50
Tableau 8: Synthèse des projections climatiques pour les données de précipitations et d'évapotranspiration (moyennes et sommes annuelles), par rapport à la situation de référence (1950 – 2005)	52
Tableau 9: Tendances d'évolution des projections climatiques pour les données de précipitations et d'évapotranspiration, par rapport à la situation de référence (1950 – 2005)	52
Tableau 10: Grille d'analyse de la vulnérabilité, Diagnostic de vulnérabilité, Démarche d'adaptation au changement climatique de la Réserve naturelle des Tourbières du Morvan	58

Tableau 11: Grille de notations des Indicateurs de sensibilité, d'exposition, de capacité d'adaptation et symboles spéciaux attribués, permettant de caractériser la vulnérabilité des habitats naturels ..	59
Tableau 12: Grille d'évaluation de la vulnérabilité des habitats du territoire de Brière au changement climatique.....	59
Tableau 13 : Vulnérabilité des habitats du PNR de Brière au changements climatiques à horizon lointain pour le scénario climatique	67

11 Table des annexes

Annexe 1 : Synthèse des référentiels utilisés pour chaque couche d'habitat naturel cartographié

Annexe 2 : Détail des assemblages de champs pour chaque habitat naturel

Annexe 3 : Matrice des moyennes

Annexe 4 : Matrice des écarts-types

Annexe 5 : Matrice des indices de confiance

Annexe 6 : Matrice des moyennes pondérées

Annexe 7 : Carte des services d'approvisionnements

Annexe 8 : Carte des services de régulation

Annexe 9 : Carte des services culturels

Annexe 10 : Tableau complet des projections climatiques (moyennes et sommes annuelles) pour tous les scénarios et tous les horizons retenus

Annexe 11 : Tableau complet des tendances d'évolutions climatiques par rapport à la situation de référence (1950 – 2005) pour tous les scénarios et horizons retenus

Annexe 12 : Scores bruts de sensibilité, d'exposition et de capacité d'adaptation des habitats naturels