



GIEC DES PAYS DE LA LOIRE

1^{er} rapport — Juin 2022

Sous la direction de :

Virginie Raison-Victor, présidente du GIEC des Pays de la Loire
Antoine Charlot, directeur du Comité 21 Grand Ouest

Auteurs :

Béatrice Bechet, Jean-Louis Bertrand, Katia Chancibault, Laurent Devisme, Ghazlane Fleury-Bahi, Florence Habets, Virginie Raison-Victor, Marc Robin, Claude Rospars, Franck Schoefs, Verena Trenkel, Pierre Vacher.

Avec la collaboration rédactionnelle du Comité 21 : Antoine Charlot, Marie Labousset, William Leung, Romane Mandonnet, Léo Vibert, Jade Vieau.

Contributeurs :

Franck Baraer (Météo France), Emmanuelle Bastin (DREAL Pays de la Loire), Anne-Claire Beucher (FEDEREC), Céline Bouey (DRAAF), Valerie Brunet (AURA), Olivier Caron (EDF), Pierre Chabret (ADEME), Céline Chadenas (Université de Nantes), Sébastien Cibick (Air Pays de la Loire), Jean-Claude Clément (Virage Énergie Climat), Sarah Colombie (Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire), Olivier Croix (Comité de développement de l'industrie manufacturière), Bruno Daval (PNR de Brière), Florence Denier-Pasquier (FNE, CESE), Mathieu Doray (IFREMER), Florian Drouaud (ADDRN), Philippe Duhamel (Université d'Angers), Yannick Février (CAPEB Pays de la Loire), Anne Gobbey (ADEME), Virginie Guichard (Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire), Loïc Guilbot (CEREMA), Guillaume Hainigue (Ville de Saint-Nazaire/Saint-Nazaire Agglomération), Philipp Hess (IFREMER), Grégory Jechoux (PNR de Brière), Raphaël Jimenez (SNCF), Pierre-Yves Le Foll (CERC Pays de la Loire), Hélène Lucien (ADDRN), Alban Mallet (Nantes Métropole), Christine Margetic (Université de Nantes), Marion Richard (DREAL Pays de la Loire), Laurent Rossez (Novabuild), Manon Roulleau (Air Pays de la Loire), Cyril Roussel (Office français de la biodiversité), Lionel Salvayre (Météo France), Benoit Squiban (DREAL Pays de la Loire), Emmanuel Torlasco (UNICEM), Brice Trouillet (Université de Nantes), Pascal Vivien (AURAN).

Coordination scientifique : Comité 21 Grand Ouest
Coordination éditoriale : Tarik El Aktaa

Direction artistique : Christian Garon
Cartographie : Arthur Beaubois-Jude (www.arthurbeauboisjude.com)
Image satellite : Pixstart (www.pixstart.io)

Couverture : © Région Pays de la Loire / PB. Fourny

GIEC DES PAYS DE LA LOIRE

1^{er} rapport — Juin 2022

UN GIEC DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Un Groupe interdisciplinaire sur les évolutions du climat dans les Pays de la Loire a été créé en octobre 2020. Il est composé d'une vingtaine de chercheurs qui ont pour mission de :

- crédibiliser, vulgariser et approfondir la connaissance des changements climatiques dans les Pays de la Loire, au regard des avancées scientifiques et dans une logique pluridisciplinaire ;
- identifier et préciser les impacts sur le territoire, ainsi que les vulnérabilités socioéconomiques et environnementales qui y sont liées ;
- informer les élus locaux et plus largement les décideurs du territoire sur l'évolution du climat et les aider à identifier, promouvoir et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation efficaces.

Le secrétariat général du GIEC des Pays de la Loire est assuré par le Comité 21 Grand Ouest, qui bénéficie à ce titre d'une subvention du Conseil régional des Pays de la Loire.

Composition du GIEC régional

Béatrice Bechet (Université Gustave Eiffel)

Jean-Louis Bertrand (ESSCA)

Katia Chancibault (Université Gustave Eiffel)

Laurent Devisme (ENSA Nantes)

Jean-François Dhôte (INRAE)

Paul Fattal (Université de Nantes)

Ghozlane Fleury-Bahi (Université de Nantes, Université d'Angers)

Florence Habets (ENS)

Thomas Hoerber (ESSCA)

François Langot (Université du Mans)

Géraldine Molina (Université de Nantes)

Virginie Raison-Victor (Présidente)

Marc Robin (Université de Nantes)

Claude Rospars (Université Gustave Eiffel)

Franck Schoefs (Université de Nantes)

Verena Trenkel (IFREMER)

Pierre Vacher (Université de Nantes)

Agathe Van Lang (Université de Nantes)

PRÉFACE

Selon les climatologues de la NASA, il faut remonter à l'ère du pliocène, il y a de cela 4 millions d'années, pour retrouver une concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO₂) aussi élevée que celle enregistrée en mai 2022. Autrement dit, jamais depuis l'apparition sur Terre d'Homo habilis, les êtres humains n'ont eu à opérer une telle adaptation pour préserver l'espèce, a fortiori dans un temps aussi court.

À leur tour, élus et dirigeants doivent aujourd'hui faire face à des enjeux dont la complexité historiquement inédite appelle des arbitrages de plus en plus difficiles : alors que l'urgence climatique et la fragilisation des écosystèmes exhortent à sanctuariser, voire restaurer, les milieux naturels pour gager l'avenir des jeunes générations, la croissance de la population et celle de l'économie, elles, enjoignent de développer ensemble l'habitat, l'accès à l'énergie, les mobilités, le transport et les autres infrastructures de services.

De la même façon, si les enjeux du changement climatique imposent de réduire rapidement et fortement les émissions de gaz à effet de serre, les politiques d'orientation et d'aménagement permettant d'atteindre une telle inflexion exigent, pour avoir un impact, d'être menées sur un temps long. Or, par leur mandat, les élus n'en disposent pas.

Enfin, tandis qu'il revient aux collectivités d'impulser des mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre tout en engageant l'adaptation du territoire aux impacts du changement climatique, elles ne maîtrisent ni l'évolution du phénomène global, ni le niveau d'investissement des acteurs économiques, ni le consentement des consommateurs à ajuster leurs modes de vie aux objectifs fixés par l'Accord de Paris.

Pour aider élus et dirigeants à accomplir leur mission en conciliant au mieux les enjeux de court, moyen et long termes, il est donc indispensable qu'ils disposent de données

scientifiques sur la contribution du territoire aux émissions de CO₂, mais aussi sur sa vulnérabilité face au changement climatique et à ses impacts. C'est la vocation des travaux du GIEC des Pays de la Loire dont on trouvera ici la synthèse du premier rapport.

Largement dédié à l'étude du système alimentaire de la région, à son aménagement et à son développement industriel, ce premier opus sera également bientôt assorti d'un ensemble de préconisations. Collectivement rédigées par les scientifiques du GIEC des Pays de la Loire, ces recommandations destinées aux élus et dirigeants ligériens ont pour vocation de prioriser les actions permettant de limiter l'impact climatique de la région, mais aussi d'en améliorer la résilience à l'instar du chapitre III du 6^e rapport du GIEC International paru en avril 2022.

Puisse alors l'ensemble des acteurs du territoire s'en saisir pour réduire les risques croissants auxquels l'agriculture, la pêche, le tourisme littoral, l'habitat et l'industrie se trouvent exposés. Comme le rappellent les experts du GIEC International, face à la menace accrue des aléas climatiques et à leurs impacts possibles sur la santé, l'emploi, l'alimentation et la sécurité des populations, chaque dixième de degré compte. C'est pourquoi il n'est désormais plus d'autre option que la mise en œuvre de politiques ambitieuses, concertées et collectives par toutes les parties du territoire, élus, citoyens, acteurs économiques et associations. Que la région en soit le chef d'orchestre et que les scientifiques du GIEC International en facilitent la définition : tel serait le prolongement naturel de ce document dont on peut aussi espérer qu'il sera enrichi par d'autres études thématiques et approfondi à la faveur d'un plus grand nombre de données régionales chiffrées. Pour cela aussi, le GIEC des Pays de la Loire, les scientifiques qui le composent, les acteurs externes qui contribuent à ses travaux et le Comité 21 qui les coordonne se tiennent prêts. Qu'ils en soient ici remerciés.

Bonne lecture !

Virginie Raison-Victor

Présidente du GIEC des Pays de la Loire

ÉDITO

« Il faut s'approprier l'idée que le futur sera différent. »

Les changements climatiques, dont les effets sont déjà visibles à travers le monde, sont lourds de conséquences pour les populations et les écosystèmes. Ils menacent l'existence de régions côtières où vivent des millions de personnes, risquent d'aggraver les canicules, les inondations et les sécheresses, mais aussi de provoquer une augmentation des maladies à transmission vectorielle, telles que le paludisme ou le chikungunya, dans des régions jusque-là épargnées.

Le 6^e rapport du GIEC International, dont le dernier volet a été publié en avril 2022, est sans appel : l'accumulation dans l'atmosphère de gaz à effet de serre — principalement de CO₂ — est en train de transformer le climat de la planète à un rythme extrêmement rapide, sans précédent dans l'histoire de l'humanité. Si aucune mesure n'est prise pour abaisser les émissions, le monde se dirige vers un réchauffement de 3 °C à 4 °C d'ici à la fin du siècle. Et, c'est désormais une certitude, chaque dixième de degré supplémentaire provoque son lot de catastrophes.

Déjà, sous l'effet des changements climatiques, les épisodes de fortes chaleurs se font plus intenses et plus précoces d'année en année. Les incendies ravageurs, tout comme les pluies torrentielles se multiplient un peu partout dans le monde. Dans le même temps, le niveau des océans s'élève plus vite que prévu, laissant craindre une augmentation des submersions marines, et ce même si le réchauffement était limité à 1,5 °C.

Les faits sont là ! Et la région des Pays de la Loire n'est pas épargnée. Ses activités économiques orientées vers le tourisme, la pêche, l'agriculture, mais aussi la densité de son réseau hydrographique, son patrimoine écologique, sa façade maritime la rendent particulièrement sensible aux effets du réchauffement global.

Le temps n'est plus à l'hésitation. Il faut s'approprier l'idée que le futur sera différent et il faut le faire avec une certaine objectivité, en s'appuyant sur l'état des connaissances scientifiques. C'est tout l'enjeu de ce rapport. Dans les Pays de la Loire, comme partout ailleurs, les décideurs politiques, tout comme les entrepreneurs et les habitants, ont besoin d'informations fiables, précises et territorialisées, sur lesquelles fonder leurs actions.

Dans ce rapport, le Groupe régional d'experts sur le climat, le GIEC des Pays de la Loire, propose un panorama général des enjeux et des conséquences du changement climatique dans notre région. Il s'intéresse à ses principaux points de vulnérabilité, en envisageant les impacts probables sur ses populations, sur son économie et, plus largement, sur l'organisation de son territoire.

Dans un second volet, le Groupe d'experts partagera des solutions concrètes, des pistes à privilégier pour que les acteurs régionaux puissent s'adapter à ces modifications. Car l'adaptation aux changements climatiques n'est plus une option, mais bien une nécessité, et plus nous attendons, plus il sera difficile et coûteux d'agir. C'est notre responsabilité collective.

Antoine Charlot

Directeur du Comité 21 — Établissement Grand Ouest

SOMMAIRE

CHAPITRE 1

LES PAYS DE LA LOIRE — UN TERRITOIRE ACCUEILLANT, STRUCTURÉ PAR SON CLIMAT 7

Une diversité de paysages déterminante	8
Une biodiversité sous pression	10
Un territoire dominé par l'agriculture, mais fortement artificialisé	12
Une eau omniprésente, abondante et dégradée	14
Un essor démographique soutenu	16
Une économie dynamique, diversifiée, mais exposée	18

CHAPITRE 2

CHANGEMENTS CLIMATIQUES — CONTRIBUTIONS ET IMPACTS DANS LES PAYS DE LA LOIRE 21

Une région fortement contributrice à l'effet de serre	24
Un climat régional de moins en moins tempéré	28
Une situation hydrique dégradée	34
Un système océanique fragilisé	40
Des événements extrêmes plus marqués, plus fréquents et plus coûteux	42

CHAPITRE 3

AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE — LA MESURE DES CHOIX 47

Un élément-clé de la planification territoriale	48
Un niveau élevé de sols artificialisés	50
Un aménagement à fort impact climatique	56
Des infrastructures sous pression	62

CHAPITRE 4

LE SYSTÈME ALIMENTAIRE DES PAYS DE LA LOIRE 67

L'agriculture au cœur du système alimentaire ligérien	68
Un système alimentaire fortement carboné	70
Un système alimentaire surexposé aux changements climatiques	78

CHAPITRE 5

L'EMPREINTE CLIMATIQUE DU DYNAMISME INDUSTRIEL 85

Une contribution majeure à l'économie régionale	86
Une empreinte carbone trop imprécise	88
Une mesure insuffisante des risques climatiques	92

EXPOSÉ MÉTHODOLOGIQUE 98

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES 102

SOURCES DES CARTES ET GRAPHIQUES 107

chapitre 1

LES PAYS DE LA LOIRE

UN TERRITOIRE
ACCUEILLANT
STRUCTURÉ
PAR SON CLIMAT

Par la nature de ses paysages, la densité de son réseau hydrographique, son patrimoine écologique, ses caractéristiques géologiques et sa façade maritime, la région des Pays de la Loire est naturellement sensible aux évolutions du climat. À leur tour, les activités sociales et économiques de la région — qui dépendent également des niveaux de température, d'ensoleillement et de précipitations — viennent accentuer l'exposition ligérienne aux changements climatiques.



UNE DIVERSITÉ DE PAYSAGES DÉTERMINANTE

Le climat océanique reste ce qui définit le mieux la région dans la mesure où il en détermine à la fois les paysages et les activités économiques. Avec des températures relativement clémentes toute l'année, une quasi-absence de gel en hiver, des sécheresses rares et un régime des pluies favorable à la croissance végétale, les conditions climatiques ligériennes sont en effet particulièrement propices au développement de l'agriculture, du tourisme ou encore de la saliculture ; autant d'activités qui ont orienté les paysages et forgé l'identité des Pays de la Loire au fil des siècles. Cependant, déjà fortement anthropisés, les milieux et paysages du territoire se trouvent également affectés par les changements climatiques, qui menacent de modifier ensemble le patrimoine naturel et l'économie spécifique de la région.

La diversité de ces paysages représente un atout social, culturel et économique majeur pour la région. Façonnée par son exposition maritime, son réseau hydrographique particulièrement chevelu et la géologie de son territoire, elle est cependant aussi un facteur de sensibilité accrue aux variations climatiques. Bocager, viticole, ouvert, forestier, agricole, littoral, urbain, vallonné ou marécageux : à eux seuls, les neuf types de paysages des Pays de la Loire¹ racontent la richesse naturelle de la région et la densité de son maillage

L'environnement naturel ligérien désigne à la fois un atout économique pour la région et sa sensibilité aux variations climatiques.

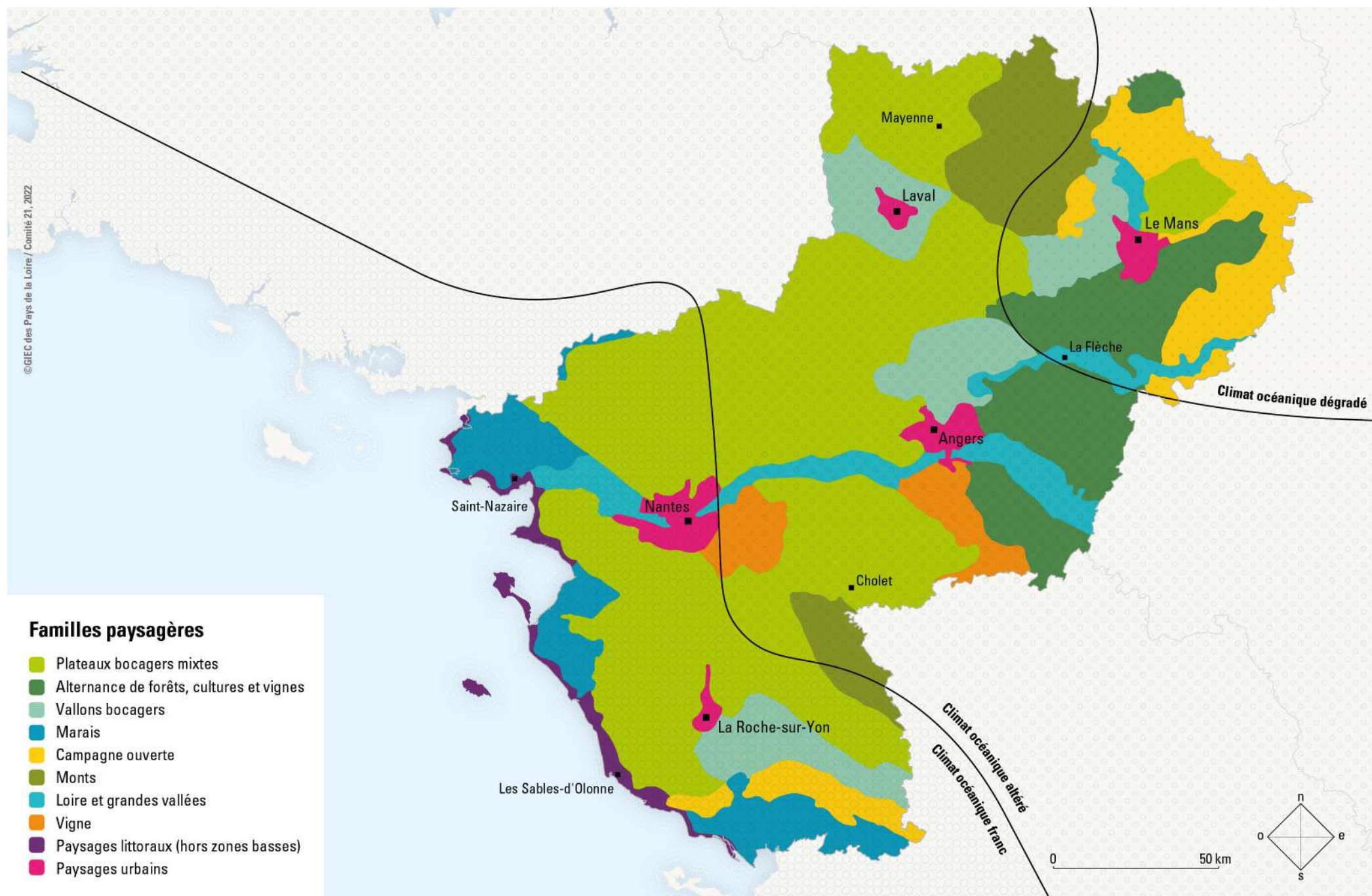
économique : dans le secteur primaire avec les activités de maraîchage, élevage, viticulture, horticulture, pêche et aquaculture ; dans le secteur secondaire avec la construction navale et le développement urbain ; dans le secteur tertiaire, enfin, avec le tourisme. Intrinsèquement liées aux paysages ligériens, ces activités sont donc aussi particulièrement exposées aux modifications du contexte où elles s'inscrivent ainsi qu'aux différents impacts des évolutions climatiques dans la région.

Déjà, les canicules, sécheresses et gels tardifs menacent de réduire la diversité forestière régionale, d'altérer la viticulture, de dégrader les conditions hydriques et agricoles ou encore de contraindre le travail en plein air. Avec les tempêtes, la modification du régime de pluie et l'élévation du niveau de la mer fragilisent à leur tour la ligne côtière, les terres submersibles et de vastes zones d'activités économiques.

Dans la mesure où l'environnement naturel de la région a organisé et structuré l'implantation des êtres humains et de leurs activités dans la région, son altération par les changements climatiques menace donc de les impacter fortement.

FIG. 1 • FAMILLES GÉOGRAPHIQUES ET CLIMATS DES PAYS DE LA LOIRE

Sources : DREAL Pays de la Loire (2016), Daniel Joly et al. (2010).



UNE BIODIVERSITÉ SOUS PRESSION

À la faveur d'un climat accueillant, de l'omniprésence de l'eau et de paysages variés, la région des Pays de la Loire constitue une réserve de biodiversité animale et végétale remarquable à l'échelle de l'Hexagone.

On observe par exemple que les zones humides du territoire offrent un cadre privilégié à la migration de nombreuses espèces d'oiseaux et à la présence d'invertébrés. De leur côté, les zones bocagères et les prairies de la région participent aux corridors écologiques régionaux, indispensables au fonctionnement global des milieux et aux déplacements des espèces. Cependant, sous l'effet d'une pression anthropique déjà forte et encore aggravée par les changements climatiques, l'altération des milieux naturels de la région y affaiblit aujourd'hui fortement la biodiversité et les autres services rendus par les écosystèmes :

- les services d'approvisionnement en denrées alimentaires, fibres végétales, eau potable, bois d'œuvre... ;
- les services culturels liés aux activités récréatives diverses ;
- les services de régulation pour limiter l'érosion des sols et les inondations, mais aussi pour préserver la qualité de l'eau et faire face aux variations climatiques.

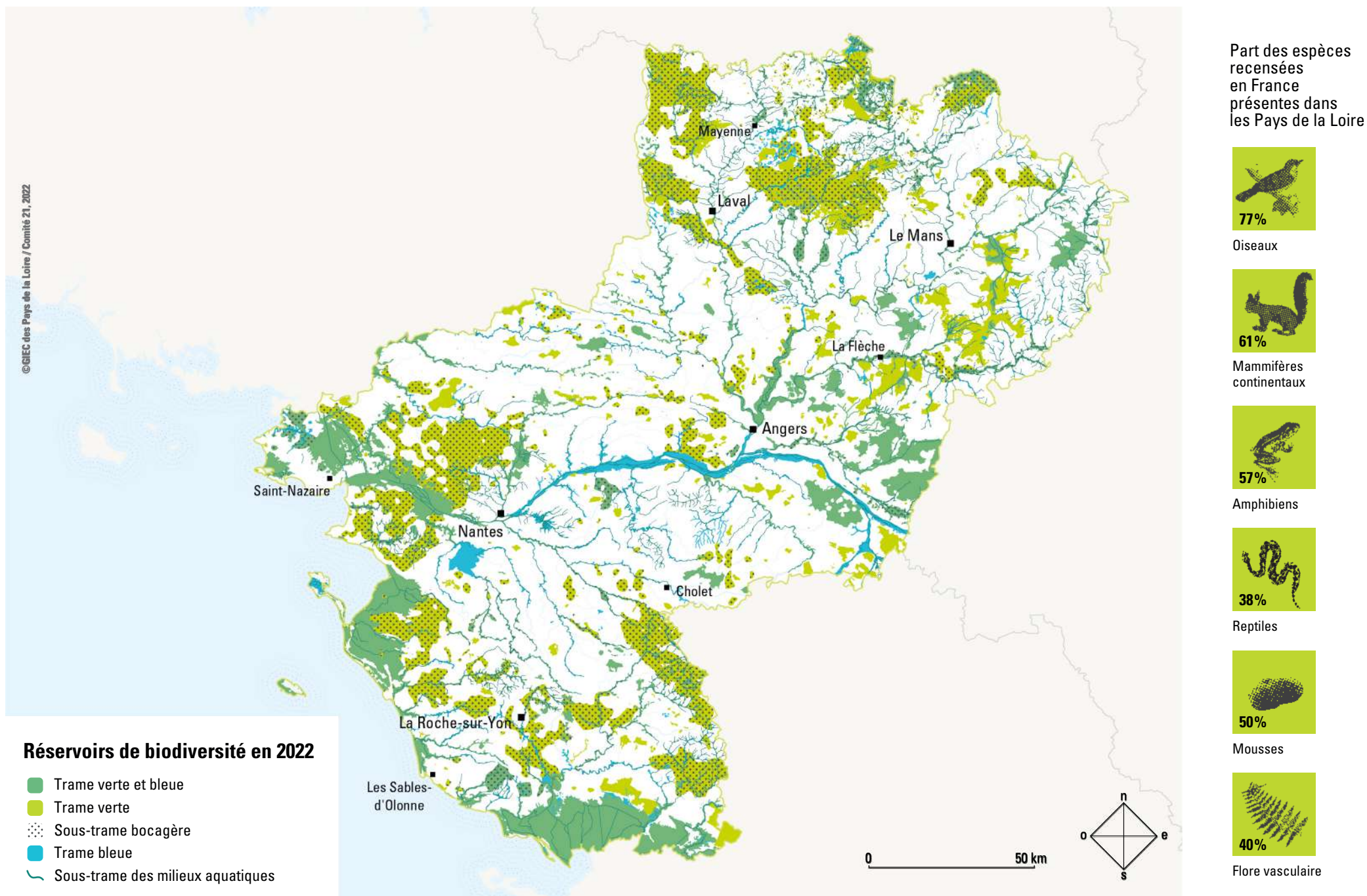
*Déjà, 40 % des poissons,
30 % des oiseaux et amphibiens
et 24 % de la flore se trouvent
menacés d'extinction.*

Déjà, 40 % des poissons, 30 % des oiseaux et amphibiens, 24 % de la flore, 21 % des reptiles et 10 % des mammifères se trouvent menacés d'extinction sous l'effet conjugué de la modification et du recul des milieux naturels dans la région, de la détérioration des ressources en eau, de l'altération des zones humides, du développement d'espèces exotiques envahissantes ou encore de l'extension de l'agriculture intensive.²

Parallèlement, on observe au large des côtes que les changements climatiques accélèrent le déplacement des espèces marines qui progressent six fois plus vite vers le nord du globe que les espèces terrestres. Ainsi, c'est donc aussi tout le secteur de la pêche le long des côtes atlantiques qui pourrait être affecté dans les années qui viennent.

FIG. 2 • RÉSERVOIRS DE BIODIVERSITÉ DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Sources : DREAL Pays de la Loire (2016), Région Pays de la Loire (2017), Gallica BnF (iconographie).



UN TERRITOIRE DOMINÉ PAR L'AGRICULTURE MAIS FORTEMENT ARTIFICIALISÉ

Très largement façonnés par l'Homme à la faveur d'un environnement propice à son installation et à ses activités, les paysages des Pays de la Loire ne laissent désormais qu'une place réduite aux surfaces naturelles: avec seulement 20,6 % du territoire, elles se situent loin derrière les surfaces agricoles (68,2 %) auxquelles il faut aussi ajouter les surfaces artificialisées (11,2 %).³ Or, en contexte de changement climatique, les surfaces naturelles jouent un rôle essentiel puisqu'elles permettent à la fois de stocker du carbone, de ralentir l'érosion des sols, de favoriser l'infiltration de l'eau et enfin d'optimiser la résilience de la biodiversité.

Pour leur plus grande part, les surfaces naturelles des Pays de la Loire sont des surfaces boisées (forêts, bosquets, haies et alignements d'arbres). Deux fois moins étendues dans la région qu'à l'échelle nationale, elles se distinguent aussi par leur morcellement à l'exception de quelques massifs domaniaux et forêts privées dans l'est du territoire. Pour le reste, les surfaces naturelles de la région se répartissent en zones humides ou submergées et en landes. Longtemps accaparés par l'agriculture, les espaces natu-

*Au vu de ses impacts
sur le climat et la biodiversité,
l'étalement urbain
constitue un enjeu critique
pour l'avenir de la région.*

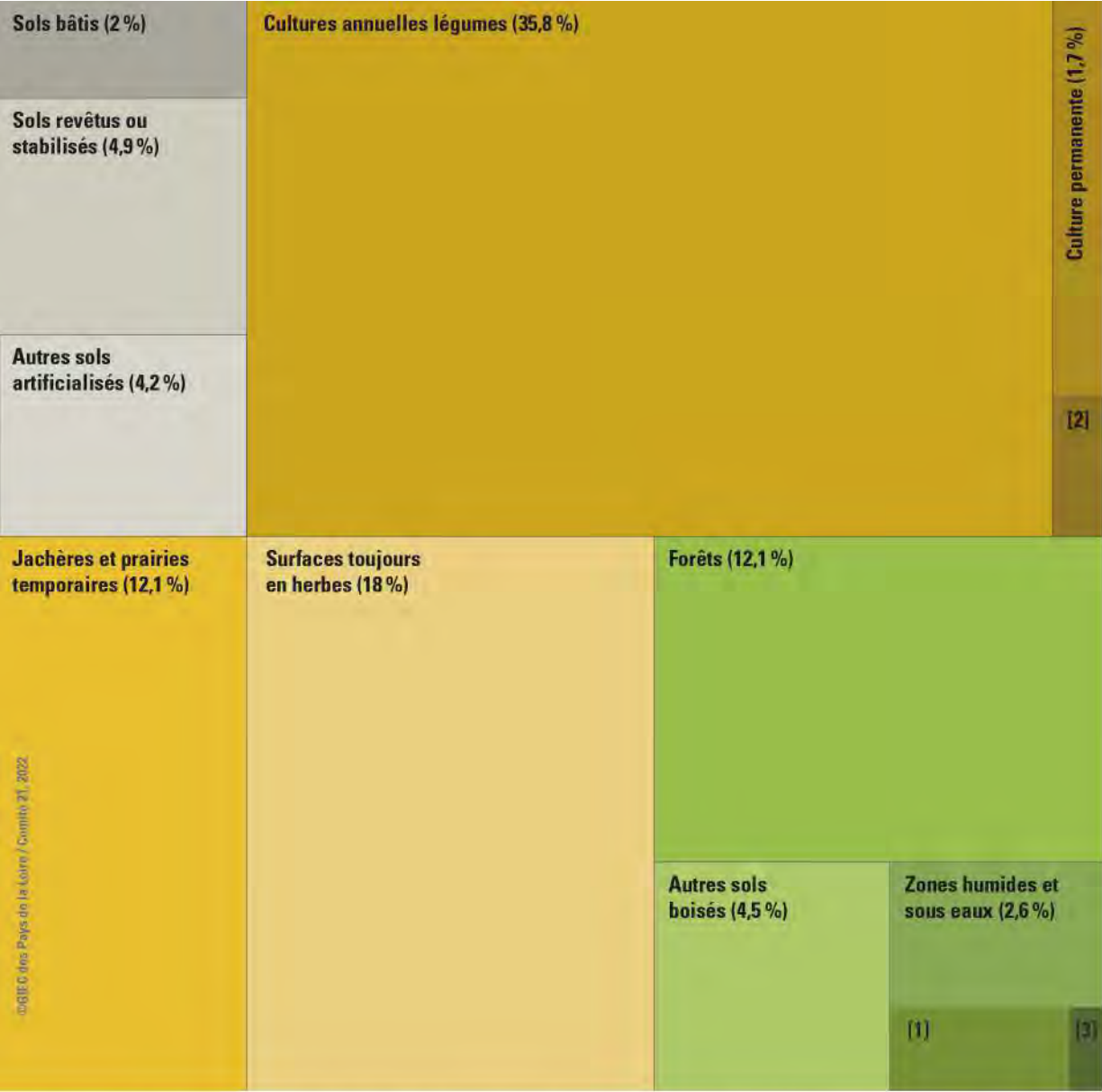
rels sont désormais surtout victimes de l'étalement urbain, à l'instar des sols agricoles. Au total, on calcule que la superficie des terres artificialisées a presque doublé entre 1982 et 2018.⁴ Voilà par exemple plusieurs années que cultures et pâturages reculent au point de ne plus occuper dans la région que 68,2 % des terres en 2018 contre 75,5 % en 1982. Pour autant, les surfaces agricoles occupent une part du territoire bien supérieure dans les Pays de la Loire qu'à l'échelle nationale où leur part ne dépasse pas 51 %.

Parmi les caractéristiques des espaces agricoles ligériens, on retient aussi la diminution du nombre d'exploitations à laquelle il faut aussitôt associer l'augmentation de leur superficie moyenne qui, elle, a gagné 38 ha en moyenne depuis vingt ans.⁵ À cette tendance, on peut enfin ajouter le recul des prairies, des principaux cheptels d'herbivores et des cultures arboricoles au profit du blé, de l'orge ou du colza.

Pour sa part enfin, la proportion de surfaces artificialisées dans les Pays de la Loire place la région au 4^e rang national. Porté par l'extension des grandes agglomérations et l'attractivité du littoral, le phénomène est particulièrement marqué en Loire-Atlantique, avec près de 15 % du territoire déjà artificialisés.⁶ À l'aune des enjeux climatiques et environnementaux qu'il soulève, l'étalement urbain constitue donc un enjeu critique pour l'avenir des Pays de la Loire: en plus d'y accroître les conséquences de l'artificialisation des sols (mitage de l'espace rural, fractionnement des habitats naturels, perte de biodiversité, augmentation du ruissellement, moindre recharge des eaux souterraines), il y amplifie aussi les impacts des changements climatiques: îlots de chaleur, inondations, submersions, érosion côtière, etc.

FIG. 3 • OCCUPATION DES SOLS DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Étude Teruti-Lucas, 2018.



- Sols artificialisés 361 651 ha (11,2 %)
- Sols agricoles 2 210 807 ha (68,2 %)
- Sols naturels 667 928 ha (20,6 %)
- [1]

 Landes, friches, maquis, garrigues, savanes (1,4 %)
- [2]

 Autres sols agricoles (0,6 %)
- [3]

 Sols nus naturels (0,1 %)



© Région Pays de la Loire / Vigouroux - Perspective

UNE EAU OMNIPRÉSENTE, ABONDANTE ET DÉGRADÉE

À la faveur d'une façade littorale et d'un chevelu hydrographique particulièrement dense étendu sur 18 000 km de cours d'eau, l'eau est omniprésente dans les Pays de la Loire dont elle couvre 13 % du territoire.⁷ Véritable richesse pour la région, elle en structure les paysages et les principales activités sociales, culturelles et économiques. Cependant, la structure hydrogéologique de la région se caractérise aussi par le nombre réduit de nappes phréatiques auquel correspondent la part importante des prélèvements superficiels, la variabilité marquée des débits et l'étiage bas du réseau hydrographique ligérien.

Finalement, la médiocre qualité de l'eau constitue donc également une spécificité régionale. Pas moins de 90 % des 418 masses d'eau superficielles de la région subissent une « pression significative »⁸, qu'il s'agisse de pression hydraulique (prélèvements dans les cours d'eau), de pollution diffuse (transferts de nitrates et de pesticides dans les cours d'eau), de pollution ponctuelle aux macro-polluants (rejets des matières organiques) ou de pression morphologique (obstacles, rectification, barrages, traversée de zones urbaines). Au total, on estime que seuls 11,3 % des masses d'eau sont en bon état écologique (contre 44 % à l'échelle nationale) indiquant qu'elles subissent une altération tout à la fois écologique (bon fonctionnement des écosystèmes du milieu aquatique

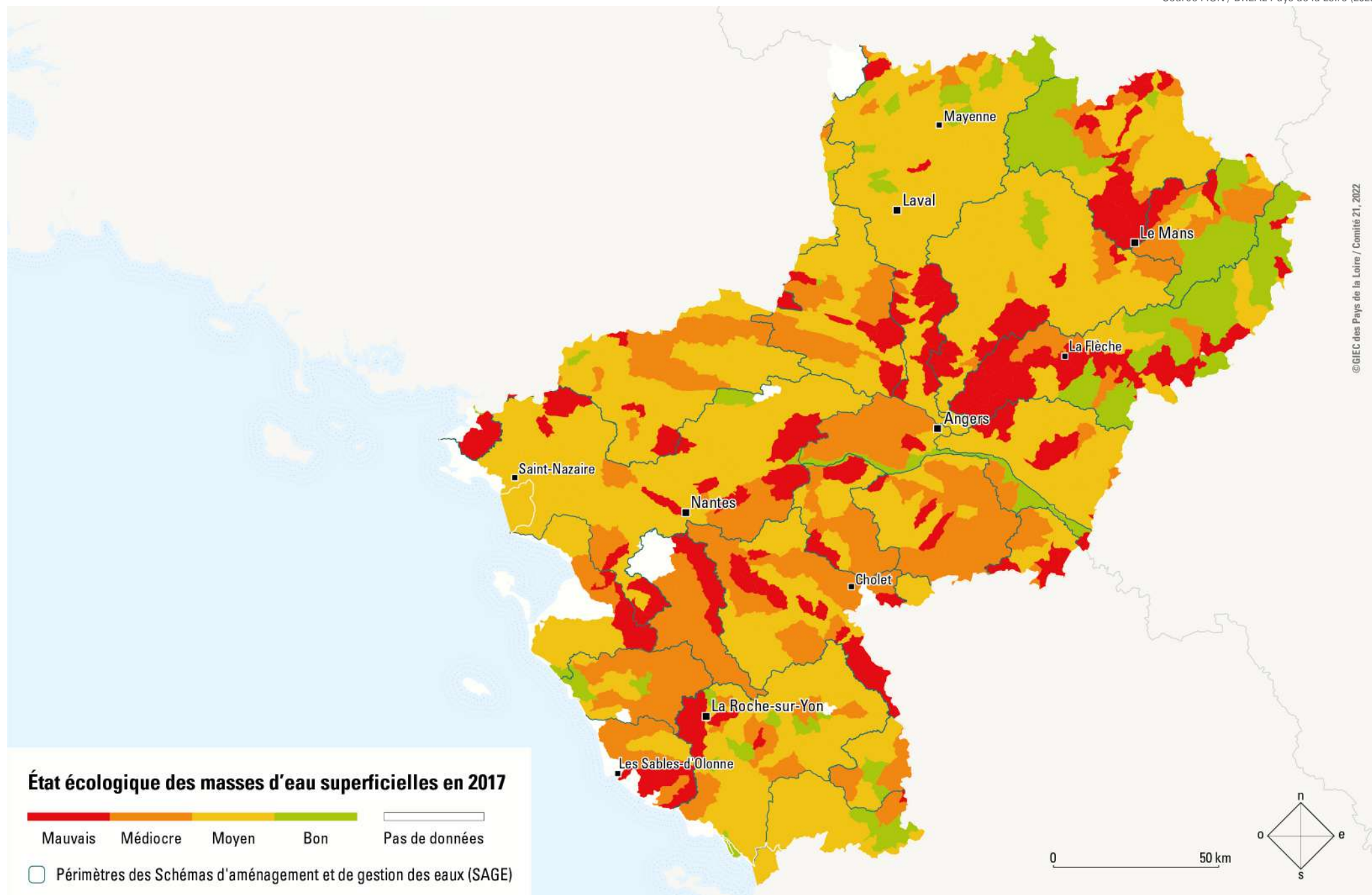
*Dans les Pays de la Loire,
86 % des eaux superficielles
risquent de ne pas atteindre
le bon état en 2027.*

terrestre), chimique (micropolluants spécifiques) et quantitative (déséquilibre entre les prélèvements et les ressources). Résultat : 86 % des masses d'eau (superficielles et souterraines) ligériennes risquent de ne pas répondre, en 2027, aux critères chimiques et écologiques qui définissent le bon état de l'eau.⁹

En amont du problème, trois facteurs permettent, avec la prédominance des eaux superficielles, de comprendre l'ampleur du phénomène : l'artificialisation des sols, l'aménagement des cours d'eau et les pratiques agricoles (irrigation, drainage, apports en fertilisants et produits phytosanitaires). On note par exemple que les prélèvements liés aux activités anthropiques (hors énergie) n'ont cessé de progresser depuis douze ans tout comme les prélèvements pour l'eau potable ou encore ceux destinés à l'irrigation qui ont augmenté de 16 % entre 2012 et 2019.¹⁰ Sur le plan géographique, c'est en Loire-Atlantique, Vendée et Maine-et-Loire que la dégradation est la plus avancée. Cependant, la situation pourrait encore se détériorer sous l'effet des changements climatiques. Déjà, à l'échelle française, on prévoit une baisse globale du débit moyen annuel des cours d'eau de l'ordre de 10 % à 40 % d'ici à 2070 (par rapport à 1961-1990).¹¹ À la fin du siècle, les débits de la Loire pourraient même avoir baissé de 50 % à 60 %.¹² Dès lors, c'est la vitalité, voire l'identité même du territoire régional, qui se trouverait affecté.

FIG. 4 • ÉTAT ÉCOLOGIQUE DES MASSES D'EAU SUPERFICIELLES DES PAYS DE LA LOIRE

Source : IGN / DREAL Pays de la Loire (2020).



UN ESSOR DÉMOGRAPHIQUE SOUTENU

Dans les Pays de la Loire, la population augmente en moyenne de 0,7 % par an, une croissance bien supérieure à celle enregistrée à l'échelle nationale (+ 0,4 %).¹³ Avec 700 000 habitants supplémentaires, la région pourrait même dépasser 4,5 millions d'habitants d'ici à 2050.¹⁴ À cette tendance globale, il faut cependant associer de fortes disparités puisqu'à lui seul, le département de la Loire-Atlantique absorbe 69 % du gain régional de population, alors qu'aujourd'hui il réunit seulement 37,5 % des habitants de la région.¹⁵ À l'inverse, sous réserve que les effets de la pandémie de covid 19 se prolongent et modifient durablement la tendance après 2022, la population ne progresse plus en Mayenne et tend même à légèrement reculer dans la Sarthe. De la même façon, la densité moyenne de la population de la région (119 hab./km² en 2018¹⁶) masque en réalité la forte concentration de la population dans les zones urbaines et littorales. Au total, la moitié des Ligériens occupe 9,5 % du territoire régional situé pour une grande part autour de Nantes, Saint-Nazaire, Angers et Le Mans. Avec plus de 600 000 habitants en 2019, l'agglomération nantaise regroupe à elle seule 17 % de la population régionale.¹⁷

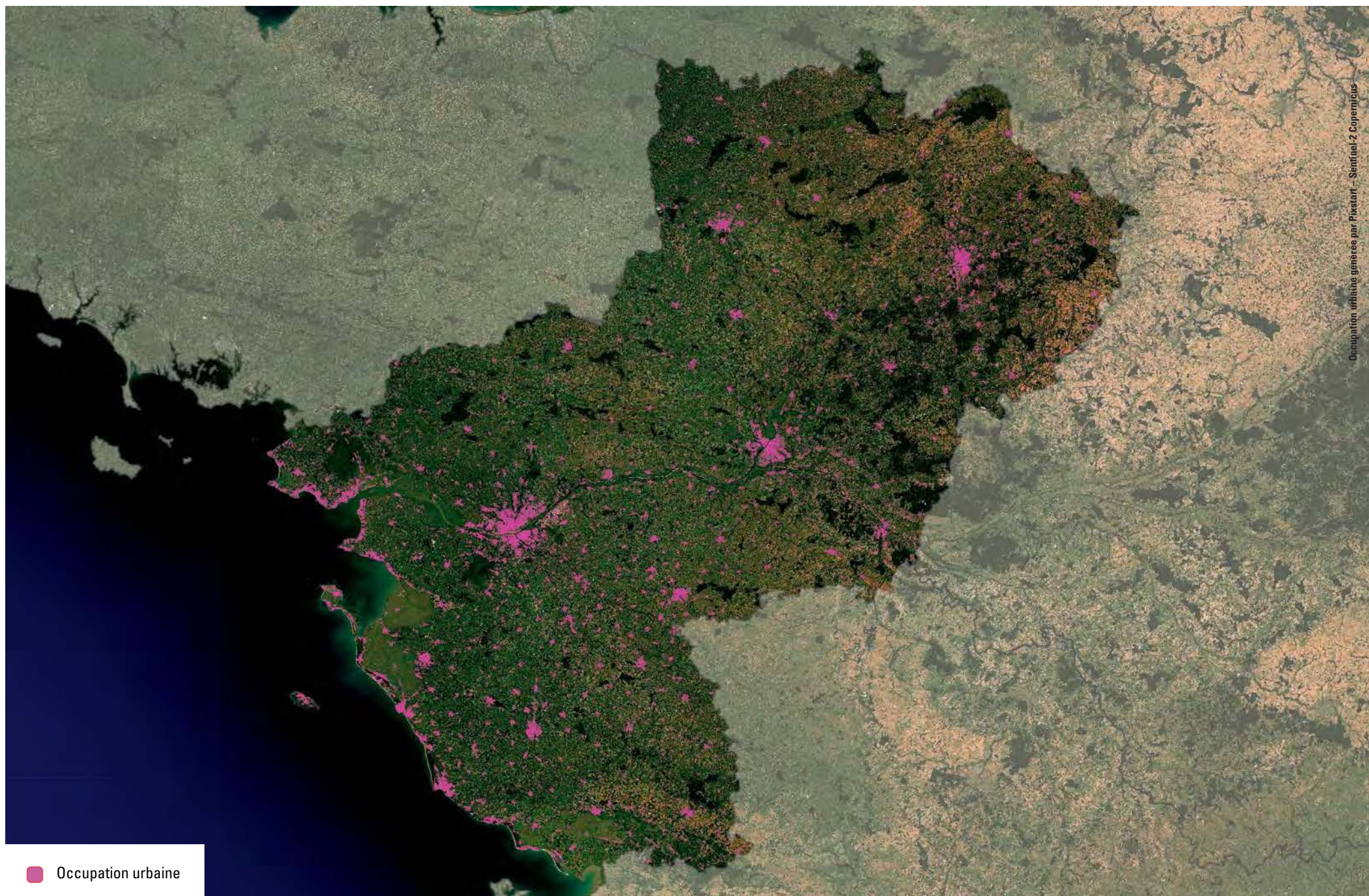
*En situation d'urgence
écologique,
l'afflux de populations
vers le littoral
soulève plusieurs
questions critiques.*

Pour sa part, la croissance démographique des communes littorales de Loire-Atlantique et de Vendée procède avant tout de l'afflux de populations de retraités. Résultat : avec 31 % de personnes âgées de 60 ans ou plus en 2018¹⁸, la Vendée est le département où leur part dans la population totale est la plus élevée. Dans certaines communes littorales de Loire-Atlantique cependant, la proportion peut atteindre 50 % de la population au lieu de 23,8 % à l'échelle du département.¹⁹

Dans un contexte d'urgence écologique et de crise climatique, l'essor démographique urbain et l'afflux de populations âgées sur le littoral exigent de trouver des réponses à plusieurs enjeux critiques :

- le risque d'artificialisation supplémentaire des sols au moment où il devient justement pressant de préserver et régénérer les milieux naturels ;
- l'exposition accrue de l'habitat de bord de mer aux impacts des évolutions climatiques (érosion, submersion marine) ;
- le niveau de vulnérabilité de la population ligérienne qui, en situation de canicule, tempête ou inondation, augmente avec la part de personnes âgées.

FIG. 5 • EXTENSION URBAINE DANS LES PAYS DE LA LOIRE (vue de l'espace)



UNE ÉCONOMIE DYNAMIQUE, DIVERSIFIÉE MAIS EXPOSÉE

Avec un produit intérieur brut (PIB) de 116 milliards d'euros en 2020 soit 30 258 euros par habitant²⁰, les Pays de la Loire affichent des performances économiques remarquables qui placent la région au quatrième rang national derrière l'Île-de-France, Auvergne-Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur. De la même façon, son taux de croissance depuis longtemps supérieur à la moyenne nationale vient refléter l'essor économique soutenu du territoire. Enfin, à cette dynamique correspond aussi celle de l'emploi qui a augmenté de 6,1 % entre 2015 et 2020²¹ pour seulement 3,3 % en France métropolitaine. Ces performances économiques s'accompagnent cependant d'une empreinte écologique légèrement supérieure à celle de la moyenne française.

Bien que le secteur des services soit celui qui connaît le plus grand essor et que celui de l'agriculture y garde une place importante, la région n'en conserve pas moins sa vocation industrielle puisqu'avec 16,2 % des emplois, le secteur secondaire conserve la part la plus élevée des régions françaises.²² Connus pour leurs activités traditionnelles comme la métallurgie, la construction navale, l'agroalimentaire ou l'aéronautique, les Pays de la Loire le sont aussi pour la diversité de leurs filières : végétal, menuiserie, nautisme, machines agricoles, maroquinerie, logistique, etc. Pour sa part, le secteur de la construction et de la rénovation, qui bénéficie de la dynamique démographique ligérienne et de l'essor de l'habitat littoral, affiche une activité importante dans la région où il représente 6,8 % des emplois. À son tour, le secteur tertiaire — marchand et non marchand — qui représente 73 % de la valeur ajoutée générée dans les Pays de la Loire, y constitue le premier contributeur à la croissance économique.²³

*Projetée dans le temps,
c'est avant tout la sensibilité
climatique de l'économie
ligérienne qui ressort.*

Quand on l'étudie d'un point de vue géographique, la répartition de l'activité économique ligérienne se caractérise cette fois par la forte convergence des emplois, services et richesses autour des grands pôles urbains régionaux (Nantes-Saint-Nazaire, Angers et Le Mans), mais aussi vers les littoraux où de nombreuses activités spécifiques sont concentrées telles que la pêche, l'aquaculture, la saliculture, la construction navale, le nautisme, le transport maritime, le tourisme. Enfin, si l'on projette l'économie ligérienne sur la durée, c'est avant tout sa sensibilité particulière aux impacts des changements climatiques qui ressort.

Véritable emblème de l'industrie régionale, les chantiers navals de Saint-Nazaire risquent fort, par exemple, de ne pas pouvoir le rester puisque selon une étude de l'Agence européenne de l'environnement²⁴, l'élévation du niveau de la mer les condamne à être régulièrement inondés à leur emplacement actuel. De la même façon, bien que l'attractivité touristique du littoral puisse d'abord progresser à la faveur de températures plus agréables sur les bords de l'Atlantique que dans les régions méridionales, elle pourrait ensuite se trouver dégradée par l'érosion des côtes et le retrait des plages qui, peu à peu, accentueront le déficit foncier face à la demande.

Au-delà de la frange atlantique, l'agriculture, la viticulture et l'élevage souffrent quant à eux d'une forte vulnérabilité aux variations de températures et de précipitations sur lesquelles s'appuie justement leur ancrage local et avec lui, celui de l'industrie agroalimentaire. Or celle-ci représente aujourd'hui un quart des emplois industriels. Dans tous les cas, c'est donc la capacité de la région à maîtriser les effets des changements climatiques et à s'y adapter qui lui permettra de rester un territoire accueillant pour ses habitants et leurs activités.



chapitre 2

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

CONTRIBUTIONS ET IMPACTS DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Par ses caractéristiques, le changement climatique confronte la région des Pays de la Loire à une situation particulièrement complexe. En effet, comme il dissocie dans le temps et l'espace les émissions de gaz à effet de serre (GES) et leurs effets sur le climat et sur le territoire, le changement climatique impose de mener de front une politique d'atténuation pour contribuer à la lutte globale contre l'effet de serre et une politique d'adaptation ajustée à ses impacts locaux. Dans tous les cas, il est donc important de prendre la mesure de l'interaction entre, d'une part, le territoire des Pays de la Loire et sa contribution à l'effet de serre, et d'autre part, les évolutions climatiques globales et leurs répercussions dans la région.

LATENCE ET INERTIE CLIMATIQUES

À l'échelle du globe, les sept dernières années ont été les plus chaudes jamais enregistrées portant à + 1,1 °C l'élévation de la température moyenne mondiale depuis l'ère préindustrielle (1850-1900).²⁵ C'est le produit des émissions historiques de GES dont la persistance dans l'atmosphère est parfois très longue, de l'ordre du siècle pour le dioxyde de carbone (CO₂) ou le protoxyde d'azote (N₂O).

Malgré tout, loin de décroître depuis la découverte de l'effet de serre et de ses conséquences sur le climat, les quantités de GES émises par les activités humaines n'ont cessé de progresser : + 67 % entre 1990 et 2018 au lieu d'une baisse annuelle requise de 7,6 % par an jusqu'en 2050 pour atteindre l'objectif de l'Accord de Paris (+ 1,5 °C).²⁶ Pour étudier les effets des possibles évolutions des émissions de GES, le GIEC élabore donc plusieurs scénarios de changement climatique.²⁷

Dans son 5^e rapport par exemple, le groupe d'experts distingue quatre scénarios baptisés « RCP », acronyme anglais en référence aux « trajectoires représentatives de concentration en CO₂ » :

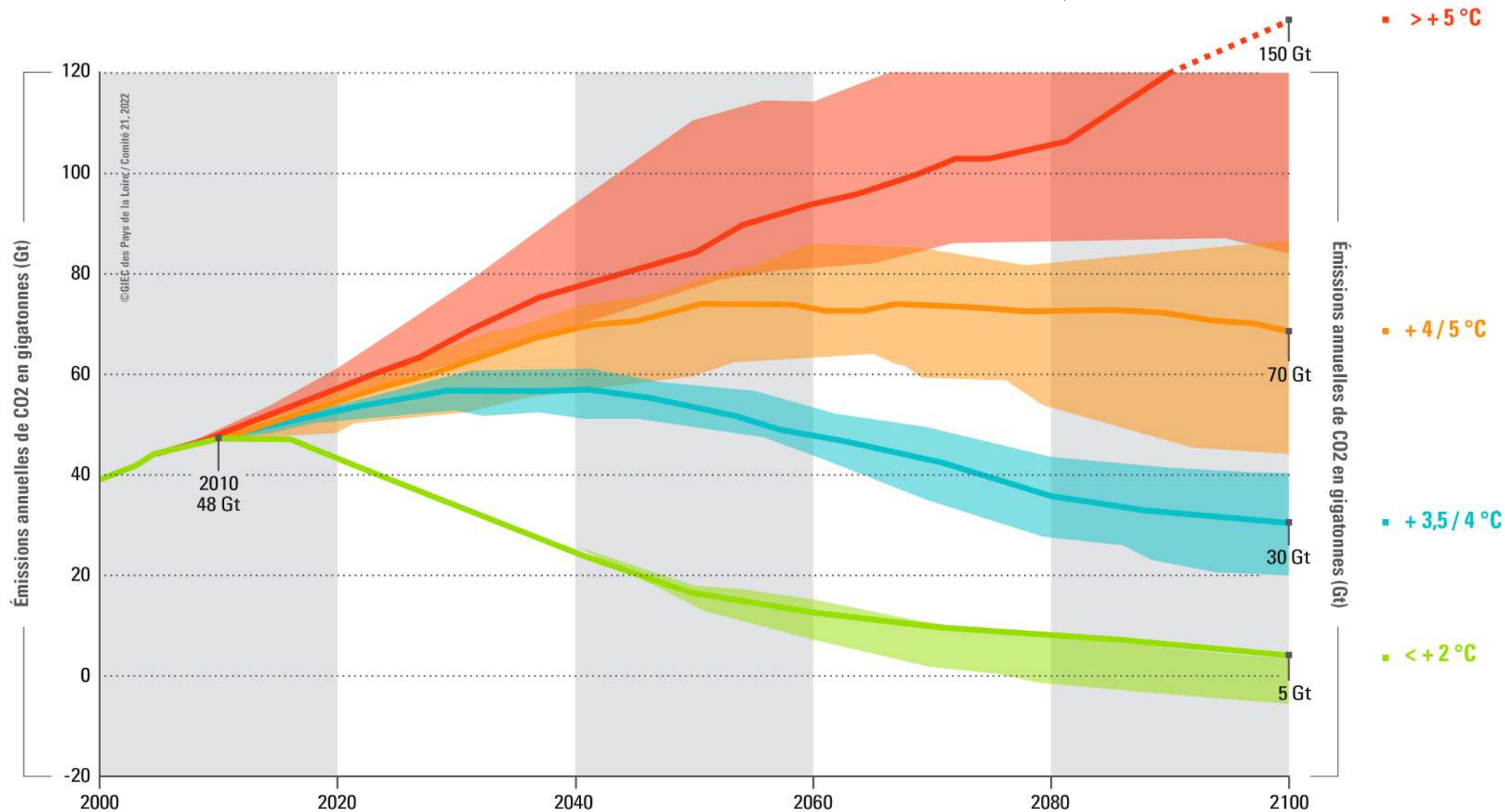
- le premier, optimiste, dit « RCP2.6 », repose sur une évolution marquée et rapide des sociétés vers la sobriété qui conduit à une baisse progressive des émissions à partir de 2020 et permet de contenir le réchauffement global à 2 °C par rapport à la période préindustrielle.
- À l'inverse, le scénario RCP8.5, qui estime l'évolution des températures en l'absence de toute politique de réglementation climatique, projette une hausse de la température mondiale moyenne de 2 °C dès 2060 et même de 5 °C d'ici à 2100.

Entre les deux, les scénarios intermédiaires, RCP4.5 et RCP6.0 décrivent des trajectoires dans lesquelles le seuil des 2 °C est franchi au milieu du siècle et précède une stabilisation, voire une réduction, des émissions de GES avant la fin du siècle. À ce jour, le GIEC constate que la progression des émissions maintient le monde sur la pire des trajectoires climatiques... Autrement dit, quelle que soit l'ampleur des mesures mises en œuvre aujourd'hui pour réduire les émissions de GES, il ne sera pas possible d'en mesurer les effets avant 2040-2050.

Note : Dans son dernier rapport, publié entre août 2021 et avril 2022, le GIEC propose de nouveaux scénarios. Cependant, comme les études régionalisées utilisées pour la présente synthèse se rapportent toutes aux scénarios du 5^e rapport du GIEC, ce sont aussi ceux qui sont mentionnés ici.

FIG. 6 • SCÉNARIOS D'ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES MONDIALES

Source : GIEC, 2014.



En 2014, le GIEC International a défini quatre profils d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (Representative Concentration Pathways, RCP) :

■ RCP2.6
 ■ RCP4.5
 ■ RCP6.0
 ■ RCP8.5

UNE RÉGION FORTEMENT CONTRIBUTRICE À L'EFFET DE SERRE

Si les émissions de GES, rejetées à l'échelle des Pays de la Loire, n'ont pas d'impacts directs sur l'évolution du climat de la région, la trajectoire fixée par l'Accord de Paris lui impose néanmoins de réduire drastiquement son empreinte carbone. Pour y parvenir, une analyse détaillée de sa contribution à l'effet de serre est donc indispensable.

En 2018, les Pays de la Loire ont relâché dans l'atmosphère 31 millions de teqCO_2 . Rapporté à l'échelle de la population régionale, le niveau d'émission ligérien s'élève donc à 8,2 teqCO_2 par habitant. Or à ce premier volume de GES émis depuis la région, il convient aussi d'associer les émissions indirectes de la région estimées en 2014 à 33 MteqCO_2 .²⁸

Le poids de l'élevage et de la dépendance aux énergies fossiles

Dans le détail, l'agriculture représente à elle seule 28 % des émissions régionales directes de GES (2018). Avec 26 % des émissions de GES en 2018, le transport routier constitue le deuxième émetteur de GES dans les Pays de la Loire devant le secteur de l'industrie et celui de la production d'énergie qui représentent chacun 16 % des émissions régionales.²⁹

Au total, l'empreinte carbone de la région des Pays de la Loire avoisine 60 MteqCO_2 .

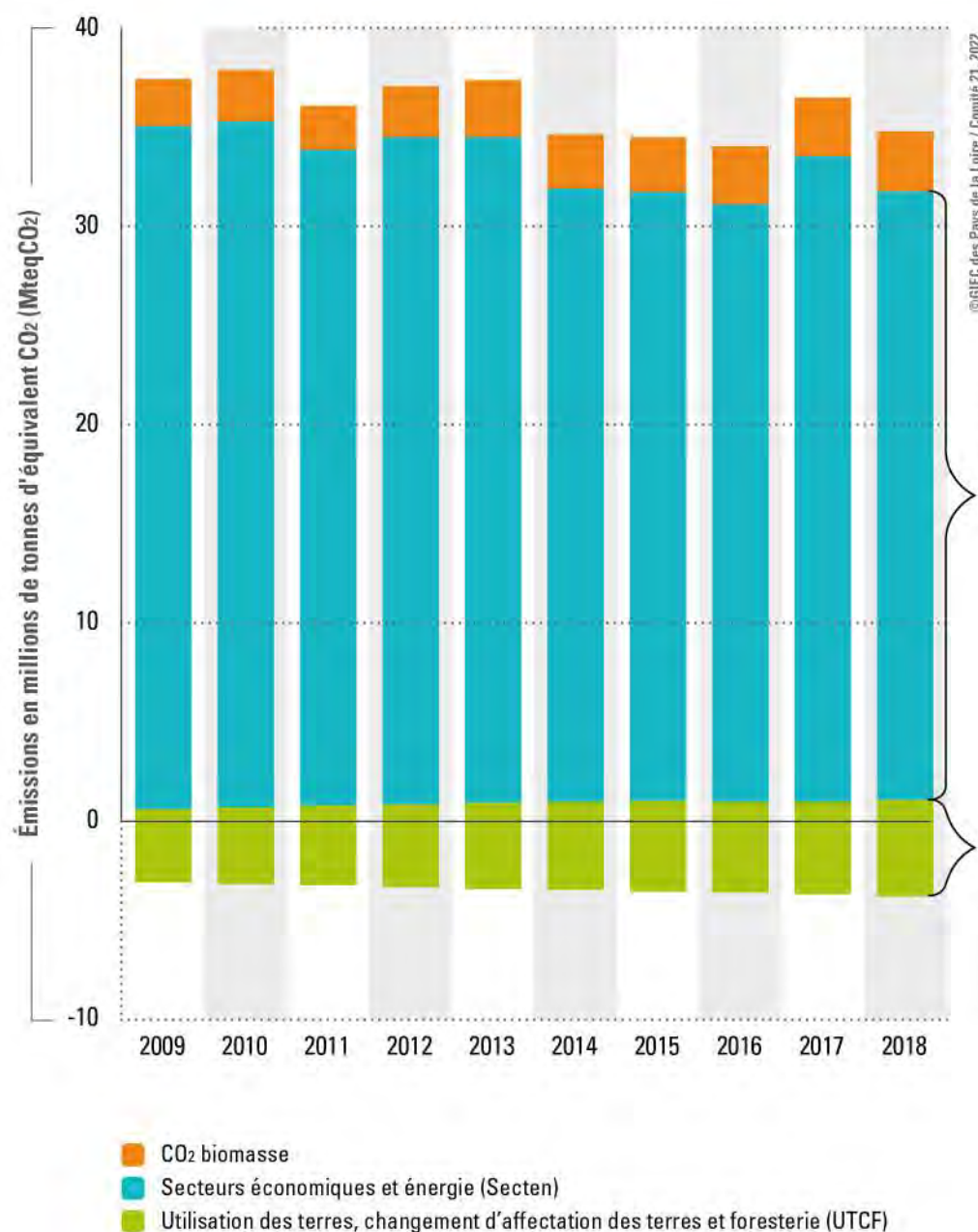
Tout en soulignant l'importance de l'élevage bovin et l'intensité énergétique des activités économiques, l'analyse des émissions régionales pointe également l'augmentation du nombre d'habitants — de 7,5 % sur la dernière décennie — en même temps qu'elle révèle la forte dépendance énergétique du territoire aux énergies fossiles. En 2018, les Pays de la Loire ont consommé 92 TWh d'énergie finale, soit 24,3 MWh par Ligérien.³⁰ Or à eux seuls, les produits pétroliers représentaient 64 % de ces volumes, dont 44 % pour le pétrole et 20 % pour le gaz naturel. À l'inverse et en dépit d'une progression marquée, la part des énergies renouvelables ne dépassait pas 13 % de l'énergie finale consommée (contre 7,5 % en 2008).³¹

Enfin, l'analyse des émissions régionales sur la durée révèle trois autres points saillants :

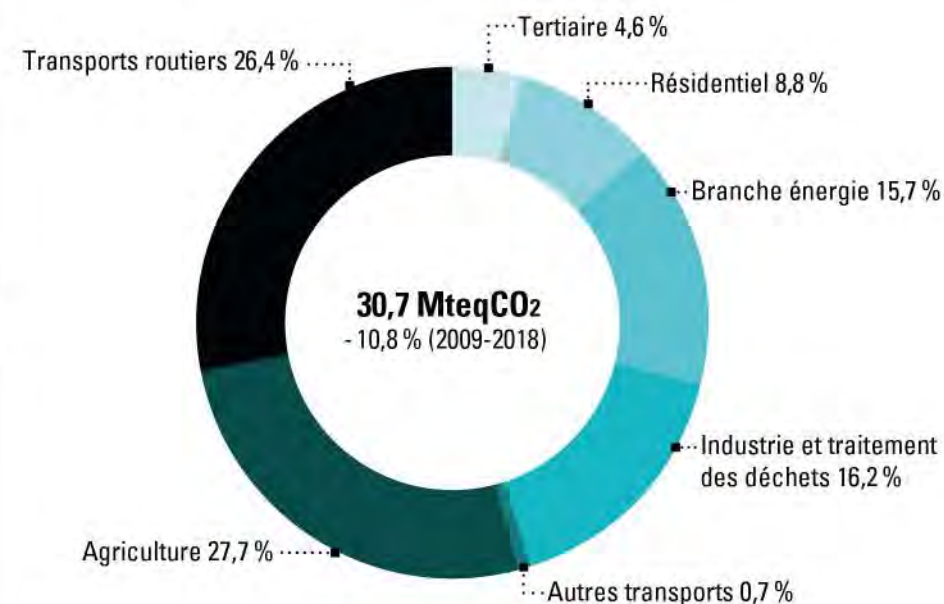
- le recul des émissions directes de 10,8 % entre 2009 et 2018 grâce, notamment, à une moindre consommation de charbon à la centrale thermique de Cordemais³² ;
- la baisse de la consommation d'énergie par habitant de 4 % entre 2009 et 2018 qui répercute les actions engagées dans les bâtiments, les transports et l'industrie pour améliorer l'efficacité des systèmes énergétiques³³ ;
- une baisse de 4,5 % des émissions directes issues de l'agriculture entre 2009 et 2018, mais une hausse de 4,2 % de celles issues du transport routier qui traduit l'augmentation de la population et de la circulation sur la période tout comme l'augmentation de la consommation énergétique totale (+ 2,8 %).³⁴

FIG. 7 • ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Basemis/Air Pays de la Loire (2022).



Émissions du Secten (2018)



Émissions de l'UTCF (2018)

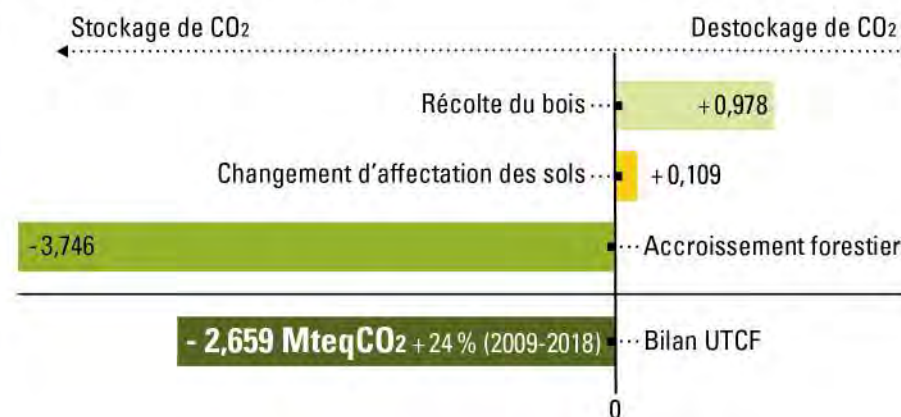
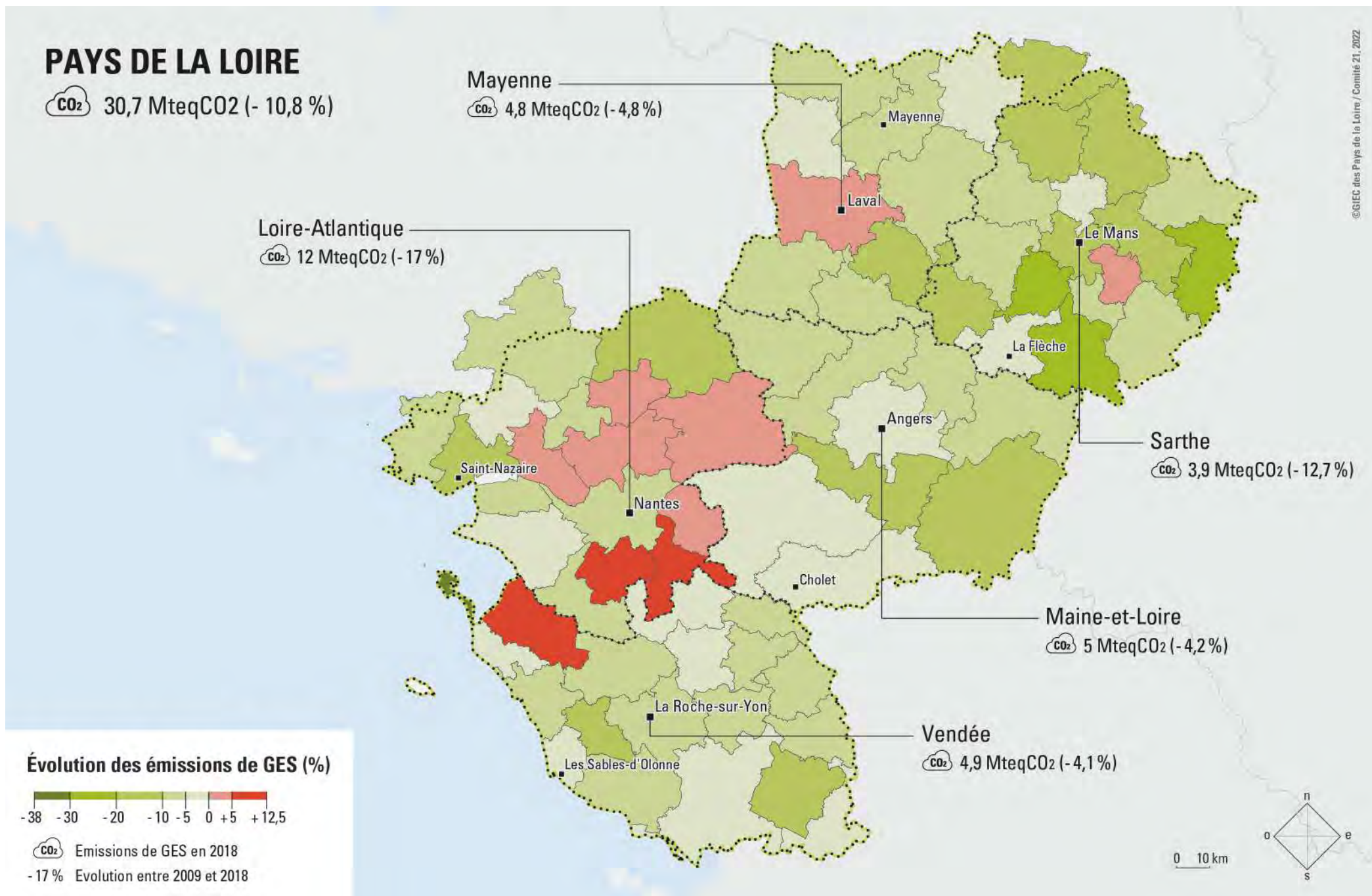




FIG. 8 • ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR INTERCOMMUNALITÉ

Sources : INSEE (2009), INSEE (2018), Basemis (2018).



UN CLIMAT RÉGIONAL DE MOINS EN MOINS TEMPÉRÉ

Parmi les conséquences des émissions mondiales de GES pour la région des Pays de la Loire, l'évolution des températures est aujourd'hui la plus perceptible ; celle aussi qui progressera le plus régulièrement dans les prochaines décennies en affectant ensemble les écosystèmes et la biodiversité régionale, la santé des habitants et leur mode de vie, mais aussi les systèmes agricoles et la production énergétique.

Des températures moyennes de plus en plus élevées

Déjà, tous les relevés font apparaître une élévation moyenne des températures d'environ 1,5 °C en soixante ans. Depuis 1980, on observe même une accélération du phénomène avec une élévation de la température moyenne de 0,37 °C tous les dix ans.³⁵

Dans les trois prochaines décennies et à la faveur des phénomènes d'inertie, l'élévation des températures restera peu sensible aux politiques d'atténuation. Contenue entre 1 °C et 1,15 °C par rapport à la période 1976-2005 dans un scénario optimiste (RCP2.6), la hausse atteindra 2 °C à 2,5 °C en 2055 dans le pire des scénarios (RCP8.5). Avec une telle augmentation, Nantes et Angers pourraient alors afficher des températures annuelles moyennes équivalentes à celles de Biarritz sur la période 1976-2005.³⁶

Sans réduction massive des GES, la région comptera 95 jours de chaleur par an avant 2100.

À plus long terme, les écarts entre les différents scénarios sont beaucoup plus marqués : tandis qu'une réduction globale massive des émissions de GES pourrait, d'ici à 2100, ramener la hausse des températures ligériennes autour de 1 °C par rapport à la période 1976-2005, une politique de laissez-faire pourrait au contraire porter la hausse des températures de la région à 3,5 °C, voire à 4 °C.³⁷

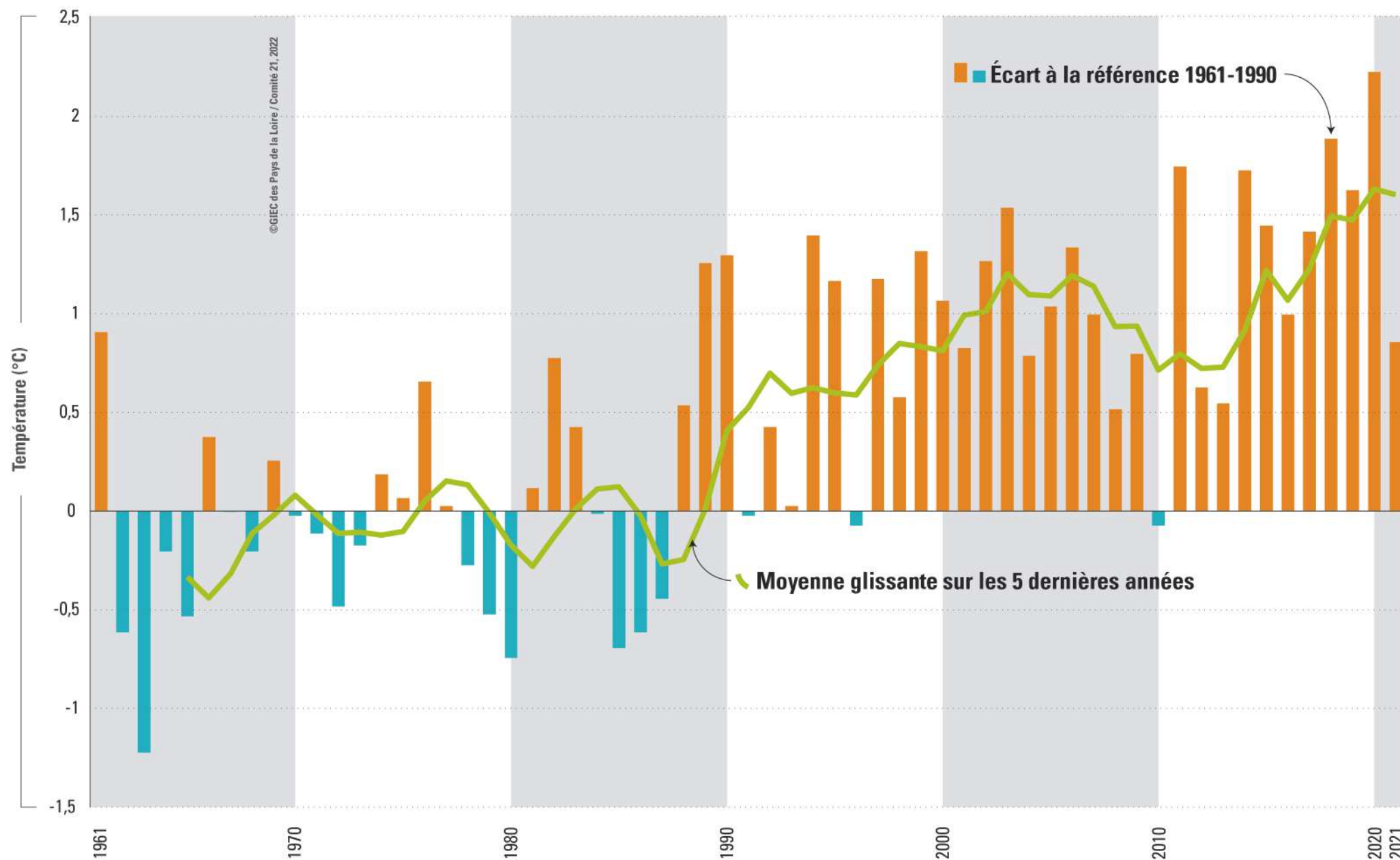
Dans tous les cas, quels que soient les scénarios et les variations étudiés, on peut retenir que les changements seront toujours plus accentués en été qu'en hiver et qu'ils seront plus marqués au sud et à l'intérieur du territoire régional (sud de la Vendée et est de la Sarthe) que sur le littoral.

Davantage de jours chauds et très chauds

À l'élévation des températures moyennes viendra aussi s'ajouter la progression du nombre annuel de jours chauds, autrement dit ceux dont la température dépasse 25 °C. Si une baisse brutale et rapide des émissions de GES permettait d'en limiter le nombre annuel entre 10 et 15 jours par rapport à la période de référence (1976-2005), puis de le contenir, l'absence de mesures de réduction efficaces, amènerait en revanche la région à connaître 30 jours chauds supplémentaires par an d'ici à 2050 et même 55 jours avant la fin du siècle. Au total, la région pourrait alors compter 95 jours chauds par an à l'horizon 2100 au lieu de 45 jours dans un scénario de forte atténuation.³⁸

FIG. 9 • ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Météo France, 2021.





Historiquement rares dans les Pays de la Loire, les jours de forte chaleur (dont la température dépasse 35 °C) pourraient eux aussi y augmenter. De 3 jours par an au milieu du siècle en moyenne, leur nombre pourrait atteindre, dans le pire des scénarios, une dizaine de jours avant 2100. Or à cette progression il convient d'associer celle des nuits tropicales, dont la température ne descend pas en dessous de 20 °C : encore exceptionnelles aujourd'hui, elles pourraient augmenter jusqu'à 5 nuits par an avant 2035. En l'absence de réduction importante des émissions de GES, leur nombre pourrait même progresser jusqu'à 10 nuits par an vers 2055, et même 30 à 40 nuits par an avant la fin du siècle.³⁹

Des vagues de chaleur plus longues et plus sévères

Avec la hausse des jours chauds, la région devrait aussi subir de plus en plus souvent des vagues de chaleur qui correspondent à des périodes de 5 jours ou plus pendant lesquels la température maximale est supérieure de plus de 5 °C à la normale. Déjà, on constate que les Pays de la Loire ont enregistré autant de vagues de chaleur entre 2000 et 2020 que lors des cinq décennies précédentes. Plus fréquentes, ces périodes seront aussi plus précoces dans l'année, plus longues et plus sévères : bien que dans un scénario de baisse rapide et forte des émissions de GES, le nombre de jours supplémentaires de vague de chaleur puisse être contenu à une dizaine par an, il pourrait atteindre 18 à 27 jours supplémentaires d'ici trente ans en l'absence de mesures d'atténuation efficaces, voire 49 à 69 jours sur la période 2071-2100.⁴⁰

Le recul progressif du froid et du gel

Les vagues de froid désignent des épisodes dont la durée est d'au moins 3 jours et pendant lesquels la température moyenne descend au moins une journée sous un certain seuil (- 2 °C). Contrairement aux vagues de chaleur, elles seront de plus en plus rares dans les Pays de la Loire. Depuis vingt ans déjà, on enregistre une baisse de leur nombre, de leur durée et de leur intensité. Sur 34 vagues de froid recensées depuis soixante-quinze ans, cinq seulement ont eu lieu au cours des vingt dernières années, la dernière en 2012.⁴¹ Peu à peu, elles pourraient même disparaître du territoire ligérien à l'exception de courtes vagues de froid qui, en cas de baisse importante des émissions globales de GES, pourraient réapparaître autour de La Roche-sur-Yon.

De la même façon, quel que soit le scénario, le nombre de jours de gel — déjà plutôt faible dans la région — devrait reculer dans les trois prochaines décennies, en particulier dans le nord-est de la région. En fonction de l'évolution des émissions de GES, le nombre annuel de jours de gel sur la période 2041-2070 reculera de 4 à 20 jours par rapport à la période 1976-2005.⁴²

FIG. 10 • ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Météo France, 2021.

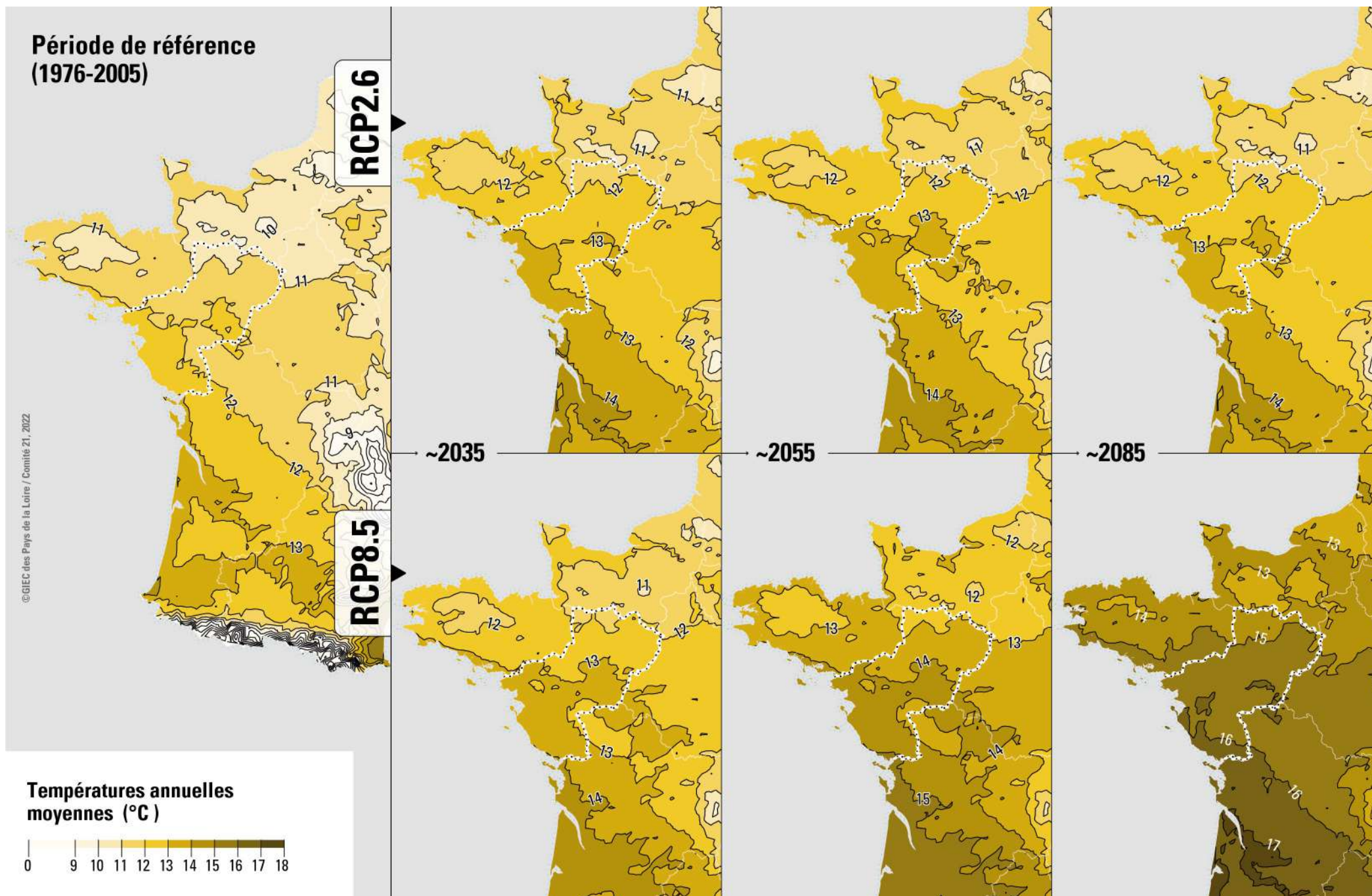


FIG. 11 • ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS CHAUDS DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Euro-CORDEX (DRIAS-2020).

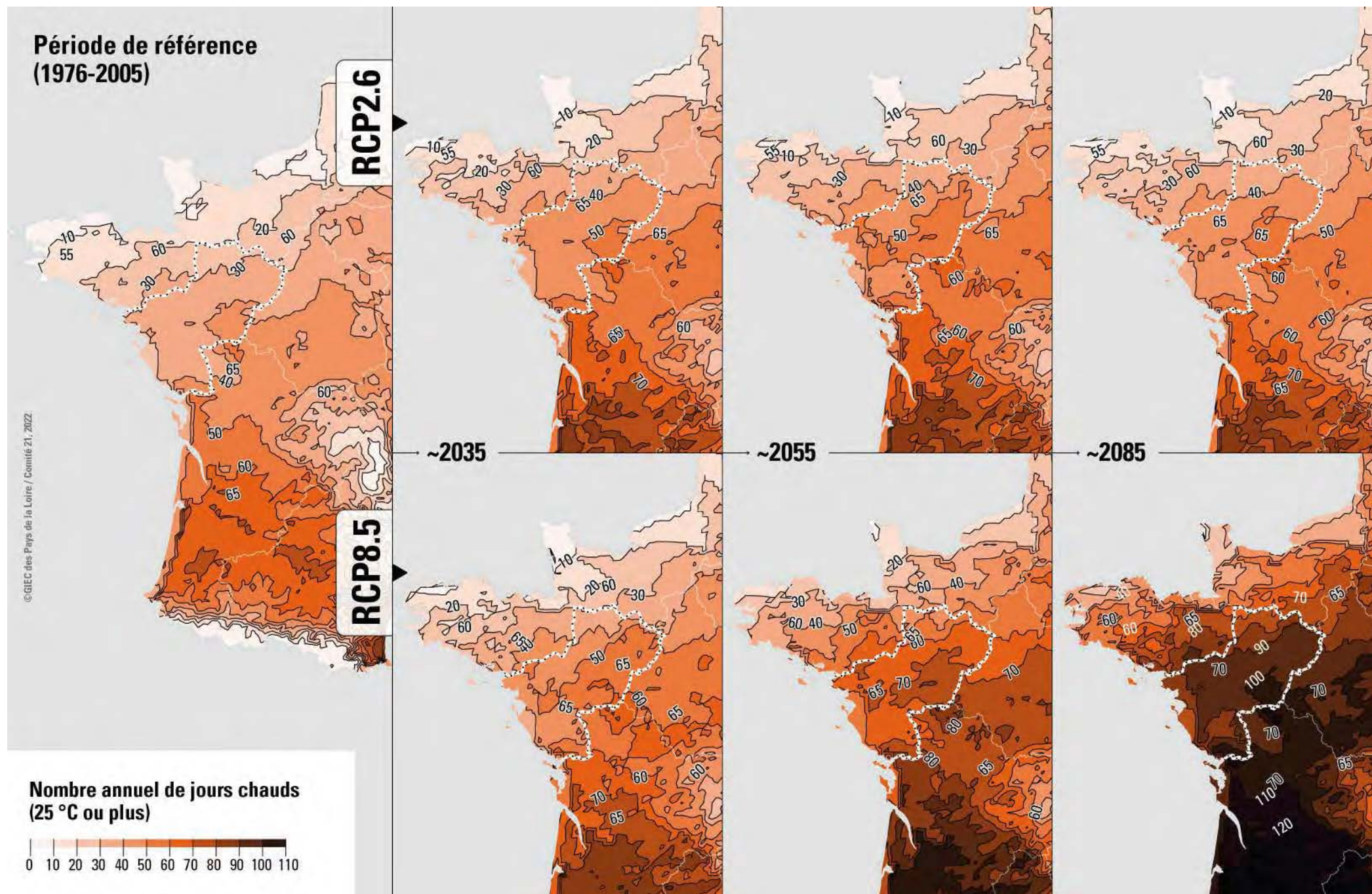
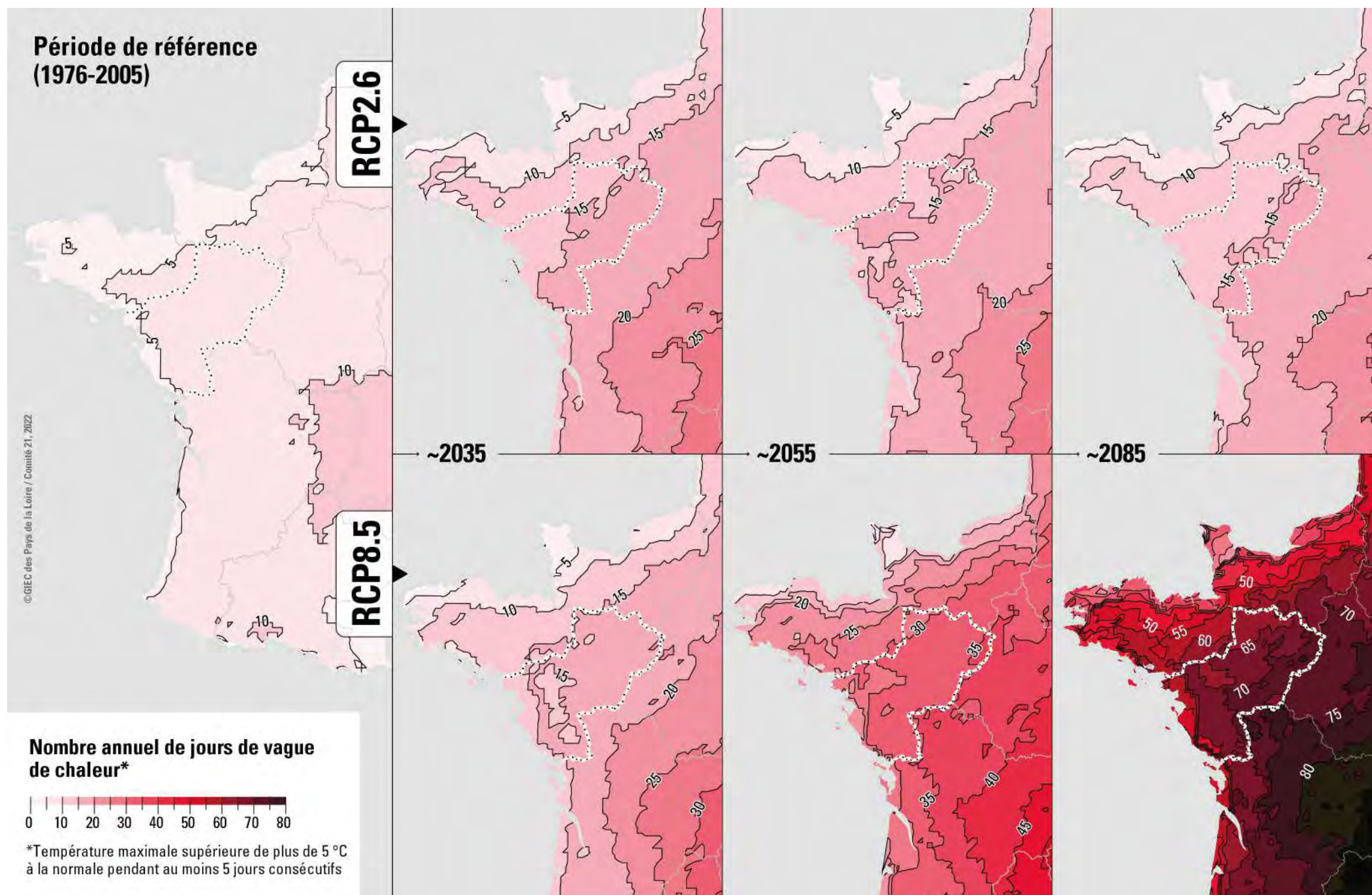


FIG. 12 • ÉVOLUTION DU NOMBRE DE VAGUES DE CHALEUR DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Euro-CORDEX (DRIAS-2020).



UNE SITUATION HYDRIQUE DÉGRADÉE

Avec l'élévation des températures, l'évolution du régime des pluies marque une deuxième caractéristique des dérèglements climatiques. Dans les Pays de la Loire, l'évolution des précipitations constitue une variable d'autant plus critique que la région affiche une situation hydrique déjà fortement dégradée. Des chiffres qui rappellent que le partage de la ressource en eau et son usage raisonné seront donc des enjeux de plus en plus sensibles pour l'adaptation de la région aux changements climatiques.

Des épisodes pluvieux, moins longs, mais plus intenses

Déterminante pour l'humidité des sols et le réapprovisionnement des nappes, l'évolution du régime des précipitations se révèle cependant plus difficile à prévoir que celui des températures et impose de rester prudent en matière de prévisions. Toutefois, malgré des divergences d'un modèle à l'autre, il reste possible de dégager quelques tendances de long terme qui ressortent dans tous les scénarios à l'horizon 2071-2100 : l'intensification des précipitations et leur augmentation durant l'été ; une diminution de l'intensité des événements courants et leur baisse en hiver.⁴³

Tous les scénarios prévoient une baisse sensible des ressources en eau souterraines de la région et une diminution du débit de ses rivières.

Finalement donc, c'est moins le volume annuel total des pluies qui pourrait subir un changement que la répartition des précipitations dont la moindre régularité pourrait alors contribuer à aggraver la situation hydrique déjà critique de la région.

Une vulnérabilité hydrique forte

Qu'il s'agisse de l'irrigation agricole, de l'élevage bovin, de la production industrielle ou de la production énergétique (refroidissement de la centrale de Cordemais), l'économie des Pays de la Loire montre une forte dépendance à la disponibilité d'eau douce que la croissance de la population vient également accentuer. Or tous les scénarios prévoient une baisse sensible des ressources en eaux souterraines de la région, mais aussi une diminution des débits des rivières marquée en été et possible en hiver. C'est à la fin de l'été que la situation sera la plus critique, en période d'étiage, quand le débit des rivières atteint son plus bas niveau annuel.

À l'échelle de l'Hexagone, on estime que la ressource en eau reculera de 10 % à 55 % à l'horizon 2070, en fonction du niveau des émissions de GES, mais aussi des bassins versants. Or celui de la Loire sera parmi le plus sévèrement touché avec une réduction comprise entre 25 % et 30 % sur la moitié de la superficie de son bassin versant.⁴⁴

FIG. 13 • ÉVOLUTION DES FORTES PRÉCIPITATIONS DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : Euro-CORDEX (DRIAS-2020).

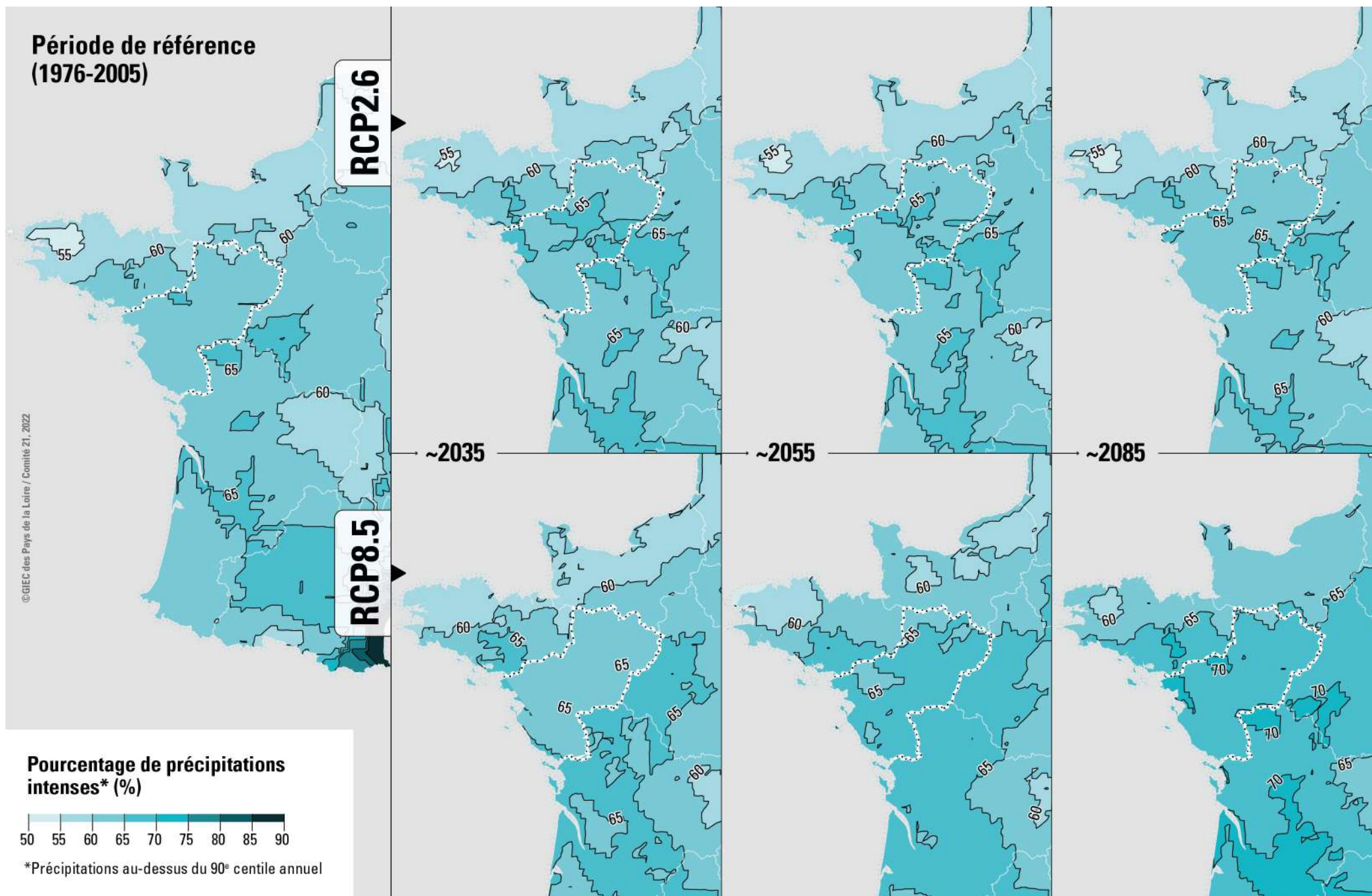
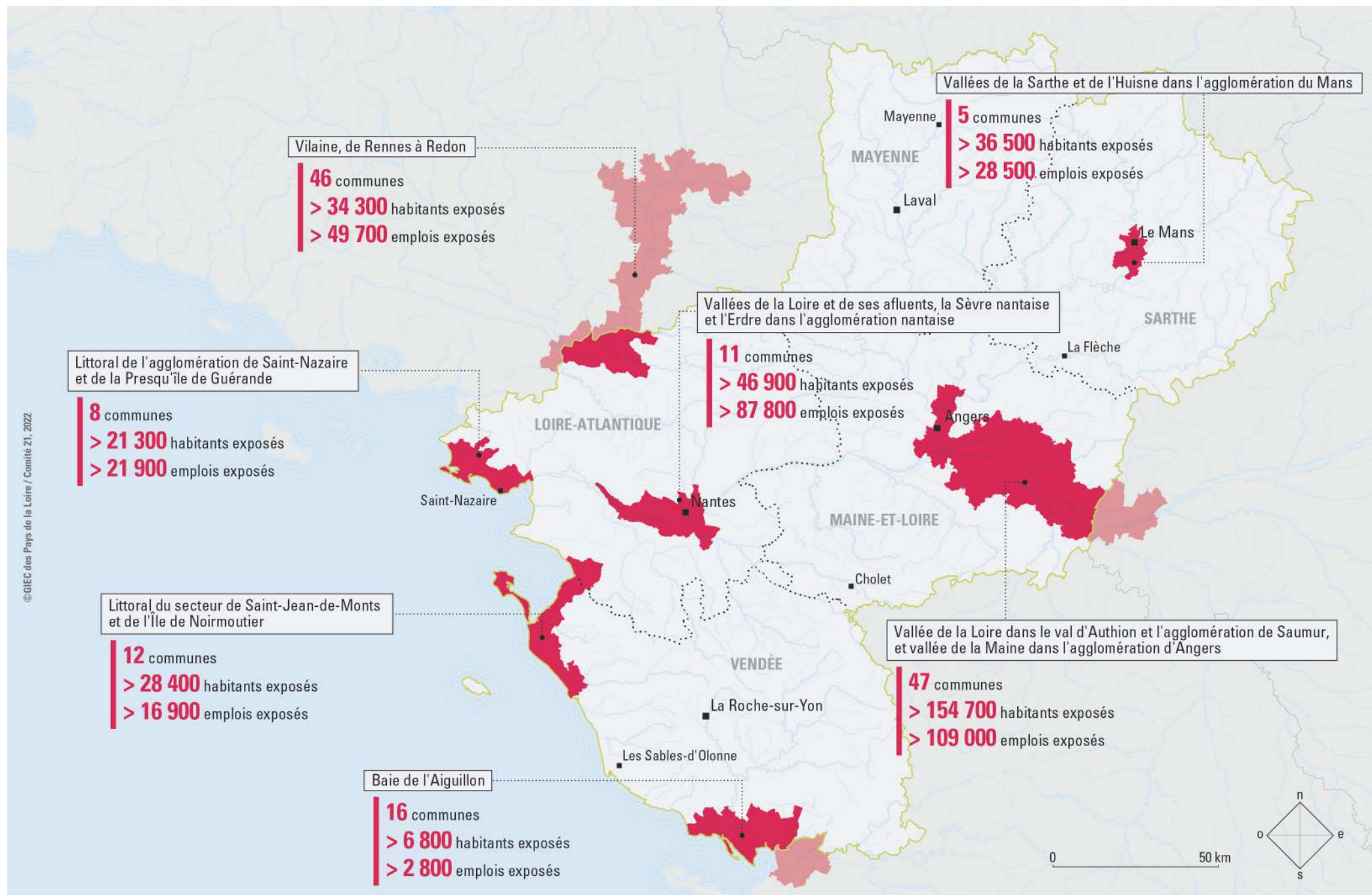




FIG. 14 • TERRITOIRES À RISQUE IMPORTANT D'INONDATION

Source : Géorisques (2020).



Des sécheresses plus fréquentes, plus intenses et plus longues

Au vu de sa fréquence et de son intensification possible⁴⁵, la sécheresse constitue l'une des conséquences les plus préoccupantes des changements climatiques pour la région, bien que le terme de sécheresse décrive en réalité trois phénomènes distincts : la sécheresse météorologique, qui désigne une période prolongée de précipitations faibles ; la sécheresse agricole, qui renvoie à un niveau d'humidité des sols insuffisant pour les cultures ; la sécheresse hydrologique, qui correspond à un niveau anormalement bas des réserves d'eau disponibles dans les nappes aquifères, réservoirs, lacs et cours d'eau.

Les sécheresses météorologiques sont caractérisées par une période prolongée avec un taux de précipitations en dessous de la moyenne. Aujourd'hui on compte dans la région environ 24 jours de sécheresse météorologique par an, au lieu de 17 jours en moyenne sur la période de référence (1976-2005). Dans la mesure où l'occurrence et l'intensité des sécheresses météorologiques dépendent du changement climatique, leur évolution à l'échelle régionale sera donc liée à celle des émissions mondiales de GES : tandis qu'un scénario de réduction massive épargnerait les Pays de la Loire de changements remarquables (scénario RCP2.6), le scénario RCP8.5, lui, laisse présager une réduction des sécheresses hivernales de 1 jour d'ici à 2050 et une augmentation des sécheresses estivales de 4 jours sur la même période. D'ici à la fin du siècle, l'augmentation pourrait même atteindre 10 jours, portant alors la durée annuelle des sécheresses estivales à 27 jours. En même temps, la région pourrait subir un allongement de la période de sol sec, une diminution des périodes de sol humide et un assèchement croissant des sols en toute saison au point que les records de sécheresse observés à ce jour pourraient devenir la norme dans le dernier quart du siècle. Dans ce cas, la durée des sécheresses hydrologiques augmenterait alors de plus de 20 % sur la même période et, avec elle, l'ampleur de leurs effets. Parmi eux, on peut citer les phénomènes de retrait-gonflement des argiles dont les conséquences matérielles pourront être localement critiques. Déjà, on calcule que d'ici à 2050, les impacts géotechniques des sécheresses pourraient augmenter jusqu'à 25 % en Vendée, en Loire-Atlantique et dans le Maine-et-Loire par rapport à 2008-2018, et de 25 % à 50 % en Mayenne et dans la Sarthe.⁴⁶

Tensions sur l'eau potable

Dans un contexte de changement climatique, l'approvisionnement en eau potable devient bien logiquement un enjeu majeur. Dans la mesure où, pour sa plus grande part, l'eau potable est prélevée dans la Loire et où pour maintenir la qualité de l'eau potable, la température de l'eau ne doit pas dépasser 25 °C, celle du fleuve constitue un facteur déterminant pour l'approvisionnement régional. Or, voilà déjà plusieurs années que la limite est franchie en été.

Dans les prochaines décennies, la température du fleuve pourrait même atteindre ponctuellement 30 °C pendant les mois les plus chauds de l'année.⁴⁷ S'ajoutera alors un second problème puisque les réseaux d'acheminement de l'eau potable sont conçus pour un débit minimum. S'il devient insuffisant, l'eau qui stagne dans les tuyaux soulève alors un enjeu d'insalubrité. Or à la fin du siècle, le débit de la Loire pourrait avoir baissé de 20 % à 50 % par rapport à la période 1971-2000, voire davantage à l'étiage.⁴⁸ Résultat : on pourrait observer dans la région une baisse globale des ressources en eau disponibles de 30 % à 60 % sur la même période, sans même compter la demande agricole supplémentaire prévisible ou celle liée à l'afflux touristique.

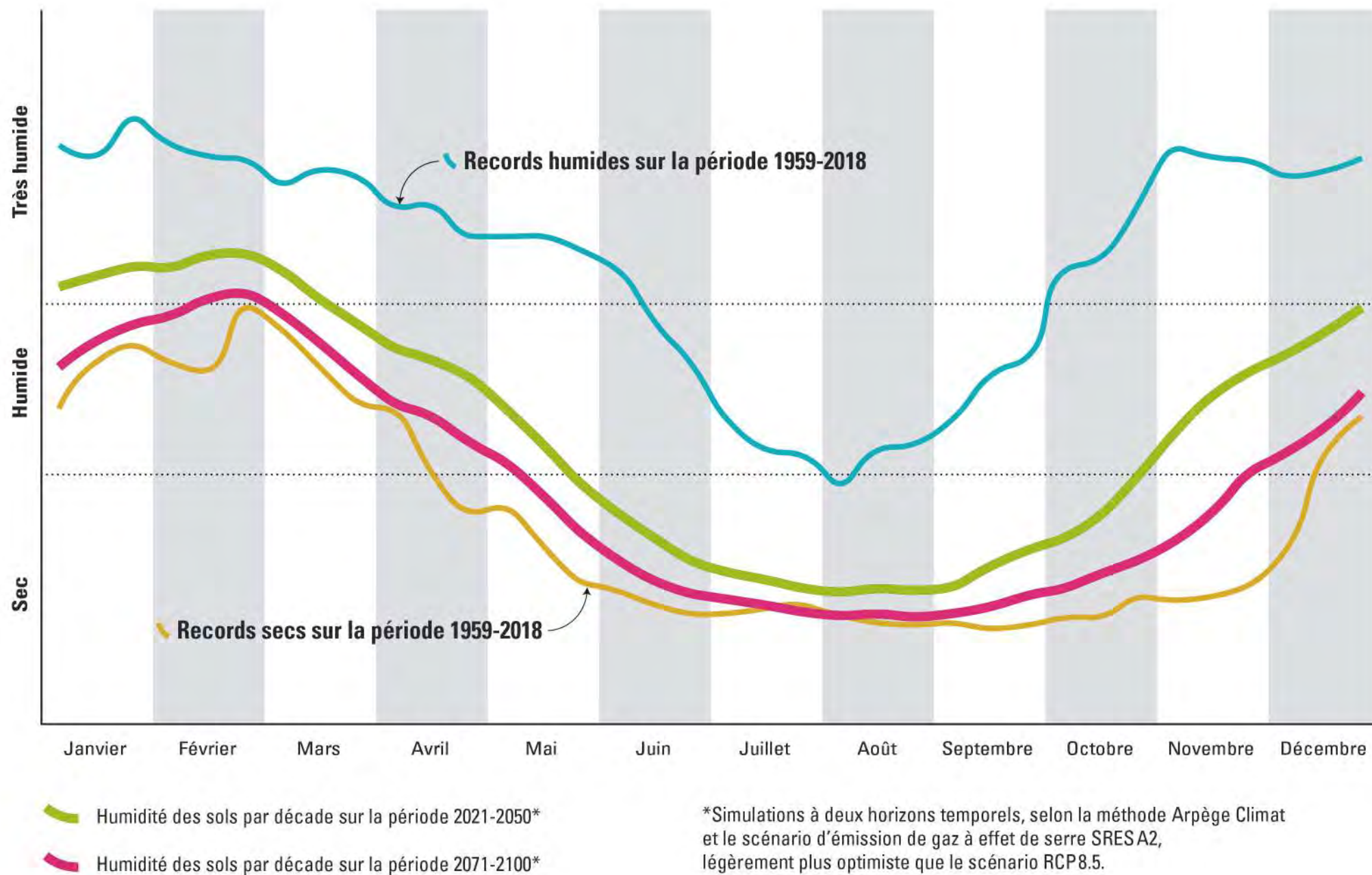
Enfin, avec la baisse du débit de la Loire, la probabilité s'accroît d'une augmentation de la salinité et d'un déplacement du bouchon vaseux dans la zone d'estuaire qui dégraderait alors certaines fonctions écologiques de la zone telles que l'alimentation des poissons et des oiseaux hivernants. En même temps, le phénomène expose à une auto-épuration réduite des eaux estuariennes, ainsi qu'à une augmentation des épisodes d'hypoxie (diminution de la concentration de l'eau en oxygène) également néfastes pour la faune aquatique et la biodiversité locale.

Une pression accrue sur les milieux et les espèces aquatiques

Bien logiquement, l'élévation des températures et les sécheresses concomitantes ont pour effet de pousser à la hausse les prélèvements destinés à l'agriculture, mais aussi à l'industrie, aux loisirs ou aux particuliers. Ce faisant, elles viennent encore amplifier la tension sur les ressources en eau douce. Parallèlement, la détérioration du bilan hydrique des sols et l'élévation de la température de l'eau exposent les milieux et espèces aquatiques à de multiples phénomènes tels que l'altération de la capacité d'auto-épuration des milieux d'eau douce et donc leur eutrophisation, la salinisation de l'eau et donc des terres, l'augmentation de la concentration de polluants, la baisse du niveau d'oxygène, etc. Finalement, c'est donc l'ensemble des conditions d'alimentation, de vie et de reproduction des espèces végétales et animales aquatiques qui se trouvent ainsi dégradées, voire compromises. Or, compte tenu de sa structure hydrogéologique et hydrographique, la région se trouve particulièrement exposée à ces impacts du changement climatique, tout particulièrement les bassins de la Loire aval et les fleuves côtiers vendéens. En estuaire de la Loire, le réchauffement pourrait ainsi affecter les poissons migrateurs comme le saumon atlantique. Lorsque les épisodes d'hypoxie (bouchon vaseux) coïncident avec la période de passage des poissons migrateurs par exemple, l'estuaire de la Loire peut représenter une véritable barrière chimique. C'est notamment le cas pour la dévalaison des juvéniles de saumon atlantique lors des étiages précoces.⁴⁹

FIG. 15 • ÉVOLUTION DE L'HUMIDITÉ DES SOLS

Source : Météo France, 2019.



UN SYSTÈME OCÉANIQUE FRAGILISÉ

Avec un littoral étendu sur plus de 450 km⁵⁰, la région des Pays de la Loire se trouve bien logiquement exposée aux répercussions des changements climatiques sur l'océan mondial telles que son réchauffement, son acidification et sa dilatation. Quoique ne disposant pas de données qui permettent de prendre la mesure de chacun de ces phénomènes à l'échelle des Pays de la Loire, il paraît donc utile d'en rapporter les processus globaux pour mieux anticiper leurs possibles impacts sur la région.

Le réchauffement de l'Atlantique

Globalement, le réchauffement marin a déjà davantage progressé au cours du dernier siècle que depuis la fin de la dernière période glaciaire, il y a environ 11 000 ans.⁵¹ Or, l'océan mondial absorbant la plus grande part de l'excédent de chaleur du système climatique, son réchauffement devrait encore s'amplifier dans les prochaines décennies. On calcule ainsi qu'il absorbera, à minima, deux à quatre fois plus de chaleur d'ici à la fin du siècle qu'entre 1971 et 2015 (scénario RCP2.6), et même 5 à 7 fois plus dans le pire des scénarios (RCP8.5).⁵² Parallèlement, à l'instar des évolutions climatiques terrestres, les vagues de chaleur marines — dont la fréquence s'est déjà accrue ces dernières décennies — deviendront plus nombreuses, plus longues, plus intenses et leurs impacts seront plus étendus et plus marqués.

Quel que soit le scénario, le niveau de la mer continuera de s'élever sur le littoral ligérien d'ici à la fin du siècle.

Abondamment décrit à l'échelle globale, le réchauffement océanique est à ce jour plus difficile à mesurer localement en l'absence de données disponibles pour le littoral ligérien. Cependant, les relevés réalisés au large de la Bretagne et dans le golfe de Gascogne rapportent bien une tendance durable au réchauffement qui, dans le golfe de Gascogne, atteint déjà plusieurs dixièmes de degré.⁵³ C'est pourquoi on peut aussi avancer sans risque que les eaux du littoral atlantique seront affectées par les effets du réchauffement : évaporation amplifiée, acidification accrue, oxygénation diminuée.

L'acidification de l'océan

Accentuée par le réchauffement superficiel, l'évaporation océanique relâche dans l'atmosphère de la vapeur d'eau qui, en contribuant à l'effet de serre, vient accroître le changement climatique. En même temps, l'élévation de la température de l'océan réduit sa capacité d'absorption du CO₂ alors que, justement, les mers constituent un puits de carbone essentiel pour la régulation du climat. Depuis les années 1980 par exemple, l'océan mondial a absorbé 20 % à 30 % des émissions anthropiques globales de CO₂.⁵⁴ Cependant, la transformation du dioxyde de carbone en acide carbonique au contact de l'eau de mer entraîne un phénomène d'acidification qui s'accélère à mesure que le CO₂ augmente dans l'atmosphère. Déjà, on constate que depuis 1980, le pH moyen en haute mer a diminué de 0,017 à 0,027 unité par décennie.⁵⁵ Toujours à l'échelle globale, on estime aussi que l'acidité des océans a augmenté de 30 % depuis l'ère préindustrielle (1850).⁵⁶ Sans réduction importante du CO₂ dans l'atmosphère, l'élévation pourrait même atteindre 170 % à l'horizon 2100. Or quand l'acidité augmente, la biominéralisation des coquilles et structures calcaires devient plus difficile, ce qui impacte certains mollusques et espèces planctoniques. Cette acidification contribue également à la dégradation des infrastructures telles que les éoliennes en mer, les ouvrages de protection et les ponts littoraux.



À ce phénomène, on peut alors ajouter un autre effet de la hausse des températures océaniques qui, en isolant les eaux froides en profondeur, réduit la ventilation et donc l'oxygénation de l'océan mondial. Autrement dit, plus l'eau est chaude, moins elle contient d'oxygène. Depuis 1960 déjà, la quantité d'oxygène dans l'océan a diminué de 2 % par décennie, voire 4 % en périphérie de certaines zones.⁵⁷

La dilatation de l'océan

En plus de ces premiers impacts du changement climatique sur l'océan, celui-ci se trouve également affecté par deux autres phénomènes qui, ensemble, entraînent l'élévation du niveau de la mer : la fonte des glaces et la dilatation thermique. Tandis que le premier est le résultat mécanique de l'élévation des températures qui déverse dans l'océan les masses d'eau douce issues de la fonte des calottes polaires et des glaciers, le second décrit l'effet de la chaleur sur les molécules qui tendent à s'éloigner les unes des autres quand la température s'élève et qui, de ce fait, occupent un volume plus important. Résultat : le niveau moyen des océans a progressé d'une quinzaine de centimètres au cours du dernier siècle dont 9 cm entre 1990 et 2019.⁵⁸

Sur la côte atlantique, le marégraphe de Brest relève pour sa part une élévation d'environ 30 cm depuis les premières mesures (1843), ainsi qu'une accélération du phénomène depuis 1970.⁵⁹ À son tour, le marégraphe de Saint-Nazaire enregistre une hausse de 10 cm entre 1980 et 2019.⁶⁰ Or, quel que soit le scénario, le niveau de la mer continuera de s'élever sur le littoral ligérien d'ici à la fin du siècle : de 38 cm par rapport à la période 1986-2005 en cas de chute rapide des émissions de GES (RCP2.6) ; de 76 cm si le niveau d'émissions de GES devait rester élevé (RCP8.5).⁶¹ Parmi les conséquences de cette élévation du niveau de la mer, on retient notamment : le risque de submersion élevé pour les côtes basses et les espaces rétro-littoraux de faible altitude, voire très élevé en cas de tempêtes ; la surexposition des infrastructures portuaires et des digues, dont la conception et le vieillissement ont été pensés en fonction d'un niveau d'eau donné ; l'augmentation de la salinité de certaines masses d'eau douce littorales dont la remontée d'eau saumâtre dans l'estuaire de la Loire est un indicateur.

DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES PLUS MARQUÉS, PLUS FRÉQUENTS ET PLUS COÛTEUX

Voilà déjà quelques années que l'on vérifie partout dans le monde que le changement climatique modifie ensemble la fréquence, l'intensité, l'étendue et la durée des phénomènes météorologiques extrêmes dont il peut aussi porter la gravité à des niveaux sans précédent. Déjà, on relève que le nombre total de catastrophes naturelles a presque doublé depuis vingt ans passant de 3 660 entre 1980 et 1999 à 6 701 pour la période 2000-2019.⁶² Dans les prochaines décennies, en plus des risques accrus de submersion, vagues de chaleur, sécheresses et gels intempestifs déjà évoqués, la région des Pays de la Loire devra faire face aux coûts, de plus en plus élevés, des événements extrêmes tels que tempêtes et feux de forêt.

Un risque accru d'inondation et de submersion

Avec un relief très faible, un réseau hydrographique très développé et des terres littorales situées au-dessous du niveau de la mer, le territoire des Pays de la Loire se trouve profondément exposé aux risques d'inondation, plus particulièrement dans les zones fortement artificialisées, telles que les grandes aires urbaines et la bande littorale. Sur les dernières décennies, les dommages constatés lors d'événements exceptionnels indiquent que les territoires les plus exposés au risque d'inondation (mesuré à l'aune des dommages assurés annuels) correspondent à deux zones : celle qui fut lourdement affectée par la crue de 1995 dans le bassin de la Maine et celle qui fut touchée par la tem-

*Les Pays de la Loire
devront faire face aux coûts
de plus en plus élevés
des événements extrêmes
tels que les tempêtes
et les feux de forêt.*

pête Xynthia sur la côte atlantique. Si l'on s'en tient au nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle inondation, les communes les plus touchées sont celles qui sont situées le long des cours d'eau de la région. Cependant, d'autres zones se trouvent aussi exposées aux inondations, notamment sous l'effet du ruissellement et du débordement des réseaux de collecte des eaux pluviales.

Des tempêtes au bilan aggravé

Quoique les tempêtes soient souvent associées au changement climatique, il n'est pas possible à ce jour d'établir une corrélation entre leur fréquence et leur intensité avec l'évolution globale du climat. Cependant, compte tenu de la forte exposition du littoral des Pays de la Loire aux vents et de l'étendue de ses zones basses côtières, on sait que la région figure parmi les plus vulnérables au phénomène météorologique. Une surexposition dont Xynthia a donné une mesure dramatique en 2010 avec 47 décès en France, dont 29 rien qu'à La Faute-sur-Mer (L'Aiguillon-la-Presqu'île, Vendée)⁶³ et 2,5 milliards d'euros de dégâts matériels.⁶⁴ Or, en plus d'un traumatisme collectif important, la catastrophe historique laisse à la région un bilan économique et environnemental majeur, qui souligne la nécessité de repenser l'aménagement du littoral pour renforcer sa capacité à faire face au risque de submersion déjà accru par le réchauffement climatique et exacerbé en cas de tempêtes.

FIG. 16 • VULNÉRABILITÉ DES COMMUNES LIGÉRIENNES AUX SUBMERSIONS MARINES

Source : Elie Chevillot-Miot (2014).

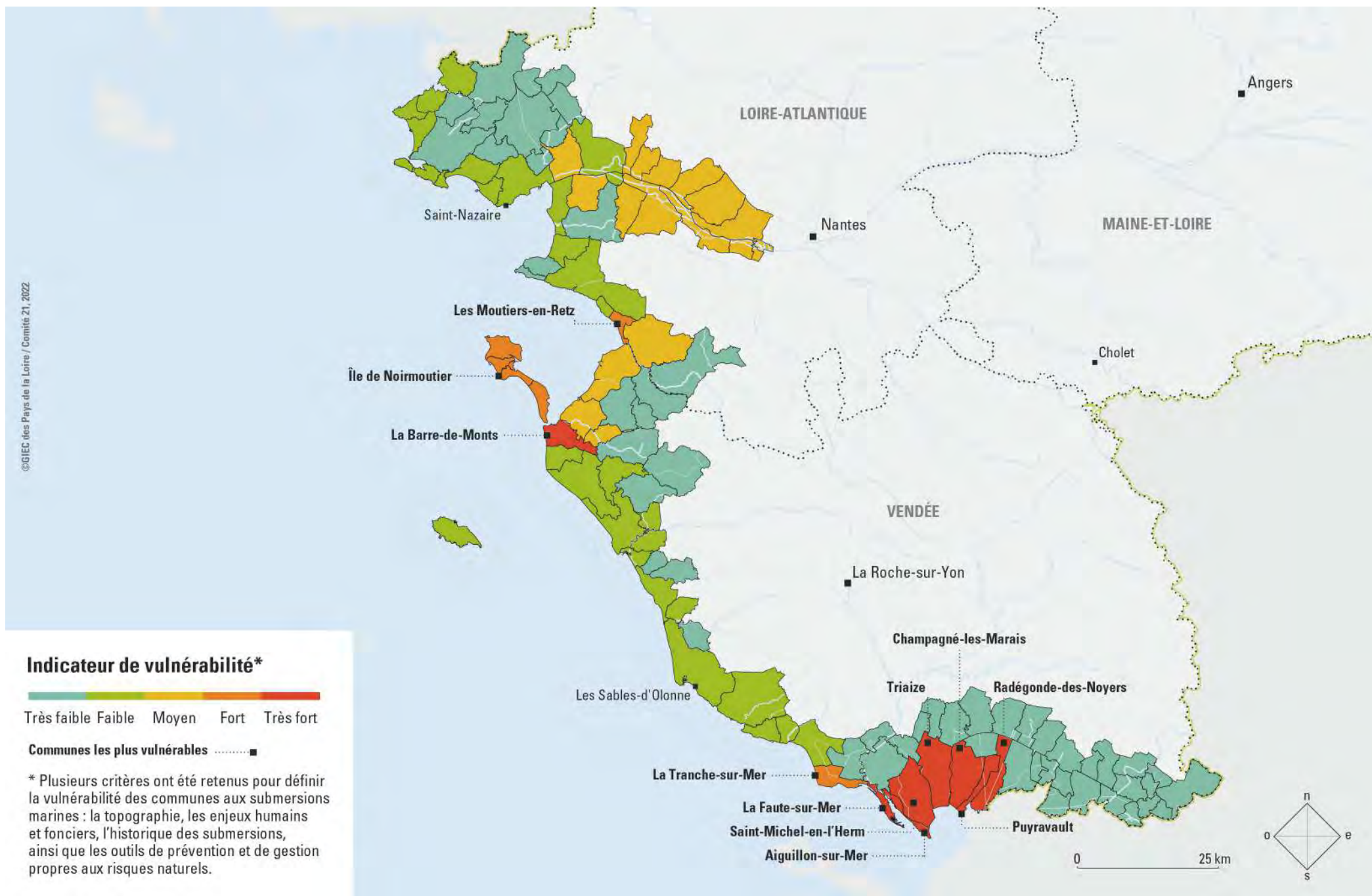
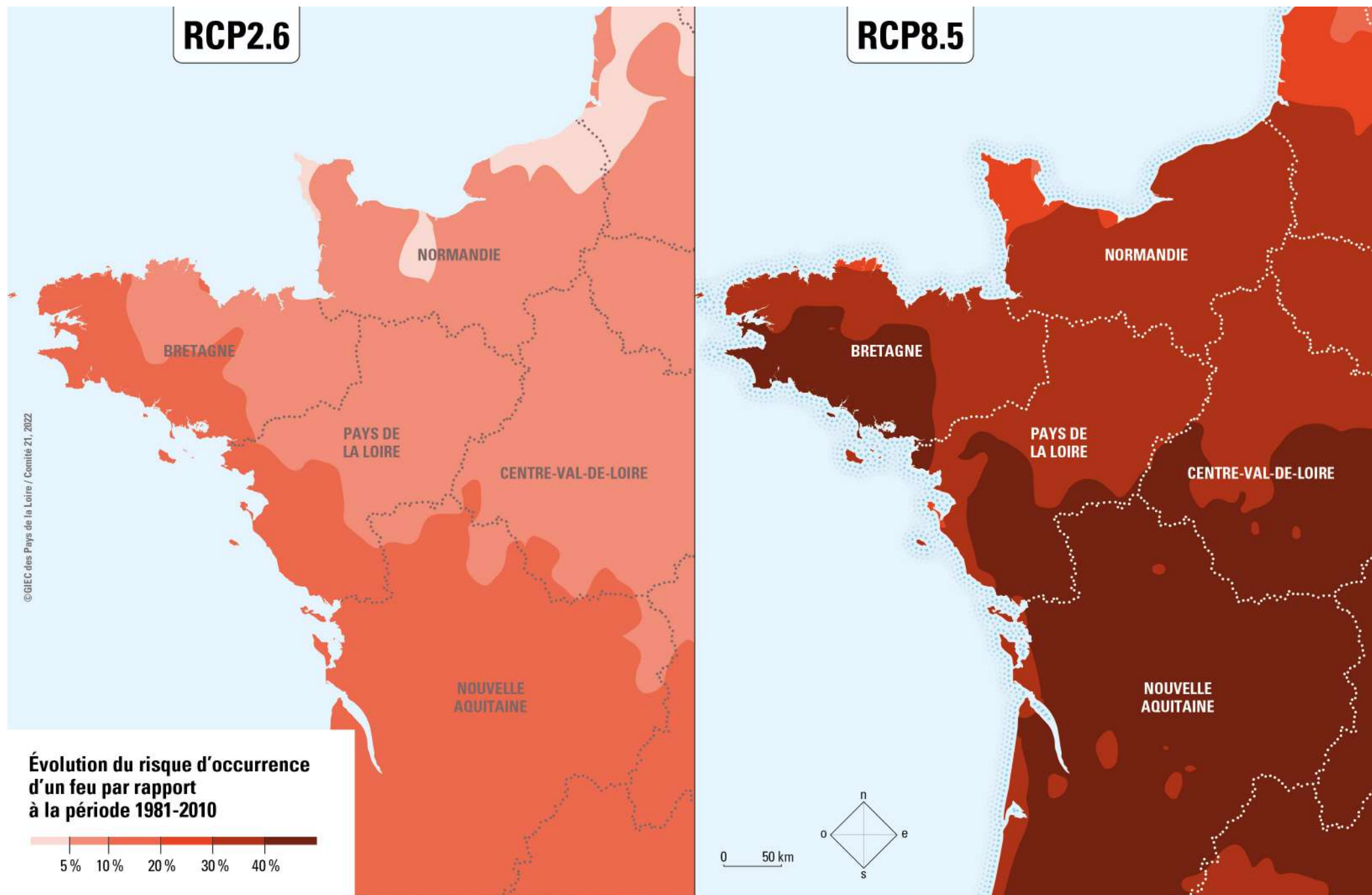


FIG. 17 • ÉVOLUTION DES RISQUES DE FEUX D'ICI À LA FIN DU XXI^E SIÈCLE

Sources : Joint Research Centre of the European Commission (JRC), Projections of Fire Weather Index (PESETA III), IGN (2019).



Une exposition plus marquée aux incendies

Parmi les conséquences régionales des phénomènes de sécheresse, la progression du risque d'incendie n'est pas la moindre. En réduisant la quantité d'eau contenue dans les sols et en favorisant la transpiration des plantes, le changement climatique facilite les départs de feu. Or, comme le changement climatique allonge et amplifie la période annuelle à risque, il accroît l'exposition des massifs forestiers aux incendies. Selon une étude menée en 2010, la part des surfaces sensibles, qui s'élève à environ un tiers des surfaces forestières métropolitaines, pourrait atteindre 50 % dès 2050.⁶⁵

Si le risque d'incendie est plus marqué dans le sud de la France, il s'étend aussi significativement vers le nord du pays, notamment dans les Pays de la Loire. À l'échelle de la région, on observe déjà une progression du nombre d'incendies et des superficies touchées : 130,8 ha brûlés entre 2006 et 2010 ; 359,6 ha entre 2011 et 2015 ; 382,9 ha entre 2016 et 2020.⁶⁶ Avec 118 000 ha de forêt, la Sarthe est le département le plus vulnérable et l'un des plus sensibles de la région. De 2012 à 2017, on y a dénombré 27 incendies en moyenne chaque année.⁶⁷

Dans les Pays de la Loire, d'ici à la fin du siècle, on calcule que le risque de feux de forêt pourrait progresser de 20 % à 30 % sur la côte atlantique, dans le scénario d'une hausse des températures limitée à 2 °C (RCP2.6). Cependant, si celle-ci devait dépasser 4 °C, les risques de feux de forêt augmenteraient alors de plus de 40 % sur la majeure partie du territoire.

Des sinistres de plus en plus coûteux

Selon une étude publiée en octobre 2021 par la Fédération française des assurances, le coût des sinistres liés aux catastrophes naturelles en France devrait passer de 69 milliards d'euros sur la période 1989-2019 à 143 milliards d'euros sur la période 2020-2050. Dans le détail, cette augmentation est liée aux sécheresses, dont le coût pourrait tripler et atteindre 43 milliards d'euros en cumulé d'ici à 2050 ; aux inondations, dont le prix pourrait augmenter de 81 % et atteindre 50 milliards d'euros en cumulé à l'horizon 2050 ; aux submersions marines, qui conduiraient à une augmentation de 4 milliards d'euros des sinistres cumulés d'ici à 2050 ; aux tempêtes, dont la facture pourrait progresser de 46 % d'ici au milieu du siècle et atteindre alors 46 milliards d'euros en cumulé.⁶⁸ Comme la région est exposée aux quatre catégories de catastrophes, elle est donc aussi particulièrement concernée par l'augmentation du coût des sinistres.

Au total, le montant des dommages assurés pour les inondations et submersions marines dans les Pays de la Loire s'élève à 19 millions d'euros par an sur la période 1995-2016 alors que les pertes moyennes modélisées — qui tiennent compte de la probabilité de survenance d'événements majeurs — s'élèvent pour leur part à 38 millions d'euros par an sur la même période.⁶⁹ Cependant, on a aussi pu vérifier à l'échelle nationale sur la période 1996-2016 que les dispositifs de prévention des inondations permettent de contenir significativement la croissance des dommages qu'elles causent.

D'ici à 2050 par exemple, les dommages dus aux inondations par débordement, dont l'augmentation ne devrait pas dépasser 50 % en Mayenne par rapport à 2008-2018 pourraient progresser de 50 % à 75 % dans le Maine-et-Loire et la Sarthe, et même de 100 % à 150 % en Vendée et en Loire-Atlantique. De la même façon, les dommages dus aux inondations par ruissellement devraient augmenter de 100 % à 150 % partout dans la région, et même de plus de 150 %.⁷⁰

AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

LA MESURE DES CHOIX

Comme l'aménagement du territoire définit à la fois l'affectation des sols, les formes urbaines, l'intensité des mobilités et l'implantation des ouvrages, il constitue tout autant un déterminant de la lutte contre l'effet de serre qu'un indicateur de vulnérabilité du territoire aux changements climatiques. Compte tenu de ses spécificités et de leurs impacts, l'aménagement des Pays de la Loire est à ce titre exemplaire du lien fort et réciproque qui lie les territoires et les changements climatiques.



UN ÉLÉMENT-CLÉ DE LA PLANIFICATION TERRITORIALE

Réputée pour la qualité de vie qu'elle offre à ses habitants (habitat dispersé, usine à la campagne) et néanmoins marquée par la polarisation des populations et des activités dans les grandes agglomérations et sur le littoral, l'organisation du territoire ligérien se distingue aussi par un niveau très élevé d'accaparement des sols naturels et agricoles au profit du développement urbain et routier. Ensemble, l'artificialisation des sols, le recul des espaces arborés et des haies, la construction de zones résidentielles pavillonnaires et les mobilités routières contribuent largement aux émissions régionales de GES. En même temps, l'étalement urbain fragilise la biodiversité et accélère le recul des espaces agricoles et naturels dont la préservation est une composante essentielle de la capacité d'adaptation du territoire.

À leur tour, les impacts des changements climatiques dans la région sont, pour une grande partie, directement liés à la structure du territoire et à son aménagement : tandis que les zones d'habitat littorales se trouvent doublement exposées à l'érosion côtière et au risque de submersion, les phénomènes de retrait-gonflement des argiles, eux, fragilisent les habitats et les voies de communication dont dépend fortement l'économie régionale. Pour sa part, le phénomène de surchauffe en milieu urbain menace d'accentuer les effets

*L'aménagement
de la région constitue à la fois
un déterminant de sa contribution
à l'effet de serre et un indicateur
de sa vulnérabilité
aux changements climatiques.*

des vagues de chaleur sur l'organisme pendant que le risque accru de ruissellement lié aux phénomènes combinés d'artificialisation des sols et de fortes précipitations expose les systèmes d'assainissement à la saturation et donc les écosystèmes aussi au risque de pollution. Enfin, il est maintenant établi que le vieillissement des infrastructures (ponts, quais, digues) est affecté par le changement climatique (CO₂, montée des eaux, débit des rivières...).

Ainsi, les prochains choix d'aménagement gageront l'avenir de la région et de ses habitants : en contribuant à réduire leur contribution collective à l'effet de serre ; en réduisant l'exposition de la région aux changements climatiques ; en facilitant l'adaptation des territoires et des populations aux impacts des dérèglements climatiques, par des aménagements adaptés et un déplacement des zones habitées pour lesquels le risque augmente, tout en préparant les habitants à ces mutations.



UN NIVEAU ÉLEVÉ DE SOLS ARTIFICIALISÉS

Dans les Pays de la Loire, l'artificialisation des surfaces progresse plus vite que la population et l'activité économique. Déjà, avec 11,2 % des sols ligériens artificialisés en 2018, la région se place sensiblement au-dessus de la moyenne française (9 %).⁷¹ Sachant que le taux d'artificialisation croît plus rapidement dans la région qu'ailleurs dans l'Hexagone (Île-de-France et Bretagne exceptées), on calcule que le volume des sols confisqués aux espaces naturels et à l'agriculture pourrait y atteindre 55 000 ha supplémentaires d'ici à 2050.⁷²

Pourtant, c'est un autre scénario qu'il conviendra d'écrire pour pouvoir atteindre l'objectif national de « zéro artificialisation nette ». C'est la raison pour laquelle il est indispensable d'envisager les choix d'aménagement de la région à la lueur des enjeux auxquels ils doivent répondre, mais aussi de l'artificialisation des sols qu'ils engagent.

Le facteur démographique

Héritée de modèles anciens et modifiée par des pratiques récentes, l'organisation des Pays de la Loire se distingue par son étalement résidentiel et sa polarisation économique et urbaine. Or ces caractéristiques renvoient toutes deux au modèle d'aménagement privilégié pour répondre à la croissance démographique et au dynamisme économique que la région connaît depuis plusieurs décennies.

De 1968 à 2018, on compte par exemple que le nombre de logements a plus que doublé dans les Pays de la Loire.⁷⁵ En même temps, on observe que le nombre de résidences principales y a augmenté deux fois plus vite que la population soulignant ainsi l'impact, sur le territoire, du recul de la taille des ménages. De la même façon, la préférence régionale pour l'habitat individuel qui, en 2018, représente 71 % de logements dans la région

*Depuis vingt ans,
les terres artificialisées
dans la région ont globalement
progressé deux fois plus vite
que la population.*

au lieu de de 56 % dans l'Hexagone, vient accentuer la pression sur les sols.⁷⁶ Au vu de l'attractivité de la région où l'on attend 590 000 habitants supplémentaires d'ici à 2050⁷⁷, le risque d'accaparement des espaces naturels et des terres agricoles pour des usages urbains reste donc très élevé. C'est d'ailleurs ce que l'on observe dès aujourd'hui dans les villes moyennes et la lointaine périphérie des grandes agglomérations ligériennes où le processus d'artificialisation des terres connaît ses plus forts taux de croissance. Un constat qu'il convient d'associer au taux de logements vacants particulièrement faible dans la région. Sur ce point, le cas de Nantes est emblématique.

C'est aux abords de la capitale régionale que la situation est en effet la plus tendue : alors que l'aire métropolitaine absorbe un tiers des nouveaux logements construits dans la région⁷⁸, la hausse des prix du foncier en centre-ville et la disponibilité réduite de logements existants ou vacants déporte une part de plus en plus grande des habitants dans les communes périphériques où les familles désireuses d'acquérir un logement individuel convergent désormais en grand nombre. Ce faisant, elles génèrent à leur tour un besoin accru de services et de mobilités qui accentuent l'étalement urbain au détriment des terres agricoles.

Bien que la demande de résidences principales dans les agglomérations constitue ainsi un facteur important d'artificialisation des sols, il convient de lui associer la construction de résidences secondaires et occasionnelles dont la progression continue fait écho à l'attractivité du territoire. Situées pour les deux tiers sur la zone littorale et de type individuel pour 69 % d'entre elles, on retient de ces résidences qu'elles sont pour plus de la moitié la propriété de personnes résidant hors de la région.⁷⁹ Un ratio important qui, pour partie, permet d'expliquer une progression globale des terres artificialisées depuis vingt ans deux fois plus rapide que celle de la population.

Le facteur économique

Qu'il s'agisse de lotissements périurbains ou de résidences secondaires sur la côte atlantique, le développement de l'habitat dans la région y stimule dans tous les cas le développement concomitant d'infrastructures de transport, d'équipements divers et de zones d'activités économiques. Ainsi, l'artificialisation des terres se trouve largement amplifiée, bien au-delà des taux de croissance démographique. Entre 2006 et 2011 par exemple, le rythme de croissance des parcelles à vocation économique était partout supérieur à celui des parcelles à vocation résidentielle. On compte d'ailleurs que dans la région, un quart des zones dédiées à l'activité économique a été créé après le début des années 2000. Résultat : début 2016, les 900 zones que compte la région occupaient déjà 1 % de sa surface en dehors des centres-villes.

Dans le détail, quand on rapporte la superficie de ces espaces au nombre d'emplois qu'ils ont créés ou absorbés, on obtient des ratios très variables, allant de 22 emplois à l'hectare pour les zones plus anciennes situées à la périphérie des grandes villes, à seulement 8 à 10 emplois par hectare pour celles, plus petites, qui ont été créées dans les années 1990 et 2000.

ARTIFICIALISATION DES TERRES : UNE DÉFINITION COMPLEXE

Les notions de « sols artificialisés » et d'« artificialisation des sols » désignent respectivement des modes d'occupation et des changements d'affectation des sols spécifiques. Introduites à la fin des années 1990, pour qualifier les causes des pertes de terres agricoles, elles permettent aujourd'hui de traduire les évolutions de l'usage des sols en termes statistiques.

En amont, l'artificialisation des sols désigne ainsi le processus qui retire les surfaces de leur état naturel (friche, prairie naturelle, zone humide, etc.) ou de leurs usages forestier ou agricole. Pour leur part, les espaces artificialisés rassemblent des espaces construits et non construits qui ont la caractéristique commune d'être modelés par l'activité humaine (logements, bâtiments industriels, mais aussi chantiers, carrières, mines, décharges, parkings, etc.) et qui incluent également les espaces verts associés à ces usages (parcs et jardins, équipements sportifs et de loisirs...). En France, le niveau d'artificialisation s'établit à 9 % du territoire métropolitain en 2018.⁷³ Selon les termes du gouvernement, « l'artificialisation des sols, conséquence directe de l'extension urbaine et de la construction de nouveaux habitats en périphérie des villes, est aujourd'hui l'une des causes premières du changement climatique et de l'érosion de la biodiversité ».⁷⁴

La prise de conscience de l'urgence de préserver les sols a conduit à la publication du « plan biodiversité » puis, en 2021, de la loi « Climat et résilience ». Dans cette dernière, l'article 192 définit l'artificialisation des sols comme « l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage ». Cette définition s'ajoute à celle de la consommation d'espaces, qui correspond à la conversion d'espaces naturels, agricoles ou forestiers en espaces urbanisés.

FIG. 18 • ARTIFICIALISATION DES SOLS AUTOUR DES MÉTROPOLES ET SUR LE LITTORAL

Sources : Banque des Territoires (2021), INSEE (2022), Cerema (2018).

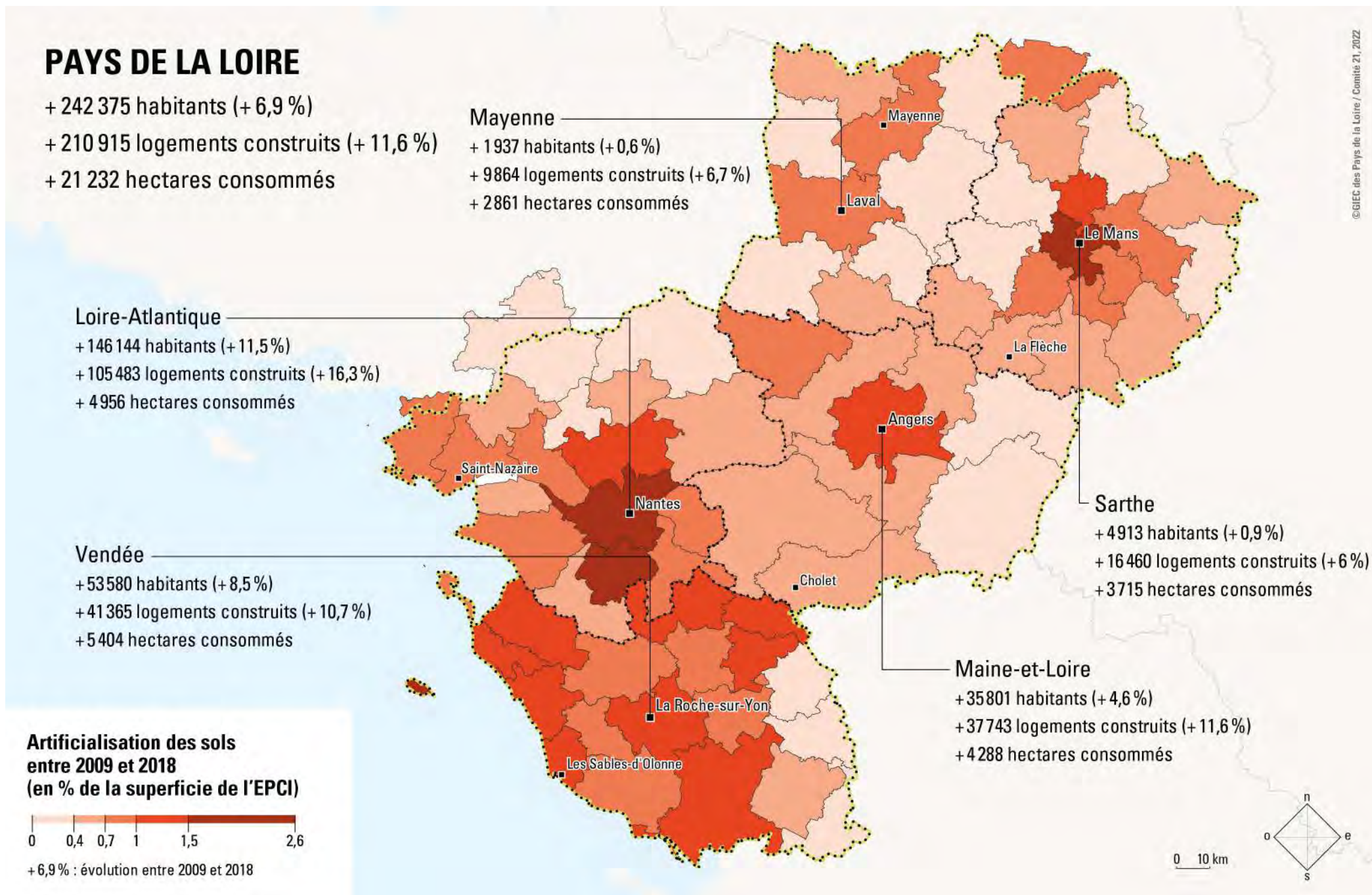
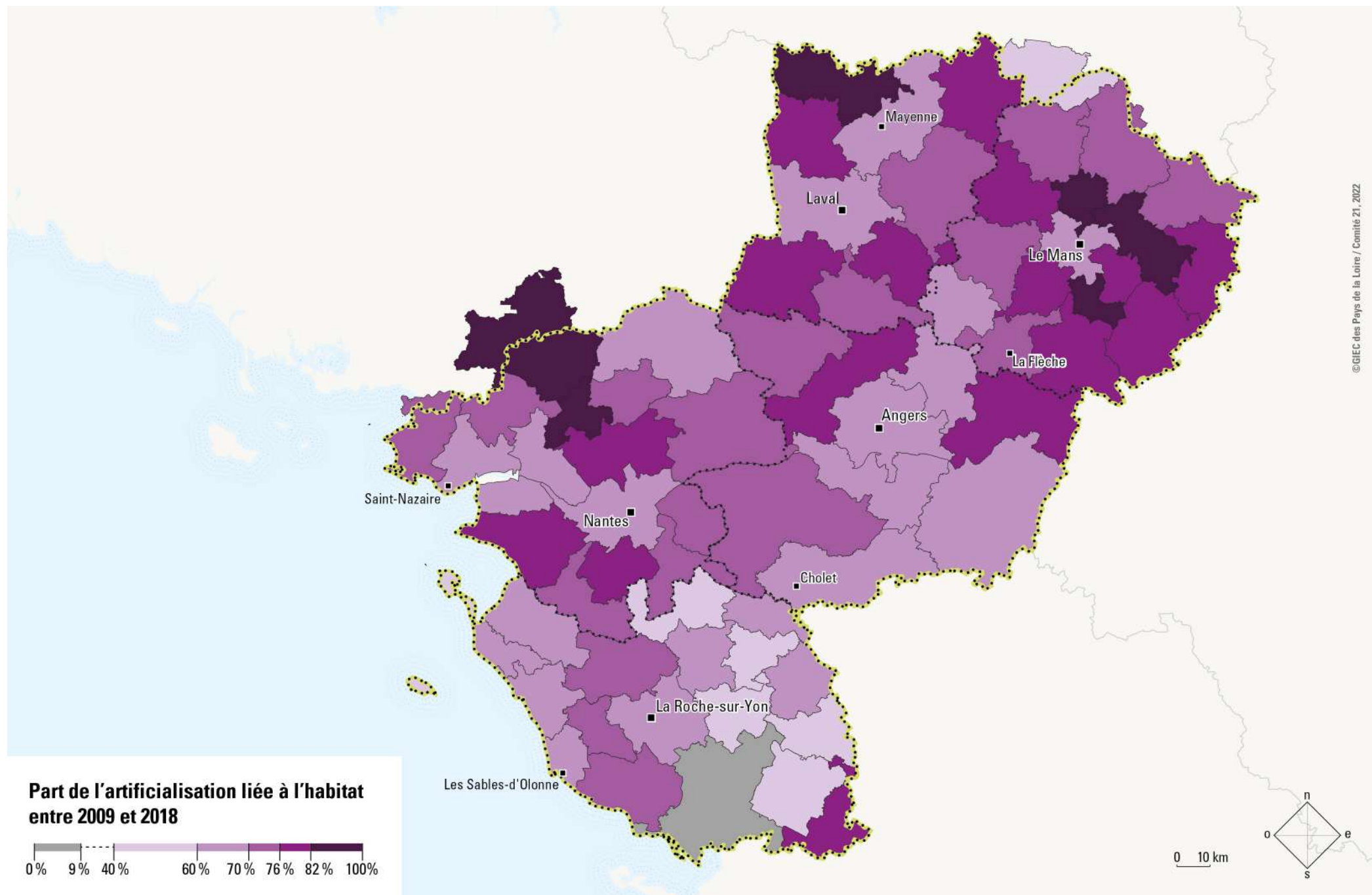


FIG. 19 • PART DE L'HABITAT DANS L'ARTIFICIALISATION DES SOLS

Sources : Observatoire de l'artificialisation des sols, Plan Biodiversité (2019), INSEE/RP (2009, 2017).



Le facteur transport

D'abord lié à la dispersion de l'habitat dans la région, puis à l'étalement urbain et au redéploiement des activités économiques sur le territoire et enfin au changement d'habitudes que l'équipement automobile induit lui-même, le développement des infrastructures de transport constitue à son tour un vecteur important des dynamiques territoriales des Pays de la Loire où elles contribuent doublement à l'artificialisation des sols : de façon directe, par leur emprise sur les terres agricoles et zones naturelles, soit environ un quart de la surface régionale artificialisée en 2015 ; de façon indirecte, en facilitant l'accès à des zones de plus en plus éloignées des centres-villes, les rendant ainsi plus attractives.⁸² *In fine*, le développement des infrastructures de transport dans les Pays de la Loire contribue donc à y amplifier ensemble le fret et les déplacements individuels, tant en termes de distances parcourues qu'en nombre de trajets.

Les mobilités individuelles

Alors qu'en 2008, les habitants des Pays de la Loire réalisaient 13,7 km en moyenne pour aller travailler, ils parcouraient 15,1 km en 2016, voire 18 km pour les résidents des couronnes périurbaines.⁸³ Un chiffre élevé qu'il convient aussitôt d'associer à la part — importante et croissante — des habitants de la région qui travaillent hors de l'intercommunalité dans laquelle ils résident : 36 % en 2016.⁸⁴ À son tour, le nombre de déplacements réalisés chaque jour dans la région affiche une progression soutenue qui fait écho à la dé-densification urbaine et à l'éloignement de l'habitat des zones d'emplois et des cœurs de villes, notamment autour d'Angers et de Nantes. Autrement dit, et paradoxalement, en rendant les mobilités plus fluides, l'amélioration des infrastructures de transport a moins contribué à réduire le temps de déplacement qu'à allonger les distances parcourues, plus particulièrement en voiture.

Avec la fréquence des déplacements et la distance moyenne parcourue par les habitants de la région, c'est en effet la prédilection pour la voiture qui ressort ensuite. En 2017 par exemple, 84 % des personnes qui se déplacent pour rejoindre leur lieu de travail utilisent la voiture.⁸⁵ De la même façon, en moyenne, 67 % des actifs utilisent leurs voitures pour effectuer des trajets inférieurs à 5 km (du domicile au travail).⁸⁶ À ces deux chiffres, on peut aussi associer le taux de motorisation des ménages particulièrement élevé dans la région, où 86,8 % des foyers disposent d'un véhicule et où 40 % en possèdent même deux.⁸⁷ On n'est donc guère surpris d'apprendre que dans les Pays de la Loire, 90 % des actifs sont seuls dans leur voiture quand ils se rendent sur leur lieu de travail.⁸⁸

En faisant exception à cette règle, les habitants des grands pôles urbains soulignent à leur tour le rôle prépondérant de l'offre de transports en commun dans le choix des mobilités individuelles. Globalement d'ailleurs, il est important de souligner que leur fréquentation progresse dans la région, plus particulièrement en milieu urbain où la hausse atteint 18 % par habitant entre 2010 et 2017.⁸⁹ Plus récemment cependant, la crise sanitaire et les épisodes de confinement ont introduit de nouvelles pratiques et, avec elles, de nouvelles pistes de réflexion sur les mobilités quotidiennes qu'il sera utile de prendre en compte dans l'orientation des politiques publiques d'aménagement ou d'accompagnement : télétravail partiel, espaces de travail partagés, pistes et stationnement cyclables sécurisés, facilitation du covoiturage, abonnements modulaires.

Le fret

Tout comme pour les déplacements de personnes, la route est aujourd'hui largement prédominante dans les flux logistiques de la région, quelle que soit la catégorie de produits considérée. En 2019 par exemple, le transport routier de marchandises représentait 80 % du volume de fret échangé dans la région.⁹⁰ Un chiffre élevé qui renvoie pour partie au fait que deux tiers du tonnage transporté par la route ne franchissent pas les frontières de la région, voire celles du département pour la moitié du fret. Au total, on compte ainsi que plus de 80 % du transport ligérien de marchandises se fait dans un rayon inférieur à 100 km.

Cependant, l'efficacité d'infrastructures alternatives telles que les oléoducs Donges-Melun-Metz et Donges-Vern-sur-Seiche rappellent que le développement d'infrastructures alternatives de transport de marchandises pourrait permettre de ralentir l'inflation routière dans la région. C'est le cas du rail dont l'usage est particulièrement faible dans les Pays de la Loire au regard de sa part modale en France, mais aussi du nombre d'installations terminales dans la région : alors que l'on comptait par le passé 150 installations embranchées (ITE) sur le territoire ligérien, seuls 20 sites y génèrent encore du trafic ferroviaire de marchandises.⁹¹

Replacé dans un contexte de contrainte climatique, le recul du rail paraît même d'autant plus frappant qu'à masse transportée équivalente, le train émet 14 fois moins de CO₂ par kilomètre qu'un poids lourd.⁹² Pour sa part en revanche, la Loire n'offre qu'une alternative limitée à la route. Si, depuis 2018, le service Flexiloire a permis de mettre en place cinq rotations par semaine dans l'estuaire entre Cheviré et Montoir pour des barges d'une capacité de 860 t, le fleuve, lui, reste trop faiblement navigable pour permettre de développer le transport fluvial dans la région à l'exception du tronçon entre Nantes et Angers.⁹³



UN AMÉNAGEMENT À FORT IMPACT CLIMATIQUE

À tout choix d'aménagement correspond une empreinte énergétique et climatique particulière. Celle des Pays de la Loire n'échappe pas à la règle et renvoie à l'étalement urbain de la région, à son niveau élevé d'artificialisation des sols et au mode de vie de ses habitants.

Le poids des transports

Parce qu'il consomme beaucoup d'énergie, notamment fossile, le secteur des transports est un contributeur important aux émissions régionales de GES : à lui seul, le transport routier en représentait 26 % en 2018, soit 2,15 teqCO₂ par Ligérien.⁹⁴ À cette moyenne correspondent cependant deux tendances opposées. D'un côté, on observe une hausse des émissions de CO₂ du transport routier de 3 % entre 2008 et 2018, que l'on attribue aux effets rebonds du développement urbain : hausse du nombre de trajets effectués et allongement des distances moyennes parcourues. De l'autre, on observe un recul des émissions individuelles à la faveur du gain d'efficacité énergétique des véhicules, de l'intégration croissante des agrocarburants et de la progression des véhicules électriques. Au sujet de ces derniers cependant, au moins quatre autres critères méritent d'être pris en compte dans les choix d'aménagement et de politique des transports. Car si les véhicules électriques permettent effectivement de réduire l'empreinte carbone du transport automobile au-delà de 30 000 km à 40 000 km d'utilisation⁹⁵, d'autres facteurs nuancent ce bilan environnemental, notamment l'exploitation des minerais (cobalt, lithium) nécessaires à leur fabrication.

Avec le transport et le bâtiment, le changement d'utilisation des sols constitue un facteur important du bilan carbone de l'aménagement des Pays de la Loire.

Par ailleurs, le coût du développement des bornes de recharge est à prendre en compte. Dans les Pays de la Loire, il s'élèverait à 2 milliards d'euros pour passer de 1 500 points de recharge ouverts au public en mai 2020 à 100 000 de plus en 2050, si 90 % du parc était alors électrique.⁹⁶

Comme les déplacements automobiles, les émissions des autres modes de transport enregistrent une nette progression dans la région même si, à la faveur de la non-affectation géographique de la plus grande part de l'empreinte carbone du transport maritime et du transport aérien, ils n'y représentent que 1 % des émissions de GES, dont la plus grande part revient au transport maritime (71 %). Sur le plan énergétique cependant, c'est le tramway qui affiche la plus forte augmentation sous les effets cumulés de la progression du trafic à Nantes, de l'ouverture du réseau à Angers en 2011 et de l'ouverture d'une seconde ligne au Mans en 2014. À son tour, portée par un trafic croissant, la consommation d'énergie du transport aérien s'est élevée de 43 % entre 2008 et 2018.⁹⁷

Face à cette augmentation des flux et de leur contribution à l'effet de serre, la mise en œuvre de projets visant à décarboner les transports paraît indispensable pour contribuer à réduire les émissions régionales de CO₂. C'est l'objectif du projet de motorisation hydrogène de l'étoile ferroviaire Mancelle à l'horizon 2030 qui précédera la sortie totale de la SNCF du diesel en 2035. C'est aussi l'ambition du port maritime de Nantes-Saint-Nazaire qui envisage d'utiliser l'hydrogène pour alimenter les navires en escale, les camions et engins de manutention, voire les industries implantées.

FIG. 20 • ÉVOLUTION DES FLUX DE DÉPLACEMENTS

Sources : INSEE (2009, 2018, 2019), Basemis/Air Pays de la Loire (2018), Enquête nationale Mobilité et Modes de vie (2020).

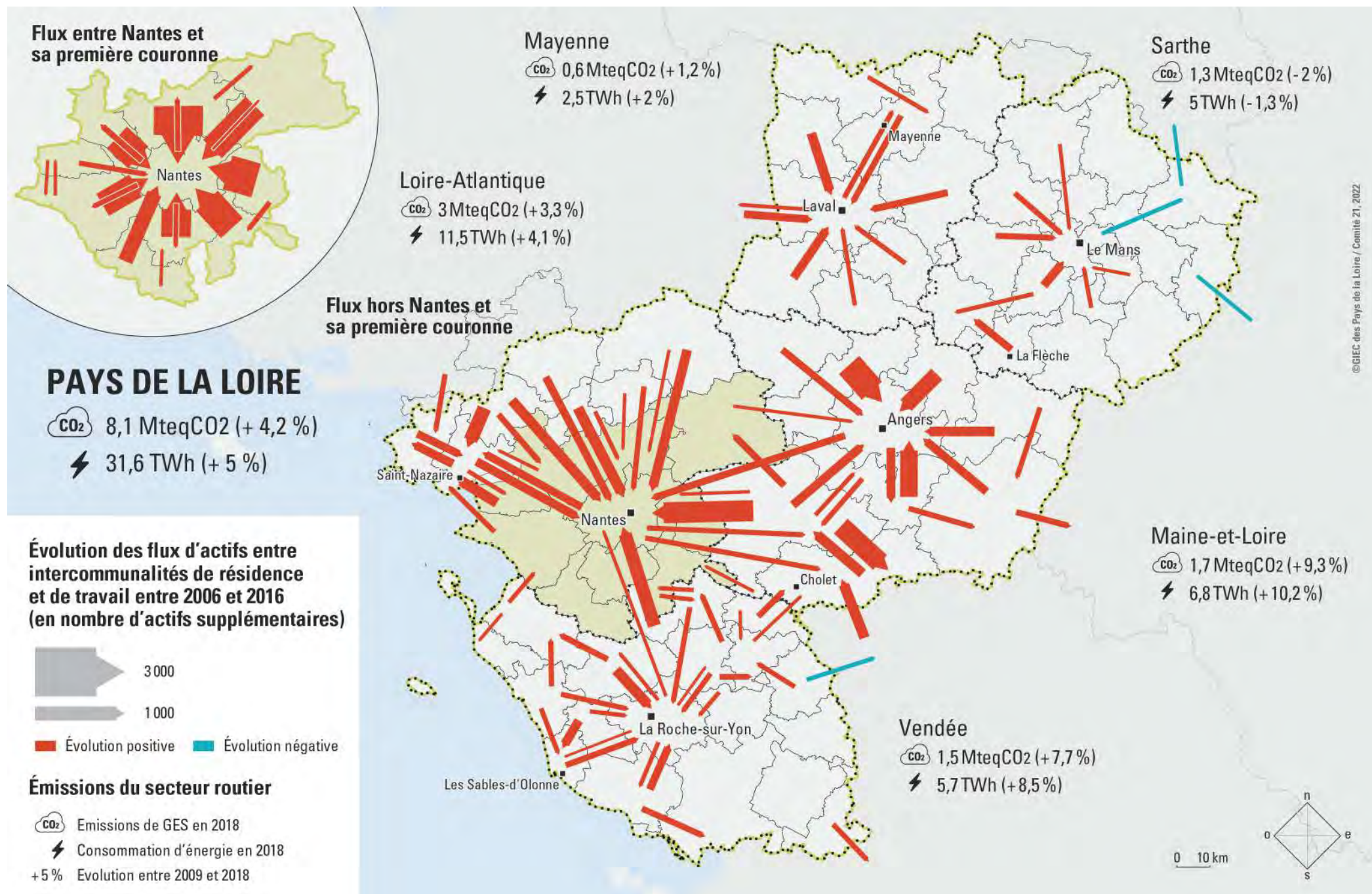
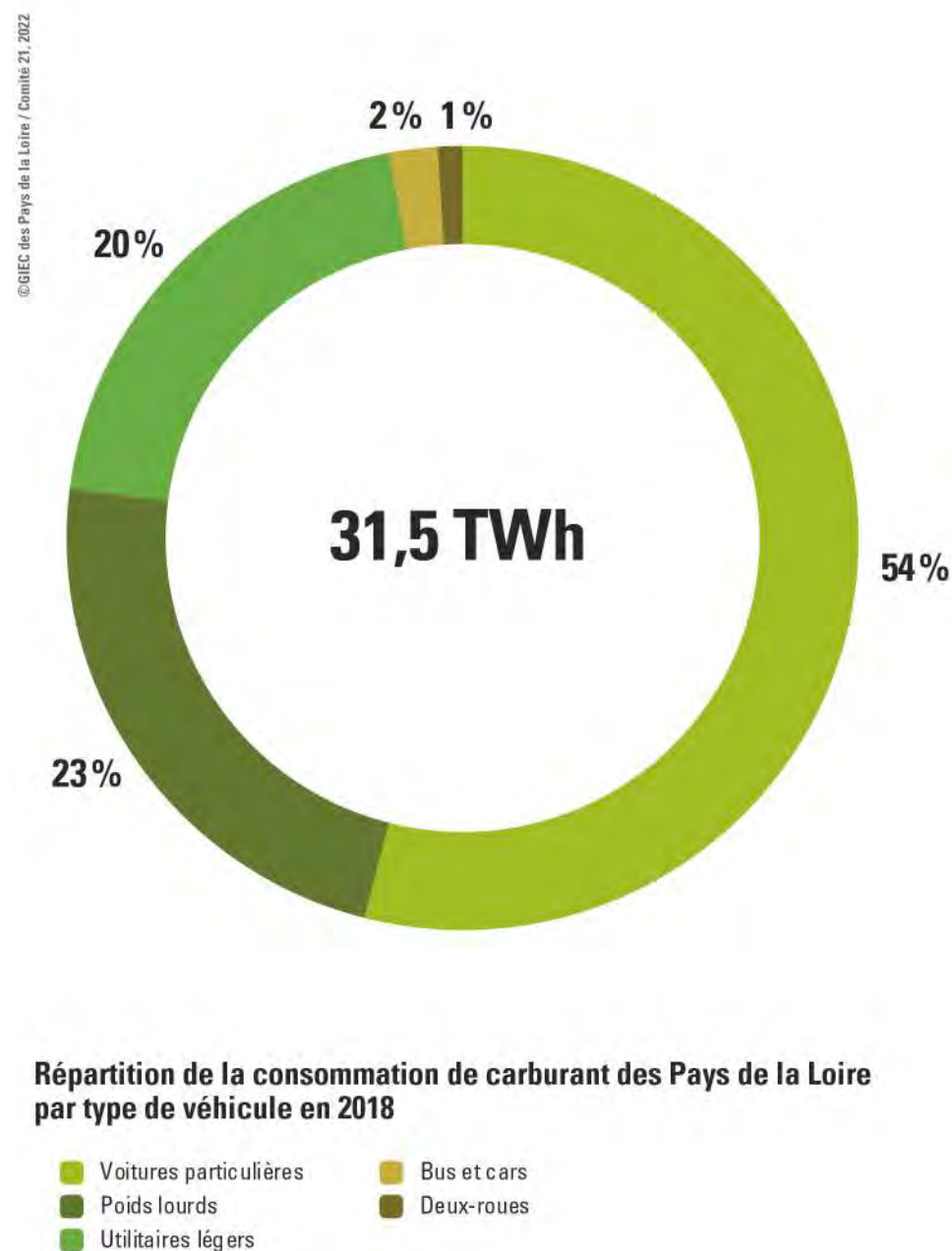


FIG. 21 • CONSOMMATION DE CARBURANTS PAR TYPE DE VÉHICULE

Source : Air Pays de la Loire / Basemis (2019).

**Le poids du bâti**

Globalement, le bâti émet 13,5 % des émissions de GES du territoire dont la plus grande part est liée à l'énergie utilisée pour chauffer les logements : en 2018, ces derniers absorbaient à eux seuls 57 % de la consommation d'énergie du secteur et représentaient 69 % de ses émissions de GES.⁹⁸ Sur la durée cependant, quand on les rapporte au maître-carré de bâti ou à l'habitant, les consommations d'énergie du secteur marquent un fléchissement que l'on attribue notamment à la mise en place de nouvelles réglementations thermiques, au progrès de la performance énergétique des logements et à l'usage d'appareils plus efficaces. De la même façon, les émissions de GES du secteur résidentiel ont reculé de 14 % entre 2009 et 2018 grâce au renouvellement du parc immobilier, à la mise en place de nouvelles normes et à l'usage de vecteurs énergétiques moins carbonés.⁹⁹

Bien qu'elle paraisse importante, la baisse constatée ne suffit pas à compenser les émissions supplémentaires liées aux trajets de plus en plus importants que l'éloignement des nouveaux logements impose quotidiennement à leurs habitants. De la même façon, il convient de souligner que la construction de logements neufs ne permet de renouveler le parc que de 1 % chaque année¹⁰⁰ et que le rythme de rénovation annuelle des logements existants (environ 20 000 par an) reste très insuffisant pour atteindre les objectifs de la stratégie nationale bas carbone. À ce bilan mitigé il convient également d'associer le bilan énergétique médiocre de 60 % des logements de la région en 2018 (classe E, F, G, H) ou encore la situation de précarité énergétique qui touche 21,5 % des ménages dans la région, voire plus de 30 % dans certaines communes de la Sarthe.¹⁰¹

À l'instar du secteur résidentiel, c'est aussi le chauffage qui représente le premier poste de consommation d'énergie des bâtiments du secteur tertiaire, qui regroupe les commerces, les établissements de santé, sociaux et d'enseignement, les bureaux, l'habitat communautaire, l'hôtellerie, les lieux de restauration, loisirs et sport et les bâtiments de transport. Globalement, cette part du bâti qui absorbe 14 % de la consommation d'énergie finale de la région compte pour 5 % de ses émissions de GES. En dépit d'une hausse de 6 % de la consommation d'énergie finale du secteur tertiaire entre 2009 et 2018, les émissions de gaz à effet de serre du bâti du secteur tertiaire ont reculé de 12 % sur la même période¹⁰², notamment à la faveur d'une baisse de la consommation de produits pétroliers, de la multiplication par 4 de la consommation de chaleur et de biomasse, mais aussi des efforts importants qui ont été consentis dans le choix des matériaux ou la conception architecturale des bâtiments. Cependant, il convient aussi de rappeler que la stratégie nationale bas carbone, elle, vise une réduction de 49 % des émissions des bâtiments en 2030 par rapport à 2015, et même une décarbonation complète à l'horizon 2050.¹³





De la même façon, si des solutions de rénovation offrent d'améliorer le confort thermique des logements et bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie, les vagues de chaleur pourraient néanmoins devenir une source d'émissions supplémentaires de gaz à effet de serre avec l'usage accru des appareils de refroidissement d'air. En 2020 par exemple, les systèmes de climatisation rejetaient quelque 4,4 MteqCO₂, soit 5 % des émissions totales du secteur du bâtiment en France.¹⁰⁴

Quant aux bâtiments du tertiaire, ils affichent des taux d'équipement très variables, mais qui pourraient fortement progresser dans les prochaines décennies : c'est par exemple le cas des bâtiments d'enseignement, dont seuls 7 % disposent d'un système de conditionnement d'air.¹⁰⁵ Des perspectives qui soulignent donc l'importance à la fois d'améliorer le dispositif technique pour en réduire l'impact et de mieux intégrer l'exigence de confort thermique d'été dans la conception architecturale des logements et bâtiments. Parmi les autres pistes d'amélioration du bilan carbone du bâti régional, on peut citer la superficie des bâtiments, leur emprise au sol, leur cycle de vie (construction, exploitation, fin de vie) et enfin le choix des matériaux de construction.

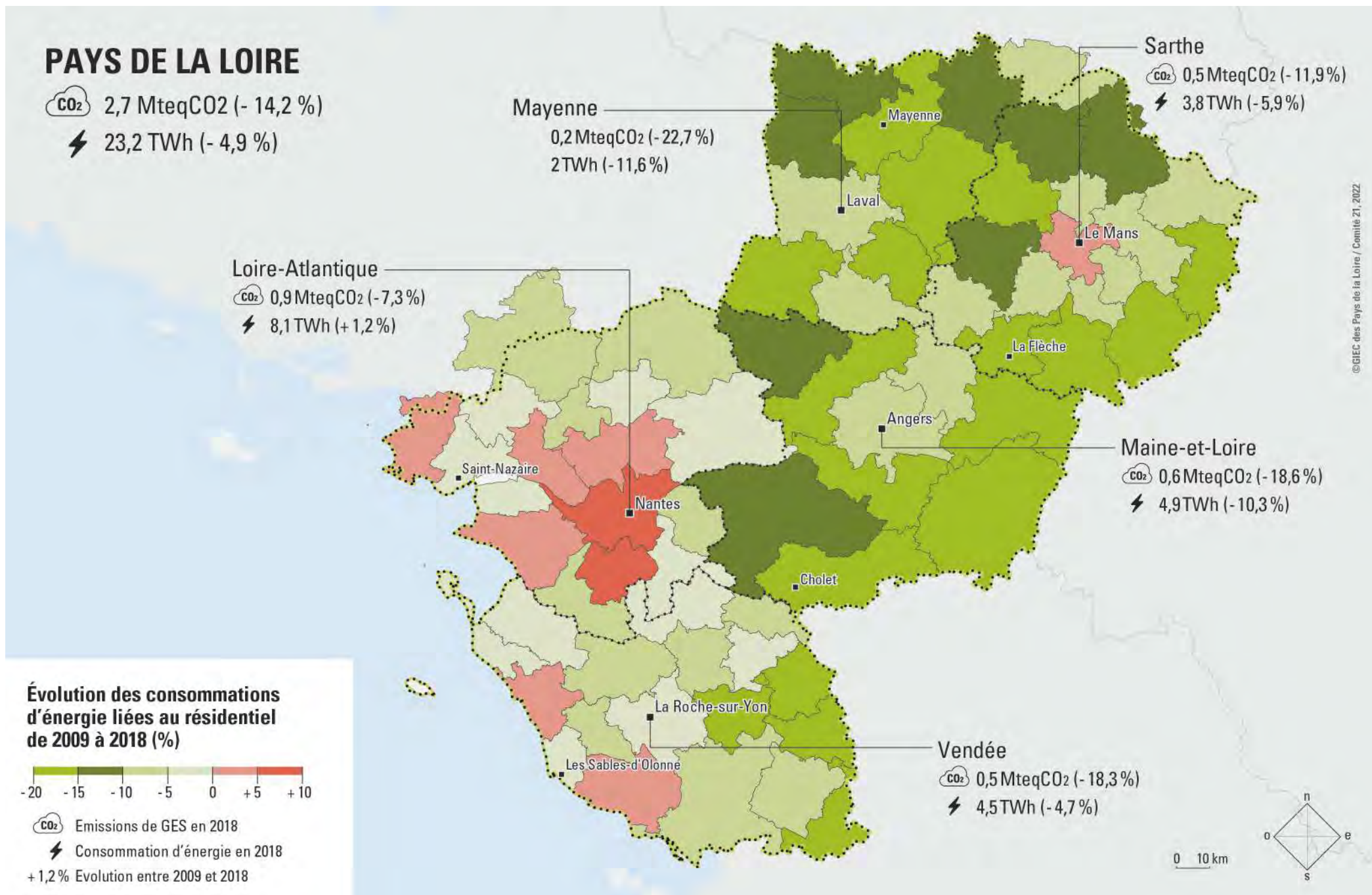
L'usage des terres et de la biomasse

À l'échelle globale, les volumes de carbone séquestrés dans les sols et les forêts sont 3 à 4 fois supérieurs aux quantités de carbone stockées dans l'atmosphère.¹⁰⁶ C'est pourquoi à tout changement d'utilisation des sols correspondent des émissions de CO₂, que ce soit par le déstockage de GES contenus dans les sols, bois mort et sédiments ou par la destruction des puits de carbone (biomasse vivante). En France, on estime que les écosystèmes terrestres constituent un puits annuel net de carbone équivalent à environ 20 % des émissions de GES (chiffre 2015). Cependant, au rythme actuel d'artificialisation des sols, la quantité cumulée de CO₂ déstockée pourrait atteindre d'ici à 2050 l'équivalent de 75 % des émissions de l'année 2015.¹⁰⁷

Avec les secteurs du transport et du bâtiment, l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la forêt (secteur UTCATF) constituent donc un facteur important du bilan carbone de l'aménagement du territoire. À l'échelle des Pays de la Loire, il représente un puits net de carbone qui s'élevait en 2018 à 2,7 Mt de CO₂.¹⁰⁸ À ce chiffre global il convient cependant d'associer deux tendances divergentes : tandis que le développement de la forêt ligérienne entre 2008 et 2018 a permis d'accroître la captation de CO₂ de la région, la progression de la récolte de bois et le niveau de changement d'utilisation des sols y ont, pour leur part, accentué les émissions de GES de 27 % sur la même période.¹⁰⁹

FIG. 22 • ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE LIÉE À L'HABITAT

Sources : INSEE (2009, 2018, 2019), Basemis (2018).



DES INFRASTRUCTURES SOUS PRESSION

À l'instar de nombreuses activités agricoles ou industrielles, les infrastructures affichent un bilan global ambivalent. En amont, elles sont aussi indispensables à la mobilité des personnes et des marchandises qu'à la protection des espaces et des personnes. Autrement dit, elles permettent de réduire la vulnérabilité du territoire et de sa population. En aval, elles contribuent à la détérioration des milieux naturels et sont aussi responsables d'une part importante de la contribution régionale à l'effet de serre. Par conséquent, elles accentuent la vulnérabilité du territoire et de sa population à long terme.

À l'aune des changements climatiques, la politique d'aménagement du territoire invite donc à adopter une approche systémique du rôle des infrastructures.

La surchauffe urbaine

Alors que la composition et les formes urbaines ont un effet avéré sur les températures en ville, les changements climatiques viennent accentuer le phénomène de surchauffe (îlot de chaleur urbain) et, avec lui, l'acuité de la question du confort environnemental des populations citadines. Avec l'élévation marquée des températures en été, la fréquence accrue des canicules et la surmortalité qu'elles entraînent, le niveau des températures estivales dans les villes et les bourgs devient même peu à peu un enjeu de santé publique de première importance, a fortiori en contexte de vieillissement démographique.

Cependant, contrairement à d'autres régions plus méridionales, c'est moins le niveau des températures en période de forte chaleur qui pose un problème de confort thermique dans les Pays de la Loire que le phénomène d'îlot de chaleur qui les amplifie en milieu urbain et que l'on attribue à trois facteurs : l'accumulation thermique dans les matériaux,

En milieu urbain, c'est moins le niveau des températures qui pose un problème que le phénomène d'îlot de chaleur qui les amplifie.

la densité bâtie qui limite la circulation de l'air, l'imperméabilisation des sols qui diminue l'évapotranspiration. À leur tour, d'autres facteurs peuvent alors aggraver le phénomène : les matériaux foncés, les bâtiments vitrés, les tôles, certains bétons, les rejets de climatisation, la chaleur générée par les moteurs thermiques et le refroidissement de moteurs. À l'inverse, la revégétalisation et l'usage de matériaux spécifiques innovants permettent de l'atténuer : tandis qu'en journée, les arbres de haute tige font baisser les températures en produisant de l'ombre et de l'évapotranspiration, les espaces végétalisés et perméables permettent quant à eux de limiter le stockage de chaleur en journée.

Le réseau énergétique

Le 30 juin 2015, alors que la région connaissait un épisode de canicule, 400 000 à 500 000 foyers se trouvent privés d'électricité à la suite de deux graves incidents sur le réseau, à Cordemais et à Cheviré.¹¹⁰ Ensemble, les deux événements rappellent la vulnérabilité des systèmes d'alimentation centralisés de la région quand ils sont exposés à de fortes chaleurs. Plus les températures sont élevées par exemple, moins les câbles électriques et boîtes de jonction peuvent supporter de tension. De la même façon, en perturbant le fonctionnement des combinés de mesure des postes de transformation électrique, les variations brutales de température en période de fortes chaleurs augmentent le risque d'incendie, plus particulièrement en début de soirée, au moment où le soleil cesse brutalement de chauffer les matériaux. À son tour, le risque accru de pluies importantes et d'inondations menace de multiplier les incidents sur le réseau, voire d'entraîner des dommages sur les infrastructures de production d'énergie. Entre 2010 et 2013, 97 coupures de courant ont ainsi été recensées sur le territoire de Nantes lors d'intempéries.¹¹¹ On retient cependant que le réseau, très endommagé lors des tempêtes Martin et Lothar de 1999, a depuis été renforcé et qu'il est à présent beaucoup plus résilient à ce niveau de tempête par ailleurs plus fréquent.

En même temps qu'elles fragilisent les nœuds et réseaux électriques, les inondations exposent le fonctionnement des activités d'incinération des déchets et celui des chaufferies « biomasse », qu'il s'agisse de l'alimentation électrique des incinérateurs, de leur approvisionnement en bois ou des lieux de stockage du bois énergie. Au total, elles invitent donc la filière à mieux prendre en compte le risque climatique, tant pour la configuration de ses bâtiments, que pour celle des voies d'accès ou pour l'organisation du stockage. De ce point de vue, on retient aussi que le développement de la technologie des *smart grids*, plutôt avancé dans la région, permet d'y améliorer la résilience des réseaux face aux intempéries tout en facilitant la pénétration des énergies renouvelables.

Les submersions marines

Globalement très attractives, les zones littorale et rétro-littorale, qui représentent 8 % du territoire de la région, accueillent 19 % du parc régional de logements et de nombreuses activités touristiques et agricoles.¹¹² Or quand ils sont situés en zone basse, les logements et bâtiments sont particulièrement exposés au risque de submersion marine, notamment en cas de tempêtes ou de forte houle. Si elle procède d'abord de la configuration géographique du territoire côtier de la région, la vulnérabilité ligérienne en cas de submersion marine se trouve aggravée par la part importante de populations âgées dans les zones littorales.

Entre autres dispositions pour faire face au risque de submersion que l'élévation du niveau de la mer vient encore accentuer, des ouvrages de protection sont érigés qui améliorent l'endiguement côtier. C'est le cas du système d'endiguement du Pouliguen et de ses 8,5 km de digues qui, depuis la tempête Xynthia, ont été rénovées, rehaussées et équipées de batardeaux. À leur tour, d'autres mesures peuvent contribuer à contenir les dommages en cas de sinistre et à faciliter le retour à la normale. Parmi elles, on peut citer la réalisation d'un espace refuge dans tout logement de plain-pied dont le premier niveau fonctionnel est situé en dessous de la cote de l'aléa Xynthia + 20 cm ; la mise hors d'eau — au-dessus de ce même niveau d'alerte — des équipements sensibles (assainissement, gaz, réseaux de chaleur, électricité, télécommunications, réseaux ferroviaires) ; la prise en compte d'un niveau marin de Xynthia + 60 cm pour les constructions neuves d'équipements sensibles. Enfin, au-delà des mesures réactives et préventives aux impacts des événements météorologiques, le changement climatique soulève la question de la stratégie d'adaptation des Pays de la Loire pour les zones côtières et celle de sa planification qui, à long terme, pourrait amener à relocaliser des activités et des logements particulièrement exposés en région littorale.

Les infrastructures de transport

Les aléas météorologiques, que le changement climatique viendra accentuer, exposent les infrastructures routières à plusieurs types d'impacts qu'un défaut d'entretien vient souvent amplifier :

- En période de chaleur par exemple, ou lors des cycles gel-dégel hivernaux dont la durée, la fréquence et l'amplitude sont modifiées par les changements climatiques, on observe une dégradation plus rapide des routes et de l'enrobé bitumineux.
- Dans les zones exposées au phénomène de retrait-gonflement des argiles, on voit aussi que la structure de la chaussée (assise routière) vient à se dégrader plus rapidement.
- Pour leur part, certains ouvrages peuvent devenir inutilisables en cas de vent violent tous comme les réseaux routiers peuvent devenir impraticables et rendre des zones inaccessibles en cas d'événement extrême.
- En cas de pluies torrentielles ou de changement du niveau d'eau dans les fleuves et rivière, on voit aussi s'élever le risque d'affouillement au niveau des piles des ponts et des remblais.
- Quant à elles enfin, l'augmentation du CO₂ dans l'air, l'élévation du niveau de la mer ou encore son acidification favorisent les phénomènes de corrosion, carbonatation et lixiviation des infrastructures dont le vieillissement se trouve alors accéléré.

Sous l'effet de changements climatiques non pris en compte lors de leur conception, les infrastructures sont donc globalement exposées à un vieillissement accéléré. Or comme elles subissent en même temps une élévation significative du trafic routier et la pression croissante d'événements météorologiques extrêmes, leur vulnérabilité qui s'accroît impose de les surveiller et de les entretenir de façon plus étroite et régulière. Sur ce point pourtant, on constate d'importantes disparités d'un territoire à l'autre.

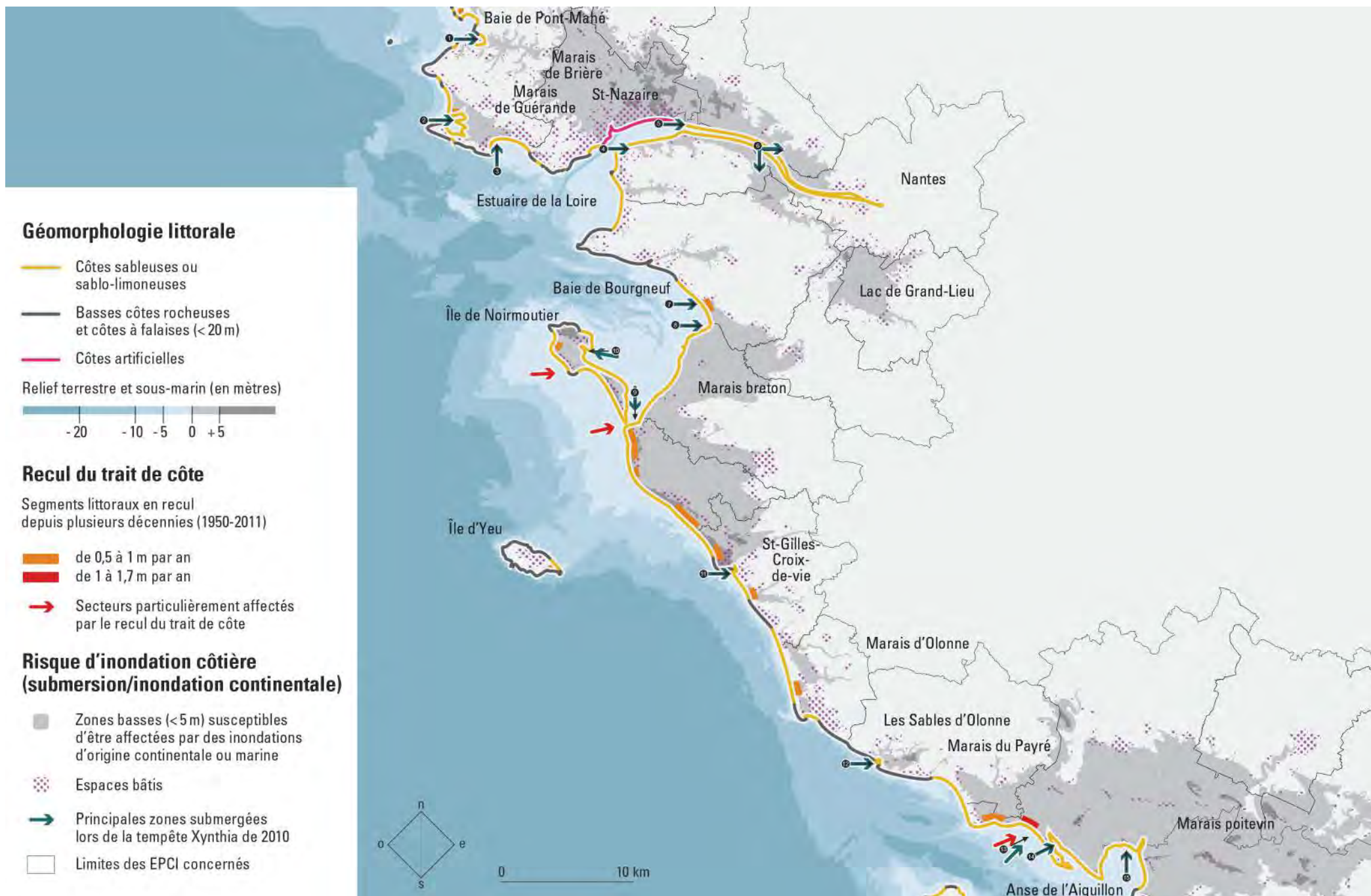
Affectées par les mêmes tendances climatiques et météorologiques, les infrastructures ferroviaires subissent à leur tour un risque de vieillissement prématuré, tandis que les usagers sont exposés à un risque accru de ralentissement, voire d'interruption du trafic.

Le risque de pollution des milieux naturels

Si les modèles régionaux ne convergent que partiellement sur les évolutions à moyen terme du régime des précipitations, ils s'accordent davantage sur l'augmentation à long terme de l'intensité des événements avec, au printemps et en été, un risque d'orage plus marqué et donc de précipitations à la fois plus brèves et plus denses.

FIG. 23 • RISQUES DE SUBMERSION MARINE DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Source : R. Kerguillec (2016).



Or à ces phénomènes correspondent des enjeux de ruissellement et de transfert des eaux de pluie jusqu'aux stations de traitement des eaux usées en milieu urbain. Non conçus pour gérer des volumes d'eau exceptionnels, les systèmes d'évacuation — ponctuellement sous-dimensionnés — sont, en effet, de plus en plus souvent amenés à déverser l'eau en surplus dans le milieu naturel. Bien que l'eau de pluie ne présente aucun risque, son ruissellement sur les surfaces urbaines peut toutefois la charger en polluants.

Surtout, comme elle vient se mêler aux eaux usées, le risque de pollution des milieux naturels s'accroît alors fortement et, avec lui, celui de l'altération de la faune et de la flore. Parmi les mesures d'adaptation à l'intensification des précipitations, la désimperméabilisation des sols en milieu urbain se présente donc comme une priorité.

L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Sur le plan morphologique, l'estuaire de la Loire se caractérise :

- par la présence de goulets et de pointements rocheux qui contraignent l'écoulement dans l'estuaire et y limitent la pénétration de la marée (95 km pour la Loire, contre plus de 160 km pour la Seine ou la Garonne). Dans le détail, l'estuaire est divisé en trois séquences géographiques : des Ponts-de-Cé au Pellerin, le fleuve coule dans une plaine inondable de 22 000 ha ; du Pellerin à Saint-Nazaire, la plaine inondable s'étend sur plus de 21 000 ha de zones humides avec un fleuve passant par divers goulets ; en aval de Saint-Nazaire, un delta sous marin termine l'estuaire externe.
- par son ouverture qui le rend particulièrement sensible aux houles venant pour plus de 80 % de la direction ouest-sud-ouest, favorisant la problématique de son colmatage naturel.
- par sa conversion anthropique d'estuaire dit « à barres » (au niveau de la barre des Charpentiers) à la fin du XIX^e siècle en estuaire de plaine navigable. Cependant, si la géométrie actuelle de l'estuaire le rend propice à la navigation par chenalisation et autocurage du chenal de navigation, elle accroît aussi la sensibilité de son fonctionnement aux changements climatiques.

Ainsi, avec l'élévation attendue du niveau de la mer, la pénétration de la marée devrait progresser dans les prochaines décennies. Ce faisant, elle pourrait accroître la salinité de la Loire plus en amont ; solliciter davantage les berges du fleuve au passage des agglomérations et au niveau des zones d'activités ou des endiguements des prairies inondables (le chenal principal s'est approfondi permettant à la marée d'aller aujourd'hui vers l'amont à 95 km de Saint-Nazaire, contre 70 km au début du siècle) ; allonger les périodes d'inondation en hiver ; augmenter la difficulté de la gestion hydraulique de la Loire qui devra donc faire face à un niveau du fleuve globalement plus élevé l'hiver et à des entrées d'eaux salées accrues en période estivale.

À son tour, l'extension du bassin hydrographique de la Loire (118 000 km² contre 74 000 km² pour la Seine et 56 000 km² pour la Garonne) le rend particulièrement sensible à l'évolution des régimes pluviométriques qui, en cas de baisse des précipitations et de raréfaction de la ressource hydrique en période d'étiage, favorise la remontée de la salinité et du bouchon vaseux par diminution des débits. Or dans la mesure où il faut un débit de crue d'au moins 5 000 m³/s pour éjecter totalement le bouchon vaseux en mer, le risque augmente — lors d'étés particulièrement chauds et secs — que l'eau saumâtre séjourne plus longtemps dans l'estuaire avant d'être chassée vers la mer, exposant alors les eaux à la dégradation de leur qualité.

Pour sa part, la modification géométrique de l'estuaire a considérablement réduit les surfaces marnantes des vasières au profit de l'extension des marais latéraux à l'arrière de systèmes d'endiguements, réduisant ainsi les nombreux services écosystémiques assurés par les surfaces intertidales. Or bien logiquement, ce recul des surfaces marnantes devrait mécaniquement s'accroître avec l'élévation du niveau de la mer. À terme, l'exposition accrue des marais latéraux aux entrées d'eau salée pourrait ainsi altérer le fauchage des prairies, voire en réduire la présence au profit d'espèces végétales plus adaptées à des conditions de salinité supérieure.

À cet énoncé des possibles impacts des changements climatiques sur l'estuaire de la Loire, il convient aussi d'associer les enjeux urbains, industriels et portuaires de l'estuaire que le niveau plus élevé de l'eau, la raréfaction des ressources en eau potable et la dégradation de la qualité de l'eau estuarienne viendront aussi soulever.

Au vu de tous ces éléments et dans la mesure où les politiques et documents de prévention sont élaborés sur la base des cotes de référence des événements extrêmes, tant du côté littoral (référence Xynthia et niveau de la mer en 2100) que fluvial (référence de la crue de 1910), une révision s'impose pour intégrer à la fois l'évolution morphologique du lit de l'estuaire, l'élévation du niveau de la mer et la possibilité d'événements extrêmes combinant débits importants et conditions maritimes de niveau centennal.



LE SYSTÈME ALIMENTAIRE DES PAYS DE LA LOIRE

Comme il rassemble toutes les activités qui permettent de produire ou de pêcher, transformer, transporter, distribuer et vendre ce que nous consommons, le système alimentaire est un secteur critique à plusieurs titres : pour notre alimentation, notre autonomie et notre santé ; pour les terres qu'il occupe, l'eau qu'il demande et les ressources qu'il utilise ; pour les emplois qu'il fournit et la richesse qu'il produit. Or à chacune des étapes qui mènent du champ ou de la mer à l'assiette, des choix sont opérés qui engagent des émissions de GES (mode de production, système de distribution, régime alimentaire...) ou qui exposent les secteurs agricoles et halieutiques aux impacts du changement climatique.

L'AGRICULTURE AU CŒUR DU SYSTÈME ALIMENTAIRE LIGÉRIEN

Une production dominée par l'élevage et néanmoins diversifiée

Dans les Pays de la Loire, la production agricole se distingue au moins sur trois plans : la part du territoire qu'elle occupe soit 68 % des sols contre 52 % à l'échelle nationale¹¹³ ; le nombre de personnes qu'elle emploie, soit 3,4 % des actifs contre 2,3 % à l'échelle du pays¹¹⁴ ; la place prédominante de l'élevage et des filières qui lui sont dédiées, de la production de fourrage en amont à la production de lait en aval. Et c'est sans compter la production marine qui occupe la deuxième place (derrière la Bretagne) en termes de valeur des ventes provenant de la pêche.¹¹⁵

De la même façon, quelques chiffres suffisent à montrer l'importance des Pays de la Loire dans le système alimentaire français puisqu'à elle seule, la région représente près d'un quart de la production nationale de volaille, plus de 17 % de la production de viande bovine, environ 16 % de la production laitière (vache et chèvre) ou encore 11 % de la production fruitière.¹¹⁶

Avec 44 % du volume de la production agricole, 69 % du chiffre d'affaires et 80 % des exploitations¹¹⁷, l'élevage domine largement le secteur agricole de la région où la filière occupe près de 70 % des terres, notamment pour y produire les fourrages et céréales destinés à l'alimentation animale.¹¹⁸ Cependant, on retient aussi du secteur agricole des Pays de la Loire la diversité de ses filières végétales, puisque la région produit

La production agricole se distingue par la part du territoire qu'elle occupe, le nombre de personnes qu'elle emploie et la prédominance de l'élevage.

ensemble des céréales et oléoprotéagineux, du vin, une grande quantité de légumes, des pommes de table, une gamme abondante de plants horticoles, de nombreuses semences, que complètent aussi des plantes à parfum, aromatiques ou médicinales. Si elles rapportent moins que les filières animales en termes de valeur, les filières végétales sont en revanche les plus intenses en main-d'œuvre, notamment dans la viticulture, le maraîchage, l'arboriculture, l'horticulture et les pépinières.

C'est aussi à cette diversité que l'on peut attribuer le degré élevé d'autonomie alimentaire des villes de Nantes et Angers. Trois fois supérieure à la moyenne des aires urbaines métropolitaines françaises en 2017, l'autonomie relative des deux métropoles souligne à son tour la diversité de la production agricole locale et la proximité des zones de production.¹¹⁹ À l'échelle de la région, on calcule aussi qu'avec une surface agricole utile deux fois plus étendue que la superficie nécessaire pour subvenir aux besoins de la population ligérienne, la région pourrait s'autosuffire, si toutefois elle s'alimentait en circuits courts. En réalité, comme la répartition actuelle des cultures est largement déterminée par la demande alimentaire du bétail, la région reste fortement déficitaire en fruits et légumes. Pour couvrir l'ensemble de ses besoins, elle devrait donc augmenter de 40 % la surface dédiée à la production légumière et fruitière.

Ce sont cependant d'autres facteurs qui, aujourd'hui, contribuent à faire évoluer l'usage et la répartition des sols agricoles dans la région. Parmi eux, on peut citer l'étalement urbain qui, de 2009 à 2018, s'est emparé de 107 000 ha, soit environ 4,6 % des terres agricoles de la région.¹²⁰ À leur tour, l'évolution des régimes alimentaires et la demande croissante de produits bio modifient les modes de production. Avec quelque 3 636 exploitations en bio ou en conversion, l'agriculture biologique occupait déjà plus de 10 % de la surface utile agricole ligérienne en 2019.¹²¹

Enfin, on sait aussi qu'à la faveur du confinement et, plus globalement, de la forte croissance des jardins communautaires et associatifs, la production potagère destinée à l'autoconsommation a fortement augmenté dans la région. S'il est difficile de donner une mesure à cette tendance et à la place — marginale — qu'elle occupe dans le système alimentaire ligérien, on sait déjà que les 1 200 parcelles potagères mises à la disposition des habitants dans les jardins familiaux de Nantes représentent 24 ha de cultures.¹²² On retient aussi d'une étude menée dans trois villes de l'ouest que la part de légumes autoproduits peut atteindre jusqu'à 18 % de la consommation annuelle des foyers, comme c'est le cas à Alençon.¹²³

Une contribution économique forte

À l'image de la place du secteur agricole dans le territoire, sa contribution à l'économie régionale est également importante et se réalise autour de deux axes : le premier est industriel, le second commercial.

Avec 32 830 salariés, 835 établissements répartis sur la totalité du territoire¹²⁴ et 13,4 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2017¹²⁵, le secteur agroalimentaire reste, à l'échelle de la région, une industrie prédominante qui place les Pays de la Loire au troisième rang national (artisanat commercial non compris). Dominée par la production de viande, de lait et de produits de boulangerie qui représente près des trois quarts de l'activité agroalimentaire ligérienne, l'industrie régionale de transformation des produits agricoles affiche néanmoins une grande diversité de filières : poisson, fruits et légumes, corps gras, travail des grains, pâtisserie, pâtes, aliments pour animaux, boissons.¹²⁶

À leur tour, les exportations réalisées par la région sont largement portées par son dynamisme agricole et agro-industriel. Pour leur plus grande part, les échanges de produits alimentaires se font avec des partenaires de l'Union européenne — Allemagne, Royaume-Uni, Belgique, Italie et Espagne — et portent sur les produits laitiers ; les viandes de bou-

cherie ; les viandes de volaille ; les céréales, légumineuses et oléagineux ; les pâtisseries, viennoiseries et pains frais ; les vins.

Globalement excédentaire, le commerce régional de produits agroalimentaires affiche cependant un déficit important avec certains États tels que les Pays-Bas, la Pologne et le Brésil.¹²⁷ Dans le cas du Brésil, le solde négatif renvoie aux tourteaux de soja que la région importe pour répondre aux besoins alimentaires de son bétail. Parmi les autres postes qui tendent à dégrader le solde commercial ligérien, on retient aussi les intrants de synthèse, fertilisants et pesticides, dont la région est également grande consommatrice. Dans les deux cas et avec de nombreux autres facteurs, la dépendance de la région sous-tend aussi la contribution de son système alimentaire aux émissions mondiales de GES. Ensemble, elles reformulent donc aussi la question de l'autonomie alimentaire des territoires qu'il convient désormais de poser à la lueur de la crise climatique et de la nécessité de réduire les consommations d'énergie liées au fret.

UN SYSTÈME ALIMENTAIRE FORTEMENT CARBONÉ

Changement d'affectation des sols, usages d'intrants, fermentation, fret, conservation, déplacements, gaspillage : il n'est pas un maillon du système alimentaire qui n'engage pas l'émission de GES, qu'elles soient directes ou indirectes. Étudier chacun d'eux permet donc de mesurer la contribution du système alimentaire au dérèglement climatique, mais aussi d'envisager comment réduire l'empreinte carbone du secteur alimentaire dans sa globalité.

Biomasse et changement d'affectation des sols

Face au changement climatique, les sols sont une composante majeure des stratégies d'atténuation et d'adaptation. Comme ils interviennent dans les cycles du carbone et de l'azote, ils échangent en effet en permanence des GES avec l'atmosphère, qu'ils les séquestrent ou qu'ils les relâchent. Comme elle amplifie ces échanges, la gestion agricole des sols constitue donc un levier critique pour lutter contre le réchauffement climatique, qu'il s'agisse de réduire les émissions de GES ou d'en améliorer le bilan net, par exemple en stockant plus de carbone dans les sols.

En agissant sur les stocks de GES séquestrés dans le sol par exemple, le changement d'affectation des terres modifie directement le bilan carbone d'un territoire, que ce soit par le déstockage de CO₂ lorsqu'une prairie ou une forêt est remplacée par une culture ou, au contraire, par l'agroforestation d'une parcelle qui permet d'y améliorer la captation du CO₂ jusqu'à offrir un nouveau puits de carbone sur la longue durée (plus d'un siècle). C'est d'ailleurs ainsi qu'en dépit du recul des sols naturels et des terres agricoles au profit

Le rôle des sols face aux changements climatiques renvoie à la place qu'y occupe l'élevage, aux choix de cultures et aux modes de production.

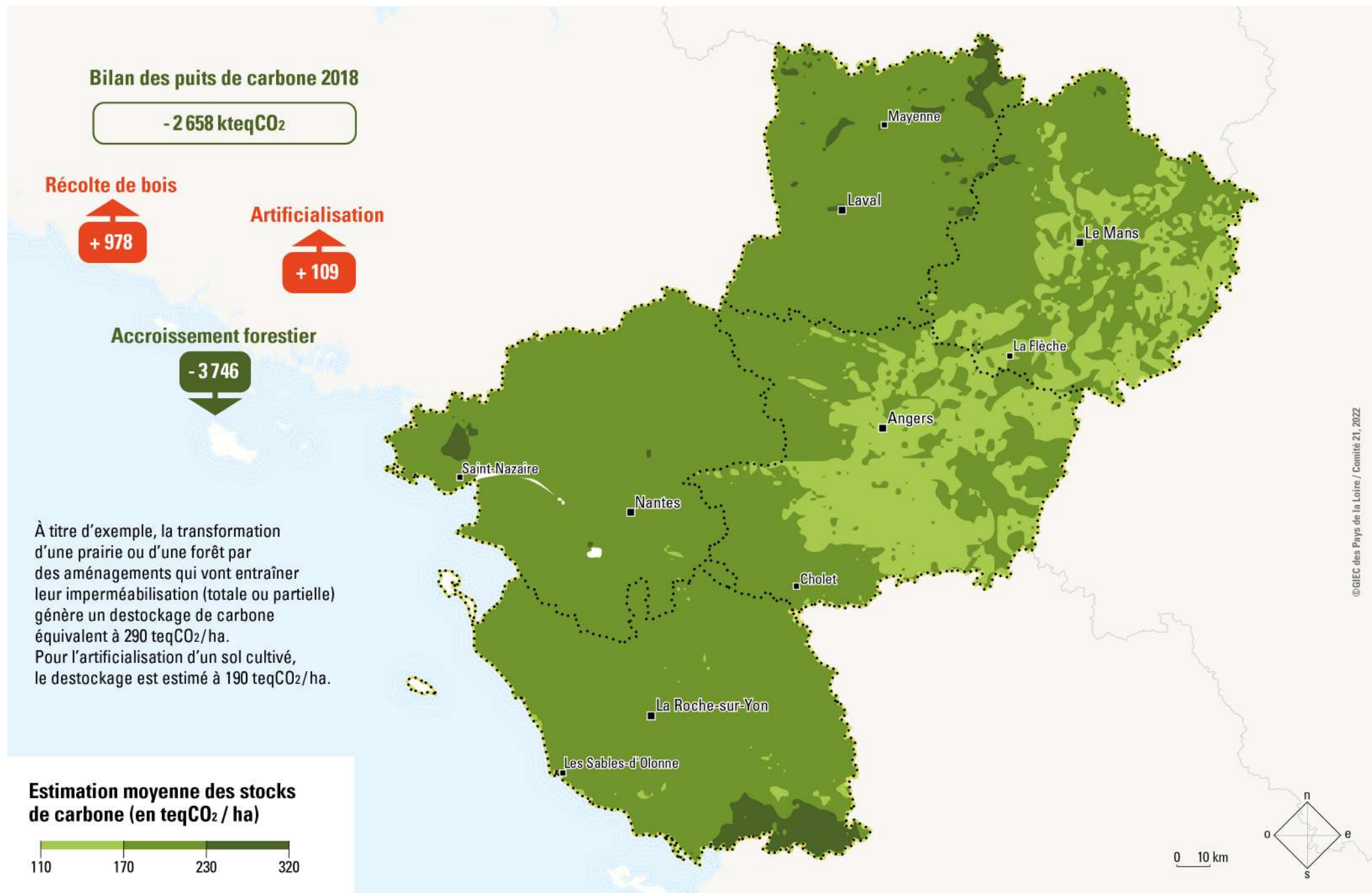
de l'étalement urbain, le secteur UTCF des Pays de la Loire conserve un bilan carbone positif à ce jour, à la faveur, notamment, de la croissance de la forêt ligérienne, mais aussi de la séquestration de CO₂ des prairies et haies bocagères qui composent 46 % de la surface agricole utile (SAU).¹²⁸ Ensemble, ces espaces agricoles offrent d'augmenter encore le stockage régional de GES grâce à l'amélioration de la gestion des prairies permanentes, l'allongement de la durée des prairies temporaires, l'amélioration de la gestion des haies par des plans de gestion durable et l'enherbement inter-rang des vignes. Cependant, examiné dans sa globalité, le rôle des sols face aux changements climatiques renvoie rapidement à la place qu'y occupe l'élevage, aux choix de cultures, aux modes de production et à leurs impacts sur le climat.

L'empreinte de l'élevage

Situé en amont du système alimentaire, le secteur agricole des Pays de la Loire émet chaque année 8,5 MteqCO₂ de GES — soit près du tiers des émissions régionales totales — dont près des trois quarts (73 %)¹²⁹ reviennent aux activités d'élevage, qu'il s'agisse du protoxyde d'azote (N₂O) généré par l'usage d'engrais azoté pour la production de fourrage ou bien du méthane issu de la fermentation entérique des bovins et des déjections d'élevage dans les sols anoxiques (caractérisés par l'absence d'oxygène). Avec un pouvoir de réchauffement global sur cent ans 310 fois plus élevé qu'une masse équivalente de CO₂¹³⁰, le N₂O constitue, comme le méthane (CH₄), un GES particulièrement puissant qui, par ailleurs, contribue aussi à la destruction de la couche d'ozone (O₃).

FIG. 24 • STOCKAGE ET DESTOCKAGE DU CARBONE DES SOLS

Sources : Basemis/Air Pays de la Loire (2018), M. Martin (2019), Portail Data INRAE.



Globalement, on calcule que les engrais minéraux (azote, phosphate ou potassium) sont responsables de 9,3 % des émissions du secteur agricole des Pays de la Loire.¹³¹ Comme leur plus grande part est importée, il faut également ajouter à l'impact de leur utilisation le CO₂ émis pendant leur acheminement et, auparavant, celui émis pendant leur fabrication. Un impact dont celui de la fabrication des engrais dans les Pays de la Loire donne la mesure puisqu'à elle seule, la fabrication d'engrais minéraux et organominéraux dans les Pays de la Loire représente 2,5 % des émissions régionales, soit 793 kteqCO₂.¹³² Au-delà des engrais, la prédominance de la production animale place aussi la région des Pays de la Loire en situation de forte dépendance vis-à-vis des importations d'aliments pour le bétail dont la région capte un quart des importations nationales. Chaque année par exemple, plus d'un million de tonnes de tourteaux de soja en provenance du Brésil transitent ainsi par le port de Montoir-Saint-Nazaire, soit plus de 520 kteqCO₂ auxquelles il convient aussi d'associer les impacts de la déforestation amazonienne.¹³³

En matière énergétique enfin, on calcule qu'à l'échelle de la consommation totale de la région, celle du secteur agricole ligérien en représente 5 % et qu'elle se répartit principalement entre les machines et engins (55 %) et le chauffage des bâtiments (21 %).¹³⁴

La part de la pêche

Quoique les activités liées à la pêche, à la pisciculture et à la conchyliculture représentent une filière importante dans le système alimentaire et l'économie de la région, il n'existe pas à ce jour de données régionales sur les émissions de GES liées aux activités qu'elle rassemble, qu'il s'agisse de l'énergie nécessaire aux navires, à la conservation des ressources (chaîne du froid), à la fabrication des engins de pêche et autres équipements (glace, caisses en plastique ou en polystyrène, etc.), ou à la transformation et à la distribution des produits alimentaires finaux. Cependant, l'estimation de la consommation annuelle des 350 navires de pêche ligériens par extrapolation des moyennes nationales¹³⁵ laisse penser que la seule activité de la pêche maritime contribue peu à l'effet de serre, puisqu'avec quelque 17 millions de litres par an, elle consomme moins de 1 % du carburant utilisé à l'échelle régionale.¹³⁶

La contribution carbone de l'industrie agroalimentaire

Avec 624 kteqCO₂ émises en 2018, les industries agroalimentaires des Pays de la Loire sont quant à elles responsables de 13 % des émissions du secteur industriel de la région.¹³⁷ Pour leur plus grande part, elles renvoient à l'énergie utilisée par le secteur, soit 23 % de

la consommation totale d'énergie de l'industrie ligérienne, et dans une moindre mesure, aux fuites de fluides frigorigènes utilisés pour le refroidissement.¹³⁸ Surtout, on retient que contrairement à toutes les autres branches industrielles dont les émissions ont baissé depuis dix ans, celles de l'industrie agroalimentaire ont augmenté de 15 % entre 2008 et 2018.¹³⁹

Les émissions multiples de la distribution

Comme à chaque produit alimentaire fabriqué ou consommé sur le territoire correspond, le plus souvent, une part de production locale, mais aussi des produits cultivés ou fabriqués dans d'autres aires géographiques, il importe de comptabiliser les GES relâchés pendant leur fabrication et leur acheminement, ou encore ceux émis lors de la distribution des produits finaux jusqu'au consommateur.

Le transport de marchandises

Centrales d'achat, commerces de gros, établissements de logistique, marchés d'intérêt national (MIN) : à la faveur du développement et du rayonnement du secteur agroalimentaire ligérien, le système de stockage, de conservation, de fret et de distribution des produits alimentaires y génère à la fois des revenus économiques substantiels, un grand nombre d'emplois et une importante consommation d'énergie dont la plus grande part revient au transport. En 2015 par exemple, le secteur du transport routier et du fret interurbain des produits alimentaires employait à lui seul 28 % des actifs de la filière logistique, contre 18 % pour l'ensemble de la France métropolitaine.¹⁴⁰ À son tour, le commerce de gros, dont le chiffre d'affaires de 13 milliards d'euros équivaut à celui des industries agroalimentaires, compte près de 10 000 salariés répartis dans 1 120 entreprises.¹⁴¹ S'agissant des émissions de GES en revanche, il n'existe pas de données régionalisées pour le transport de marchandises alimentaires. Cependant, quelques statistiques nationales suffisent à donner un ordre de grandeur. Un rapport de l'Ademe indique ainsi que l'alimentation des ménages en France génère un trafic de 201 milliards de tonnes-kilomètres.¹⁴² Si la plus grande part du fret alimentaire (57 %) est réalisée par voie maritime, c'est la part routière qui contribue le plus aux émissions de GES du transport de produits alimentaires (83 %) tandis que l'avion en émet 5 % pour 0,5 % de marchandises transportées. Globalement, on retient aussi que le transport des denrées produites en France représente près du quart du trafic routier (23 %), mais près de la moitié des émissions de CO₂ (47 %). À lui seul, le transport des produits destinés à l'alimentation animale — des tourteaux en majorité — émet 19 % du volume total de GES lié au transport alimentaire derrière les fruits et légumes qui en émettent 31 %.

Sachant que la région est à la fois importatrice et exportatrice de produits alimentaires dont une grande part de produits animaux, mais aussi que l'essentiel du transport des produits alimentaires ligériens est effectué par voie routière, on ne doute pas de la part importante des émissions de GES que représente leur acheminement (camion, réfrigération...) dans les émissions régionales totales. Se pose donc de nouveau la question du développement de réseaux régionaux alternatifs, ferroviaires et fluviaux, pour réduire le volume de GES émis par le système alimentaire des Pays de la Loire.

Le bilan incertain des circuits courts

Plébiscités par les exploitants de l'agriculture biologique, les circuits courts connaissent aujourd'hui un véritable essor dont la grande distribution s'empare de plus en plus, en associant alors volontiers la proximité du producteur à une empreinte GES réduite. Déjà 18 % des exploitations de la région commercialisent leur production en vente directe ou avec un seul intermédiaire, contre 11 % en 2000.¹⁴³ Pour les exploitations AB ligériennes, la part s'élève même à 55 %.¹⁴⁴ De son côté, la chambre d'agriculture estime que les ventes en circuits courts représentent aujourd'hui entre 8 % et 9 % du chiffre d'affaires de l'agriculture ligérienne.¹⁴⁵ Si l'on sait que les circuits courts permettent de réduire à la fois le temps de conservation réfrigérée, l'usage d'emballages et avec eux, la production de déchets de conditionnements, mais aussi la consommation de fluides frigorigènes et d'énergie, il demeure difficile — faute de données disponibles — de rapporter précisément l'empreinte des circuits courts à celle des modes de vente traditionnels. Pour y parvenir, il faudrait pouvoir comparer les émissions liées à l'acheminement des produits. Dans tous les cas, sachant que les circuits courts engagent des déplacements plus fréquents pour de plus petits volumes et que les émissions par kilomètre parcouru d'une tonne transportée sont plus faibles en camion de 32 t ou en cargo qu'en camionnette de 3,5 t, on peut donc penser que l'évolution du parc de véhicules sera déterminante pour réduire l'empreinte carbone des circuits courts.¹⁴⁶

La part des consommateurs

C'est finalement à l'échelle des consommateurs que se joue la dernière part d'émissions de GES du système alimentaire, en fonction de plusieurs facteurs : le régime alimentaire (voir encadré), le lieu d'approvisionnement, le transport utilisé pour s'y rendre, le mode de préparation et le niveau de gaspillage. Ainsi, un Français parcourt en moyenne 1 360 km par an pour son alimentation — dont 80 % pour ses achats et 20 % pour se restaurer hors de son domicile —, soit un volume annuel de GES de 8,5 MteqCO₂.¹⁴⁷ On sait aussi que si les établissements alimentaires de petite taille (restaurants, petits

commerces, cafés, traiteurs) consomment globalement autant d'énergie que la grande distribution ou le commerce de gros, leurs émissions sont en revanche plus élevées à la faveur de la cuisson des aliments et de l'usage répandu du gaz naturel. Sur ce point d'ailleurs, on calcule qu'en France, la préparation des produits alimentaires (conservation, cuisson...) émet globalement 11 MteqCO₂ réparties à parts égales entre restaurants et domiciles.¹⁴⁸ Pour sa part, la restauration collective au sein des établissements d'enseignement, hôpitaux et maisons de retraite représente 13 % des émissions du secteur tertiaire, tandis que restaurants, cafés et traiteurs en émettent environ 5 %.¹⁴⁹ Dans les Pays de la Loire, les commerces alimentaires représentent 10 % des GES des bâtiments tertiaires qui s'élèvent au total à 1,4 MteqCO₂.¹⁵⁰

L'empreinte évitable du gaspillage

Qu'il s'agisse de production, de transformation, de distribution ou de consommation : globalement, toutes les étapes de la chaîne alimentaire et toutes les familles de produits sont concernées par le problème de pertes et de gaspillages. Autrement dit, tous les acteurs du système alimentaire ont un rôle à jouer pour réduire l'ampleur du phénomène et, ce faisant, pour réduire les émissions de CO₂ correspondantes. Pourtant, en dépit de l'importance des enjeux climatiques et de celle des secteurs agricole et agroalimentaire dans les Pays de la Loire, il n'existe pas à ce jour de données sur le niveau de pertes et du gaspillage alimentaires à l'échelle de la région. Par défaut et pour donner une mesure aux émissions qu'ils engagent, on peut cependant reprendre les valeurs nationales : au total, on estime que le gaspillage, qui représente chaque année en France 18 % de la production alimentaire, émet quelque 15,3 millions de teqCO₂, soit 3 % du volume annuel total des émissions de GES.¹⁵¹ Dans le détail, on constate que le phénomène touche plus particulièrement les filières des fruits et légumes (23 % de perte et gaspillage), des grandes cultures (20 % de perte et gaspillage) et des produits d'origine animale (12 % de perte et gaspillage). Quant à la répartition des pertes au fil de la chaîne alimentaire, c'est au stade de la production qu'elle est la plus marquée (32 %) et à celui de la consommation (33 %).¹⁵² Enfin, il faut rappeler le rôle du suremballage qui pèse doublement sur le transport des produits transformés et le traitement des déchets et pour lequel aucun progrès significatif n'a encore été réalisé.



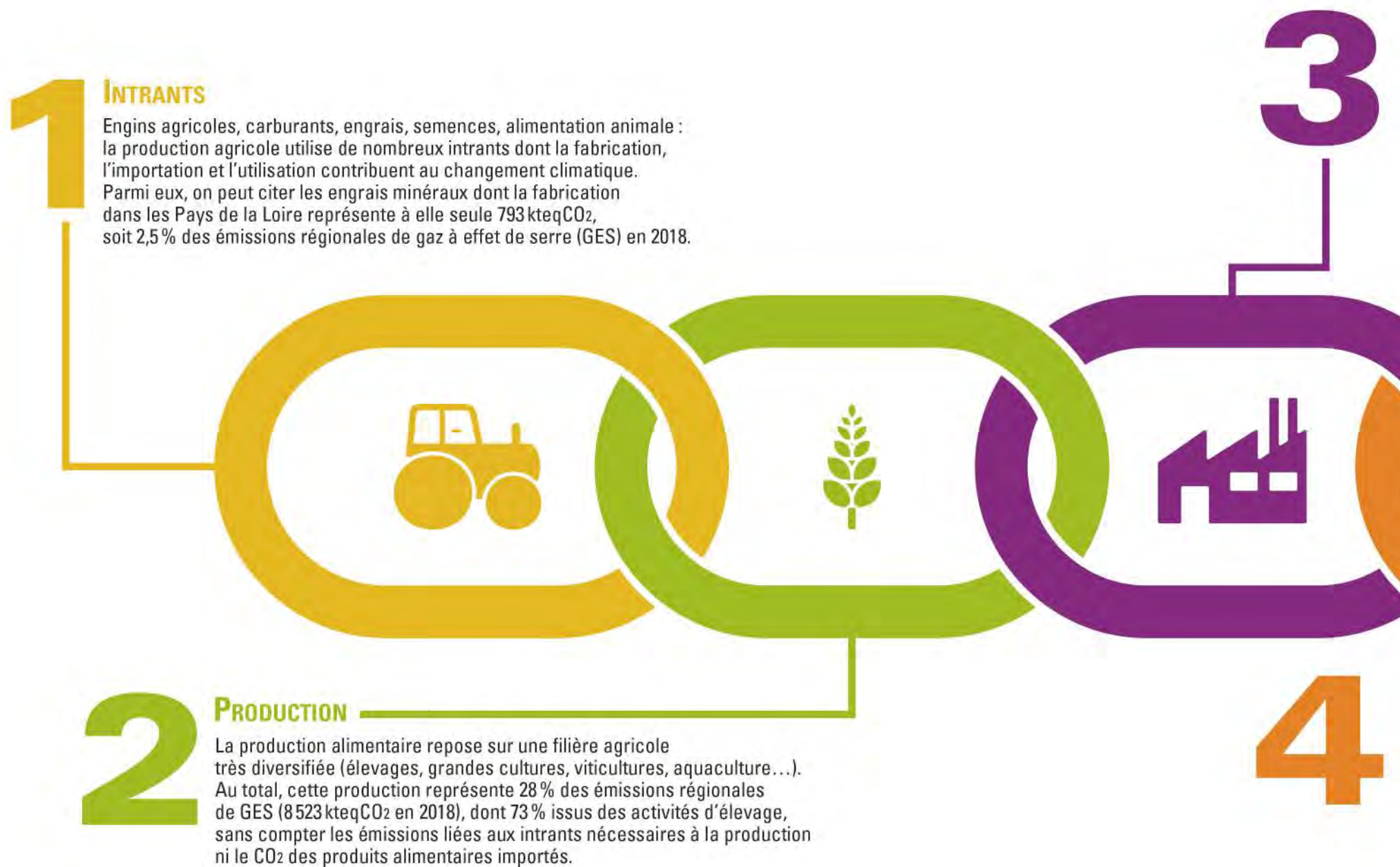
UNE QUESTION DE RÉGIME ALIMENTAIRE

La première façon de calculer l'impact climatique de l'alimentation sur un territoire donné consiste à ajouter les volumes de CO₂ émis aux stades de production, transformation et distribution des denrées produites sur le territoire. La seconde, qui part des modes de consommation, fait la somme des émissions générées de la production à l'assiette en incluant les produits importés et consommés localement, tout en excluant ceux produits localement mais consommés hors du territoire. Plus difficile à calculer, l'empreinte carbone présente cependant l'intérêt d'identifier des pistes d'actions supplémentaires pour réduire les GES liés à l'alimentation de la population à l'échelle du territoire. Ainsi, deux variables apparaissent qui déterminent l'impact climatique de la consommation alimentaire : la part de produits carnés et la part de produits biologiques.

S'agissant de l'empreinte carbone de la consommation de viande et de produits laitiers, on peut utilement rapporter les conclusions d'une étude menée par l'Ademe à l'échelle nationale.¹⁵³ Elle révèle que la consommation alimentaire des Français représente un quart de leur empreinte carbone totale, mais aussi que 65 % des GES liés à leur alimentation sont émis lors de la production, 20 % lors du transport et 15 % au moment de la consommation. Surtout, l'étude vérifie que la part des produits animaux constitue une variable critique : tandis qu'un régime végétalien est responsable de l'émission de 315 kgeqCO₂ par an en moyenne, la consommation quotidienne de 170 g de viande porte le niveau annuel d'émissions de GES à 1900 kgeqCO₂ par an (importation comprise, mais hors transport, distribution et préparation). Sur ce point, on retient aussi que pour les auteurs du 6^e rapport du GIEC¹⁵⁴, « Le plus grand potentiel [pour réduire les émissions de GES] par transition viendrait du passage à des régimes tournés vers les protéines végétales ». C'est ce que vérifie l'Ademe qui calcule qu'une baisse de 10 g de viande par jour conduit à une baisse de 5,2 % des émissions totales de GES de la production agricole.

À son tour, et à quantité produite égale, l'alimentation biologique permet aussi de réduire l'impact climatique de l'agriculture malgré la part supplémentaire de terre qu'elle exige pour compenser les moindres rendements. On estime ainsi qu'une même assiette relâche 1856 kgeqCO₂ par an en agriculture conventionnelle pour seulement 1160 kgeqCO₂ en agriculture biologique. On peut donc estimer que le passage d'une agriculture conventionnelle à une agriculture biologique pourrait faire baisser les émissions de GES de la région de 8,4 %. Déjà, on retient qu'entre 2009 et 2019, les surfaces en légumes biologiques ont été multipliées par 4, celles en fruits par 3,3 et les surfaces viticoles par 3,2. Enfin, bien que l'on ne dispose pas de données chiffrées qui mesurent l'empreinte carbone de la consommation de la nourriture bleue dans sa globalité, on sait qu'elle varie énormément d'une filière à l'autre. Ainsi, on calcule que les crevettes sauvages génèrent 11 fois plus de CO₂ par kg que les bivalves et les algues d'élevage. Surtout, on connaît de mieux en mieux les autres impacts écologiques et le stress que pêche et élevage exercent sur les écosystèmes terrestres et marins : altération des chaînes alimentaires, épuisement des stocks, prise d'espèces protégées, pollutions plastiques, utilisation des terres, utilisation d'eau potable.

FIG. 25 • CONTRIBUTION DU SYSTÈME ALIMENTAIRE AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE



TRANSFORMATION

La transformation des produits agricoles représente un secteur d'activité important pour les Pays de la Loire, avec quelque 1 000 établissements installés sur le territoire. Ces activités de transformation représentent 624 kteqCO₂ en 2018 dans la région, soit environ 2 % de ses émissions totales de GES. Toutefois, ce chiffre ne prend pas en compte les émissions liées à la transformation des produits consommés dans les Pays de la Loire mais fabriqués en dehors de la région.

5

DISTRIBUTION

Parce qu'elle engage de consommer de l'énergie pour l'éclairage, le chauffage ou la chaîne de froid des établissements, auxquelles viennent s'ajouter les fuites de fluides frigorigènes, la distribution des produits alimentaires participe aux émissions régionales de GES (10 % des émissions du secteur tertiaire) auxquelles contribuent aussi les restaurants, les cafés et les traiteurs, ainsi que les établissements d'enseignement, les hôpitaux et les maisons de retraite proposant de la restauration collective.



TRANSPORT

Qu'il s'agisse d'importer ou d'exporter des produits bruts ou transformés, le système agroalimentaire ligérien engendre un fret important, responsable de gros volumes de GES.

6

CONSOMMATION

Variable d'un régime à l'autre, l'empreinte de la consommation alimentaire des habitants des Pays de la Loire s'élève à 1,3 teqCO₂ par an, soit 13,5 % de l'empreinte carbone totale d'un Ligérien. Pour sa part, le gaspillage alimentaire représente chaque année 18 % de la production alimentaire et 3 % du volume total des émissions de GES.

©GIEC des Pays de la Loire / Comité 21, 2022

UN SYSTÈME ALIMENTAIRE SUREXPOSÉ AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Face à la baisse progressive de la ressource en eau, les collectivités devront opérer des arbitrages de plus en plus délicats entre les différents usagers de l'eau.

Comme le système alimentaire agrège les productions locales et des produits bruts ou transformés importés, il expose la région aux impacts des changements climatiques de plusieurs manières : en modifiant la disponibilité en eau ; en affectant la qualité de certaines productions ; en favorisant l'apparition de phénomènes ou d'espèces nuisibles ; en altérant les rendements agricoles et avec eux, les revenus tirés de la vente de la production ; en agissant de la même façon sur les zones de production des denrées importées. S'il convient donc de tenir compte de l'ensemble de ces facteurs pour quantifier et qualifier la vulnérabilité du système alimentaire ligérien, la présente synthèse se concentrera sur les impacts les plus directs des changements climatiques sur les productions agricoles, aquacoles et halieutiques.

Impacts sur les cultures

Comme il consomme beaucoup d'eau, qu'il dépend des rythmes saisonniers et qu'il est sensible aux températures, aux intempéries et au niveau de CO₂ dans l'air, le secteur agricole compte certainement parmi les plus exposés aux changements climatiques qui, peu à peu, déterminent le choix des cultures et reprogramment la période des semis et des récoltes.

Déjà, les producteurs régionaux de pommes ont pu identifier plusieurs types d'impacts sur leurs récoltes : altération de la coloration des fruits et de leurs qualités organoleptiques (odeur, goût, texture et consistance), dégâts accrus des ravageurs, décalage des

périodes de récolte et besoins énergétiques accrus pour la conservation des fruits. En exposant les bourgeons aux gels printaniers et en dissociant la période de floraison et celle des pollinisateurs, la précocité de l'inflorescence agit pour sa part en hypothéquant le rendement des arbres fruitiers et, avec lui, les revenus des producteurs.

À leur tour, les cultures de plein champ et les fourrages sont fortement affectés par les changements climatiques. Quand elles se combinent, par exemple, l'intensification des pluies en hiver et l'élévation des températures moyennes ont pour effet d'aggraver la sensibilité des sols hydromorphes et donc d'y rendre le travail plus difficile. Pour y remédier, il est possible de réaliser des semis et mises à l'herbe plus tôt dans l'année, en avançant ainsi aussi la maturité des prairies. Cependant, quand il se produit au printemps, le pic de production peut ne pas être exploité par manque de portance des sols. En se combinant, l'élévation des températures et l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère agissent quant à elles sur le cycle biologique des végétaux dont elles accélèrent les stades phénologiques (croissance, germination, floraison et récolte). Déjà observable dans la région, le phénomène qui est amené à s'amplifier invite donc à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation consistant, par exemple, à favoriser la polyculture ou à introduire de nouvelles espèces accessibles comme le soja. Cependant, il convient alors de tenir compte d'autres facteurs liés au dérèglement climatique qui impactent les cultures de façon différenciée.



© Région Pays de la Loire / PB. Fourny

Parmi eux, le développement des insectes ravageurs n'est pas le moindre, qu'ils soient exogènes ou déjà présents sur le territoire comme la pyrale, l'insecte ravageur du maïs. Également sensible à la chaleur, le cycle biologique de la pyrale s'amorce de plus en plus tôt dans l'année. Ce faisant, la probabilité augmente qu'une deuxième génération de pyrale se développe dans la saison et qu'elle dégrade davantage encore le rendement du maïs. À ce risque s'ajoute aussi celui lié au manque d'eau pendant les mois les plus chauds et secs de l'année et qui pèse à son tour sur la productivité céréalière, plus particulièrement dans l'est ligérien.

Pour faire face à la nouvelle donne climatique régionale, plusieurs stratégies d'évitement sont déjà mises en œuvre. Comme elle permet d'effectuer les récoltes dès début juin, l'association de céréales et de protéagineux contribue, par exemple, à réduire les risques liés aux fortes chaleurs. Cependant, comme elle a aussi pour effet de réduire la production fourragère totale, elle impose de lui affecter davantage de surfaces au détriment des autres cultures. Pour leur part, les stratégies d'adaptation recommandent de développer des prairies agiles ou multi-espèces pour réduire les risques. Pour autant, cela ne préserve pas l'agriculture régionale du problème de l'eau.

Impacts sur la disponibilité et la qualité de l'eau

Comme il associe l'élévation des températures à une nouvelle répartition de la pluviométrie, le changement climatique — qui favorise l'évaporation des sols et l'évapotranspiration des végétaux — expose la région au phénomène de stress hydrique alors qu'au même moment, les besoins en eau des cultures et du bétail sont appelés à augmenter.

Exposées aux sécheresses agricoles qui seront donc plus fréquentes et plus intenses, cultures et prairies pourraient progressivement afficher des rendements plus faibles venant ainsi affecter la plupart des filières : celle de l'élevage qui se trouvera fragilisée par la moindre productivité des cultures fourragères ; celle des fruits et légumes maraîchers dont la production pourrait être interrompue à certaines périodes de l'année ; celle du colza ou des prairies dont les semis pourraient ne pas résister aux sécheresses estivales.

Poussée par les besoins en eau accrus en période de sécheresse, la demande d'irrigation pourrait à son tour être de plus en plus difficile à satisfaire puisque les cours d'eau et les nappes seront eux aussi soumis à des tensions de plus en plus fortes (baisse des débits d'étiages et du niveau des nappes). Dans le Maine-et-Loire, on calcule ainsi que la demande en eau liée aux changements climatiques et destinée à l'irrigation devrait progresser de 28 % entre 2020 et 2050.¹⁵⁵ Or, ici comme ailleurs, elle s'ajoutera à la progression

parallèle et globale de la demande en eau, qu'il s'agisse des usages domestiques (amplifiée par la hausse démographique) ou besoins industriels.

Confrontées à la baisse progressive de la ressource et à l'augmentation prévisible de la demande en eau dans la région, les collectivités seront amenées à y opérer des arbitrages de plus en plus délicats entre les différents usagers de l'eau et à mettre en place des mesures toujours plus draconiennes d'économie, voire de restriction de prélèvement et d'utilisation.

Sans attendre que le changement climatique aigüise la pression sur l'eau dans les Pays de la Loire et, avec elle, les tensions autour des usages, il importe aussi de rappeler ici l'impact de l'agriculture régionale sur l'état de l'eau dont la qualité chimique a été fortement dégradée par la diffusion généralisée de pesticides, nitrates et phosphore dont on détecte les molécules et les métabolites dans les nappes de la région.

Impacts sur la vigne

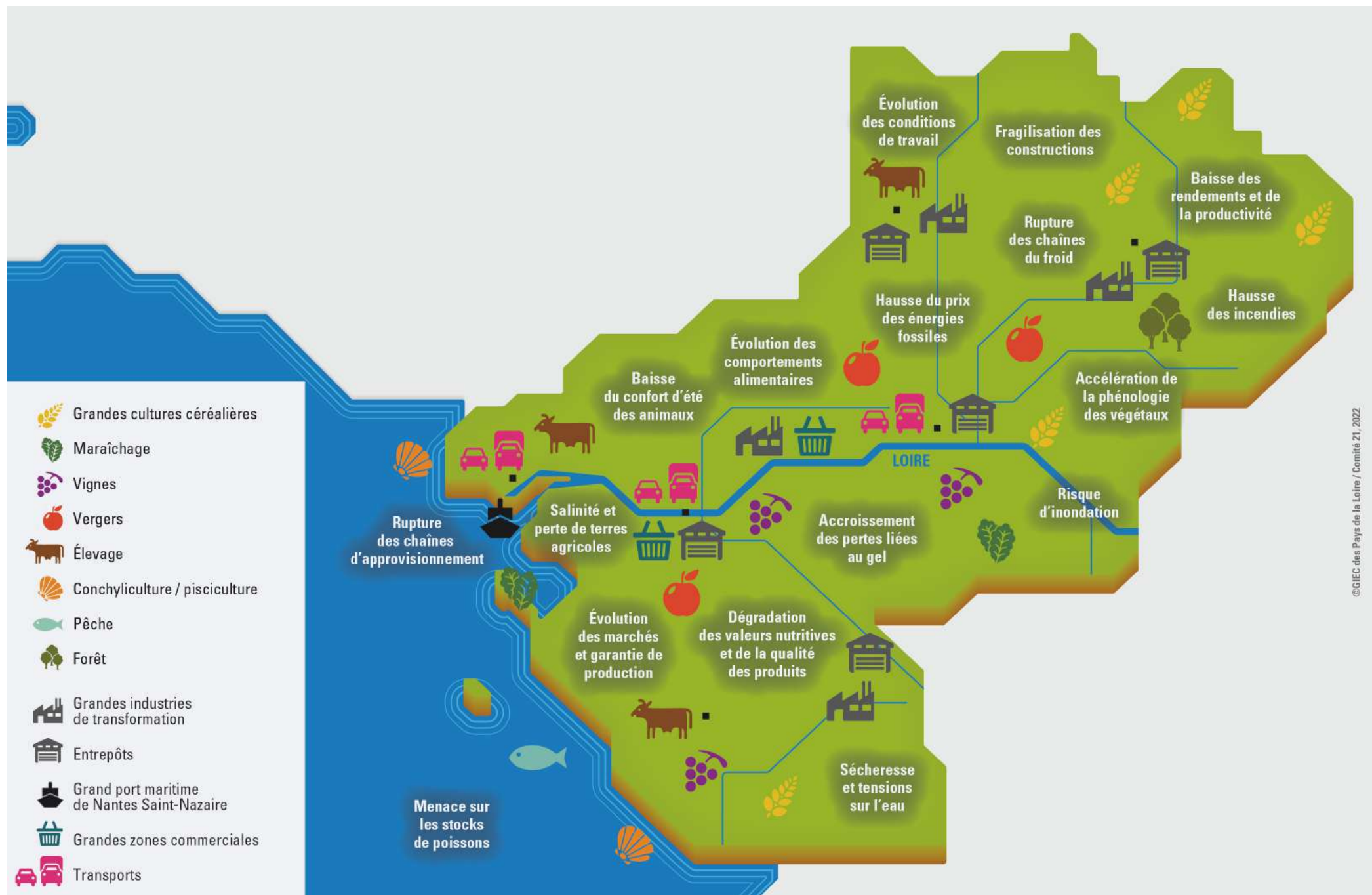
Qu'il s'agisse de la productivité des vignes, de la réaction des cépages ou de la qualité finale des vins : il n'est pas une étape de la production vinicole qui ne soit pas exposée aux changements climatiques.

Globalement déjà, avec la plus grande fréquence des périodes de forte chaleur, la modification des précipitations et le risque accru de sécheresse, les rendements viticoles seront de plus en plus souvent affectés, mais aussi de plus en plus aléatoires. Comme la région a déjà pu le constater, aux hivers de plus en plus doux correspond un bourgeonnement précoce des végétaux, des vignes en particulier. Qu'un gel ait lieu au même moment et ce sont des récoltes entières qui peuvent être anéanties. En France, on compte par exemple que le changement climatique a déjà augmenté d'environ 60 % le risque qu'une vague de froid survienne en période de bourgeonnement.¹⁵⁶ Les mêmes calculs indiquent aussi que la probabilité de gelées survenant pendant la période de croissance des cultures devrait encore augmenter de 40 % dans les prochaines décennies.

Bien logiquement, au bourgeonnement précoce de la vigne correspondent aussi un débourrement, une floraison, une véraison et des récoltes plus précoces. Ainsi, le décalage de la phase de mûrissement des raisins plus tôt dans l'été expose les vignes aux orages chauds et humides qui sont eux-mêmes propices au développement des champignons. Enfin, on constate qu'en l'espace d'une quarantaine d'années, la période de vendanges des cépages d'Anjou et de Saumur a été avancée de deux à trois semaines.¹⁵⁷

FIG. 26 • VULNÉRABILITÉS DU SYSTÈME ALIMENTAIRE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Sources : Registre parcellaire graphique (2012),
Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2018).





Impacts sur les zones basses agricoles

Parmi les espaces agricoles à la fois spécifiques et particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique, on peut aussi citer ceux de l'estuaire ligérien où l'élévation du niveau de la mer expose à un ennoïement plus fréquent des prairies humides de pâturage. Or en plus de réduire l'accès des troupeaux aux prés-salés, le phénomène expose aussi les éleveurs à un problème d'abreuvement à mesure que la salinité augmentera dans les canaux des marais. Comme elle accroît le phénomène de submersion et qu'elle augmente la salure de la zone, l'élévation du niveau de la mer pourrait aussi y entraîner un recul des prairies de fauche. Ainsi, en plus de diminuer la quantité de fourrage disponible pour le bétail en pâture, elle expose alors la région au développement des roselières et à la modification de sa biodiversité.

Impacts sur l'élevage

Quoique les animaux montrent plus de résilience que les cultures, ils restent très sensibles aux changements climatiques dont les impacts affectent l'élevage ligérien de plusieurs façons. La première renvoie aux effets de l'élévation des températures sur le bétail : en plus d'accroître la demande en eau pour l'abreuvement du bétail et de potentiellement proscrire le pâturage en période estivale, les vagues de chaleur exposent en effet les animaux d'élevage au phénomène de stress thermique. Pour les ruminants, ce dernier s'amorce dès 20 °C et se décline de plusieurs façons : altération de l'ingestion, baisse de la fertilité, diminution de la production de lait, surmortalité dans les bâtiments d'élevage dépourvus de système de régulation thermique. De la même façon, une forte hausse des températures expose les volailles au phénomène de coup de chaleur qui, en provoquant une hausse anormale de la température de l'animal, réduit leurs performances et augmente la mortalité dans les exploitations. Au-delà des vagues de chaleur, on observe aussi que les modifications de l'environnement favorisent ensemble le développement de certains parasites, la migration géographique des virus et celle de leurs vecteurs. Or, sachant que la variabilité des conditions météorologiques affecte aussi les réponses physiologiques et immunitaires des animaux, il est probable qu'avec le temps, épizooties, zoonoses ou arboviroses deviennent de plus en plus difficiles à maîtriser, exposant alors à la fois les animaux, les êtres humains et les activités associées.

À ces deux exemples d'impacts du changement climatique sur l'élevage on peut également associer les nombreux aléas que le changement climatique entraîne ou accentue, et qui exposent globalement la productivité des élevages et la pérennité des exploitations : inondations, tempêtes, submersions, sécheresses ou vents violents. Ensemble, ces phénomènes soulignent l'importance de pouvoir entreprendre des mesures d'adaptation pour préserver les exploitations de la région sur la durée.

Finalement, compte tenu du poids de l'élevage dans le système alimentaire de la région, sa vulnérabilité au changement climatique soulève donc une triple problématique : alimentaire, économique et sanitaire. Au-delà cependant, elle souligne aussi les risques liés à la dépendance de la filière : comme la guerre en Ukraine vient en effet de le rappeler, plus les systèmes d'élevage ligériens dépendent des importations pour nourrir leur bétail, plus ils exposent leur sécurité fourragère à des risques qu'ils ne peuvent pas gérer et qui viennent aggraver la vulnérabilité du secteur agricole ligérien au changement climatique.

Impacts sur la production marine

Réchauffement et acidification des eaux, stratification et désoxygénation des eaux de surface (0 à 1000 m) au niveau mondial, élévation du niveau de la mer, augmentation de la fréquence des événements météorologiques extrêmes : comme ils modifient à la fois le cycle des nutriments dans l'océan ouvert et la distribution spatiale des organismes marins, les effets du forçage climatique sur l'environnement marin impactent finalement toute la vie océanique, quoique d'une manière variable d'une mer à l'autre. Ce faisant, c'est aussi toute la filière halieutique et aquacole qui se trouve impactée, des activités de pêche et d'élevage à celles de conserverie, affectant alors aussi le système alimentaire. Ainsi, l'élévation des températures océaniques mène de nombreuses espèces à modifier leurs aires de répartition. Ce faisant, elle modifie la chaîne alimentaire et la disponibilité de ressources halieutiques. Dès à présent, on vérifie également qu'en affectant la production primaire dont dépendent la croissance, la reproduction et la survie des stocks halieutiques, le réchauffement des eaux dégrade aussi le volume et la composition des captures de pêche en mer à l'échelle mondiale. Dans le golfe de Gascogne, la taille et le poids moyens des anchois et des sardines ont diminué, sous l'effet possible d'un changement de nourriture.¹⁵⁹ Au total, on estime qu'à l'échelle mondiale, depuis le milieu du XX^e siècle, le taux de renouvellement des stocks halieutiques a déjà reculé de 3 % par décennie¹⁶⁰ entraînant une diminution moyenne du potentiel de captures durables de 4,1 % sur la même périodicité.¹⁶¹ Pour le moment, le changement n'est pas notable au niveau du golfe de Gascogne, possiblement caché par une réduction de la surpêche. Pour sa part, le phénomène d'acidification océanique réduit la capacité des huîtres à résister aux maladies tandis que l'augmentation de la fréquence des efflorescences d'algues toxiques, elle, perturbe les filières halieutiques et aquacoles. Enfin, sans qu'il soit possible de donner de mesure à la contrainte énergétique sur les activités de pêche, il convient de rappeler ici la sensibilité des bateaux aux prix du gasoil dont l'augmentation pourrait amener, avec la contrainte carbone, au repli côtier de certaines activités de pêche dans un espace déjà concurrentiel, voire modifier les pratiques de pêche pour des engins moins consommateurs d'énergie.

chapitre 5



L'EMPREINTE CLIMATIQUE DU DYNAMISME INDUSTRIEL

L'industrie constitue un acteur majeur de l'économie des Pays de la Loire comme le rapportent notamment la diversité des activités qu'elle représente, le nombre d'emplois qu'elle rassemble à elle seule (près de 263 000 actifs) et sa part dans la valeur ajoutée régionale (17,4 %).¹⁶² Cependant, à la place prédominante qu'elle occupe dans l'économie ligérienne correspond aussi une contribution significative à l'empreinte carbone de la région, une exposition particulière de l'appareil industriel, des salariés et de certaines activités aux variations climatiques et à leurs impacts, ainsi que plusieurs types de risques, physiques ou financiers, liés aux événements extrêmes ou encore à la mise en œuvre de stratégies d'atténuation et d'adaptation.

UNE CONTRIBUTION MAJEURE À L'ÉCONOMIE RÉGIONALE

Des caractéristiques de l'industrie ligérienne, on retient d'abord la diversité de ses activités, leur dispersion sur le territoire et l'importance de l'industrie manufacturière. Or à ces spécificités correspond aussi un niveau d'emploi industriel particulièrement élevé dans la région : avec 16,1 % des actifs, soit 4 points de plus qu'à l'échelle nationale¹⁶³, l'industrie ligérienne se situe en effet au premier rang des régions françaises en termes d'emplois. À cette performance, on peut en ajouter une autre puisqu'à la faveur de l'essor de la construction navale, de la fabrication de matériels de transport et de biens d'équipement, l'industrie ligérienne continue de créer de l'emploi à un rythme plus soutenu que la moyenne en France (+ 1 % entre 2009 et 2018¹⁶⁴). C'est dans le secteur de la construction que la tendance est aujourd'hui la plus saillante puisqu'après avoir traversé une crise importante de 2010 à 2016, le secteur observe une hausse constante de ses effectifs (+ 1,8 % en 2020).

Pour sa part, le classement 2020 des industries des Pays de la Loire en fonction du nombre d'actifs fait aussi apparaître la part majeure occupée par le secteur de la construction qui, à lui seul, employait 91 300 personnes dans la région en 2020¹⁶⁵ ; celle également prédominante du secteur agroalimentaire qui représentait alors 62 900 emplois¹⁶⁶ pour plus de 1 000 établissements. Suivent ensuite dans le classement le sous-secteur des biens d'équipement, qui représentait 33 700 salariés en 2020¹⁶⁷, celui des matériels de transport, dont les 342 établissements dans la région employaient 30 200 salariés¹⁶⁸ la même année et, enfin, le secteur « Énergie, eau, déchets, cokéfaction et raffinage » qui, lui, rassemblait 17 100 salariés.¹⁶⁹ Quant à l'industrie de l'habillement — filière historique à l'échelle de la région —, elle employait 12 179 personnes en 2020 réparties dans

L'industrie ligérienne se distingue par la diversité de ses activités, leur dispersion sur le territoire et l'importance de l'industrie manufacturière.

223 établissements¹⁷⁰, tandis que l'industrie navale, fortement concentrée en Loire-Atlantique, représentait 8 715 salariés pour 95 établissements.¹⁷¹

À son tour, le classement des industries ligériennes en fonction de leur valeur ajoutée souligne la contribution majeure de la construction aéronautique et navale à l'économie régionale, tout comme l'industrie de la mode, le secteur de l'ameublement ou encore celui de l'énergie avec la présence, sur le territoire, de la centrale de Cordemais et de la raffinerie de Donges.¹⁷²

Globalement enfin, le secteur industriel de la région se distingue aussi par sa dispersion sur l'ensemble du territoire qui renvoie elle-même à la diversité de ses activités. Présent dans les cinq départements de la région et premier employeur dans 33 des 71 intercommunalités (EPCI) ligériennes, le secteur de l'agroalimentaire y est même parfois le seul comme dans certaines communautés de communes.¹⁷³ Également présente sur la plus grande partie de la région, la métallurgie constitue quant à elle la deuxième activité industrielle du territoire et le premier employeur industriel dans 11 intercommunalités de la région.¹⁷⁴

Si les industries agroalimentaire et métallurgique sont déployées dans toute la région ou presque, on repère cependant aussi des territoires plus spécialisés. En termes d'effectifs salariés, l'industrie des matériels de transport est particulièrement développée à Nantes, à Saint-Nazaire et au Mans¹⁷⁵, tandis que l'industrie du textile et de la mode, elle, est plus concentrée au niveau des Mayennes¹⁷⁶. Et si c'est à Cholet que la filière du caoutchouc et du plastique s'est installée, c'est à Ancenis et Angers que la fabrication de machines est la plus présente.¹⁷⁷



UNE EMPREINTE CARBONE TROP IMPRÉCISE

À l'importance des activités industrielles dans l'économie régionale et à leur dynamisme tendanciel correspondent bien logiquement des émissions de GES qui contribuent au réchauffement global et, avec lui, aux impacts des dérèglements climatiques sur les activités. Or la variété des secteurs et l'étalement géographique des activités industrielles rendent le défi de l'atténuation des émissions particulièrement complexes à relever pour les politiques publiques. À cette première difficulté s'en ajoutent alors deux autres.

La première renvoie à la difficulté de répartir les émissions régionales de GES d'origine industrielle par secteur. Car en plus du manque d'études sur le sujet, l'hétérogénéité des référentiels rend le travail de consolidation particulièrement complexe : tandis que certaines sources rassemblent dans une même catégorie les matériels de transport et les équipements électroniques ou électriques, d'autres les distinguent ; d'autres encore associent les industries mécanique et électrique aux industries aéronautiques et navales, tout en les distinguant de l'industrie automobile et des autres modes de transport terrestre. Dès lors, à défaut d'un recensement des consommations d'énergie et des émissions de GES pour l'ensemble des branches industrielles, il n'est possible ni de comparer les activités entre elles ni de présenter une vision complète et détaillée de la situation. Pour ce rapport, il a donc été décidé de retenir les données rassemblées par l'inventaire Basemis d'Air Pays de la Loire¹⁷⁸ et de la compléter, à titre indicatif, par des données nationales. Ici, l'industrie regroupe donc les différentes branches de l'industrie manufacturière,

La variété des secteurs et l'étalement des activités industrielles rendent le défi de l'atténuation particulièrement complexe à relever.

le secteur de la construction et le traitement des déchets. Et si les secteurs de l'agroalimentaire, de la construction, des matériaux de construction et de la métallurgie sont détaillés, les autres filières, elles, se trouvent rassemblées dans la catégorie « industries diverses ».

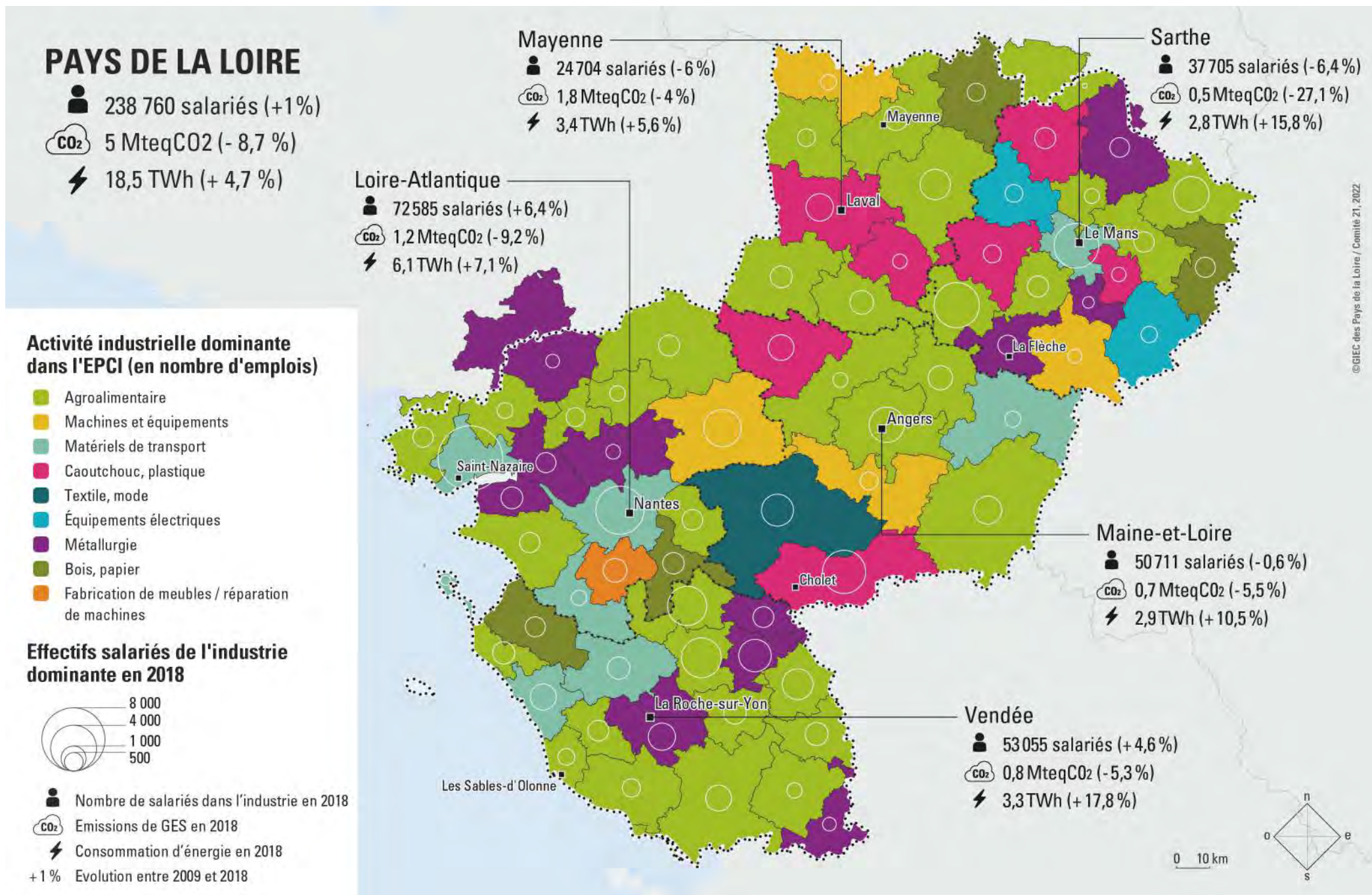
La seconde difficulté, plus globale, ramène quant à elle à l'interprétation du recul de 46 % des émissions industrielles de GES observé à l'échelle nationale entre 1990 et 2019.¹⁷⁹ Si l'on peut attribuer cette réduction aux efforts des différentes industries pour réduire leur impact (gains d'efficacité énergétique, recours à des combustibles moins carbonés, etc.), il est probable que d'autres facteurs y ont également contribué tels que la baisse de la production industrielle de certaines filières, leur reconversion dans des activités d'assemblage moins consommatrices d'énergie, ou encore la délocalisation d'activités polluantes. Il convient donc de rester prudent.

Des émissions à origine et géométrie variables

Globalement, on retient que l'industrie constitue la troisième source de GES à l'échelle de la région — derrière l'agriculture et le transport routier — et que ses émissions ont trois origines : la combustion fixe (les chaudières et fours de procédé), la combustion mobile (engins mobiles non routiers) et la décarbonatation et autres usages non énergétiques. Avec les industries diverses (activités variées, tissu industriel diffus...) qui représentent 47 % des rejets industriels de GES dans la région, les principaux secteurs émetteurs sont ceux des matériaux de construction (25 %), de l'agroalimentaire (13 %), de la construction (11 %) et de la métallurgie (4 %).¹⁸⁰

FIG. 27 • CONTRIBUTION DES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Sources : Acoiss-Urssaf (2019), Urssaf (2020), Air Pays de la Loire/Basemis (2018).





À elles seules, les émissions d'origine non énergétique représentent 52 % des rejets industriels de GES. Pour leur plus grande part — la moitié à l'échelle nationale —, elles émanent des processus de décarbonatation. Cependant, elles proviennent aussi de la synthèse de certains composants chimiques; de la production d'acier, d'aluminium, de zinc et de magnésium; de la fabrication de semi-conducteurs et de panneaux photovoltaïques; de l'usage de certains solvants, aérosols et autres mousses d'isolation thermique; des pertes d'hexafluorure de soufre (gaz isolant électrique) sur le réseau de transport d'électricité; des fuites du réseau de gaz naturel.

Pour 48 %, les émissions industrielles régionales de GES sont donc d'origine énergétique et proviennent des process et de la combustion des activités industrielles. Au total, la consommation énergétique de l'industrie ligérienne représente 20 % de la consommation régionale totale en 2018. À elle seule, la filière agroalimentaire en absorbe 23 %, alors que la construction en consomme 18 %, les matériaux de construction 13 % et la métallurgie 7 %.

Globalement, les industries ligériennes privilégient le gaz naturel et l'électricité qui représentent respectivement 38 % et 35 % de la consommation énergétique industrielle totale et qui sont utilisées tant pour des usages thermiques que des procédés de production. Pour leur part, les produits pétroliers représentent 12 % de la consommation totale et la biomasse 6 %. Sur la durée, on retient d'ailleurs qu'en dépit de la progression de la consommation énergétique de la région (+ 4,7 % entre 2009 et 2018), les émissions de GES, elles, ont reculé de 8,7 % grâce, notamment, au basculement de la consommation énergétique vers des combustibles moins carbonés (gaz naturel, biomasse, etc.). Sur ce point cependant, deux départements se distinguent :

- Avec un recul de plus de 15 % de sa consommation d'énergie entre 2009 et 2018, la Sarthe fait en effet figure d'exception parmi les départements de la région dont la consommation d'énergie demeure plutôt stable sur la même période. Un recul que l'on peut associer, pour partie, à la baisse du nombre d'emplois industriels dans le département, qui, entre 2008 et 2014, s'est élevée en moyenne à 2 % par an.

- De la même façon, on remarque que la Mayenne est le département dont les émissions de GES sont les plus élevées à l'échelle de la région devant la Loire-Atlantique, la Vendée, le Maine-et-Loire et la Sarthe. Un écart qu'il convient d'associer à l'implantation de la cimenterie Lafarge-Holcim dans le département, mais aussi à son usage, important, de combustibles minéraux solides.

SCOPES 1, 2 & 3

Le standard international « GHG Protocol » aide les entreprises à identifier les principaux postes d'émissions directes et indirectes de GES. Il distingue une vingtaine de catégories regroupées en trois grandes familles, les scopes 1, 2 et 3. Le scope 1 concerne toutes les émissions directes de l'entreprise qui sont rangées dans deux grandes catégories : celles liées aux équipements et installations; celles liées au carburant consommé par la flotte de véhicules de l'entreprise. Le scope 2 recense les émissions liées à la production des énergies que l'entreprise utilise (électricité, vapeur, chaleur, froid et air comprimé) et qui dépendent donc grandement de la source d'énergie primaire utilisée pour les produire (pétrole, gaz naturel, charbon, biomasse, éolien, solaire...). Le scope 3 répertorie les émissions des parties prenantes présentes sur la chaîne de valeur de l'entreprise, qu'il s'agisse des émissions des fournisseurs et prestataires en amont, ou celles liées à l'usage des produits et services et à leur fin de vie en aval.

Ainsi, pour les entreprises ayant délocalisé ou sous-traité une partie de leurs activités, c'est au niveau du scope 3 que se situe principalement leur empreinte carbone.

Note: Dans ce chapitre, seules les émissions des scopes 1 et 2 ont été prises en compte, les données du scope 3 n'étant pas disponibles.

UNE MESURE INSUFFISANTE DES RISQUES CLIMATIQUES

Face aux changements climatiques, les entreprises du secteur industriel se trouvent exposées à plusieurs types de risques au même moment : des risques physiques et directs ; des risques déportés sur leur chaîne de valeur ; des risques d'approvisionnement ; des risques de productivité ; des risques réputationnels liés aux évolutions normatives et sociétales ; des risques financiers enfin, liés aux efforts d'atténuation et d'adaptation qu'elles doivent consentir.

Selon l'ONG Carbon Disclosure Project, les conséquences du changement climatique dans le monde coûteront 1 260 milliards de dollars aux entreprises d'ici à 2026, dont 120 milliards d'euros au niveau des chaînes d'approvisionnements.¹⁸¹ Les secteurs les plus exposés sont l'industrie manufacturière, dont les pertes pourraient atteindre 64 milliards de dollars ; l'agriculture et l'agroalimentaire, qui pourraient perdre jusqu'à 17 milliards de dollars ; la production d'électricité pour laquelle les pertes sont estimées à 11 milliards de dollars.¹⁸²

*Désormais,
la pérennité d'une entreprise
procède aussi de sa capacité
à s'adapter rapidement
au changement climatique
et à ses conséquences.*

Ainsi, il apparaît que la pérennité d'une entreprise procède désormais largement de sa capacité à s'adapter rapidement au changement climatique et à ses conséquences. Pour y parvenir, elle doit donc pouvoir identifier les conditions climatiques qui influencent son activité, mesurer sa propre exposition à leurs évolutions, en évaluer l'impact et les risques induits pour, finalement, mettre en place les transformations nécessaires pour améliorer sa résilience.

Les risques liés aux événements exceptionnels

Si la hausse de la température d'ici à la fin du siècle se déclinera de façon différente d'une région à l'autre, les conditions limites de fonctionnement seront partout plus fréquemment atteintes, exposant de plus en plus souvent l'organisation du système à des périodes de stress, voire à des situations de crise. C'est pourquoi il est important pour la productivité, voire la pérennité, des entreprises qu'elles intègrent dès aujourd'hui le changement climatique et ses conséquences dans leurs activités et leur modèle économique.

Parmi les nombreux risques avérés qui, dès aujourd'hui, fragilisent les infrastructures industrielles, on peut citer le phénomène de sécheresse qui, en intensifiant les problèmes de retrait-gonflement d'argile, peut altérer les fondations des bâtiments, ainsi que certains ouvrages routiers et ferroviaires. À leur tour, les températures extrêmes peuvent provoquer une dilatation des rails, voire une coupure électrique imposant d'interrompre le trafic.

À l'exposition accrue des entreprises aux conséquences des événements extrêmes qui peuvent endommager ou détruire les actifs de production sur le territoire ligérien, il faut ajouter ceux qui peuvent perturber leur chaîne logistique ou affecter un segment de la chaîne de valeur. Car le plus souvent, leurs approvisionnements en matières premières dépendent de régions du globe où les aléas climatiques peuvent compromettre la production ou l'acheminement des matières premières indispensables à l'activité de certaines industries régionales ou encore nuire au bon fonctionnement des infrastructures nécessaires à leur acheminement.

Stress thermique sur l'asphalte, torsion des rails, submersion de zones portuaires, affaissement des sols, inondation d'entrepôts, risque accru d'incendie¹⁸³ : avec la progression des événements météorologiques extrêmes, c'est par exemple la fiabilité des infrastructures de stockage et de transport (routier, ferroviaire ou maritimes) qui se trouve exposée partout sur la planète et avec elle, la sécurité de l'approvisionnement mondial et local en matières premières, intrants et composants industriels. Que des inondations interrompent le trafic ferroviaire en Belgique, et ce sont les approvisionnements en provenance des ports de Hollande qui se trouvent suspendus. Au total, le réassureur Swiss Re estime que les pertes financières annuelles moyennes liées aux catastrophes naturelles dans le monde se sont élevées à 190 milliards d'euros ces dix dernières années, avec une croissance de 5 % à 7 % par an.¹⁸⁴

Les risques liés à l'eau

Qu'elle soit utilisée pour l'extraction des minerais, pour le lavage des déchets ou pour leur évacuation ; qu'elle serve aussi au refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les chaudières : l'eau est au cœur des processus industriels et de production d'énergie. Or à mesure que tempêtes, sécheresse et vagues de chaleur s'amplifient avec les changements climatiques, les disponibilités en eau seront de plus en plus soumises aux aléas climatiques et à leurs impacts directs : recul des réserves d'eau naturelles sous l'effet de l'évaporation liée aux fortes chaleurs ; contamination et salinisation des zones humides, sources de filtrage naturelles ; détérioration des équipements de traitement ou d'acheminement de l'eau (bassins d'assainissement, canalisations, aqueducs).

Ainsi, en plus de leurs impacts sur les écosystèmes, l'agriculture et la santé, les modifications de l'état de l'eau et les perturbations de sa disponibilité exposent la production industrielle régionale à différents types de conséquences (refroidissement des machines, procédés chimiques de fabrication, production l'industrie agroalimentaire, entretien et nettoyage des installations, etc.), a fortiori quand elles sont implantées dans des zones exposées aux événements extrêmes (submersion, inondations...).

Or à ces impacts que les entreprises devront gérer sur le territoire il convient d'ajouter tous les autres risques liés à l'eau situés plus en amont sur les chaînes de valeur mondialisées, depuis l'extraction des minerais rares au polissage des écrans, de la production d'hydroélectricité à la fabrication de composants électroniques ou encore, de la production de cacao, papier et coton au nettoyage des puces électroniques. Qu'une sécheresse survienne par exemple à Taïwan et les entreprises ligériennes peuvent se trouver privées des composants électroniques dont elles ont besoin.

Enfin, dans la mesure où la demande énergétique d'origine industrielle continue de progresser et où la production d'énergie représente le secteur dont la consommation d'eau est la plus importante après l'agriculture, il est également possible que la pression sur l'eau induite par la croissance de la demande crée quelques conflits d'usage et se répercute à la fois sur la ressource, sur son prix et donc sur les coûts de production énergétique.

Les risques liés aux conditions de travail

Aux risques physiques que les aléas météorologiques accrus font peser sur les entreprises viennent alors s'ajouter ceux qui pourraient dégrader les conditions de travail des salariés, notamment pendant les vagues de chaleur. Sachant que la température idéale pour travailler en intérieur est de 21,75 °C¹⁸⁵, l'élévation des températures moyennes et, plus encore, la fréquence accrue des vagues de chaleur, exposent les entreprises à des pertes de productivité.

Bien logiquement, les métiers les plus intenses sur le plan physique sont les plus affectés. Dans le secteur de la construction par exemple, les pertes peuvent atteindre 30 % à 40 % lorsqu'il fait 30 °C et approcher les 100 % à une température de 40 °C.¹⁸⁶ Cependant, les personnes travaillant dans les bureaux ne sont pas épargnées. On calcule ainsi que les pertes de productivité peuvent atteindre 6 % à 10 % par 30 °C et 12 % à 21 % par 35 °C.¹⁸⁷ Surtout, au-delà de 28 °C pour un travail plus physique et de 30 °C pour une

activité sédentaire, la chaleur expose les salariés à un risque de santé. C'est pourquoi, d'ailleurs, le Code du travail français dispose que l'employeur est tenu d'éviter « les élévations exagérées de température » dans les locaux de l'entreprise, mais aussi qu'en cas de non-respect, susceptible de causer un « danger grave et imminent » pour le salarié, ce dernier peut faire valoir un droit de retrait.¹⁸⁸

En plus de la pénibilité physique qu'elles induisent, les vagues de chaleur répétées peuvent également être à l'origine de perturbations physiologiques directes qui viennent accentuer différents risques professionnels, mais aussi de troubles neuropsychologiques qualifiés de « baisses de la vigilance » chez les travailleurs qui, à leur tour, exposent à une augmentation de la fréquence de certains accidents professionnels.

Les risques réputationnels et financiers

Comme il engage les industriels à investir pour réduire leur empreinte carbone, mettre en place des stratégies d'adaptation, ajuster leurs activités aux nouvelles réglementations et limiter les conséquences d'événements climatiques défavorables, le changement climatique expose également les entreprises à différents risques de transition.

Le premier est réputationnel et renvoie à la contrainte, pour les entreprises, de s'approprier les changements que la lutte contre les émissions de GES introduit dans les lois, réglementations, normes, technologies, besoins et préférences clients. Déjà, les exemples se multiplient d'entreprises qui, ne respectant pas les réglementations environnementales nationales ou internationales, se trouvent confrontées à des décisions de justice, des sanctions financières ou encore à quelques campagnes de dénonciation sur la place publique, des difficultés de recrutement, voire à des refus de financement. On constate ainsi qu'une grande majorité des fonds d'investissement ou fonds de pension dirigent désormais leurs capitaux vers les entreprises dont la notation environnementale est élevée. Pour leur part, les banques sont tenues de mesurer le risque associé à leur portefeuille de prêts et d'investissements à travers le prisme de la notation environnementale. Enfin, on voit à présent émerger des prêts dont le coût évolue avec la notation environnementale.

À son tour, le risque de transition renvoie au coût financier que représentent pour les entreprises la transformation ou l'adaptation de leurs activités ou de leurs structures dans le but de réduire leur empreinte écologique, que ce soit en sortant des énergies fossiles, en diminuant leur consommation d'énergie, d'eau et d'autres ressources naturelles, en modifiant leurs sources d'approvisionnement, etc. Autrement dit, en modifiant leurs pratiques, leur

appareil productif, leurs produits, voire leur modèle de développement. Cependant, elles peuvent se trouver alors confrontées à de nouveaux risques, eux-mêmes induits par la transition. Parmi d'autres exemples, on peut évoquer celui de la conversion aux énergies renouvelables dont on connaît la sensibilité aux variations météorologiques (vent, ensoleillement et précipitations), mais aussi à la disponibilité de certains minerais (lithium, néodyme, cobalt...).

Enfin, il convient d'évoquer ici le risque lié à la « variabilité climatique » qui amène à chiffrer ce que, dès aujourd'hui, l'inaction des entreprises coûte jour après jour, mois après mois, au fil de la variation des températures et des niveaux de précipitations. Moins visibles que les impacts des événements extrêmes sur les actifs des entreprises, les impacts de la variabilité climatique peuvent cependant se répercuter sur toute la chaîne de valeur et modifier les ventes, les coûts de production, l'approvisionnement, les marges, et plus généralement la solidité financière des firmes, plus particulièrement dans des secteurs tels que l'énergie, l'agroalimentaire, le tourisme, les transports, la vente au détail et la construction. Globalement, il ressort de plusieurs études¹⁸⁹ que la variabilité climatique pourrait coûter 600 milliards d'euros à l'Europe en 2022 qui viennent s'ajouter aux 10,6 milliards d'euros de dommages que les événements extrêmes y ont représentés en 2020. Dans les Pays de la Loire, au vu de la contribution de la région au PIB national et de l'exposition moyenne aux risques liés aux aléas climatiques, on peut estimer que le coût financier de la variabilité climatique atteint déjà 9 milliards d'euros par an.



2 LOGISTIQUE AMONT, APPROVISIONNEMENT DES RESSOURCES

- Rupture d'approvisionnement (ressources non disponibles).
- Augmentation du risque de défauts (qualité).
- Instabilité des marchés d'approvisionnement, hausse des prix.
- Interruption des chaînes logistiques.
- Allongement de la durée de transit.
- Vulnérabilité des entrepôts, détérioration des conditions de stockage.

1 EXPLOITATION DES RESSOURCES

- Faible disponibilité des ressources en eau.
- Perturbation des exploitations minières, impacts sur les gisements.
- Irrégularité des productions agricoles et forestières.
- Altération des matières (qualité).



FIG. 28 • EXPOSITION DE L'INDUSTRIE RÉGIONALE AUX ENJEUX CLIMATIQUES

Source : GIEC des Pays de la Loire / Comité 21, 2022.



Exposé méthodologique

Le système climatique est un ensemble complexe constitué de cinq composantes principales : l'atmosphère, les surfaces continentales, l'hydrosphère (océans, lacs, rivières, nappes d'eau souterraines...), la cryosphère (glaces, manteau neigeux) et la biosphère (l'ensemble des organismes vivants dans l'air, sur terre et dans les océans). Ces cinq composantes du système interagissent entre elles en échangeant eau, chaleur, mouvement et composés chimiques, ce qui constitue le climat.

Le comportement du système climatique est influencé par des forçages, un terme qui désigne les perturbations dans l'équilibre énergétique de la Terre. Ces forçages modifient le bilan radiatif du système climatique, c'est-à-dire la différence entre l'énergie reçue en provenance du Soleil et l'énergie rayonnée par la Terre vers l'espace. Ils sont de deux types : naturels (notamment liés aux variations du rayonnement solaire et aux éruptions volcaniques) ou anthropiques (dus aux activités humaines).

Il est scientifiquement admis que les changements climatiques sont liés aux forçages anthropiques. En effet, la pression exercée par l'Homme (combustion d'énergie fossile, modification de l'utilisation des sols, déforestation...) a entraîné une augmentation continue de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, empêchant l'énergie solaire de repartir vers l'espace (effet de serre) et contribuant ainsi à réchauffer la surface terrestre et une partie de l'atmosphère.

Les émissions de gaz à effet de serre

Pour connaître les volumes de GES émis sur le territoire, le GIEC des Pays de la Loire a pris en compte quatre types de données :

1. Les données publiées au format Citepa-Secten (inventaire Basemis), qui comptabilisent les émissions directement reliées aux activités du territoire (agriculture, transport, résidentiel, tertiaire, industrie, déchets...). Si les émissions liées à la production d'électricité et de chaleur de réseau (centrale thermique de Cordemais, chaufferies alimentant les réseaux de chaleur...) sont prises en compte dans ce format, celles liées aux consommations d'énergie dont la production provient d'une autre région en sont exclues. Ces données régionales sont conformes au reporting national et européen. Dans le format Secten, les émissions régionales de GES s'élèvent à 30,697 MteqCO₂ sur l'année 2018. Ces données ont été utilisées dans les FIG. 7, 8,

20, 22, 25 et 27 pour reporter les émissions régionales et départementales, ainsi que leur évolution sur une période de dix ans (2009-2018).

2. Les données publiées au format PCAET (Plan Climat Air Énergie Territorial – Air Pays de la Loire), qui rapportent les émissions liées aux consommations d'énergie (chaleur et électricité) au niveau des secteurs d'activités (résidentiel, tertiaire...), mais qui ne comptabilisent pas les émissions induites par la production régionale d'électricité et de chaleur. Dans ce format, les émissions régionales de GES s'élèvent à 28,585 MteqCO₂ sur l'année 2018. Ces données ont été utilisées dans la FIG. 8 pour reporter les émissions des EPCI et leur évolution entre 2009 et 2018.

3. Les données publiées au format UTCF qui comptabilisent les émissions directes issues de l'évolution de la biomasse et des changements des stocks de carbone contenu dans les sols. Dans ce format, les émissions régionales de GES sont négatives et s'élèvent à - 2,659 MteqCO₂ sur l'année 2018. Les puits de carbone forestier (forêts, arbres, haies, bosquets) s'élèvent à - 3,746 MteqCO₂, la récolte de bois à + 0,978 MteqCO₂ et le changement des stocks de carbone contenu dans les sols à + 0,109 MteqCO₂. Ces données ont été utilisées dans les FIG. 7 et 24.

4. Les données relatives aux émissions de CO₂ issues de la combustion biomasse (non inclus dans le format Secten). Elles s'établissent à 3,001 MteqCO₂ sur l'année 2018 et sont utilisées dans la FIG. 7.

Pour rapporter les émissions de GES et leurs sources, le GIEC International a pris en compte de multiples indicateurs, tels que :

– **l'occupation des sols**, dont la mesure est donnée par les services statistiques du ministère de l'Agriculture (Teruti-Lucas, Agreste) et réalisée à partir d'une enquête annuelle (chiffres 2018). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 3 pour donner un aperçu de la répartition des sols ligériens selon leur vocation (agricole, artificiel ou naturel).

– **les consommations d'espaces naturels, agricoles et forestiers** (NAF), fournies par l'outil Cartagene et calculées à partir des déclarations d'impôts de la taxe foncière (chiffres 2009 et 2018). Ces données ont été utilisées dans les FIG. 18 et 19 pour reporter l'artificialisation des sols entre 2009 et 2018.

– **l’empreinte urbaine**, réalisée par analyse radiométrique satellite (Sentinel-2) selon la méthodologie de classification Pixstart d’occupation du sol. Ces données ont été utilisées dans la FIG. 5.

– **la consommation d’énergie dans l’habitat**, mesurée par Air Pays de la Loire (chiffres 2009 et 2018). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 22 pour reporter l’évolution des consommations d’énergie dans le secteur résidentiel.

– **l’évolution du nombre de logements**, communiquée par les services statistiques de l’Insee (chiffres 2009 et 2018). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 18 pour reporter les nouvelles constructions dans les Pays de la Loire.

– **la consommation d’énergie liée au transport routier**, que rapportent les inventaires d’Air Pays de la Loire (chiffres 2009 et 2018). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 20 pour reporter l’évolution des consommations d’énergie dans ce secteur.

– **les déplacements domicile-travail**, identifiés par l’Insee à partir du recensement de la population (chiffres 2006 et 2016). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 20 pour identifier les principaux flux de mobilité entre les intercommunalités de résidence et celles de travail.

– **les consommations de carburants**, publiées par Air Pays de la Loire (chiffres 2009 et 2018). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 21, pour identifier la part de la consommation énergétique liée aux carburants en fonction du type de véhicule.

– **le nombre d’emplois industriels**, tel que calculé par l’Urssaf (chiffres 2009 et 2018). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 27 pour reporter l’évolution de la dynamique industrielle, et identifier les activités dominantes dans chacune des EPCI.

– **l’empreinte alimentaire des habitants**, mesurée par l’observatoire TEO Pays de la Loire (chiffres 2018) et calculée à partir de l’outil Quanti GES de l’Ademe. Ces données ont été utilisées dans la FIG. 25 pour montrer l’importance du régime alimentaire dans l’empreinte carbone d’un habitant.

– **les stocks de carbone contenus dans les sols**, calculés à partir des données ponctuelles issues des 2 programmes nationaux IGCS et RMQS du GIS Sol (chiffres 2016).

Ces données ont été utilisées dans la FIG. 24 pour montrer l’impact potentiel du déstockage de CO₂ qui pourrait être lié aux changements d’affectation des sols.

D’autres indicateurs ont été utilisés dans ce rapport, sans pour autant faire l’objet d’une illustration visuelle (production agricole et marine, importation d’engrais ou de tourteaux de soja, valeur ajoutée du secteur industriel, volume des marchandises transportées, répartition des déplacements par type d’activités...). Ils sont cités dans les sources bibliographiques en fin de rapport.

L’évolution récente des températures

Pour connaître l’effet du réchauffement global sur les températures régionales, le GIEC des Pays de la Loire s’appuie sur les données de Météo France. Il compare l’écart des températures actuelles avec les valeurs observées sur une période de référence de trente ans (1961-1990), conformément aux règles imposées par l’Organisation mondiale de la météorologie (OMM). Ces données s’appuient sur les relevés « météo » (516 stations dans les Pays de la Loire). Elles ont été reportées dans la FIG. 9. À noter que cette période de référence n’est pas la même que celle utilisée dans les accords internationaux pour estimer le réchauffement global planétaire (1850-1900) et pour laquelle Météo France ne dispose pas de données régionales suffisamment fiables.

En ce qui concerne les projections climatiques, une autre référence est utilisée, plus récente (1976-2005). Le GIEC attire l’attention du lecteur sur les différentes périodes de références, qui peuvent être source de mauvaise compréhension. Sur de très longues périodes, les variations passées de température ont contribué à façonner les paysages régionaux, mais aussi sa diversité biologique. Ces informations ont été utilisées dans les FIG. 1, 2 et 4.

Les projections climatiques

Pour modéliser le climat futur, le GIEC des Pays de la Loire s’appuie sur un jeu de données issu de l’ensemble Euro-CORDEX (DRIAS-2020). Ces données intègrent trente modèles climatiques, dont le GIEC a retenu la valeur médiane. Elles ont été utilisées dans les FIG. 10, 11, 12 et 13. Deux scénarios d’évolution des GES ont été pris en compte, sous le format RCP (« Representative Concentration Pathways », 5^e rapport du GIEC International) :

- un scénario optimiste (RCP2.6), qui permet d'atteindre un pic des émissions avant 2050 ;
- un scénario pessimiste (RCP8.5), où les émissions continuent d'augmenter au rythme actuel.

Il est important de préciser que les scénarios d'émissions ne suffisent pas à simuler l'évolution future du climat. Les modèles climatiques prennent également en compte les milieux (atmosphère, surface continentale, proximité de l'océan) et les échanges entre ces milieux.

Dans son 6^e rapport, le GIEC International utilise de nouveaux scénarios, qui prennent en compte les déterminants socio-économiques des changements climatiques. Baptisés SSP (« Shared socioeconomic pathways »), ils ne sont pas encore régionalisés. C'est pourquoi ils n'ont pas été utilisés dans ce rapport.

Les horizons temporels auxquels ce rapport fait référence sont au nombre de trois :

- un horizon proche, autour de 2035 (2021-2050) ;
- un horizon moyen, autour de 2055 (2041-2070) ;
- un horizon lointain, autour de 2085 (2071-2100).

La référence utilisée (1976-2005) correspond à la période de trente ans la plus récente dans le standard Euro-CORDEX.

Dans ce rapport, les projections climatiques ont été réalisées sur 4 indicateurs-clés, calculés quotidiennement et reportés annuellement :

- **les températures moyennes** ;
- **le nombre de jours chauds**, où la température maximale quotidienne dépasse 25 °C (journée considérée comme estivale selon Météo France) ;
- **le nombre de jours de vague de chaleur**, où pendant plus de 5 jours consécutifs, la température maximale dépasse de 5 °C la température de référence (appelée « normales de saison » et calculée sur la période 1976-2005) ;
- **les précipitations intenses** (au-dessus du 90^e centile annuel), qui correspondent au nombre de jours où le cumul des précipitations se situe dans les 10 % des valeurs les plus élevées. En calculant le cumul des précipitations des jours où ce seuil est dépassé, et en

divisant le tout par le cumul sur toute l'année, on obtient une fraction qui correspond à la part des fortes précipitations dans le total des précipitations annuelles.

La vulnérabilité du territoire aux changements climatiques

Pour mesurer la vulnérabilité du territoire face aux changements climatiques, le GIEC des Pays de la Loire s'est appuyé sur un ensemble d'indicateurs, tels que :

– **l'humidité des sols**, rapportée par Climat HD (Météo France) et calculée à partir d'un outil de simulation numérique baptisé Safran Isba Modcou (SIM). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 15 pour comparer le cycle annuel d'humidité des sols entre 1961-1990 et différents horizons temporels, proches et lointains. Le scénario d'émissions utilisé est le SRES A2 (4^e rapport du GIEC International), légèrement plus optimiste que le RCP8.5. Les données n'ayant pas été actualisées au format RCP.

– **l'indice de feux météo**, rapporté par l'Agence européenne de l'environnement (chiffres 2020) et calculé à partir d'un modèle canadien (Fire Weather Index). Cet indice calcule l'évolution prévue du risque de feux de forêt d'ici à la fin du XXI^e siècle, pour deux scénarios d'émission, par rapport à la période 1981-2010. Ces données ont été utilisées dans la FIG. 17 pour estimer le risque d'occurrence d'un feu en fonction de l'indice d'humidité de la végétation et du vent.

– **les surfaces inondables**, rapportées par la plateforme Géorisques (chiffres 2020) et croisées avec les enjeux socio-économiques (nombre d'habitants et d'emplois, infrastructures économiques...). Ces données ont été utilisées dans la FIG. 14 pour identifier les territoires qui concentrent le plus d'enjeux face au risque d'inondation. Ces TRI (Territoires à risque important d'inondation) se distinguent des communes concernées par leur Plan de prévention des risques littoraux), dont l'objectif est avant tout d'empêcher l'aggravation des risques pour la population, en cas de poursuite de l'urbanisation dans des zones inondables.

– **le niveau de l'océan Atlantique**, fourni par les marégraphes de Brest et de Saint-Nazaire (chiffres 2019) et croisé aux caractéristiques morphologiques du territoire (reliefs terrestres et marins, évolution des côtes...). Ces données ont été utilisées dans les FIG. 16 et 23 pour identifier les principales zones de vulnérabilité face au risque de submersion marine.

D'autres indicateurs ont été utilisés dans ce rapport, sans pour autant faire l'objet d'une illustration visuelle (disponibilité des ressources en eau, risques sanitaires, vulnérabilités des infrastructures...). Ils sont cités dans les sources bibliographiques en fin de rapport. En complément de ces indicateurs, le GIEC des Pays de la Loire a effectué une revue de la littérature scientifique pour identifier les principales vulnérabilités du territoire. Ces documents, très divers, ont été utilisés pour la réalisation des FIG. 26 et 28.

Notes bibliographiques

¹ DREAL Pays de la Loire (2016). Atlas de paysages des Pays de la Loire. <http://www.paysages.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-familles-geographiques-r20.html>

² Région Pays de la Loire (2017). État des lieux régional sur la biodiversité et ses activités associées. <https://www.paysdelaloire.fr/sites/default/files/2020-06/dtee-2017-plaquette-etat-lieux-biodiversite.pdf>

³ Agreste Pays de la Loire (2021). L'occupation du sol entre 1982 et 2018. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos2103/Dossiers%202021-3_TERUTI.pdf

⁴ Agreste Pays de la Loire, op. cit.

⁵ Agreste Pays de la Loire (2021). Recensement agricole 2020. Les Pays de la Loire, une région diversifiée majoritairement tournée vers l'élevage. https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Etudes_RA2020_Region_cle0b9983.pdf

⁶ Agreste Pays de la Loire (2020). Dossier territorial départemental Loire-Atlantique 2020. https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Essentiel_2020_02_Pres44_cle897198.pdf

⁷ Région Pays de la Loire (2017). État des lieux régional sur la biodiversité et ses activités associées. <https://www.paysdelaloire.fr/sites/default/files/2020-06/dtee-2017-plaquette-etat-lieux-biodiversite.pdf>

⁸ DREAL Pays de la Loire (2020). L'état écologique des masses d'eau en Pays de la Loire. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/l-etat-ecologique-des-masses-d-eau-en-pays-de-la-a5598.html>

⁹ Agence de l'eau Loire-Bretagne (2017). Maine-Loire-Océan, une situation très dégradée. <https://agence.eau-loire-bretagne.fr/home/bassin-loire-bretagne/zoom-sur-la-qualite-des-eaux-en-loire-bretagne-2020.html?dossierCurrentElemente45c63ca-4536-4b29-97c5-1cc2713d5974=044127e5-f646-4213-bda2-0c9f7a100af0>

¹⁰ Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (2019). Données sur les prélèvements en eau. <https://bnpe.eaufrance.fr/>

¹¹ Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2012). Explore 2070, Hydrologie de surface A1 — Rapport de synthèse. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/RE_Explore2070_Hydrologie_Synthese.pdf

¹² Office français de la biodiversité (2020). Une baisse du débit de la Loire annoncée. <https://www.ofb.gouv.fr/une-baisse-du-debit-de-la-loire-annoncee>

¹³ Insee (2020). Les défis de la région Pays de la Loire au regard des objectifs de développement durable. Dossier Pays de la Loire n° 4. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4770677>

¹⁴ Insee (2018). Une croissance de population concentrée à l'ouest et un fort vieillissement. Projections de population à horizon 2050. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3569851#consulter>

¹⁵ Insee (2020). Pays de la Loire : une dynamique démographique soutenue, portée par la Loire-Atlantique. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5005318>

¹⁶ Insee (2022). Dossier complet : région Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=REG-52>

¹⁷ Solutions&co (2022). Près d'un tiers de la population régionale vit dans les grands pôles urbains. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/demographie/repartition/>

¹⁸ Insee (2021). Dossier complet Département de la Vendée. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=DEP-85#chiffre-cle-5>

¹⁹ Insee (2021). Dossier complet Département de la Loire-Atlantique. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=DEP-44>

²⁰ Insee (2020). Produit intérieur brut en 2020. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2012723>

²¹ Solutions&co (2021). L'emploi dans les Pays de la Loire. [https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/emploi/#:~:text=En%205%20ans%20\(2015%2D2020,cette%20p%C3%A9riode%2C%20derri%C3%A8re%20la%20Corse](https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/emploi/#:~:text=En%205%20ans%20(2015%2D2020,cette%20p%C3%A9riode%2C%20derri%C3%A8re%20la%20Corse)

²² Insee (2019). L'essentiel sur les Pays de la Loire. https://www.insee.fr/fr/statistiques/4482458#tableau-figure5_radio3

²³ Solutions&co (2022). La valeur ajoutée par secteur. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/pib/tissu-economique/?output=pdf>

²⁴ Agence européenne de l'environnement (2020). Les impacts du changement climatique en Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/explore-interactive-maps/climate-change-impacts-in-europe>

²⁵ Copernicus (2022). Globalement, les sept années les plus chaudes étaient les sept dernières, le dioxyde de carbone et les concentrations de méthane continuent d'augmenter. https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/Annual_summary_2021/C3S-CAMS%20annual%20temp%20data%20and%20CO2%202021_press%20release_final.pdf

²⁶ Ministère de la Transition écologique (2021). Chiffres clés du climat — France, Europe et Monde. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/pdf/document.pdf>

²⁷ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2014). 5e rapport d'évaluation du GIEC. <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/publications/>

^{28, 29} Basemis Air Pays de la Loire (2021), Inventaire 2008 à 2018 — Consommations d'énergie, production d'énergie renouvelable, émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en Pays de la Loire. https://www.airpl.org/sites/default/files/2021-11/airpl_rapport-basemis-V6_2021-06-17_vf.pdf

^{30, 31, 32, 33, 34} La consommation d'énergie finale correspond à la consommation des utilisateurs finaux, c'est-à-dire l'énergie livrée et effectivement consommée (essence à la pompe, électricité en sortie de compteur électrique, etc.). Elle ne prend pas en compte les rendements des équipements l'utilisant (qui permet de calculer l'énergie utile non concernée). Source : Basemis Air Pays de la Loire.

³⁵ Météo France (2022). Climat HD. <https://meteofrance.com/climathd>

^{36, 37, 38, 39, 40} DRIAS Les futurs du climat (2022). <http://drias-climat.fr/>

⁴¹ Météo France, op. cit.

^{42, 43} DRIAS Les futurs du climat, op. cit.

⁴⁴ Ministère de l'Écologie et du Développement durable, op. cit.

⁴⁵ DRIAS Les futurs du climat, op. cit.

⁴⁶ Livre blanc Covéa (2022). Changement climatique & assurance : Quelles conséquences sur la sinistralité à horizon 2050 ? https://www.covea.eu/sites/default/files/2022-02/202202_Livre_Blanc_Cov%C3%A9a_Risques_Climatiques.pdf

^{47,48} Moatar F. et al. (2010). La Loire à l'épreuve du changement climatique. Géosciences, BRGM, 2010, 12, pp.78-87. https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00549254/file/Moatar-GA_oscience-2010.pdf

⁴⁹ Les poissons dans l'Estuaire de la Loire, GIP Loire estuaire, 2018. <https://www.migrateurs-loire.fr/les-poissons-de-lestuaire-de-la-loire/>

⁵⁰ Région Pays de la Loire (2019). Le territoire — Chiffres clés. <https://www.paysdelaloire.fr/mon-conseil-regional/le-territoire/chiffres-cles>

⁵¹ Ouest France (2021). Entretien. « Pour l'océan, des effets du changement climatique sont déjà irréversibles ». <https://www.ouest-france.fr/environnement/rechauffement-climatique/entretien-pour-l-ocean-des-effets-du-changement-climatique-sont-deja-irreversibles-443837a0-f915-11eb-bfc0-b73bf8d3db27>

⁵² GIEC (2019). Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans un climat en mutation. <https://www.ipcc.ch/srocc/>

⁵³ Conseil scientifique de l'environnement de Bretagne — Lhuillery M., Treguer P., Viard F. (2009). Changement climatique et impacts sur les écosystèmes marins de l'ouest de la France. <http://www.cseb-bretagne.fr/index.php/component/remository/func-startdown/60/?Itemid=167>

^{54,55} GIEC, op. cit.

⁵⁶ France Info (2022). Climat : « L'acidité a augmenté de 30 % dans les océans depuis l'ère préindustrielle, c'est catastrophique », avertit un chercheur. https://www.francetvinfo.fr/meteo/climat/climat-l-acidite-a-augmente-de-30-dans-les-océans-depuis-l-ere-preindustrielle-c-est-catastrophique-avertit-un-chercheur_5145535.html

⁵⁷ Schmidt S. et al. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. Nature <https://www.nature.com/articles/nature21399>

⁵⁸ Ministère de la Transition écologique, op. cit.

⁵⁹ Refmar Shom (2020). Évolution du niveau de la mer au port de Brest depuis le début du XVIII^e siècle. <http://refmar.shom.fr/fr/evolution-niveau-marin-brest>

⁶⁰ Refmar Shom Saint-Nazaire (2019). <http://refmar.shom.fr/saint-nazaire>

⁶¹ GIEC, op. cit.

⁶² Organisation météorologique mondiale (2020). Rapport sur la situation des services climatologiques en 2020 : passer des alertes précoces à des actions rapides. <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/rapport-sur-la-situation-des-services-climatologiques-en-2020-passer>

⁶³ Ouest France, Xynthia, 10 ans après. Une tempête ancrée dans les mémoires, 2020 <https://www.ouest-france.fr/environnement/xynthia/xynthia-10-ans-apres-une-tempete-qui-restera-gravee-dans-les-memoires-dddf62c6-51a9-11ea-a41e-036ef30f7be8>

⁶⁴ Sénat (2010). Rapport d'information de M. Alain Aziani. https://www.senat.fr/rap/r09-554/r09-554_mono.html

⁶⁵ Chatry C. et al. (2010). Rapport de la mission interministérielle — Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêt. <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/104000494.pdf>

⁶⁶ Institut national de l'information géographique et forestière (2020). Base de données sur les incendies de forêt en France (BDIFF). <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-de-donnees-sur-les-incendies-de-forets-en-france-bdiff/>

⁶⁷ Département de la Sarthe (2020). Dossier départemental des risques majeurs. http://www.sarthe.gouv.fr/IMG/pdf/ddrm_final_ok.pdf

⁶⁸ France Assureurs (2021). Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050. https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/VF_France-Assureurs_Impact-du-changement-climatique-2050.pdf

⁶⁹ Caisse centrale de réassurance (2019). La prévention des catastrophes naturelles par le fonds de prévention des risques naturels majeurs — Bilan 1995-2019. <https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/documents/148935/543490/Rapport+r%C3%A9gional+Pays+de+la+Loire.pdf/6deecf9f-285a-033a-b718-85e803bc738e?t=1612803258307>

⁷⁰ Livre blanc Covéa, op. cit.

⁷¹ Agreste (2017-2018-2019). Enquêtes Teruti. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos2103/Dossiers%202021-3_TERUTI.pdf

⁷² Cerema (2020). Portail de l'artificialisation des sols. <https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/>

^{73,74} Agreste (2017-2018-2019). Enquêtes Teruti. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos2103/Dossiers%202021-3_TERUTI.pdf

^{75,76} Insee (2022). Dossier complet : Région des Pays de la Loire <https://www.insee.fr/statistiques/2011101?geo=REG-52#chiffre-cle-3>

⁷⁷ Insee (2017). À l'horizon 2050, plus d'un quart de personnes âgées de 65 ans ou plus dans les Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/statistiques/2868681>

⁷⁸ Insee (2021). En 50 ans, le nombre de logements a plus que doublé. <https://www.insee.fr/statistiques/5402573>

⁷⁹ DREAL (2021). Les résidences secondaires en Pays de la Loire — Synthèse de l'étude. https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2411h20elmjc_etude_rs_synthese.pdf

⁸⁰ DREAL (2014). Consommation d'espace, Les parcelles bâties à vocation résidentielle ou économique. http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/evolution_parcelles_bati_residentielV5.pdf

⁸¹ DREAL (2020). Une croissance continue de l'espace dédié à l'activité économique. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-zones-d-activites-r2217.html>

⁸² DREAL (2017). Consommation d'espace — Évolution des surfaces artificialisées hors routes – novembre 2017. https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/surf_artificialisees2015v3.pdf

⁸³ Insee, op. cit. (Les défis de la région PDL au regard des objectifs de développement durable)

⁸⁴ Insee (2019). De plus en plus de Ligériens travaillent hors de leur intercommunalité de résidence. <https://www.insee.fr/statistiques/4206019>

^{85,86} Insee (2021). Déplacements domicile-travail : la voiture en pole position, même pour de courtes distances. <https://www.insee.fr/statistiques/5011745>

⁸⁷ Observatoire économique et social Région Pays de la Loire (2020). Consultations départementales SRADDET Pays de la Loire. https://www.paysdelaloire.fr/sites/default/files/2020-02/portait-loire_atlantique.pdf

^{88,89} Insee, op. cit. (Les défis de la région PDL au regard des objectifs de développement durable)

⁹⁰ Insee (2020). Bilan économique 2019 — Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4475908?sommaire=4476026>

⁹¹ Actu Transport Logistique (2020). Fret ferroviaire : la Région Pays de la Loire veut montrer la voie. <https://www.actu-transport-logistique.fr/ferroviaire/fret-ferroviaire-la-region-pays-de-la-loire-veut-montrer-la-voie-629548.php>

⁹² Synaxe (2021). Comment choisir et optimiser le transport de vos granulats ? <https://www.synaxe.com/blog/transport-de-granulats#:~:text=Un%20train%20de%20marchandises%20%C3%A9met%2014%20fois%20moins,diminuer%20pour%20cause%20de%20co%C3%BBts%20d%27exploitation%20trop%20%C3%A9lev%C3%A9s>

⁹³ CARENE Saint-Nazaire Agglomération (2018). Flexiloire. Une liaison fluviale entre Nantes et Saint-Nazaire. <https://www.agglo-carene.fr/actus/flexiloire-une-liaison-fluviale-entre-nantes-et-saint-nazaire-8664>

⁹⁴ Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

⁹⁵ Carbone 4 (2022). Les idées reçues sur la voiture électrique. <https://www.carbone4.com/analyse-faq-voiture-electrique>

⁹⁶ EDF R&D (2020). Étude prospective Pays de la Loire 2050

^{97,98,99} Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹⁰⁰ Xpair (2019). BIM en neuf et rénovation : la performance passe par l'interopérabilité et la qualité des données. https://conseils.xpair.com/actualite_experts/bim-neuf-renovation-performance-interoperabilite-qualite-donnees.htm

¹⁰¹ Observatoire DPE Ademe (2019).

¹⁰² Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹⁰³ Ministère de la Transition écologique et solidaire (2019). Projet de stratégie nationale bas carbone. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/SNBC-2%20en%204%20pages_%20web.pdf

^{104,105} Ademe (2020). La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires. <https://bibliothèque.ademe.fr/air-et-bruit/4745-la-climatisation-de-confort-dans-les-batiments-residentiels-et-tertiaires.html>

¹⁰⁶ Ademe (2022). Forêt française — L'estimation de la séquestration carbone. https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?foret-francaise.htm

¹⁰⁷ Ministère de la Transition écologique et solidaire et al. (2019). La séquestration de carbone par les écosystèmes en France. <https://www.vie-publique.fr/catalogue/272279-la-sequestration-de-carbone-par-les-ecosystemes-en-france>

^{108,109} Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹¹⁰ France Info (2015). Plus de 600 000 foyers privés d'électricité en Bretagne et en Pays de la Loire. https://www.francetvinfo.fr/france/plus-de-600-000-foyers-prives-d-electricite-en-bretagne-et-pays-de-la-loire_977691.html

¹¹¹ Nantes Métropole et Université de Nantes (2014). Consolidation du volet adaptation du Plan Climat Air Énergie Territorial de Nantes Métropole : Étude de vulnérabilité.

¹¹² Direction régionale de l'équipement Pays de la Loire (2005). Le parc de logements des communes littorales. https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Le_parc_de_logements_des_communes_littorales_cle5f43af.pdf

^{113,114} Solutions&co, Tableau de bord économique des Pays de la Loire (2021). L'agriculture. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/agriculture/>

¹¹⁵ France AgriMer (2022). Données de vente déclarées en halles à marée en 2021. <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/68890/document/BIL-MER-VENTES-HAM%202021.pdf?version=1>

¹¹⁶ Chambre d'agriculture des Pays de la Loire (2021). Panorama socio-économique de l'agriculture des Pays de la Loire. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2021/2021_panorama_socioeconomique_PdL_2019.pdf

^{117,118} Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, op. cit.

¹¹⁹ Utopies (2017). Note de position #12 Autonomie alimentaire des villes. État des lieux et enjeux pour la filière agroalimentaire française. <https://utopies.com/publications/autonomie-alimentaire-des-villes/>

^{120,121} Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, op. cit.

¹²² Food Ideas (2020). La politique de soutien aux jardins partagés de la Ville de Nantes. <https://letsfoodideas.com/fr/initiative/la-politique-de-soutien-aux-jardins-partages-de-la-ville-de-nantes/>

¹²³ Projet Frugal (2020). Livret de recherche, « comprendre les systèmes alimentaires urbains : flux alimentaires, systèmes d'acteurs et formes urbaines », <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02987347/document>

¹²⁴ Insee, op. cit.

^{125,126} Agreste Pays de la Loire (2020). Des évolutions sectorielles contrastées dans les entreprises agroalimentaires ligériennes. https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Essentiel_2020_04_IAA_cle4941bb.pdf

¹²⁷ Chambre d'agriculture des Pays de la Loire (2019). Le commerce extérieur agroalimentaire des Pays de la Loire en 2018. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2019/2019_le_commerce_exterieur_agroalimentaire_PdL_en_2018.pdf

¹²⁸ Chambre d'agriculture, op. cit.

¹²⁹ Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹³⁰ Ademe (2021). Le protoxyde d'azote — N₂O. <https://expertises.ademe.fr/professionnels/entreprises/reduire-impacts/reduire-emissions-polluants/dossier/protoxyde-dazote-n2o/definition-sources-demissions-impacts-protoxyde-dazote>

^{131,132} Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹³³ Feedsim Avenir (2018). 7,3 millions de tonnes de tourteaux consommés en France en 2018. <https://feedsimavenir.com/7-3-millions-de-tonnes-de-tourteaux-consommees-en-france-en-2018/>

¹³⁴ Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹³⁵ Planchot, M., et Daurès, F. (2008). Le secteur français des pêches maritimes face à l'augmentation du prix du gasoil. Note de synthèse. IFREMER. https://wwwz.ifremer.fr/peche/content/download/40523/552990/file/note_synthese_GASOIL_SIH-juillet_2008.pdf

¹³⁶ Estimations de chercheurs de l'IFREMER

^{137, 138} Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹³⁹ Basemis Air Pays de la Loire (2022). Tableau de bord des émissions. <https://www.airpl.org/emissions-climat/tableau-de-bord>

¹⁴⁰ Insee (2018). Le transport de marchandises fortement développé dans les Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3608046>

¹⁴¹ Agreste Pays de la Loire, op. cit.

¹⁴² Barbier C. et al. (2019). L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France de la production à la consommation. https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Hors%20catalogue%20iddri/Empreinte-Carbone_Alimentation_France_VF.pdf

¹⁴³ Agreste Pays de la Loire (2021). Une agriculture très diversifiée dans les Pays de la Loire. https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Essentiel_2021_02_PresPdL_cle072fd4.pdf

¹⁴⁴ Panorama socio-économique de l'agriculture des Pays de la Loire. 2021. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2021/2021_panorama_socioeconomique_PdL_2019.pdf

¹⁴⁵ Chambre d'agriculture, op. cit.

¹⁴⁶ Ademe (2012). Les circuits courts alimentaires de proximité. https://presse.ademe.fr/files/avisademecircuitscourtsalimenta-tion_avril2012.pdf

¹⁴⁷ Barbier C. et al., op. cit.

^{148, 149, 150} Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

^{151, 152} Ademe (2016). Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire. <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/2435-etat-des-lieux-des-masses-de-gaspillages-alimentaires-et-de-sa-gestion-aux-differe-ntes-etapes-de-la-chaîne-alimentaire.html>

¹⁵³ Barbier C. et al., op. cit.

¹⁵⁴ GIEC (2022). Synthèse du rapport AR6 : Changement climatique 2022. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

¹⁵⁵ Département du Maine-et-Loire (2021). Schéma départemental Gestion de la ressource en eau — État des lieux 2020. https://eau.maine-et-loire.fr/fileadmin/proteger_mesurer/outils_planification/SD_GRE-Etat_des_lieux_2020-VF.docx.pdf

¹⁵⁶ Vautard R. et al. (2021). Human-caused climate change increased the likelihood of early growing period frost in France. *World Weather Attribution*. <https://www.worldweatherattribution.org/human-caused-climate-change-increased-the-likelihood-of-early-growing-period-frost-in-france/>

^{157, 158} Observatoire régional sur l'agriculture et le changement climatique Pays de la Loire (2018). État des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Pays de la Loire. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2018/2018_ORACLE_PDL.pdf

¹⁵⁹ Véron M. et al. (2020). Determinism of Temporal Variability in Size at Maturation of Sardine *Sardina pilchardus* in the Bay of Biscay. *Frontiers in Marine Science*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.567841/full>

¹⁶⁰ Britten et al. (2016). Changing recruitment capacity in global fish stocks. *PNAS* 113, 134–139. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1504709112>

¹⁶¹ Free C. et al. (2019). Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science* 363, 979–983. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau1758>

^{162, 163} Solutions&co (2022). Tableau de bord économique : L'industrie. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/industrie/>

¹⁶⁴ Urssaf (2022). Recensement du nombre d'établissements employeurs et effectifs salariés du secteur privé, par commune x APE (2006-2020). <https://open.urssaf.fr>

¹⁶⁵ Insee (2022). Tableau de bord de la conjoncture : Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2122397#consulter>

¹⁶⁶ Insee (2021). Bilan économique 2020 — Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5017251?sommaire=5017369>

^{167, 168, 169} Insee, op. cit.

¹⁷⁰ Solutions&co (2021). Tableau de bord économique : Le textile — la mode. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/textile-mode/>

¹⁷¹ Solutions&co (2020). Tableau de bord économique : La construction navale. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/construction-navale/>

¹⁷² Solutions&co, op. cit.

^{173, 174, 175} Urssaf, op. cit.

¹⁷⁶ Solutions&co, op. cit.

¹⁷⁷ Urssaf, op. cit.

¹⁷⁸ Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

¹⁷⁹ Citepa (2020). Industrie manufacturière et construction - Rapport Secten édition 2020. https://www.citepa.org/wp-content/uploads/2.2-Industrie_2020.pdf

¹⁸⁰ Basemis Air Pays de la Loire, op. cit.

^{181, 182} CDP (2021). Transparency to transformation: a chain reaction. CDP Global Supply Chain Report 2020. https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/reports/documents/000/005/554/original/CDP_SC_Report_2020.pdf?1614160765

¹⁸³ Rapport BSR (2014). Changement climatique : Répercussions sur les industries extractives et du secteur primaire. https://www.bsr.org/reports/Répercussions_sur_les_industries_extractives_et_du_secteur_primaire.pdf

¹⁸⁴ Swiss Re Institute (2022). Natural catastrophes in 2021: the floodgates are open. <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2022-01.html>

¹⁸⁵ O. Sepänen et al. (2006). L'effet de la température sur l'exécution des tâches dans un environnement de bureau. <https://escholarship.org/uc/item/45g4n3rv#page-4>

¹⁸⁶ Le Figaro (2021). « Trop chaud pour travailler » : quel est l'impact de la canicule sur la productivité ? <https://www.lefigaro.fr/economie/trop-chaud-pour-travailler-quel-est-l-impact-de-la-canicule-sur-la-productivite-20210615>

¹⁸⁷ O. Sepänen et al., op. cit.

¹⁸⁸ Le Figaro, op. cit.

¹⁸⁹ M. Parnaudeau et J.-L. Bertrand (2018). La contribution de la variabilité météorologique aux secteurs économiques. *Applied Economics*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00036846.2018.1458200>

M. Parnaudeau et J.-L. Bertrand (2017). Les intempéries menacent les entreprises. Il est temps de mesurer et de divulguer les risques. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2017/09/severe-weather-threatens-businesses-its-time-to-measure-and-disclose-the-risks>

J.-L. Bertrand et al. (2015). Évaluation et couverture du coût des conditions météorologiques non saisonnières : le cas du secteur de l'habillement. *European Journal of Operational Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221715000326>

M. Parnaudeau et J.-L. Bertrand (2017). Comprendre les effets économiques des conditions météorologiques anormales pour atténuer le risque de faillite d'entreprise. *Journal of Business Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014829631730334X>

Sources des cartes et graphiques

› FIG. 1

Daniel Joly et al. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeog : European Journal of Geography*.

DREAL Pays de la Loire (2016). Atlas de paysages des Pays de la Loire. <http://www.paysages.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-familles-geographiques-r20.html>

› FIG. 2

DREAL Pays de la Loire (2016). Trame verte et bleue. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/accéder-a-l-extra-net-trame-verte-et-bleue-a1761.html>

Région Pays de la Loire (2017). État des lieux régional sur la biodiversité et ses activités associées. <https://www.paysdelaloire.fr/sites/default/files/2020-06/dtee-2017-plaquette-etat-lieux-biodiversite.pdf.pdf>

› FIG. 3

Agriste Pays de la Loire - Teruti-Lucas (2018). Enquête annuelle réalisée par les services statistiques du ministère en charge de l'agriculture ayant pour objectif de suivre l'évolution de l'occupation et de l'usage des sols sur tout le territoire national. <https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/bases-donnees/teruti-lucas>

› FIG. 4

DREAL Pays de la Loire (2020). L'état écologique des masses d'eau en Pays de la Loire. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/l-etat-ecologique-des-masses-d-eau-en-pays-de-la-a5598.html>

DREAL Pays de la Loire (2020). Les SAGE des Pays de la Loire. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-sage-des-pays-de-la-loire-a5423.html>

› FIG. 5

Pixstart (2022). Sentinel-2 Copernicus. <https://www.pixstart.io/>

› FIG. 6

GIEC (2014). Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au 5^e Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf

› FIG. 7

Basemis Air Pays de la Loire (2021). Inventaire 2008 à 2018 – Consommations d'énergie, production d'énergie renouvelable, émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en Pays de la Loire. https://www.airpl.org/sites/default/files/2021-11/airpl_rapport-basemis-V6_2021-06-17_vf.pdf

› FIG. 8

Basemis Air Pays de la Loire (2018). Tableau de bord des émissions (Dataviz). <https://www.airpl.org/emissions-climat/tableau-de-bord>

Insee (2022). Recensement de la population 2009 et 2018.

› FIG. 9

Météo France (2022). Climat HD. <https://meteofrance.com/climathd>

› FIG. 10, 11, 12, 13

DRIAS Les futurs du climat (2022). <http://drias-climat.fr/>

MF-DCSC EuroCordex, IGN

› FIG. 14

Géorisques (2020). Zonages Inondation – Rapportage 2020. <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/zonages-inondation-rapportage-2020>

› FIG. 15

Météo France (2022), op. cit.

› FIG. 16

Chevillot-Miot E. et Mercier D. (2014). La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France). <https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2014-v14-n2-vertigo02323/1034696ar.pdf>

› FIG. 17

Joint Research Centre of the European Commission (JRC) (2020). Projections of Fire Weather Index (PESETA III). <https://experience.arcgis.com/experience/5f6596de6c4445a58aec956532b9813d>

› FIG. 18

Banque des Territoires (2021). L'Atlas du Logement et des Territoires. <https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2021-09/REGION-ATLAS-2021-PAYS-DE-LOIRE.pdf>

Cerema (2018). Cartagène – Consommation d'espaces NAF 2009-2020. <https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/dashboards/de06d54507034908926beca06f7d86f4>

Insee (2022), op. cit.

› FIG. 19

Cerema (2018), op. cit.

Insee (2022), op. cit.

› FIG. 20

Basemis Air Pays de la Loire (2018). Tableau de bord des émissions (Dataviz). <https://www.airpl.org/emissions-climat/tableau-de-bord>

Forum Vies Mobiles (2020). Enquête nationale Mobilité et modes de vie 2020 (extraction des données sur le périmètre Pays de la Loire). https://forumviesmobiles.org/sites/default/files/editor/rapport_enquete_nationale_mobilite_modes_de_vie_2020_fvm_0.pdf

Insee (2021). Déplacements domicile-travail : la voiture en pole position, même pour de courtes distances. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5011745>

► FIG. 21

Basemis Air Pays de la Loire (2018), op. cit.

Forum Vies Mobiles (2020), op. cit.

► FIG. 22

Basemis Air Pays de la Loire (2018), op. cit.

Insee (2022), op. cit.

► FIG. 23

Observatoire Régional des Risques Côtiers en Pays de la Loire (2016). <http://or2c.osuna.univ-nantes.fr/donnees-et-ressources/cartotheque/recueil-carte-thematique/>

► FIG. 24

ADEME (2019). Facteur d'émission - Changement d'affectation des sols. https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?foret-francaise.htm

Basemis Air Pays de la Loire (2018), op. cit.

INRA (2019). Stocker du carbone dans les sols français - Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? <https://www.territoires-climat.ademe.fr/actualite/etude-de-linra-stocker-du-carbone-dans-les-sols-francais-quel-potentiel-au-regard-de-lobjectif-4-pour-1000-et-a-quel-cout>

► FIG. 25

Barbier C. et al. (2019). L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France de la production à la consommation. https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Hors%20catalogue%20iddri/Empreinte-Carbone_Alimentation_France_VF.pdf

Basemis Air Pays de la Loire (2018), op. cit.

Canopée (2020). Mettre fin aux importations de soja issu de la conversion d'écosystèmes naturels d'Amérique du Sud. <https://www.canopee-asso.org/cp-soja/>

CCI Pays de la Loire (2020). Industries agroalimentaires en Pays de la Loire : quels leviers pour 2050 ? https://www.paysdelaloire.cci.fr/sites/default/files/mediatheque/contenu_froid/votre_cci/20200512_noteposition_vision_iaa.pdf?msclkid=625d647ac70111ec8178c667e1c6bbdd

Chambre d'agriculture des Pays de la Loire (2017). Panorama socio-économique 2015 de l'agriculture des Pays de la Loire. https://www.cdr-copdl.fr/doc_num.php?explnum_id=27419

Chambre d'agriculture des Pays de la Loire (2021). Panorama socio-économique 2019 de l'agriculture des Pays de la Loire. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2021/2021_panorama_socioeconomique_PdL_2019.pdf

Feedsim Avenir (2018). 7,3 millions de tonnes de tourteaux consommés en France en 2018. <https://feedsimavenir.com/7-3-millions-de-tonnes-de-tourteaux-consommées-en-france-en-2018/>

GRAIN (2014). Souveraineté alimentaire : 5 étapes pour refroidir la planète et nourrir sa population. <https://grain.org/fr/article/5101-souverainete-alimentaire-5-etapes-pour-refroidir-la-planete-et-nourrir-sa-population>

La coopération agricole (2020). Chiffres clés de la nutrition animale. https://rapport-nutrition-animale.lacooperationagricole.coop/images/files/Chiffres-cles-2020-LCA_NA.pdf

Transition écologique Observatoire Pays de la Loire (2018). Empreinte carbone. https://teo-paysdelaloire.fr/wp-content/uploads/2022/04/Fiche_decryptage_Empreinte_Carbone_V3.pdf

Union des Industries de la Fertilisation (2018-2019). Les livraisons d'engrais minéraux en France métropolitaine. https://www.unifa.fr/sites/default/files/2021-03/brochure_tableau_2018-2019.pdf

► FIG. 26

France Info (2021). Décryptage : changement climatique, les conséquences en Pays de la Loire. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/pays-de-la-loire/loire-atlantique/nantes/decryptage-changement-climatique-les-consequences-en-pays-de-la-loire-2370073.html>

Ministère de la Transition écologique (2017). Atlas des entrepôts et des aires logistiques en France en 2015. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/atlas-des-entrepots-et-des-aires-logistiques-en-france-en-2015>

Observatoire régional sur l'agriculture et le changement climatique Pays de la Loire (2018). État des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Pays de la Loire. https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2018/2018_ORACLE_PDL.pdf

► FIG. 27

Basemis Air Pays de la Loire (2018), op. cit.

Urssaf (2020). Catalogue de données - Nombre d'établissements employeurs et effectifs salariés du secteur privé, par commune X APE (2006-2020). <https://open.urssaf.fr/pages/home/>

► FIG. 28

CDP (2021). Transparency to transformation: a chain reaction. https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/reports/documents/000/005/554/original/CDP_SC_Report_2020.pdf?1614160765

En partenariat avec



Avec le soutien de

