RÉGION Nouvelle-Aquitaine

PRÉVOIR POUR AGIR N°2

Comité Scientifique Régional AcclimaTerra
sous la direction de ***Hervé Le Treut***

ANTICIPER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
EN NOUVELLE-AQUITAINE

POUR AGIR
DANS LES TERRITOIRES

ACCLIMATERRA
COMITÉ SCIENTIFIQUE RÉGIONAL SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Qualité des milieux naturels

Limousin © Ilolab

Coordination du chapitre : **Bernard Legube**

EAU
Coordination : **Bernard Legube**
Rédacteurs : **Frédéric Montigny, Paco Bustamante, Gilles Bareille, Magalie Baudrimont, Jérôme Cachot, Gilles Guibaud, Yann Hechard, Jerôme Labanowski, Thomas Lacoue-Labarthe, Bernard Legube, Leslie Mondamert**
Contributeurs : **Hélène Budzinski, Soizic Morin, Jean Prou**

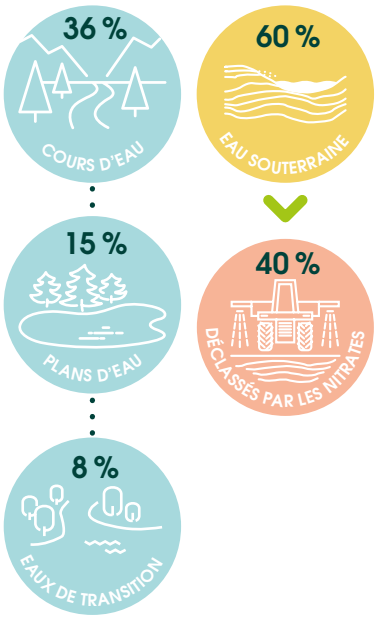
AIR
Coordination **Bernard Legube**
Rédacteurs : **Alain Gazeau, Agnès Hulin, Rafaël Bunales, Bernard Legube**
Contributeurs : **Éric Villenave**

SOL
Coordination : **Abad Chabbi**
Rédacteurs : **Olivier Atteia, Didier Bouchon, Abad Chabbi, Laurence Denaix, Bernard Legube**
Contributeurs : **Philippe Chery, Sylvain Pellerin, Cornelia Rumpel**

L'impact du changement climatique sur la qualité et la pollution des milieux est souvent négligé par rapport à d'autres impacts plus médiatisés (e.g. événements climatiques et hydrologiques extrêmes, santé, trait de côtes, disponibilité des ressources en eau…). Les eaux et l'air de Nouvelle-Aquitaine, et à moindre mesure les sols, déjà significativement pollués, subiront pourtant plusieurs détériorations significatives, qui sont présentées et discutées dans ce chapitre. Certains de ces effets sont déjà visibles et vont s'aggraver dans le contexte climatique prévu. Il s'agit principalement, pour l'eau douce superficielle, de l'augmentation de la température, de la diminution des débits des cours d'eau, de l'évolution des espèces aquatiques et du développement accru de micro-organismes de type cyanophycées, ou pour l'air, de l'augmentation de l'index pollinique et des effets néfastes croissants sur la santé publique. Bien que non réellement démontrés in situ en région, d'autres effets sont fortement prévisibles, comme la diminution de la matière organique des sols et de leur fertilité, l'augmentation des teneurs en polluants dans toutes les masses d'eau, l'augmentation de l'écotoxicité des eaux de surface et l'augmentation de la concentration en ozone dans l'air et autres composés organiques volatils et aérosols. Les travaux de recherche et études sur cette problématique au niveau régional, comme national, sont rares et/ou peu publiés. Une recherche appliquée au « terrain » de la Nouvelle-Aquitaine, sur des sites d'observation scientifiquement et économiquement sélectionnés, est indispensable pour évaluer plus clairement ces impacts du changement climatique, mais également les adaptations à préconiser et les enjeux environnementaux et socio-économiques qui en découleront.

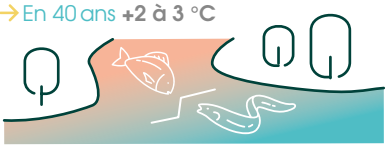
EAU

BON ÉTAT ÉCOLOGIQUE



AUGMENTATION TEMPÉRATURE

→ En 40 ans **+2 à 3 °C**



→ **-5 % d'oxygène dissous**
→ Rivalités entre les espèces

BAISSE DÉBIT

→ **Moins de dilution** de la pollution
→ **Polluants** dans les sédiments

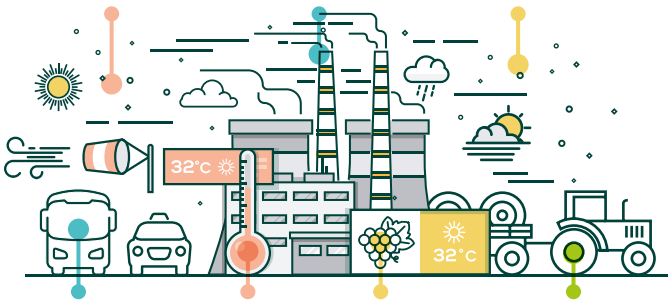
EXPLOITATION INTENSE DES EAUX SOUTERRAINES

→ Libération du stock existant de molécules mères et métabolites

AIR

ÉPISODES DE POLLUTION : 8 JOURS CHAQUE ANNÉE

PARTICULES GAZ À EFFET DE SERRE POLLENS



DIOXYDE D'AZOTE OZONE PESTICIDES AMMONIAQUE

Détérioration de la qualité de l'air dans les prochaines décennies.
Augmentations des teneurs en aérosols, allergènes

SOL

HAUSSE DE TEMPÉRATURE

- **PERTE DE CARBONE = SOLS MOINS FERTILE**

Augmentation de l'activité biologique
AUGMENTATION DE LA MINÉRALISATION
EFFETS SUR LE CYCLE DE L'AZOTE

- **AUGMENTATION DE LA BIODISPONIBILITÉ DES MÉTAUX**

- **AUGMENTATION DU CO_2**
Manque de nutriments
AZOTE et **PHOSPHORE**

- **SCÉNARIOS CLIMATIQUES FUTURS**
Affecte les populations microbiennes = moins fertiles

BESOIN DE...

...PROTÉGER LES RESSOURCES EN EAU

...D'ÉTUDES SPÉCIFIQUES

... DE LA RECHERCHE APPLIQUÉE AU « TERRAIN »

POUR MIEUX APPRÉHENDER LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

et protéger la santé publique et la biodiversité

3 L'AIR

INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS

L'air que l'on respire (atmosphère) contient essentiellement du diazote (azote), du dioxygène (oxygène), de l'eau, du dioxyde de carbone (gaz carbonique)[17], des gaz rares comme l'argon et, à des teneurs beaucoup plus faibles, du méthane[18], du monoxyde de carbone[19], des oxydes d'azote[20], de l'ozone[21], du dioxyde de soufre[22], de l'ammoniac[23], etc. Ces composés ont des durées de vie moyennes très variables[24]. L'atmosphère gazeuse transporte aussi des aérosols[25] qui sont des particules solides ou liquides plus ou moins finement dispersées dans l'air avec des temps de présence de quelques jours. Les sources d'émission de gaz et d'aérosols dans l'atmosphère peuvent être d'origines naturelles (végétation, sols, océans, érosion, éruptions volcaniques, feux de forêts, etc.) ou anthropiques (combustion de la matière organique, traitement des déchets, transports, productions industrielles, etc.). Les polluants peuvent être primaires lorsqu'ils sont directement issus de sources d'émission (oxydes d'azote, par exemple) ou secondaires quand ils sont formés dans l'atmosphère suite à des processus physico-chimiques (ozone troposphérique[26] par exemple).

Suite à la loi Laure (1996), la surveillance de la qualité de l'air est assurée en France par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), agréées par le Ministère en charge de l'Écologie. Ces associations surveillent annuellement certains polluants atmosphériques[27] réglementés et d'autres non réglementés, mais à enjeux.

17 • CO_2 (ou gaz carbonique), d'origine naturelle ou résultant des processus de combustion.

18 • CH_4 constituant principal du gaz naturel et des gaz issus de la biodégradation anaérobie naturelle ou provoquée des matières organiques.

19 • CO, issu principalement des processus de combustion incomplète (pauvres en oxygène).

20 • NO_x issus principalement des processus de combustion.

21 • O_3 issu principalement dans la basse atmosphère de processus photochimiques en lien avec l'activité humaine , dans la basse atmosphère.

22 • SO_2 libéré dans l'atmosphère terrestre par les volcans et par de nombreux procédés industriels, ainsi que par la combustion de combustibles fossiles.

23 • NH_3 issu principalement des activités agricoles.

24 • Par exemple de 8 ans pour le méthane à 120 ans pour le dioxyde de carbone.

25 • Les particules des aérosols peuvent contenir des acides, des métaux, des composés organiques, de la suie, etc.

26 • L'ozone troposphérique n'est pas directement émis dans l'atmosphère mais formé par une série de réactions photochimiques impliquant les hydrocarbures, les oxydes d'azote et le rayonnement solaire.

27 • D'après la loi LAURE, dite loi LEPAGE du 30/12/96 : « Constitue une pollution atmosphérique, l'introduction par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives. »

Les paramètres qui font l'objet d'une réglementation en France sont les groupes de particules de tailles moyennes inférieures ou égales à 10 µm (PM_{10}) et à 2,5 µm ($PM_{2,5}$), les oxydes d'azote, le plomb, le dioxyde de soufre, l'ozone, le monoxyde de carbone, le benzène, certains métaux et métalloïdes (As, Cd, Ni) et un hydrocarbure aromatique polycyclique (benzopyrène). Plusieurs niveaux (ou normes de qualité) à maintenir ou à ne pas dépasser sont précisés dans un décret **[63]**, exprimés en concentration dans l'air ambiant ou en masse de dépôt sur les particules pour un temps donné. L'objectif de qualité est le niveau à atteindre à long terme et à maintenir (moyenne sur l'année civile) afin d'assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement. Il est parfois accompagné d'une valeur cible pour la protection de la santé humaine ou pour la protection de la végétation. Le seuil d'information et de recommandation est le niveau (en moyenne horaire ou journalière) au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles. Il est très souvent accompagné d'un seuil d'alerte (niveau plus élevé) qui s'applique à toute la population. Les valeurs limites (en moyenne horaire, journalière ou annuelle civile) sont les niveaux à ne pas dépasser sur des périodes définies pour la protection de la santé humaine ou de la végétation.

Les lignes directrices (ou valeurs guides) de l'OMS **[64]** sont aussi très utilisées dans les bilans des associations de surveillance. Ces valeurs guides sont souvent accompagnées de cibles intermédiaires associées à des risques de mortalité.

À partir des données recueillies, des outils de modélisation permettent ensuite de déterminer la pollution à différentes échelles et ainsi de prévoir les pics de pollution et d'estimer les niveaux de pollution sur des zones dépourvues de points de mesure. Un premier pas indispensable, mais dont il faut amplifier le rôle avec plus de paramètres suivis et des méthodologies rigoureuses pour l'usage scientifique **[32]**.

La détérioration de la qualité de l'air est évidemment en lien direct avec le développement démographique et économique mondial, mais le changement climatique, intimement lié aux émissions polluantes atmosphériques, contribuera probablement à accentuer cette détérioration. Toutefois et malgré la littérature scientifique abondante sur la relation « qualité de l'air/climat », les impacts du changement climatique sur les émissions de polluants atmosphériques sont encore relativement incertains, car dépendants de la localisation géographique **[65]**. L'ensemble des scénarios publiés tend néanmoins vers une détérioration de la qualité de l'air, particulièrement illustrée par les évolutions dans les prochaines décennies des concentrations d'ozone et d'aérosols atmosphériques, ayant eux-mêmes un impact sur le changement climatique **[32]**. En Europe du Nord, le climat plus humide sera favorable à l'amélioration de la qualité de l'air, alors qu'en Europe du Sud, la présence de plus en plus courante de grandes vagues de chaleur et d'épisodes de sécheresse devraient affecter la qualité de l'air, comme par exemple sur les concentrations d'ozone ou de particules issues des feux de forêt **[66]**. Pour la Nouvelle-Aquitaine, en absence de modélisations prédictives sur les concentrations en polluants atmosphériques, seule une transposition des observations à grande échelle peut être abordée ici, en la confrontant aux tendances observées ces dix dernières années sur les espèces réglementées **[32]**.

LA QUALITÉ DE L'AIR EN NOUVELLE-AQUITAINE : BILAN ET IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

LA POLLUTION DE L'AIR EN NOUVELLE-AQUITAINE

L'ATMO Nouvelle-Aquitaine est issue du regroupement des trois associations de surveillance des ex-régions (AIRAQ en Aquitaine, ATMO en Poitou-Charentes et LIMAIR en Limousin). Elle dispose de 55 stations fixes de différente typologie qui permettent de mesurer en permanence une vingtaine de paramètres afin de mieux connaître l'évolution de leur concentration (ozone, dioxyde de soufre, oxydes d'azote, monoxyde de carbone, ammoniac, composés organiques volatils non méthaniques, certains métaux et métalloïdes, groupes de particules, polluants organiques divers) et elle réalise les estimations de leurs émissions[28]. Pour ce qui concerne les GES[29], les mesures sont réalisées par le réseau européen ICOS (Integrated carbon observation system).

Le **Tableau 1** présente le bilan des principales émissions de polluants primaires en 2012, par sources fixes et mobiles **[67]**. Les émissions annuelles de GES ne sont pas incluses dans ce tableau, car déjà présentées en préambule de cet ouvrage **(Focus « Émissions de gaz à effet de serre »)**, globalement et par secteur à partir des données de l'AREC Nouvelle-Aquitaine (Agence Régionale d'Évaluation environnement et Climat)[30].

28 • Afin, notamment, de connaître les quantités rejetées et d'identifier les principaux émetteurs pour étudier les possibilités d'amélioration.

29 • Les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, fluorés) sont considérés comme des polluants lorsqu'ils sont en excès.

30 • Il faut noter que les quantités totales de GES estimées par l'ATMO NA sont plus faibles que celles estimées par l'AREC, les modèles utilisés étant différents.

ÉMISSIONS	INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE, DÉCHETS, CONSTRUCTION	EXTRACTION, DISTRIBUTION, TRANSFORMATION	RÉSIDENTIEL, TERTIAIRE, COMMERCIAL	AGRICULTURE, SYLVICULTURE	TRANSPORTS ROUTIERS	AUTRES TRANSPORTS	BIOTIQUE	TOTAL NOUVELLE-AQUITAINE
SO_2	7,19	0,35	2,48	1,3	0,11	0,85	0	12,28
NO_x	12,38	0,75	9,91	20,25	73,0	3,32	2,60	122,22
CO	19,79	2,84	192,28	26,29	76,47	1,05	0	318,72
NH_3	1,28	0	0	94,33	0,84	0	0	96,45
COVNM*	19,76	1,79	39,71	3,9	7,16	0,24	174,88	247,44
TSP **	14,66	0,07	12,64	28,22	12,26	1,73	-	69,57
PM_{10}	6,96	0,06	11,85	10,97	7,97	0,71	-	38,52
$PM_{2,5}$	3,85	0,06	11,56	5,82	5,68	0,33	-	27,30

**COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques.*
***TSP : Particules totales en suspension (Total Suspended Particles).*

Tableau 1 : *Bilan des émissions de polluants primaires, en milliers de tonnes, en Nouvelle-Aquitaine pour l'année 2012 (bilan établi par l'ATMO Nouvelle-Aquitaine).*

L'ATMO Nouvelle-Aquitaine mentionne que les départements de la région enregistrent des épisodes de pollution[31] pendant près de 8 jours en moyenne chaque année (**Figure 6**)[32] avec deux fois plus en Gironde que dans les autres départements. En cause dans 96 % des cas depuis 2013, les particules en suspension PM_{10}. Une dizaine d'épisodes de pollution à l'ozone ont été enregistrés sur les trois dernières années notamment sur les départements du sud et de l'ouest de la région, épisodes favorisés par l'ensoleillement et la chaleur. Un épisode de pollution au dioxyde de soufre a été détecté sur la zone industrielle de Lacq.

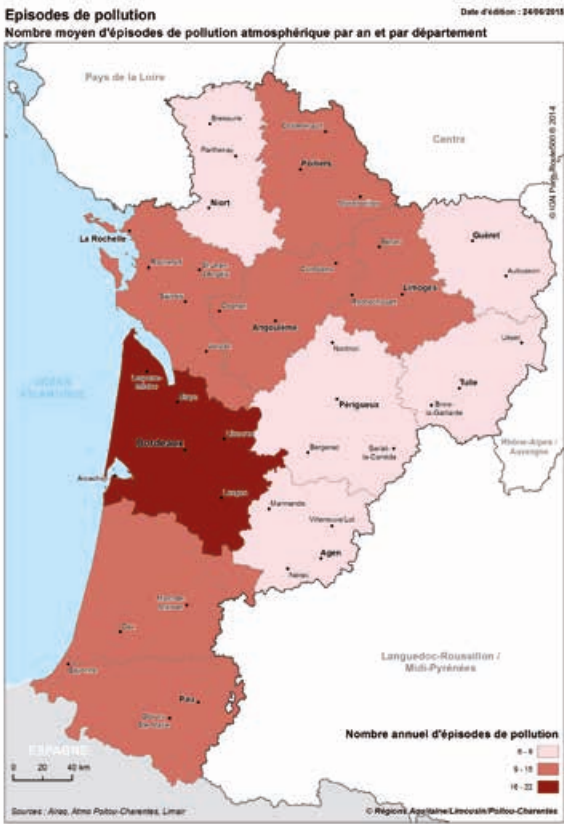


Figure 6 : *Le nombre annuel d'épisodes de pollution en Nouvelle-Aquitaine, par département. Crédit photo : Atmo Nouvelle-Aquitaine.*

31 • Le terme « épisode de pollution », utilisé notamment dans les arrêtés préfectoraux, est défini comme la "période au cours de laquelle la concentration dans l'air ambiant d'un ou plusieurs polluants atmosphériques est supérieure au seuil d'information et de recommandation ou au seuil d'alerte".

*32 • Des détails et compléments peuvent être obtenus auprès de **www.atmo-nouvelleaquitaine.org***

Suite à la Loi Grenelle II, les schémas régionaux Climat-Air-Énergie **[68]** imposent de mettre en place la cartographie des zones sensibles en termes de dépassement des valeurs réglementaires en polluants atmosphériques (à l'exception de l'ozone), de façon à notamment anticiper au mieux l'impact des changements climatiques sur la qualité de l'air. En Nouvelle-Aquitaine, ce travail a mis en évidence l'importance du couloir routier Nord-Sud (vers l'Espagne) et dans une moindre mesure l'axe Bordeaux-Toulouse, qui se traduisent par des surémissions d'oxydes d'azote dus au transport routier **[69]**. En recoupant ces trajets avec la carte des zones protégées (protection de biotope, réserve naturelle, parc national), ce travail a abouti à définir la cartographie des communes dites sensibles, où la qualité de l'air sera jugée prioritaire dans les prochaines années (**Figure 7**)[33].

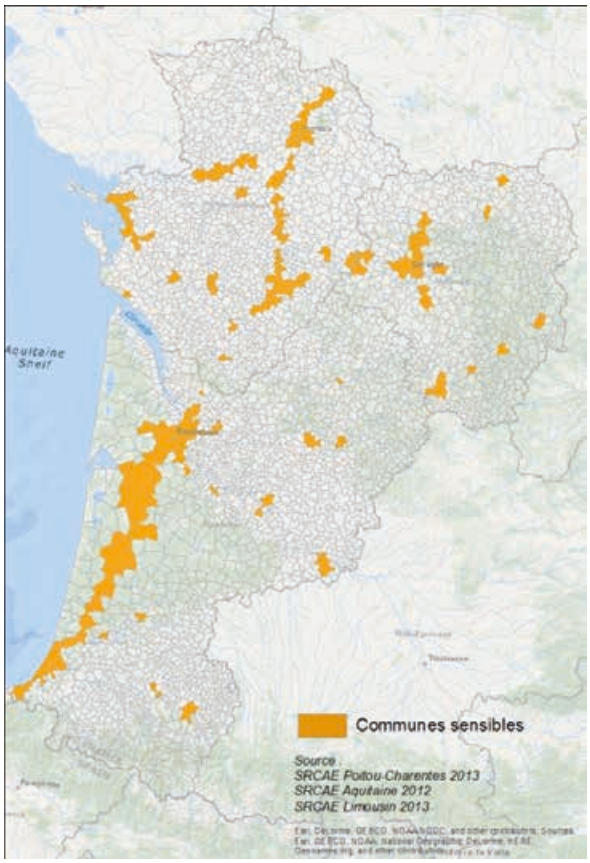


Figure 7 : *Communes sensibles à la dégradation de la qualité de l'air. Crédit photo : Atmo Nouvelle-Aquitaine.*

Pour les polluants les plus importants, ainsi que pour les GES, le lecteur peut générer lui-même des cartes régionales d'émission depuis le site internet de l'ATMO Nouvelle-Aquitaine : ***emissions-polluantes.atmo-nouvelleaquitaine.org***

UN IMPACT INCERTAIN DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ÉMISSIONS DE PARTICULES

En 2012 en Nouvelle-Aquitaine, les émissions de PM_{10} s'élevaient à plus de 38 000 tonnes et celles de $PM_{2,5}$ à plus de 27 000 tonnes, ce qui représente respectivement 6,6 kg et 4,7 kg par habitant sur l'année, au-dessus des moyennes nationales (respectivement 5,2 kg et 3,4 kg/hab/an). Plus de la moitié de ces émissions sont localisées sur les cinq départements Gironde, Charente-Maritime, Landes, Pyrénées-Atlantiques et Dordogne. Le secteur résidentiel reste le principal émetteur de $PM_{2,5}$ sur l'ensemble des départements, la Gironde étant évidemment le département le plus émetteur. Les émissions de PM_{10} sont à l'origine de 96 % des épisodes de pollution depuis 2013. Leurs moyennes annuelles dépassent la valeur guide de l'OMS (10 µg/m³) pour une station sur deux, tout en restant inférieures à l'objectif de qualité français (30 µg/m³). Les émissions de $PM_{2,5}$, qui sont jugées les plus préoccupantes pour les effets sanitaires sur les systèmes respiratoires et cardio-vasculaires, présentent des moyennes annuelles qui dépassent la valeur guide de l'OMS et l'objectif de qualité français (10 µg/m³), sur toutes les stations de surveillance, sans atteindre les valeurs réglementaires critique (20 µg/m³) et limite (25 µg/m³). Depuis 2008, une légère baisse des particules est observée, notamment des PM_{10}, mais seulement au niveau des stations trafic routier (cf. **Figure 8**), ce qui correspond à une amélioration des procédés de combustion et des méthodologies de traitement des effluents atmosphériques. Les niveaux urbains baissent plus lentement alors que les niveaux ruraux stagnent.

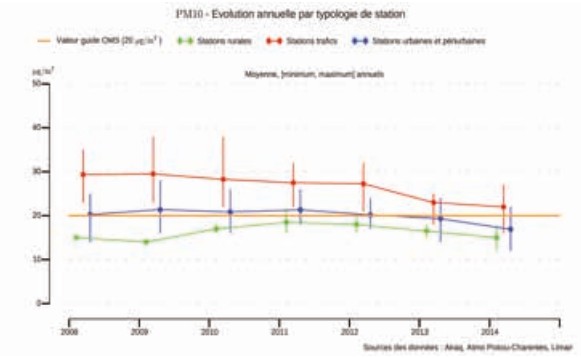


Figure 8 : *Évolution des concentrations moyennes annuelles des PM_{10} par typologie de station, en Nouvelle-Aquitaine, de 2008 à 2015.*

33 • *Malgré tout l'intérêt de cette démarche de zonage, celle-ci est néanmoins limitée par la non-prise en compte de l'ozone dont les émissions ne peuvent être réglementées directement, mais dont la concentration sera un des enjeux majeurs, avec celle des particules fines, en termes d'impact du changement climatique sur la qualité de l'air au niveau régional.*

Le changement climatique favorisera les émissions des plus grosses particules issues de l'érosion des sols par les épisodes de sécheresse. À contrario celles provenant de l'utilisation de chauffage au bois seront atténuées. Toutefois, la masse des particules atmosphériques est-il le paramètre le plus pertinent pour juger de leur impact, par rapport au suivi de leur distribution en taille ? En effet, les particules ultrafines ou PUF (de diamètres inférieurs à 0,1 µm) ont un impact direct très important sur la santé par leur pouvoir de pénétration dans le système respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires, voire dans le sang, alors que leur masse est négligeable par rapport à celles de particules plus grossières micrométriques. Ces PUF ont fait l'objet de mesures exploratoires[34] en région depuis 2012, en site urbain (Talence-33) et en site industriel (Mourenx-64). Ces mesures ont montré, d'une part, l'influence du trafic routier sur les granulométries les plus fines, et d'autre part, le rôle des aérosols secondaires en lien avec les émissions industrielles de dioxyde de soufre et la formation de sulfates.

Quel sera l'effet du changement climatique sur les particules fines, notamment dans les aérosols secondaires ? La question est très complexe et la réponse est incertaine **[32]**. Des travaux de recherche ont montré qu'une hausse de la température peut réduire la concentration des PUF dans les aérosols secondaires grâce à la plus grande volatilisation du nitrate d'ammonium (un de leurs composants majeurs), mais qu'un effet inverse est attendu du fait de l'augmentation des concentrations en sulfates **[70].** L'effet du changement climatique sur les aérosols n'est pas encore bien évalué et la réciprocité également, c'est-à-dire l'effet des aérosols sur le climat **[65]**. Ce domaine est la cible d'un effort de recherche important de la part de la communauté scientifique **[32] [71]** qui conclut en général aujourd'hui qu'une nette réduction des émissions/générations d'aérosols aggraverait par contre le réchauffement climatique **[72] [73]**.

LES ÉMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE DEVRAIENT CONTINUER À DIMINUER

Le dioxyde d'azote (NO_2) est le principal composant du groupe des oxydes d'azote (NO_x). Il est suspecté d'être à l'origine de certains symptômes bronchiques chez les enfants asthmatiques **[64]**. En Nouvelle-Aquitaine, peu de stations (3 à 5 %) dépassent la valeur guide de l'OMS et l'objectif de qualité français pour le dioxyde d'azote (40 µg/m³). Cela concerne les zones urbaines sujettes au trafic et au transport routiers ; principales sources d'émissions, soit 58 à 77 % selon les départements. Les émissions régionales d'oxydes d'azote en 2012 ont été de 122 000 tonnes, soit 21 kg par habitant (moyenne nationale ≈ 17 kg/hab/an). La Gironde et la Charente-Maritime concentrent près du tiers de ces émissions.

Les concentrations en dioxyde d'azote dans l'atmosphère enregistrent une nette diminution globale en Nouvelle-Aquitaine (**Figure 9**), due à l'optimisation des procédés de combustion industrielle et des systèmes de chauffage et à la baisse de la consommation en carburant des véhicules malgré l'augmentation du trafic. Notons que lors de l'épisode de canicule en 2003, il n'a pas été mesuré de hausses notables de concentrations en NO_x à cette période sur l'Aquitaine **[74]**.

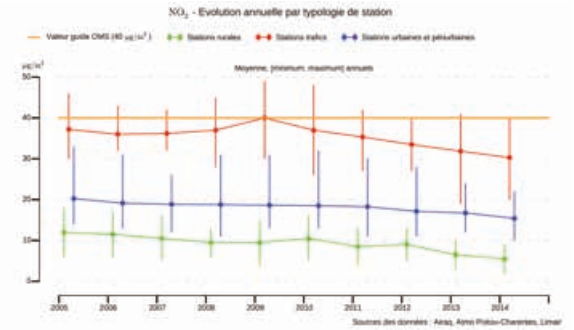


Figure 9 : *Évolution des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote (NO_2) par typologie de station, en Nouvelle-Aquitaine, de 2008 à 2015.*

LES TENEURS EN DIOXYDE DE SOUFRE RESTERONT FAIBLES

Le dioxyde de soufre (SO_2) est suspecté (avec une certaine incertitude) de provoquer des maladies respiratoires et des pathologies cardiaques **[64]**. En région, les concentrations moyennes annuelles sont bien inférieures à l'objectif de qualité français (50 µg/m³), y compris sur les sites industriels. Près des trois quarts des émissions (12 000 tonnes en 2012) sont dues à l'industrie manufacturière (46 %) et à la transformation d'énergie (27 %), majoritairement en Gironde et Pyrénées-Atlantiques (60 % des émissions). En dehors de ces zones, les teneurs restent très faibles.

Malgré les effets démontrés de la hausse de température sur le cycle de vie des acides dans l'atmosphère, conduisant à une importante augmentation de la production de sulfates **[75]**, la législation sur les émissions industrielles a entraîné une telle baisse des émissions de SO_2 (-50 à -60 % en 10 ans en Nouvelle-Aquitaine, liés à la diminution progressive des activités de Lacq) que ce dernier impact restera beaucoup plus déterminant que celui possible du changement climatique. Notons que cette diminution des aérosols sulfatés aura un impact notable sur le changement climatique par augmentation du rayonnement solaire reçu en surface **[73]**.

34 • Contrairement aux mesures classiques de particules dans l'air (PM_{10} ou $PM_{2,5}$), exprimées en unité de masse (µg/m³), le type d'appareil utilisé fournit des indications sur le nombre de particules dont le diamètre est compris entre 20 et 800 nm dans l'air, distinguées en 6 classes de granulométrie.

LES ÉMISSIONS D'OZONE VONT AUGMENTER SOUS L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'ozone (O_3) provoque des inflammations pulmonaires graves, démontrées par les études épidémiologiques reliant la morbidité respiratoire aux concentrations d'ozone dans l'air **[64]**. Bien que relativement stables en Nouvelle-Aquitaine depuis une dizaine d'années, les niveaux maxima annuels mesurés (moyenne sur 8 heures) sont supérieurs à l'objectif de qualité français (120 µg/m³) et à la valeur guide de l'OMS (100 µg/m³) sur la quasi-totalité des sites de mesure (**Figure 10**). La norme relative à la protection des végétaux est rarement respectée. Des pics de pollutions sont également constatés sur une part significative du réseau de surveillance, principalement sur le sud et l'ouest de la région.

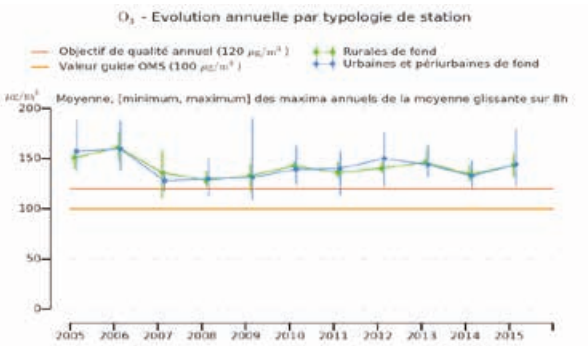


Figure 10 : *Évolution des maxima annuels des concentrations en ozone (O_3) par typologie de station, en Nouvelle-Aquitaine, de 2008 à 2015.*

La concentration moyenne d'ozone de surface devrait augmenter d'ici la deuxième moitié du XXIe siècle de 5 à 10 ppb (soit 10 à 20 µg/m³) aux latitudes moyennes **[76]**, du fait principalement de l'augmentation d'épisodes de sécheresse et d'ensoleillement qui vont favoriser la photochimie et donc la formation d'ozone **[77]** et ce malgré l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (qui décompose l'ozone). À cette augmentation, dite « de fond hémisphérique » s'ajoutera la perturbation, sous l'effet du changement climatique, de différents composés précurseurs, comme les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et semi-volatils ou le protoxyde d'azote **[32]**. Même si les émissions de dioxyde d'azote et de composés organiques volatils (à l'origine de la formation de O_3) sont limitées, l'augmentation de la concentration d'ozone de fond pose un vrai problème car elle pourrait réduire l'efficacité des mesures locales de contrôle des émissions, rendant les objectifs de qualité de l'air encore plus difficiles à atteindre **[32][78],** avec des conséquences importantes à la fois sur la santé mais aussi sur les écosystèmes.

LES ÉMISSIONS DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS ET SEMI-VOLATILS AUGMENTERONT PROBABLEMENT

Les composés organiques volatils (COV) et semi-volatils (COSV) proviennent de sources anthropiques et biogènes (autres que le méthane). Précurseurs importants d'aérosols organiques secondaires **[51]**, ils sont capables de produire des oxydants photochimiques (comme l'ozone) par réaction avec des oxydes d'azote sous l'effet du rayonnement solaire. Certains (composés mono-aromatiques, dont le benzène) sont cancérigènes, mutagènes ou teratogènes.

Les émissions des COV et COSV biogéniques devraient augmenter d'ici 50 ans du fait de l'effet de fertilisation du CO_2 sur la végétation et de la hausse des températures **[32] [78]**. Celles supplémentaires de COV anthropiques par évaporation (transport routier, remplissage de réservoirs) vont également augmenter avec la température jusqu'à 30 % d'ici la fin du XXIe siècle **[79]**.

Les pesticides dans l'air ?

Les contrôles de pesticides dans l'air de Nouvelle-Aquitaine ont débuté dès 2001, en faisant varier plus récemment les types de sites étudiés (proximité des vignes, des vergers, zones de grandes cultures, centres urbains)[35]. Ils sont présents dans l'air des zones rurales, notamment viticoles, mais également en zone urbaine au centre des villes, comme Bordeaux ou Poitiers. Les herbicides dominent dans l'air des grandes cultures (notamment pendimethaline), les concentrations en fongicides (notamment chlorothalonil et folpel) dépendent fortement des conditions climatiques et sont globalement plus élevées dans l'air des zones viticoles où l'on retrouve aussi les concentrations les plus élevées en insecticides (notamment chlorpyriphos éthyl). Les cumuls hebdomadaires pour une soixantaine de pesticides contrôlés sont compris entre 2 ng/m³ (en site de fonds pour les grandes cultures) à près de 20 ng/m³ (à proximité des vignes).

La tendance pluriannuelle en Nouvelle-Aquitaine dépend des usages et de la météorologie. Les teneurs des herbicides et des fongicides mesurés n'évoluent pas significativement, alors que celles des insecticides diminuent, étrangement, au fil des années, pour les molécules suivies. Pourtant, le constat, ces dernières années, d'une succession d'invasions d'insectes et de moisissures et la certitude d'une accélération du taux d'entrée d'exotiques et de leur établissement en Europe, ainsi qu'une accélération de l'évolution de ceux existants, posent bien sûr la question de l'utilisation éventuellement accrue d'insecticides et de fongicides sous l'impact du changement climatique, et par suite de l'augmentation de leur présence dans l'air.

35 • La base de données actuelle des pesticides sur la grande région comporte plus de 40 000 données d'analyses, réparties selon 219 molécules et 34 sites différents.

LES AUTRES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

Pour les autres polluants réglementés (monoxyde de carbone, benzène, métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques), les niveaux mesurés ne montrent pas de dépassement ou de risque de dépassement des valeurs réglementaires sur la période 2011-2016, à une exception près (cadmium à proximité d'un site industriel en cessation récente d'activité).

L'ammoniac (NH_3) n'est pas soumis à une réglementation dans l'air ambiant, mais c'est un précurseur important de particules secondaires. Il réagit avec les composés acides tels que les oxydes d'azote ou de soufre provenant de l'ensemble des sources anthropiques, pour former des particules très fines de nitrate ou de sulfate d'ammonium. En 2012, les émissions d'ammoniac (essentiellement d'origine agricole) se sont élevées à près de 100 000 tonnes sur l'ensemble de la région, ce qui représente plus de 17 kg par habitant et par an (moyenne nationale : ≈ 11 kg).

L'INDEX POLLINIQUE MOYEN ANNUEL NE CESSE D'AUGMENTER EN RÉGION

Les pollens allergisants constituent, au sens du code de l'environnement, une pollution de l'air qui représente un problème surtout printanier et estival, notamment dans les zones de grandes cultures de graminées (**Figure 11**). En Poitou-Charentes, l'ambroisie, plante invasive dans les zones de grandes cultures, provoque de très fortes allergies (conjonctivites asthme, rhinites). Sur les deux dernières années, Angoulême apparaît la ville la plus concernée. *A contrario*, les villes de Bayonne, La Rochelle et Pau semblent peu touchées par cette plante.

L'augmentation de l'index pollinique observée en Nouvelle-Aquitaine (environ 15 % de 2007 à 2016), va probablement continuer à progresser sous l'impact du changement climatique.

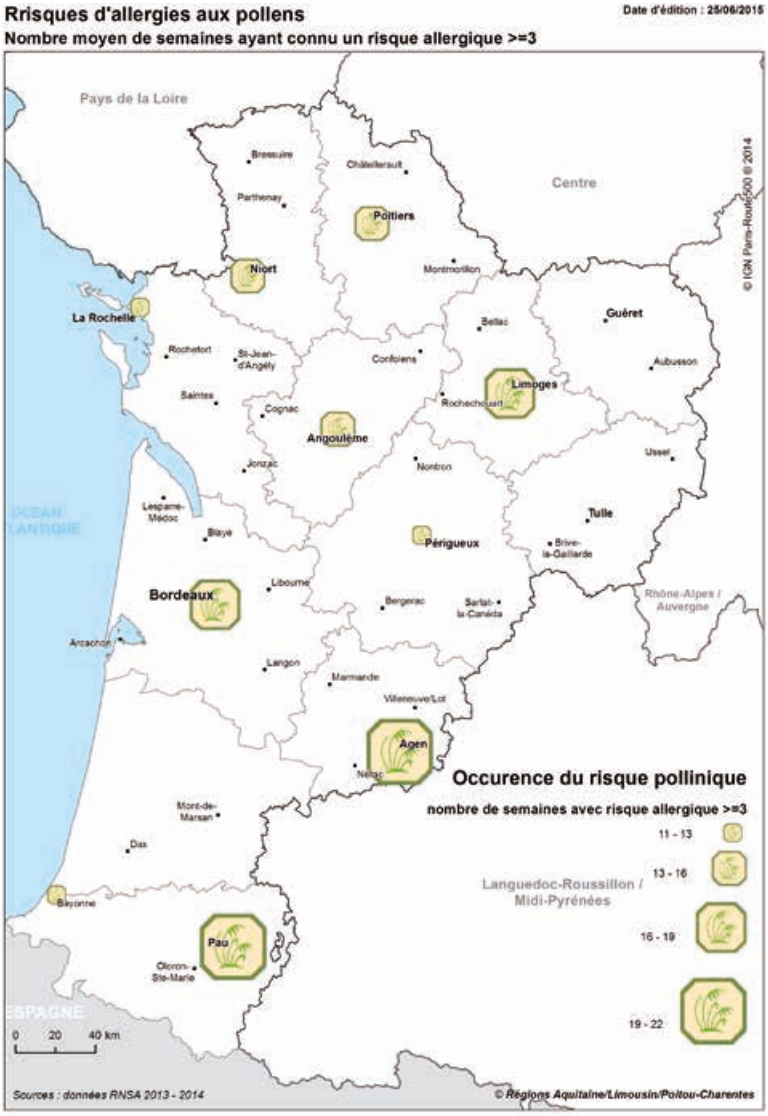


Figure 11 : *Carte régionale actuelle des risques allergiques. Crédit photo : Atmo Nouvelle-Aquitaine.*

LES GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

Selon les sources et les années ciblées, les émissions de GES en Nouvelle-Aquitaine sont estimées, en équivalent CO_2, entre un peu plus de 7 tonnes par habitant (en 2012, d'après l'ATMO NA) et un peu moins de 9 tonnes par habitant (en 2015, d'après l'AREC NA), à comparer avec la moyenne mondiale d'environ 4 à 5 tonnes par habitant et par an.

Parmi les principaux GES, selon les sources (ATMO ou AREC) et les années, entre 70 et 75 % des émissions régionales, exprimées en équivalents CO_2, sont imputables au dioxyde de carbone, qui incombe pour moitié au transport et pour un quart au résidentiel et tertiaire. Les autres GES importants, exprimés en équivalents CO_2[36], sont le méthane (CH_4) qui représente de l'ordre de 15 % des rejets, le protoxyde d'azote (N_2O), de l'ordre de 9 à 11 % (selon les sources et les années) et les gaz fluorés, de l'ordre de 5 %.

36 • Par rapport à la référence CO_2 les potentiels de réchauffement global (PRG) des autres GES, en kg équivalent CO_2/kg de GES, sont de 23 pour le méthane, 310 pour le protoxyde d'azote et d'environ 1 000 à 23 000 pour les gaz fluorés (selon les types de gaz).

Le méthane et le protoxyde d'azote sont dus très majoritairement (85 à 90 %) à l'agriculture, en particulier l'élevage pour le méthane et les cultures à engrais pour le protoxyde d'azote. Les gaz fluorés sont dus majoritairement au secteur tertiaire.

D'après le Ministère (MEDDE puis MTES), les émissions de GES en France ont diminué de 11 % entre 1990 et 2013, mais ceci est principalement lié à la diminution des émissions industrielles, malgré l'augmentation des émissions liées au transport et au secteur résidentiel. En Nouvelle-Aquitaine, ce sont les mêmes tendances, observées depuis une vingtaine d'années et qui se poursuivront très probablement compte tenu des engagements nationaux en vue de l'atténuation du changement climatique. Le **Tableau 2** présente des éléments d'appréciation (commentaires) qui doivent être peaufinés et détaillés à partir d'éléments chiffrés pas suffisamment disponibles actuellement.

SECTEUR	TENDANCE GÉNÉRALE	COMMENTAIRES
Industrie/Énergie	Baisse des émissions	Causes : diminution de l'activité industrielle, maîtrise de la consommation d'énergie, évolution du mix énergétique avec une baisse des énergies émettrices au profit de l'électricité
Résidentiel/ Tertiaire	Hausse des émissions	Causes : augmentation de la population non compensée par une évolution du mix énergétique au profit de l'électricité, augmentation de l'activité du secteur tertiaire
Transports	Hausse des émissions	Causes : augmentation du trafic en général, routier en particulier (principal émetteur) pas entièrement compensée par une diminution de la consommation unitaire des véhicules et par une introduction d'une part de « biomasse » dans les carburants (biocarburants dont les émissions de GES sont considérées comme quasi-nulles)
Agriculture	Baisse des émissions	Causes : Tendance à la baisse de l'activité du secteur agricole (cheptel, surfaces cultivables)

Tableau 2 : *Tendances générales d'évolution des émissions de GES en Nouvelle-Aquitaine, ces 20 dernières années (d'après l'ATMO Nouvelle-Aquitaine).*

CONCLUSION

En valeur moyenne par habitant, la pollution atmosphérique en Nouvelle-Aquitaine est plus élevée qu'en France, notamment au niveau des particules (96 % des épisodes de pollution), du dioxyde d'azote et de l'ammoniaque. Les objectifs français de qualité, comme les valeurs guides de l'OMS, sont souvent dépassés en Nouvelle-Aquitaine vis-à-vis des paramètres concernant les particules et, surtout, l'ozone. La plupart des polluants atmosphériques montrent une tendance à la diminution sur ces dix dernières années, sauf pour l'ozone et les composés organiques volatils et semi-volatils. Les pesticides sont présents dans l'air à des teneurs importantes surtout à proximité des zones viticoles et la recrudescence très probable d'invasions d'insectes et de moisissures sous l'impact du changement climatique ne laisse pas présager d'une diminution de l'utilisation des insecticides et des fongicides. Les émissions de gaz à effet de serre (en équivalent CO_2 par habitant) en Nouvelle-Aquitaine sont supérieures à la moyenne française, leur évolution tend vers une diminution depuis près de 20 ans. L'index pollinique en revanche ne cesse d'augmenter.

Bien que climat et qualité de l'air soient intimement liés et qu'il paraisse indispensable que les politiques de gestion des émissions anthropiques prennent en compte ces deux enjeux majeurs, il est extrêmement difficile de les traiter par une seule approche, simultanément **[32]**. Malgré la littérature scientifique internationale abondante sur la relation « qualité de l'air/climat », il n'est pas complètement admis que résoudre les problèmes liés à la qualité de l'air ait un impact positif sur le réchauffement climatique, et inversement **[32] [80]**. Les observations et les scénarios publiés laissent néanmoins envisager une détérioration de la qualité de l'air sous l'effet du changement climatique, dans les prochaines décennies. En Nouvelle-Aquitaine, comme sur l'ensemble des régions qui seront particulièrement impactées par le changement climatique, ce sont notamment des augmentations des teneurs en ozone, composés organiques volatils (et semi-volatils), aérosols, allergènes qui sont les plus probables, ainsi que plus spécifiquement pour cette région agricole, des augmentations des teneurs en insecticides et fongicides.

Il est important de noter que certains éléments de conclusion reposent essentiellement sur des transpositions d'observations issues d'une échelle plus globale, couplées à quelques tendances d'observations régionales et qu'il y a un manque flagrant d'études spécifiques régionales dans ce domaine, malgré l'impact reconnu de cette pollution sur la santé humaine et les écosystèmes **[32]**. Des mesures spécifiques sur les polluants les plus critiques, réalisées sur des sites d'observation judicieux, sont absolument indispensables si la société civile souhaite obtenir de la part des scientifiques un rapport prévisionnel plus fiable dans les prochaines années.

Sommaire

Introduction 8

La Nouvelle-Aquitaine 10
Territoire. 12
Économie. 14
Villes et population. 16
Eaux continentales. 18
Littoral 20
Patrimoine naturel 22
Agriculture-élevage. 24
Consommation d'énergie. 26
Production d'énergie renouvelable 27
Émissions de gaz à effet de serre. 28
Puits de carbone. 30

1 • Climat global, climat local : quelle dépendance ? 33

D'un rapport à l'autre : un contexte en évolution 36
Que peut-on dire des changements climatiques récents ? 39
Que peut-on dire des spécificités régionales des changements climatiques futurs ? 42
De la météo au climat : coexistence des variabilités naturelles et forcées 45
Conclusion : comment appréhender l'adaptation aux changements locaux 49

2 • Une mémoire pour une meilleure adaptation au changement climatique ? 51

Introduction. 54
Les passeurs de mémoire 56
Les « monstruosités du temps » ou l'éternel recommencement. 59
Retours d'expériences et outils de résilience 63
Conclusion. 66

3 • Les instruments juridiques de l'adaptation au changement climatique 69

Introduction. 72
L'approche territoriale de l'adaptation au changement climatique 73
La transformation des activités économiques 82
La protection des populations des risques climatiques. 89
Conclusion. 94

4 • Santé environnementale 97

Introduction. 100
Le changement climatique et la santé : les constats en Nouvelle-Aquitaine 101
Le climat, un déterminant de santé révélateur de vulnérabilités dans la population 107
La santé environnementale : un nouveau paradigme 111
La santé environnementale : pour un renouvellement de la décision indéniablement liée à l'éthique et au sens 113
La santé, un levier pour impulser des changements 115
Conclusion. 119

5 • Qualité des milieux naturels. . 121

Introduction. 124
L'eau 125
L'air 135
Le sol 143
Conclusion. 148

6 • Disponibilité de l'eau et changement climatique 151

Introduction. 154
La disponibilité des eaux superficielles . . 156
Eaux souterraines en région Nouvelle-Aquitaine 162
Pour une gouvernance de l'eau face au changement climatique 168

7 • L'énergie régionale et la transition énergétique 177

Introduction. 180
Les consommations d'énergie en Nouvelle-Aquitaine 182
Les énergies produites en Nouvelle-Aquitaine 187
Conclusion. 198

8 • Les ressources exploitées par la pêche et la conchyliculture. . 201

Ressources exploitées par la pêche professionnelle 204
Ressources exploitées par la conchyliculture. 217
Conclusion. 222

9 • Nouvelles forêts et nouvelles attentes ? 225

Introduction. 228
Changement climatique et composition actuelle et future des forêts de la Nouvelle-Aquitaine 230

Acteurs et politiques face aux changements climatiques en forêt . . 242
Conclusion 246

10 • Quelle agriculture demain en Nouvelle-Aquitaine ? 249

Le contexte de l'agriculture de la région Nouvelle-Aquitaine 253
Les impacts du changement climatique sur les ressources mobilisées par l'activité agricole et son environnement 257
Les impacts sur les fonctions de production et les stratégies d'adaptation par filière 262
Adaptation au changement climatique et atténuation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole : peut-on concilier les deux objectifs ? 274
Conclusion 278

11 • Territoires urbains et enjeux climatiques 281

Introduction 284
Impacts du changement climatique en milieu urbain 285
Enjeux de la métropolisation tenant à la morphologie des villes et à l'étalement urbain 289
Vers un urbanisme résilient et à faibles émissions 296
Les politiques climatiques territorialisées et leurs instruments 301

12 • Modifications physiques du littoral 305

Introduction 308
Les principaux forçages et leur évolution dans le cadre du changement climatique 311
Les différents environnements littoraux 315
L'aléa érosion dans la Nouvelle-Aquitaine 318
L'aléa submersion marine dans la Nouvelle-Aquitaine 322
Adaptation 326
Conclusion 329

13 • Zones humides : des écosystèmes riches mais menacés 331

Définition 334
Fonctions et services rendus par les zones humides 336
Typologie des zones humides de la région Nouvelle-Aquitaine 340
Les zones humides et le réchauffement climatique 353
Perspectives 360

14 • Massifs montagneux 363

LES PYRÉNÉES 367
Le climat du passé 368
Changements climatiques depuis 1950 et projections 371
Réponses des organismes et des écosystèmes 374
Changement climatique et transformations territoriales 377
Des projets partagés d'atténuation et d'adaptation 382
Perspectives 386

LE MASSIF CENTRAL 387
Moyennes altitudes et faibles densités . . 388
Évolution paysagère au filtre des relations homme/climat 389
Les zones humides de tête de versant : un refuge pour certaines espèces sensibles à la température de leur environnement . 390
Quelle forêt pour demain ? 392
Du défi d'adaptation au territoire d'expérimentation 393
Conclusion 394

15 • Participation locale et appropriation citoyenne 397

Introduction 400
Participation des citoyens à la conception des politiques et sensibilisation au changement climatique 403
Participation des citoyens à la mise en œuvre de projets aux différentes échelles territoriales 407
Conclusion 413

Conclusion 414

Glossaire 422

Acronymes 428

Références bibliographiques 430

Membres d'AcclimaTerra 478

Contributeurs et relecteurs 482

Une nouveauté de ce rapport est l'identification de chaque chapitre par une pastille verte. Les icônes situées dans le texte indiquent un ou plusieurs chapitres en lien avec le sujet traité, permettant de l'aborder sous différents angles.