



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



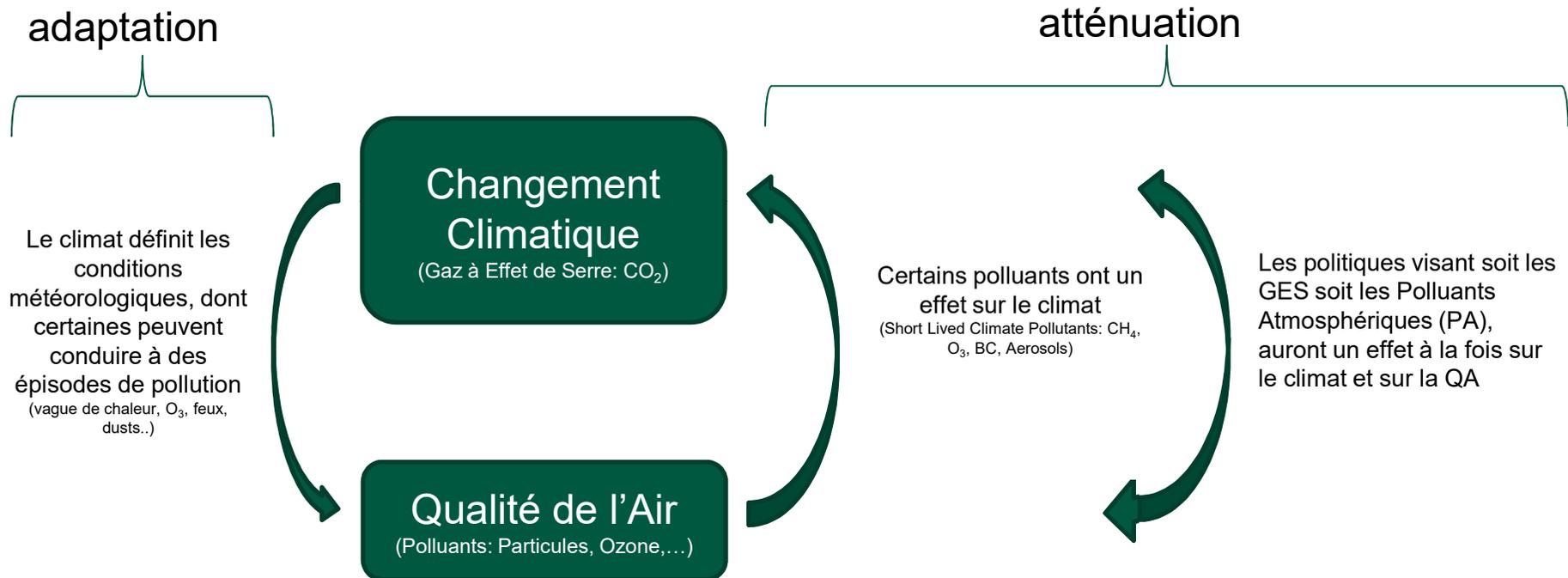
*maîtriser le risque
pour un développement durable*

La qualité de l'air dans un contexte de changement climatique

Frédéric Meleux
Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

Météo-France – 5 novembre 2024

Co-bénéfices Climat / Qualité de l'Air



6^e Rapport de Synthèse du GIEC, Summary for Policy Makers, 2023

Approved

Summary for Policymakers

IPCC AR6 SYR

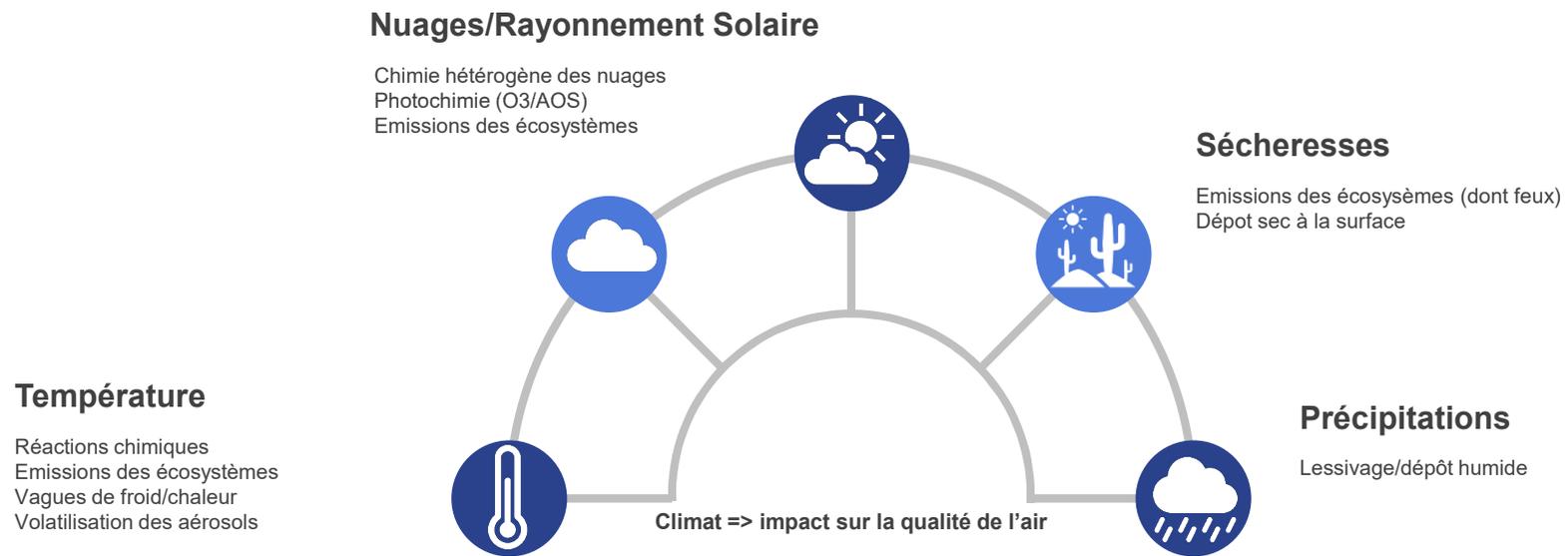
The Benefits of Near-Term Action

C.2.4 Cost-benefit analysis remains limited in its ability to represent all avoided damages from climate change (*high confidence*). The economic benefits for human health from air quality improvement arising from mitigation action can be of the same order of magnitude as mitigation costs, and potentially even larger (*medium confidence*). Even without accounting for all the benefits of avoiding potential damages the global economic and social benefit of limiting global warming to 2°C exceeds the cost of mitigation in most of the assessed literature (*medium confidence*).⁵⁰ More rapid climate change mitigation, with emissions peaking earlier, increases co-benefits and reduces feasibility risks and costs in the long-term, but requires higher up-front investments (*high confidence*). {3.4.1, 4.2}

- Du fait que les PA & GES sont souvent co-émis, une économie bas-carbone sera vertueuse pour la qualité de l'air

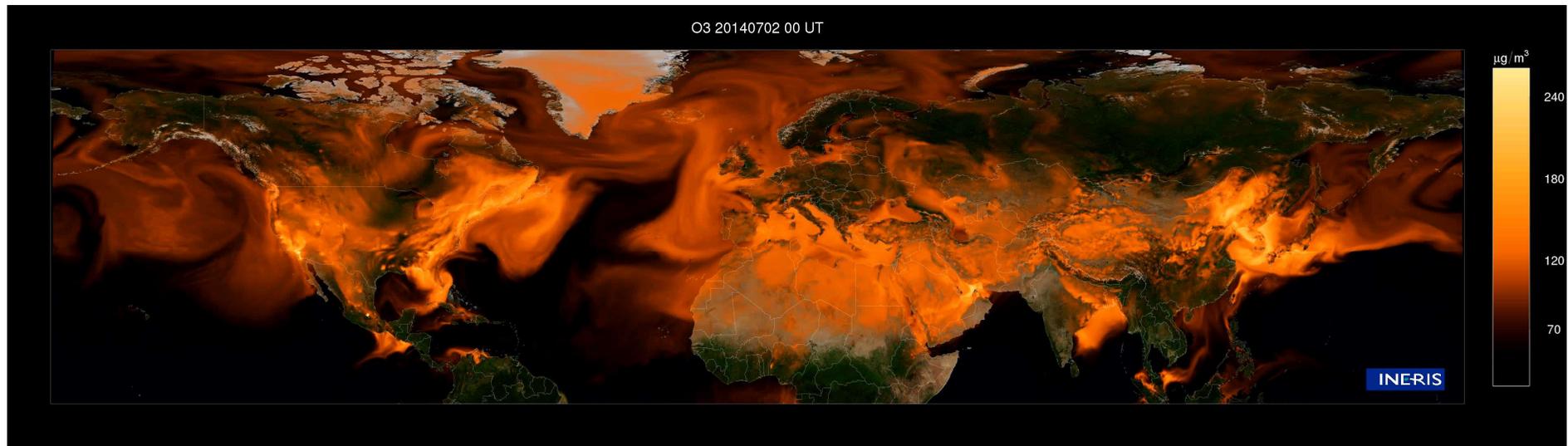
Adaptation:

Quelle qualité de l'air dans un monde où le climat change?



Ozone

L'ozone est formé sous l'effet du rayonnement solaire en présence de gaz précurseurs (NO_x, COV, CO, CH₄) d'origine anthropique et biotique



Impact du climat sur l'ozone en Europe

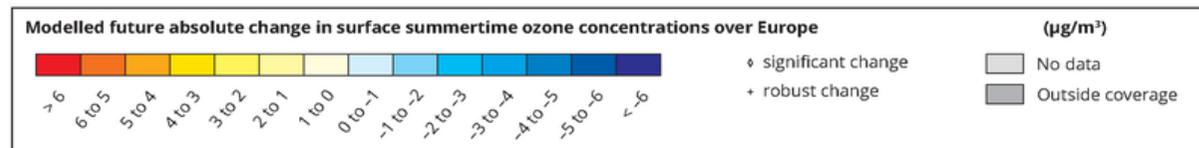
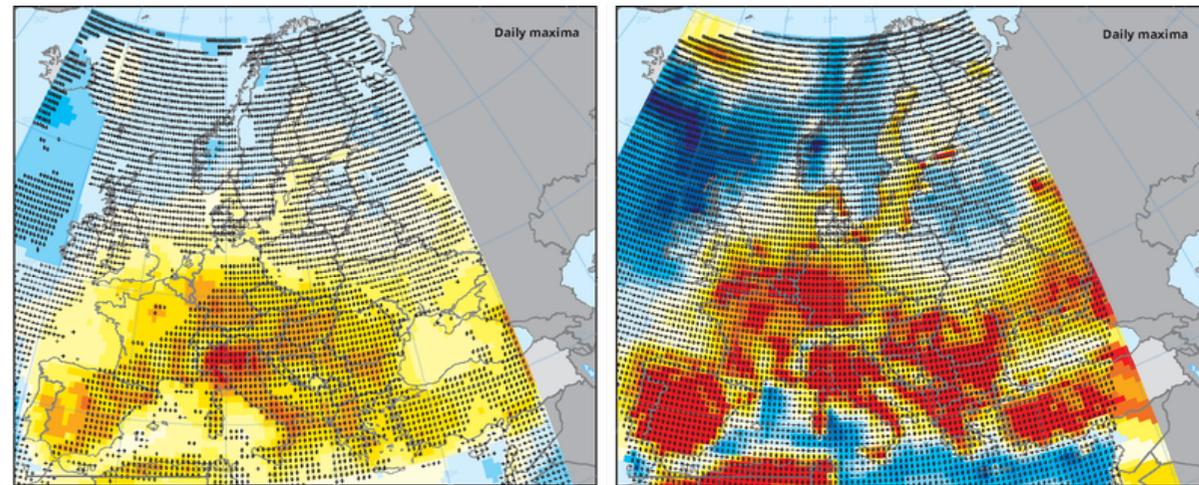
Méthodologie: Méta-analyse reposant sur 25 projections par modélisation (=> des dizaines d'années simulées)

Facteurs principaux: Photochimie (rayonnement), émissions & dépôts écosystèmes

Résultats:

- Entre 2005 et 2050, le climat (scénario médian) augmentera de 2 à 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ les pics d'ozone estivaux
- Entre 2005 et 2021, les politiques d'amélioration de la QA (50% de réduction NOx & VOC), ont permis de réduire ces pics de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

=> L'effet du climat est significatif: il est indispensable de continuer les efforts d'amélioration de la QA pour le compenser



<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/observatory/evidence/health-effects/ground-level-ozone/ground-level-ozone>

Scénarios de long terme: 2050

Focus sur le méthane

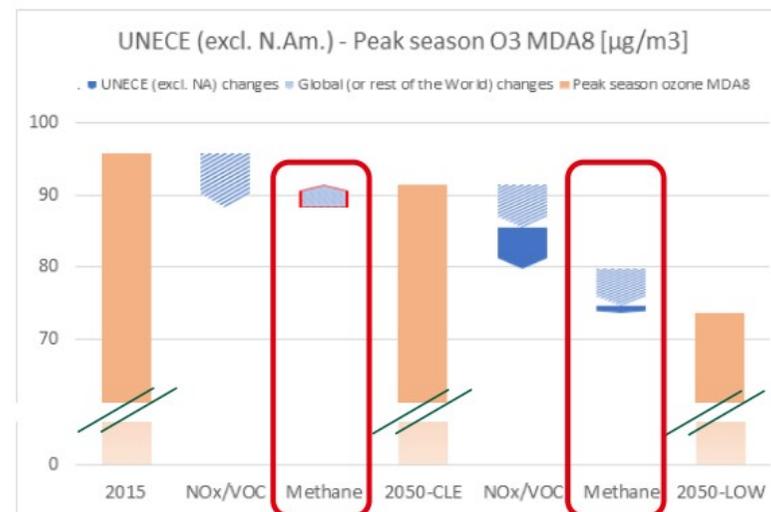
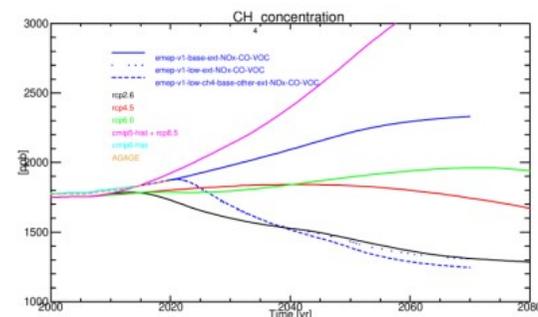
Comparaison:

- 2015
- 2050 CLE: "fit for 55" Europe, mais au global + **30%** émissions CH₄
- 2050 LOW: "fit for 55" Europe + Paris Agreement (monde): **-50%** émissions CH₄

Résultat

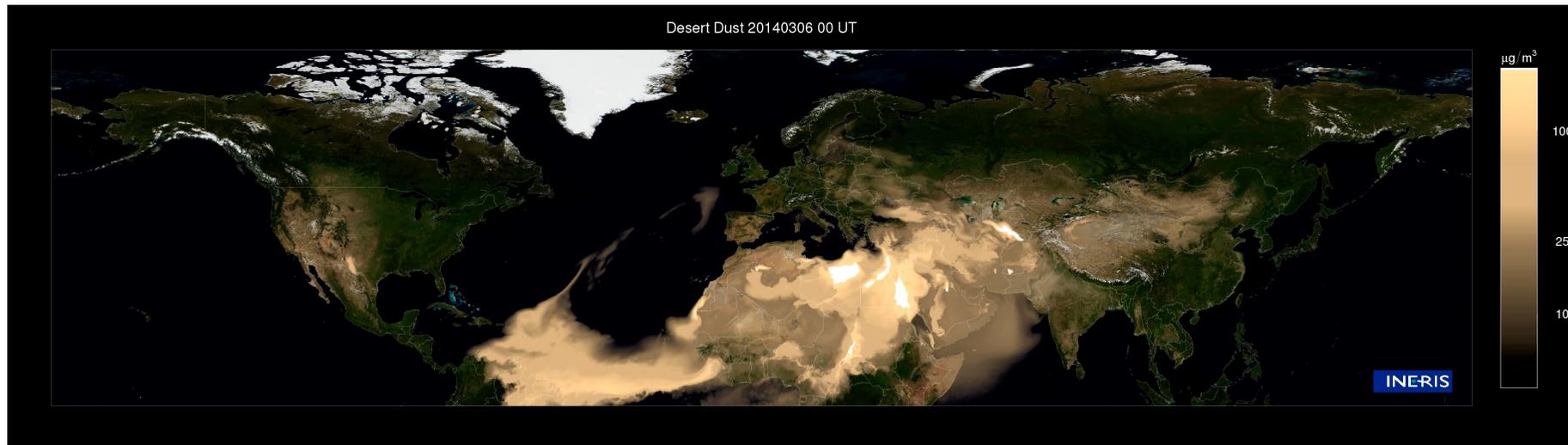
- Entre LOW & CLE 2050: contributions équivalentes pour
 - NO_x/VOC Européens
 - NO_x/VOC Reste du Monde
 - CH₄ global

Source: EMEP Status Report 2023



Poussières désertiques

Les poussières désertiques sont émises en grande quantité et peuvent être transportées sur des milliers de kilomètres. La modification de l'aridité et de l'usage des sols aura un effet sur cette source de particules

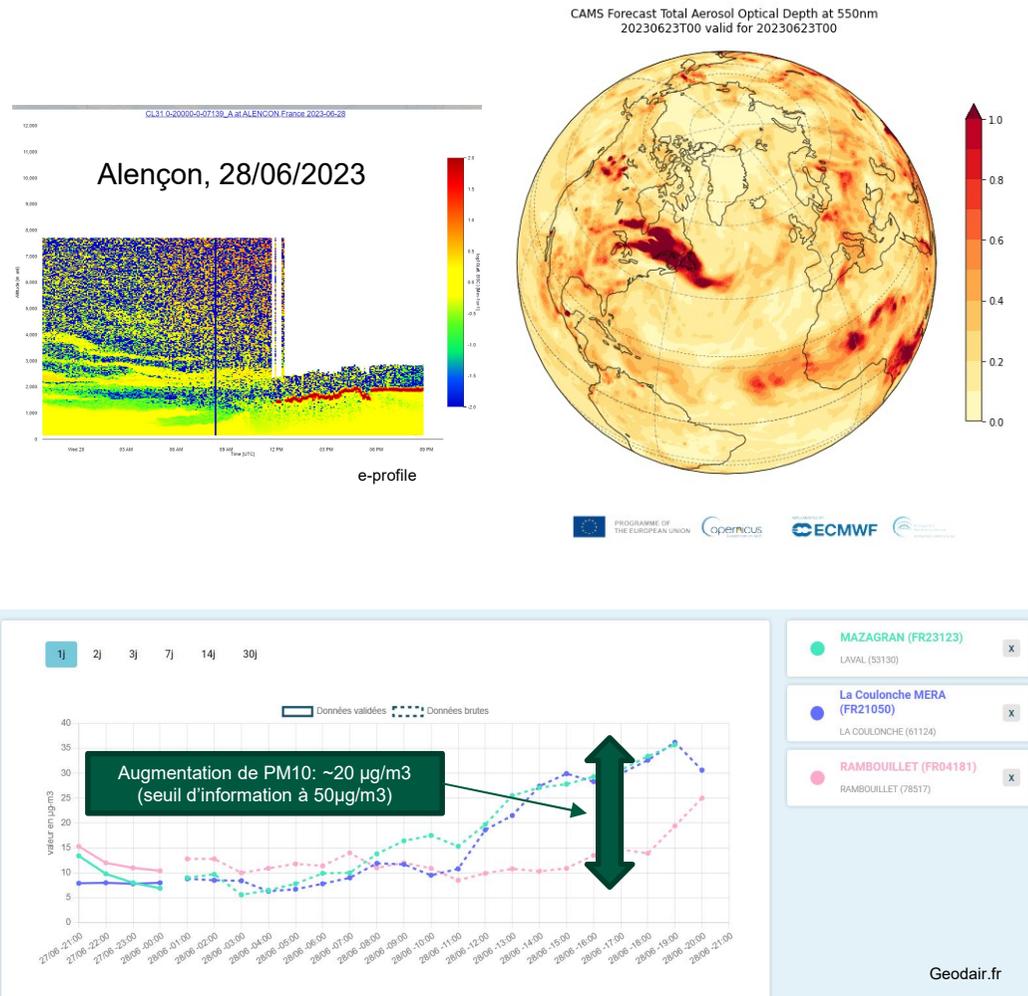


Feux de forêt

Les feux de forêt émettent de grandes quantités de particules (et autres précurseurs)

L'effet à long terme sur la QA et sur la santé est encore mal connu

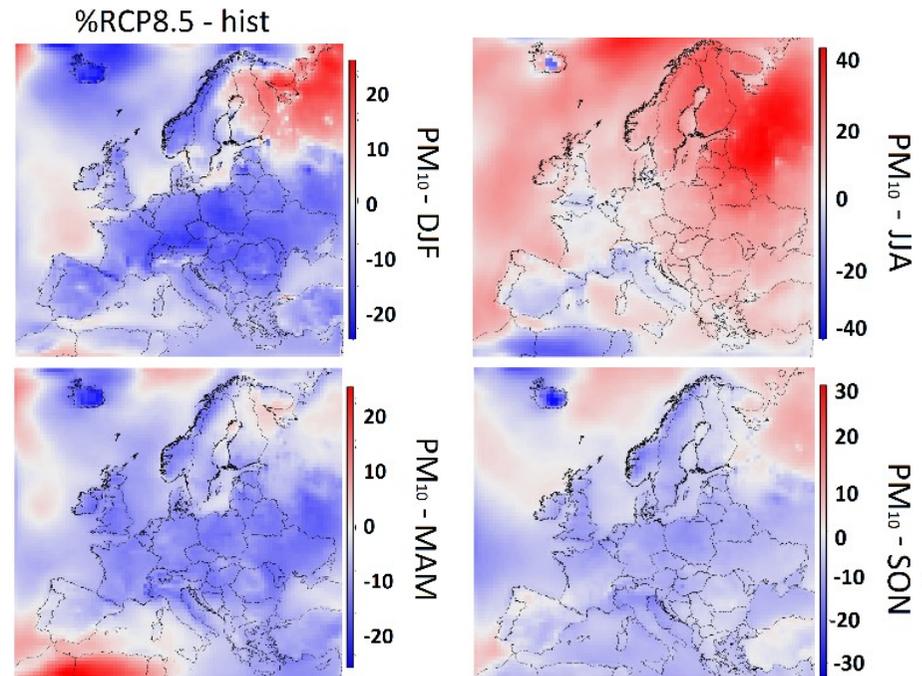
Cf exemples récents: Gironde/Canada



Particules Fines

Des effets opposés en fonction des saisons

- Hiver: moins de vague de froids => baisse des PM en Europe sauf au nord
- Printemps: augmentation des flux de sud de poussières désertiques et volatilisation des PM inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium) en Europe
- Été: production d'aérosols organiques secondaires d'origine biotique



Cholakian et al., ACP 2019

Conclusions

Changement Climatique & Qualité de l'Air

- Différentes « espèces traces » atmosphériques: Gaz à Effets de Serre / Polluants Atmosphériques
- Plusieurs enjeux communs

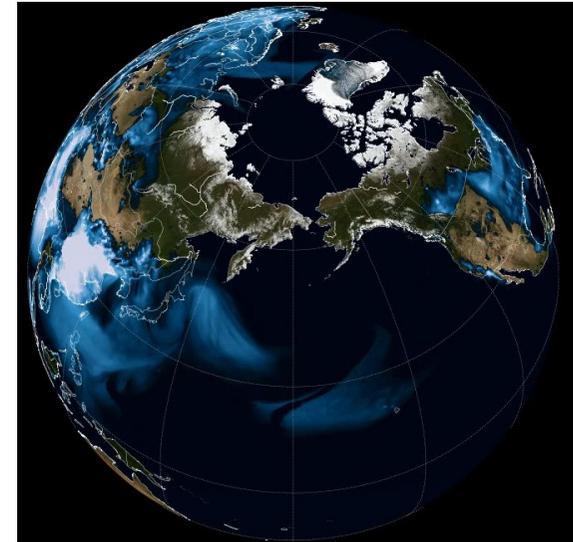
Le Climat a un effet notable sur la qualité de l'air

- Significatif et bien documenté pour l'ozone
- Plus incertain pour les particules (effets opposés en fonction des types d'aérosols)

Il y a de fortes synergies entre les politiques climatiques et la qualité de l'air

- Co-émissions GES/PA => baisse d'émission PA induit par les politiques climatiques
- Le bénéfice de l'atténuation des GES pour la santé sera constaté à plus court terme que le bénéfice sur le climat => levier pour l'action

L'enjeu est de pouvoir quantifier ces co-bénéfices à l'échelle française (projets en cours ou à venir) sur les Scénarios 2050 de l'Ademe ou la Stratégie Nationale Bas Carbone



Adaptation:

Quelle qualité de l'air dans un monde où le climat change?

IPCC AR6, WG1, Chap12

Air Pollution in Europe => « No confidence in the direction of change »

Induit par des signaux opposés en fonctions de polluants considérés:

- Ozone: augmentation sans ambiguïté
- Particules: augmentations sporadiques (dust/feux), baisse des vagues de froid, volatilisation au printemps, production en été

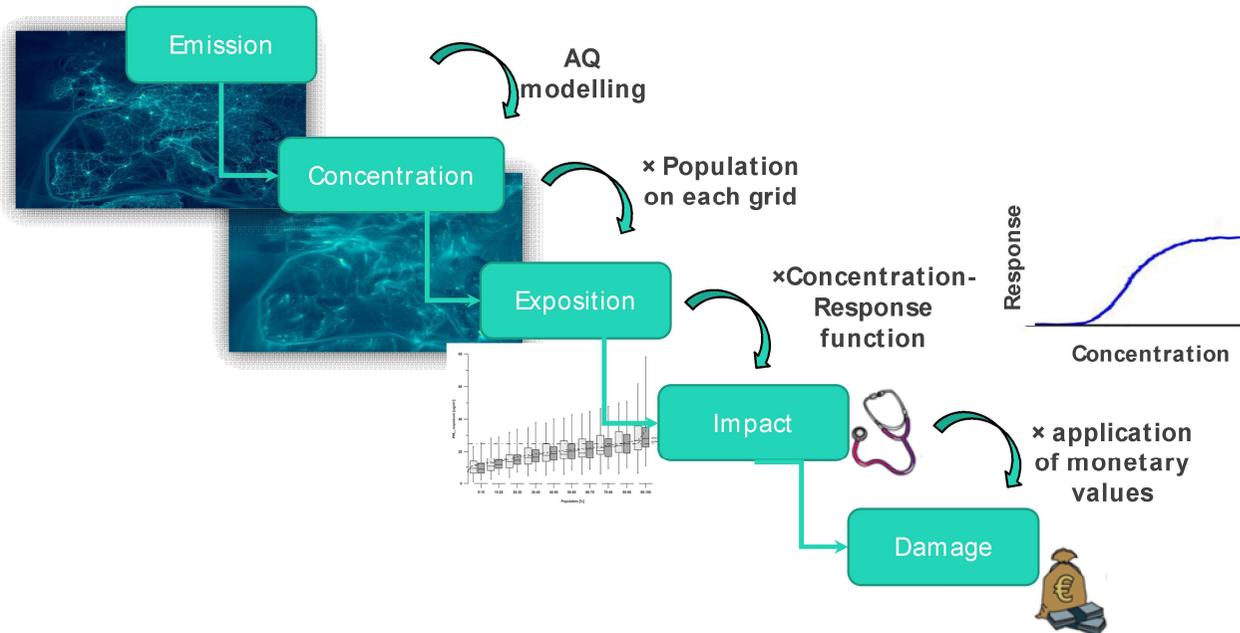
Table 12.7 | Summary of confidence in direction of projected change in climatic impact-drivers in Europe, representing their aggregate characteristic changes for mid-century for scenarios RCP4.5, SSP2-4.5, SRES A1B, or above within each AR6 region (defined in Chapter 1), approximately corresponding (for CIDs that are independent of sea level rise) to global warming levels between 2°C and 2.4°C (see Section 12.4 for more details of the assessment method). The table also includes the assessment of observed or projected time-of-emergence of the CID change signal from the natural interannual variability if found with at least medium confidence in Section 12.5.2.

Region	Climatic Impact-driver																													
	Heat and Cold				Wet and Dry				Wind			Snow and Ice			Coastal and Oceanic			Other												
	Mean air temperature	Extreme heat	Cold spell	Frost	Mean precipitation	River flood	Heavy precipitation and physical flood	Landslide	Acidity	Hydrological drought	Agricultural and ecological drought	Fire weather	Mean wind speed	Severe wind storm	Tropical cyclone	Sand and dust storm	Snow, glacial and ice threat	Permafrost	Lake, river and sea ice	Heavy snowfall and ice storm	Hail	Snow avalanche	Relative sea level	Coastal flood	Coastal erosion	Marine heatwave	Ocean acidity	Air pollution weather	Radiation at surface	Atmospheric CO ₂ at surface
Mediterranean (MED)	•	•	•	•	•	•	5						6	7				•					•	2	•	•	•	•	•	
Western and Central Europe (WCE)	•	•	•	•	•	•		4										•	•				•	2	•	•	•	•	•	
Eastern Europe (EEU)	•	•	•	•	•	•												•	•						•	•	•	•	•	
Northern Europe (NEU)	•	•	•	•	•	•	1											•	•					8	2,3	•	•	•	•	

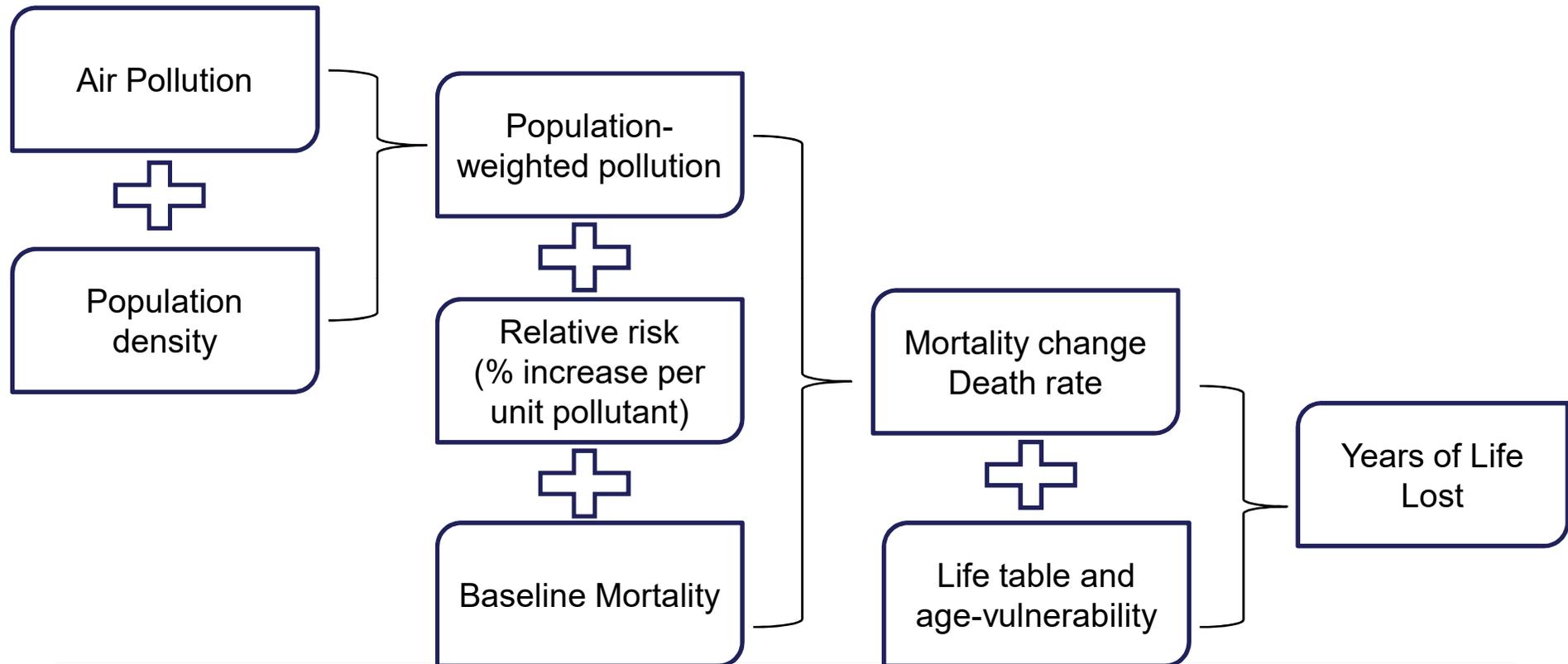


Méthodologie d'évaluation par voie d'impact

Impact pathway approach



Monétisation des impacts sanitaires



Quantification des impacts de la pollution atmosphérique

Impacts sanitaires

End point	Impact	Pollutant	Relative Risks	Source for response function
Acute Mortality (All ages)	Premature deaths	O ₃	1.0029, 95%CI 1.0014 to 1.0043 per 10 µg.m-3	Katsouyanni et al., 2009
Respiratory hospital admissions (>64)	Cases		1.0044, 95%CI 1.0007 to 1.0083 per 10 µg.m-3	
Cardiovascular hospital admissions (>64)	Cases		1.0089, 95%CI 1.0050 to 1.0127 per 10 µg.m-3	
Minor Restricted Activity Days (MRADs all ages)	Days		1.0154, 95%CI 1.0060 to 1.0249 per 10 µg.m-3	
Chronic Mortality (All ages (*)) YOLL	Life years lost	PM _{2.5}	1.062, 95%CI 1.040 to 1.083 per 10 µg.m-3	Hoek et al., 2013
Chronic Mortality (30yr +) deaths	Premature deaths	PM _{2.5}	1.062, 95%CI 1.040 to 1.083 per 10 µg.m-3	
Infant Mortality (1 month-1yr)	Premature deaths	PM ₁₀	1.04, 95%CI 1.02 to 1.07 per 10 µg.m-3	Woodruff et al., 1997
Chronic Bronchitis (27yr +)	Cases	PM ₁₀	1.117, 95%CI 1.040 to 1.189 per 10 µg.m-3	Abbey et al., 1995a, b, Schindler et al., 2009
Bronchitis in children aged 6 to 12	Added cases	PM ₁₀	1.08, 95%CI 0.98 to 1.19 per 10 µg.m-3	Hoek et al., 2012
Respiratory Hospital Admissions (All ages)	Cases	PM _{2.5}	1.019, 95%CI 0.9982 to 1.0402 per 10 µg.m-3	APED study, 2000-2009 (***)
Cardiac Hospital Admissions All ages)	Cases	PM _{2.5}	1.0091, 95%CI 1.0017 to 1.0166 per 10 µg.m-3	
Restricted Activity Days (all ages)	Days	PM _{2.5}	1.047, 95%CI 1.042 to 1.053 per 10 µg.m-3	Ostro, 1987
Asthma symptom days (children 5-19yr)	Days	PM ₁₀	1.028, 95%CI 1.006 to 1.051 per 10 µg.m-3	Weinmayr et al., 2010
Lost working days (15-64 years)	Days	PM _{2.5}	1.046, 95%CI 1.039 to 1.053 per 10 µg.m-3	Ostro, 1987
Bronchitis in children aged 5 to 14	Added cases	NO ₂	1.021, 95%CI 0.99 to 1.06% per 1 µg.m-3	McConnell et al., 2003
Respiratory Hospital Admissions (All ages)	Cases		1.018, 95%CI 1.0115 to 1.0245 per 10 µg.m-3	APED study, 2000-2009 (***)
Chronic Mortality (All ages) YOLL	Life years lost		1.02, 95%CI 1.01 to 1.04 per 10 µg.m-3	Huangfu and Atkinson (2020), COMEAP (2018) and Ricardo (2020)
Chronic Mortality (30yr +) deaths	Premature deaths		1.008, 95%CI 1.004 to 1.016 per 10µg/m ³ (**)	

(*) The YOLL calculation is based on analysis that considered the over 30 years population only but expressed the result as the change in YOLL per ug.m-3 spread across the whole population. (**) Reduced to 1.008 per 10µg/m³ from 1.02, 95%CI 1.01 to 1.04 per 10 µg.m³ to account for double counting of impact with the function used for PM_{2.5} mortality. (***) Reference to APED refers to a series of European studies reporting between 2000 and 2009 (Amann et al., 2020): further details are provided in the HRAPIE report (WHO, 2013).

- Quantification de la mortalité et différents types de morbidité
- Effets liés à l'exposition aux PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ et NO₂
- Risques relatifs issus de la littérature selon les recommandations OMS (HRAPIE/EMAPEC)
- Intégré à l'outil AlphaRiskPoll aussi utilisé dans des travaux pour la Commission Européenne et l'Agence Européenne de l'Environnement

Quantification des impacts de la pollution atmosphérique

Impacts sanitaires: monétisation

Effect	Unit cost (€2019)	Main source(s)
Mortality – value of statistical life (VSL)	€3.90 million	Based on OECD (2012)
Mortality – value of a life year (VOLY)	101,426	Previous median estimate increased in proportion to the increase in mean VSL to reflect OECD (2012)
Infant Mortality (per death)	€5.86 million	Based on OECD (2012) (factor 1.5 higher than average for adults)
Chronic Bronchitis in adults (per case)	68,383	Maca (2011), Holland (2014b) with concerns over severity of air pollution related bronchitis
Bronchitis in children (per event)	384	Hunt et al. (2016)
Respiratory Hospital Admissions (per case)	5,103	Broadly mid-range from estimates and similar to DCE (2018)
Cardiac Hospital Admissions (per case)	6,379	Broadly mid-range from estimates and similar to DCE (2018)
Restricted Activity Days (per day)	140	Hunt et al. (2016)
Minor restricted activity days (per day)	51	Hunt et al. (2016)
Work loss days (per day)	166	Amann et al. (2017)
Asthma symptoms, asthmatic children (per day)	54	Holland (2014), U.S. EPA (2011)

- Les valeurs comprennent des coûts tangibles et intangibles
- Ce sont des valeurs acceptées par la CE pour l'évaluation de ses politiques

Analyse Coût-Bénéfice



ADEME: Transitions 2050

LA SOCIÉTÉ EN 2050

MODÈS DE VIE		S1 GÉNÉRATION FRUGALE	S2 COOPÉRATIONS TERRITORIALES	S3 TECHNOLOGIES VERTES	S4 PARI RÉPARATEUR	MODÈS DE VIE	
Société	<ul style="list-style-type: none"> Recherche de sens Frugalité choisie mais aussi contrainte Préférence pour le local Nature sanctuarisée 	<ul style="list-style-type: none"> Évolution soutenable des modes de vie Économie du partage Équité Préservation de la nature inscrite dans le droit 	<ul style="list-style-type: none"> Plus de nouvelles technologies que de sobriété Consommérisme « vert » au profit des populations solvables, société connectée Les services rendus par la nature sont optimisés 	<ul style="list-style-type: none"> Sauvegarde des modes de vie de consommation de masse La nature est une ressource à exploiter Confiance dans la capacité à réparer les dégâts causés aux écosystèmes 	Société		
Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> Division par 3 de la consommation de viande Part du bio: 70 % 	<ul style="list-style-type: none"> Division par 2 de la consommation de viande Part du bio: 50 % 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de 30 % de la consommation de viande Part du bio: 30 % 	<ul style="list-style-type: none"> Consommation de viande quasi-stable (baisse de 10 %), complétée par des protéines de synthèse ou végétales 	Alimentation		
Habitat	<ul style="list-style-type: none"> Rénovation massive et rapide Limitation forte de la construction neuve (transformation de logements vacants et résidences secondaires en résidences principales) 	<ul style="list-style-type: none"> Rénovation massive, évolutions graduelles mais profondes des modes de vie (catalisation plus développée et adaptation de la taille des logements à celle des ménages) 	<ul style="list-style-type: none"> Déconstruction-reconstruction à grande échelle des logements Ensemble des logements rénovés mais de façon peu performante: la moitié seulement au niveau Bâtiment Basse Consommation (BBC) 	<ul style="list-style-type: none"> Maintien de la construction neuve La moitié des logements seulement est rénovée au niveau BBC Les équipements se multiplient, alliant innovations technologiques et efficacité énergétique 	Habitat		
Mobilité des personnes	<ul style="list-style-type: none"> Réduction forte de la mobilité Réduction d'un tiers des km parcourus par personne La moitié des trajets à pied ou à vélo 	<ul style="list-style-type: none"> Mobilité maîtrisée - 17 % de km parcourus par personne Près de la moitié des trajets à pied ou à vélo 	<ul style="list-style-type: none"> Mobilités accompagnées par l'État pour les maltriser: infrastructures, télétravail massif, covoiturage + 13 % de km parcourus par personne 30 % des trajets à pied ou à vélo 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation forte des mobilités + 28 % de km parcourus par personne Recherche de vitesse 20 % des trajets à pied ou à vélo 	Mobilité des personnes		
Technique	<ul style="list-style-type: none"> Innovation autant organisationnelle que technique Règne des low-tech, réutilisation et réparation Numérique collaboratif Consommation des data centers stable grâce à la stabilisation des flux 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement massif (efficacité énergétique, Ent et infrastructures) Numérique au service du développement territorial Consommation des data centers stable grâce à la stabilisation des flux 	<ul style="list-style-type: none"> Ciblage sur les technologies les plus compétitives pour décarboner Numérique au service de l'optimisation Les data centers consomment 10 fois plus d'énergie qu'en 2020 	<ul style="list-style-type: none"> Innovations tout azimut Captage, stockage ou usage du carbone capté indispensable Internet des objets et intelligence artificielle omniprésents les data centers consomment 15 fois plus d'énergie qu'en 2020 	Technique		
Gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> Décision locale, faible coopération internationale Réglementation, interdiction et rationnement via des quotas 	<ul style="list-style-type: none"> Gouvernance partagée Fiscalité environnementale et redistribution Décisions nationales et coopération européenne 	<ul style="list-style-type: none"> Cadre de régulation minimale pour les acteurs privés État planificateur Fiscalité carbone ciblée 	<ul style="list-style-type: none"> Soutien de l'offre Coopération internationale forte et ciblée sur quelques filières clés Planification centralisée du système énergétique 	Gouvernance		
Territoire	<ul style="list-style-type: none"> Rôle important du territoire pour les ressources et l'action Démétropolisation en faveur des villes moyennes et des zones rurales 	<ul style="list-style-type: none"> Reconquête démographique des villes moyennes Coopération entre territoires Planification énergétique territoriale et politiques foncières 	<ul style="list-style-type: none"> Métropolisation, mise en concurrence des territoires, villes fonctionnelles 	<ul style="list-style-type: none"> Faible dimension territoriale, étalement urbain, agriculture intensive 	Territoire		
Macro-économie	<ul style="list-style-type: none"> Nouveaux indicateurs de prospérité (écarts de revenus, qualité de la vie...) Commerce international contracté 	<ul style="list-style-type: none"> Croissance qualitative, «réindustrialisation» de secteurs clés en lien avec territoires Commerce international régulé 	<ul style="list-style-type: none"> Croissance verte, innovation poussée par la technologie Spécialisation régionale Concurrence internationale et échanges mondialisés 	<ul style="list-style-type: none"> Croissance économique carbonée Fiscalité carbone minimaliste et ciblée Économie mondialisée 	Macro-économie		
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> Production au plus près des besoins 70 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> Production en valeur plutôt qu'en volume Dynamisme des marchés locaux 80 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> Décarbonation de l'énergie 60 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> Décarbonation de l'industrie partant sur le captage et stockage géologique de CO₂ 45 % de l'acier, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier-carton et des plastiques viennent du recyclage 	Industrie		

CLIMAT

Le rôle majeur des puits biologiques pour l'atteinte de la neutralité en 2050

QUATRE SCÉNARIOS NEUTRES EN 2050, AVEC UN RECOURS PLUS OU MOINS IMPORTANT AUX PUIITS DE CARBONE

Bilan des émissions et des puits de CO₂ en 2015 et 2050

