

Pollution atmosphérique (qualité de l'air) et changement climatique : quelles interactions ?

Quelle est la priorité ?
Ou même combat ?

Pollution atmosphérique et changement climatique : quelles interactions ?

- Temporalité : courte (épisodes) / lente : évolution multidécennale ou séculaire
- Extension spatiale : local (régional) / global
- Maitrise effective/ réversibilité (ex.: pluies acides) / durable
+quasi-irréversibilité (ex : en 2100 : > +2°C)
- Prise en compte institutionnelle :
Réglementations : Union Européenne (directives):
Rio, Kyoto, Copenhague : l'international (ONU)
 - → 2 problématiques indépendantes ?

2 exemples représentatifs ayant un fort impact sanitaire : l'ozone ;
les particules

Pollution photo-oxydante : l'ozone

- LOCAL : santé publique (Europe : pollution > route)
 - → seuils d'alerte ; réglementations européennes : (ex : oxydes d'azote)
- GLOBAL ? : ozone : 3^{ème} Gaz à Effet de Serre (GES)
[1^{er} : CO₂ ; 2^{ème} : méthane = CH₄]
→ Union Européenne : réduction de 20% des émissions de GES d'ici 2020 (Copenhague)
 - CAS IDEAL DE « DOUBLE BENEFICE » ? :
 - LOCAL+ GLOBAL ?
- Obstacles :
 - - pas d'émissions d'ozone car polluant secondaire (généralisé in situ par réactions chimiques)
 - - ozone « de fond » (loin des sources de pollution)
 - + ozone local (zones urbaines)

● Pollution photo-oxydante : l'ozone

● Agence Européenne Environnement

- Depuis 1997, pas de diminution pour ozone et particules malgré baisse sensible des émissions

- Prévisions (2020) : ↑ ozone pour Europe centrale et du Sud
et seuils d'alerte souvent franchis en zones urbaines

● Les interprétations :

- Transport de la Pollution : régionale ET transcontinentale

- Projections climatiques globales :

● ozone fond : poursuite ↑ ? ; ozone local :
règlementations?

- - Polluant secondaire, fonction complexe de 3 ingrédients :

a) : insolation ; b) : **NO_x, NO₂** (oxydes d'azote) ;

c) : **COV** (Composés Organiques Volatils),

- NO_x et COV (local) → méthane (global) → ozone de fond
→ effet d'un changement des émissions de **méthane** (GES global) ou de **NO_x, COV** (émissions régionales) ?

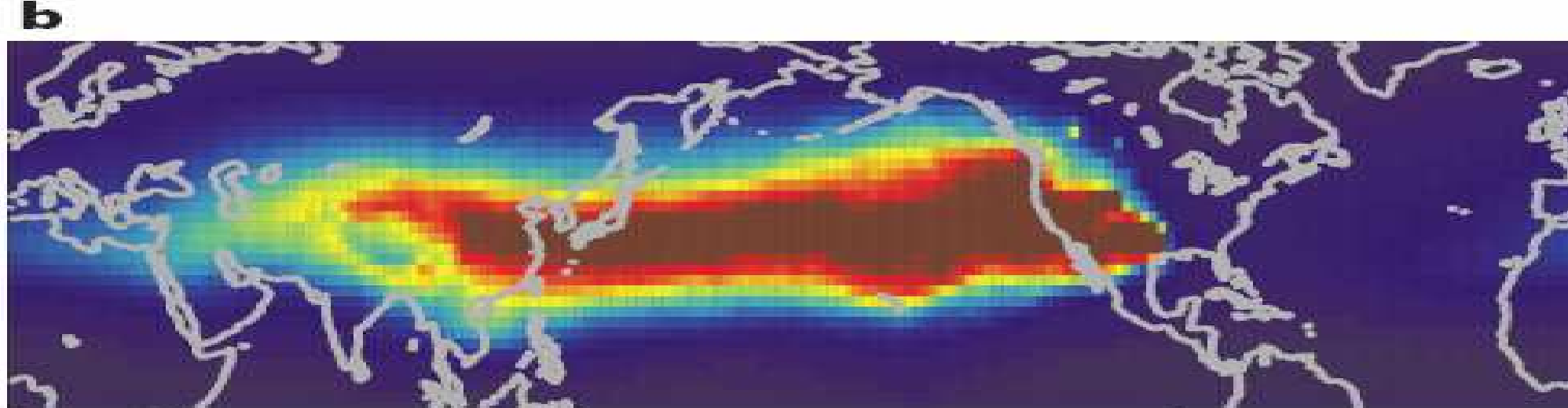


Figure 2 | Average 1995–2008 FLEXPART retroplume residence times. Average retroplume residence times in the atmospheric column (a and b) and footprint layer (c and d) for weaker (a and c) and stronger (b and d) transport from the SA/EA region. The retroplumes associated with every 1995–2008 ozone measurement in Fig. 1a were ranked according to the amount of time spent in the boundary layer above the SA/EA emissions

regions. The 50% of retroplumes with the longest residence times were categorized as having stronger transport from SA/EA, while the rest were categorized as having weaker transport from SA/EA. For each group of retroplumes the average column and footprint was calculated (1995–2008), and for each group the ozone rate of change was also calculated (reported in the main text).

LETTERS

Increasing springtime ozone mixing ratios in the free troposphere over western North America

O. R. Cooper^{1,2}, D. D. Parrish², A. Stohl³, M. Trainer², P. Nédélec⁴, V. Thouret⁴, J. P. Cammas⁴, S. J. Oltmans², B. J. Johnson², D. Tarasick⁵, T. Leblanc⁶, I. S. McDermid⁶, D. Jaffe⁷, R. Gao², J. Stith⁸, T. Ryerson², K. Aikin^{1,2}, T. Campos⁹, A. Weinheimer⁹ & M. A. Avery¹⁰

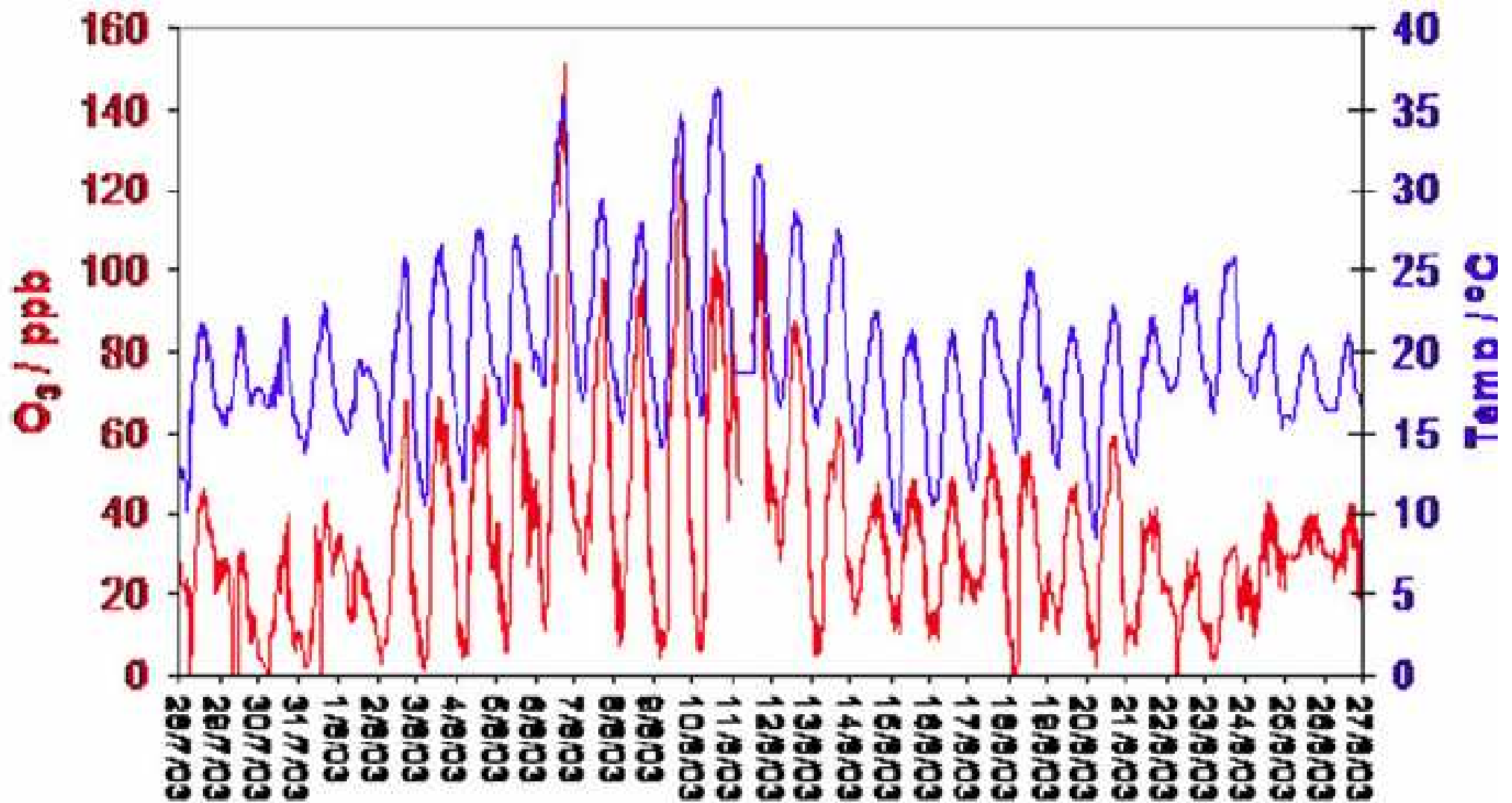


Fig. 34. Ozone and temperature measured in the southern UK through the 2003 heatwave adapted from (Lee et al., 2006b).

Canicule de Août 2003 (climat futur?) : **ozone** et **température**
 Explication probable : ↑ COV naturel (isoprène)

• Pollution Particulaire (les aérosols sulfatés)

- Particules fines : jusqu'à 40% de sulfates (pluies acides)
 - Origine des particules sulfatées : naturelle (volcans) ou \approx anthropogénique (industrie, énergie, navires)
 - Durée de vie atmosphérique : courte (jours) sauf volcans
 - Effet connu (volcans) : refroidissement passager : $< - 0,5^{\circ}\text{C}$
 - [explication simplifiée : effet parasol de couverture nuageuse]
 - Question : contribution de la pollution particulaire actuelle permanente (« de fond ») au réchauffement observé (aérosols sulfatés + autres aérosols) ?
 - Réchauffement depuis ère industrielle : modèles climatiques ?
 - Si GES étaient seuls (aucun aérosol = effet de serre simple)
 - réchauffement calculé = $+2,4^{\circ}\text{C}$
 - Or : seulement : environ $+ 0,7^{\circ}\text{C}$ (19/20^{ème} siècle)
 - Différence : atténuation : en grande partie aux aérosols = $-1,3^{\circ}\text{C}$
- effet des Particules fines et ultrafines : limitation significative du réchauffement (effet « masquant »)



Estimated losses in life expectancy attributable to exposure to fine particulate matter ($PM_{2.5}$) from anthropogenic emissions for 2000 (left) and 2020 (right)

Months

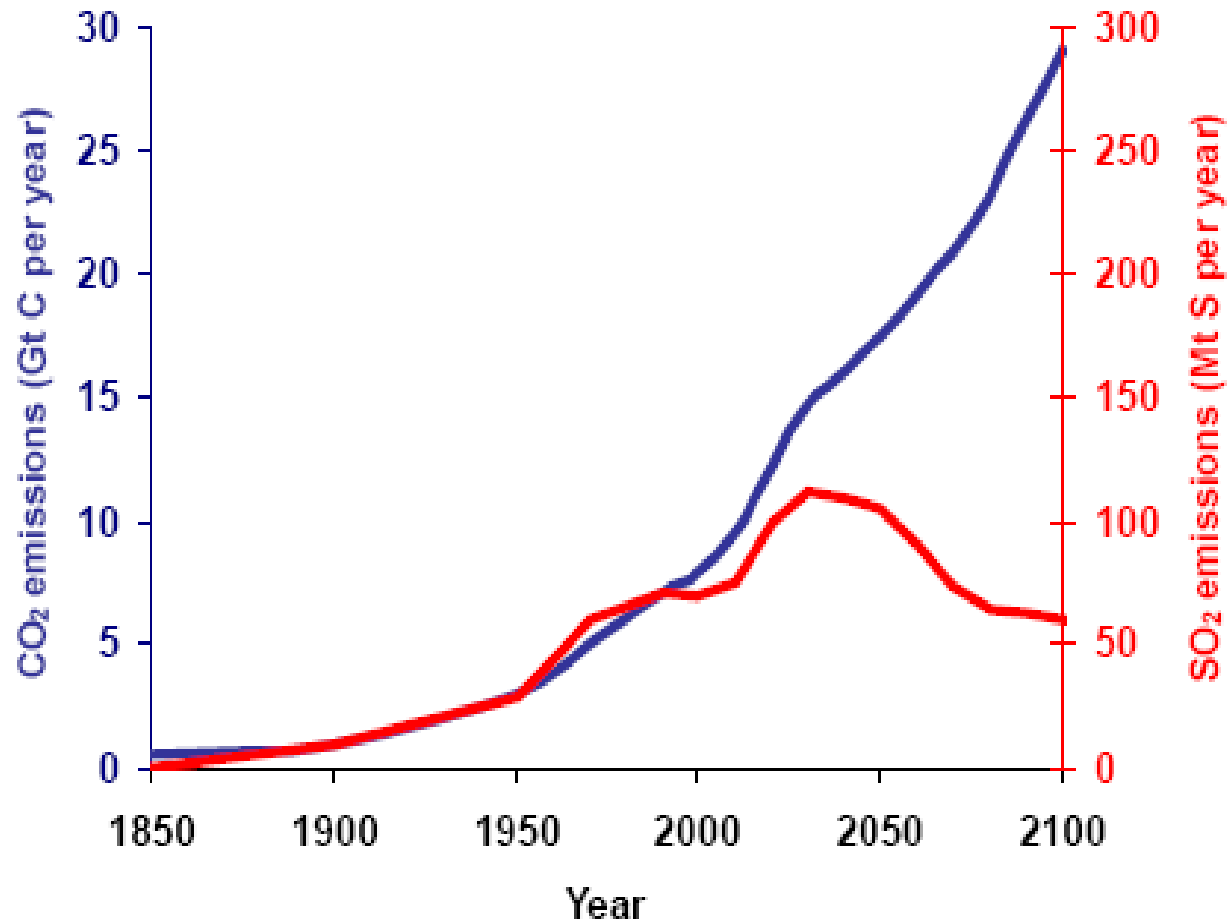


No data

Outside study area

La réduction de la pollution particulaire (ici : $PM_{2.5}$, en 2020) : hautement bénéfique pour santé publique !

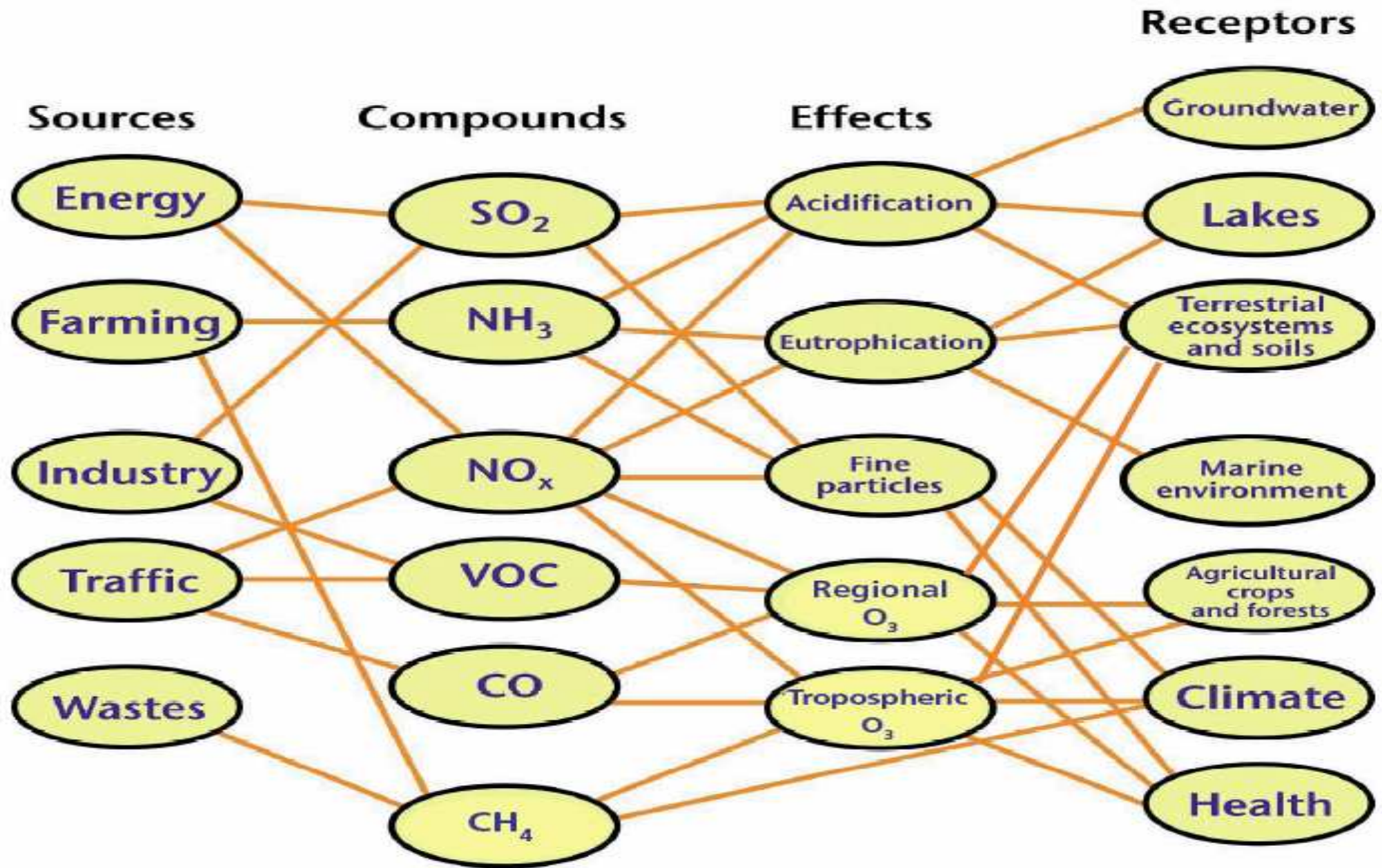
Figure 3.15: Historical global total carbon dioxide and sulphur dioxide emissions from 1850 to 2000, followed by projected values to the year 2100 from the SRES A2 scenario



Bleu : CO₂ ; rouge : SO₂ (sulfates)
scénario A2 du GIEC (« au fil de l'eau ») ; an 2100

● Pollution particulaire : que faire ?

- Union Européenne : réglementations pour leur réduction (surtout fines et ultra-fines, PM_{2,5}) : avec succès !
Probablement : évolution mondiale !
- Scénario hypothétique : application immédiate toutes technologies « antiparticules » disponibles → sulfates : -60%)
→ + 0,8 °C/ décennie sur terres Hémisphère Nord (2030)
- Projection avec réglementation présente (non « durcie ») :
→ + 0,4°C/décennie sur ensemble continents + océans
- Dilemme : car :
 - Réduction des sources de particules → effet rapide (temp. ↑)
 - Réduction émissions de CO₂ → > décennies (inertie!)
- Conclusion : impact d'une réduction de la pollution particulaire ?
- → un effort parallèle sur les GES à « courte » durée de vie :
Ozone, Méthane
→ réductions différenciées de certaines particules ?
(ex : sources émettant peu de sulfates)



Polluants : les contributions anthropiques

Polluant	Durée de vie atmosph.	Impact Qualité air	Impact climat
Sulfate (SO₂)	Quelques jours		↓
Oxydes d'azote (NO_x)		oui	Indirect
Ammoniac (NH₃)			
CO₂	Plus d'un siècle		↑↑↑
Méthane (CH₄)	12 ans	oui	↑↑
CO	mois	oui	Indirect
COV	variable	oui	Indirect
Particules « primaires »	jours		↑↓
Indirect : par contrôle sur le niveau d'ozone et méthane			

Actions et rétroactions (boucles) des polluants (GES ou particules) avec le changement climatique

- Encore beaucoup d'inconnues
- Variables et contraintes pour les émissions : population, demande en énergie, transport, scénarios économiques (émissions : atténuation plus ou moins vigoureuse ?)
- Réponse du climat :
 - températures, vents (stagnation aux latitudes moyennes), nuages, précipitations
 - rétroactions des écosystèmes naturels (forêts) ou anthropisés (pratiques agricoles)
- Certitudes générales :
 - Echelles de temps : réduction de polluants à courte durée de vie → impact rapide mais plutôt régional sur réchauffement
 - Avantage ? : beaucoup de sources communes
 - → Examen non exhaustif : grandes tendances escomptées
 -



Polluants gazeux → climat

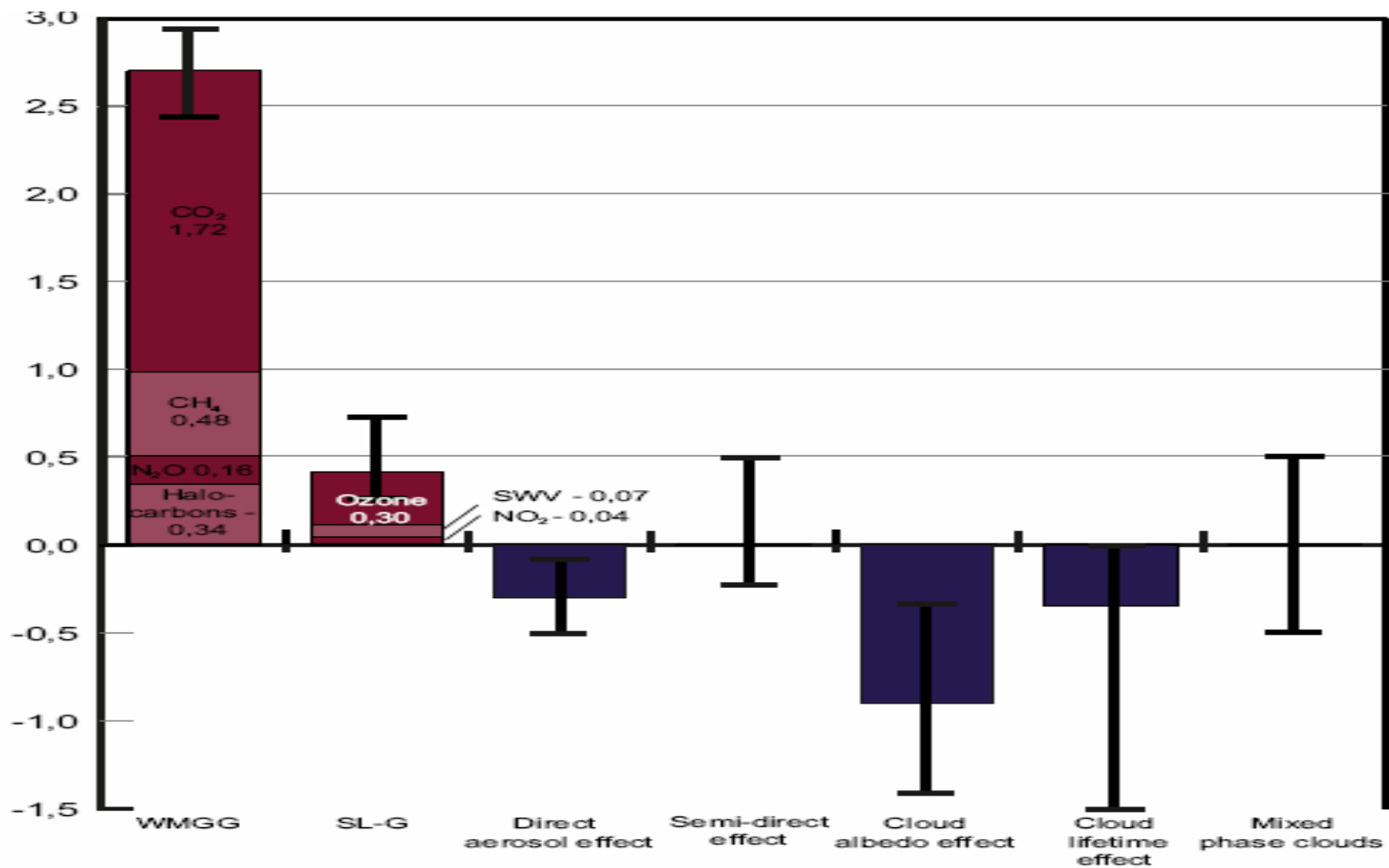
- Exemple particulier des précurseurs d'ozone/échelle régionale
-
- Méthane : GES (2^{ème}) et Précurseur d'ozone
- + certaines sources communes avec celles de CO₂
→ **synergie climat/pollution (double bénéfice)**

- Oxydes d'azote : **effet ambivalent** car
 - NO_x ⇒ ↑ Ozone (bouffée régionale provisoire : mois, impact)
 - ⇒ puis ↓ (décennie) méthane ET ozone de fond (globales)
 - Mais : écosystèmes : nitrates : ↑ fertilisation (↑ puits de CO₂ ?)

- COV, CO :
 - ↑ : ⇒ ↑ Ozone (bouffée régionale) puis ↑ méthane et ozone (décennie; valeurs globales)
→ **synergie climat/pollution (double bénéfice)**

Matière particulaire → climat

- Particules primaires (poussières), secondaires : (COV → aérosols organiques secondaires [processus chimiques])
- Composition très complexe : sulfates, suies , matière organique, nitrates, etc, et de sources diverses
- Corollaire : une répartition très hétérogène
- Effet climatique diversifié : effets directs (réflexion ou absorption du rayonnement solaire) ; effets indirects (nuages); globalement : refroidissement (sulfates, AOS)
- Exception notable : les suies (sources : diésel, combustion biomasse) → réchauffement (air, neige, etc)
 - Exemple des ABC (Asie) : fonte des glaciers + perturbation du cycle hydrologique (mousson)
- → Agir prioritairement sur transport, secteur domestique ?



ig. 30. Radiative forcing estimates of atmospheric compounds from the pre-industrial eriod 1750 to 2007. RF estimates of WMGG are similar to the one reported in Forster

Climat : Contributions relatives au **réchauffement** des **GES** et divers effets de **refroidissement/réchauffement** des **aérosols** (direct, indirect, etc) ; noter les barres d'incertitude

Changement Climatique →

pollution

- Elévation de température : effet sur ozone
 - ⇒ ↑ vapeur d'eau ⇒ moins d'ozone (↑ dépôt humide si région non polluée)
 - mais ↑ ozone si NOx (ex : Asie) [différences régionales]
 - ⇒ ↑ vapeur d'eau ⇒ plus d'éclairs ⇒ ↑ NOx
 - ⇒ ↑ Emissions COV naturels précurseurs d'ozone et d'aérosols organiques secondaires (en volume)
- Dynamique atmosphérique altérée
 - ⇒ transport polluants / précurseurs? stagnations !?
 - ⇒ intrusion accrue d'ozone stratosphérique?
- Modification des écosystèmes ⇒ changement des émissions (en nature) et des « puits » : vitesses de dépôts des polluants sur sols ↑ ; ↓ capture par stomates
- Été : plus de canicules avec taux élevés d'ozone (moins d'ozone de fond ?, NOx ? ,)

Northwestern Europe (BLEU)

Increase winter precipitation
Increase river flows
Higher risk of coastal flooding



Central / Eastern Europe (VERT)

More temperature extremes
Less summer precipitations
More river floods in winter
Higher crop yield variability
Increased forest danger
Lowest forest stability

Mediterranean Region (JAUNE)

Decrease in annual precipitation
Decrease in annual river flow
Lower crop yields
Increasing water demand
Higher risk of desertification
Less energy by hydropower
More vector borne diseases
Higher risk of biodiversity loss

Conclusion scientifique

- Machine climatique/atmosphère/écosystèmes : des systèmes complexes couplés (« global change »)
- Beaucoup d'interactions identifiées mais peu sont quantifiées
- Polluants et GES : des sources communes

Quelques CONCLUSIONS ROBUSTES

- Réduction sources de CO₂ (= coeur lutte climatique : ↓ demande énergie et en produits)
 - réduction NO_x, carbone suie (particules), méthane
 - corollaire : ne pas sursoir aux réductions de GES (CO₂)
car ↓ impact relatif des espèces à courte durée de vie
- Latitudes moyennes : ↑ fréquence et durée des épisodes de pollution en zone urbaine
- Problème de l'explosion du trafic maritime et aérien

Conclusion générale (sociétale, géopolitique)

- Double contrainte globale : climat + qualité de l'air → atténuation + adaptation / synergie avec lutte contre pauvreté
- (*atténuation + adaptation*) = constante ?
- Economie : futur proche / fin de siècle ?
- Proposition EFCA : « Loi sur l'air ? » (Europe) ; convention cadre Protection Atmosphère (ONU)?

Régions : « PRAGMATISME ECLAIRE »

- Qualité de l'air : toujours en partie régional
- Aides à la décision : Projections REGIONALES climat/pollution ;
- Politique d'atténuation SOUPLE (réactivité, retour d'expérience)
 - échelon régional pertinent (villes vertes, plans climat régionaux)
 - Combinaison de Top-down + Bottom-up
- Décideurs : message non simpliste !?

Northwestern Europe (bleu)

Increase winter precipitation
Increase river flows
Higher risk of coastal flooding

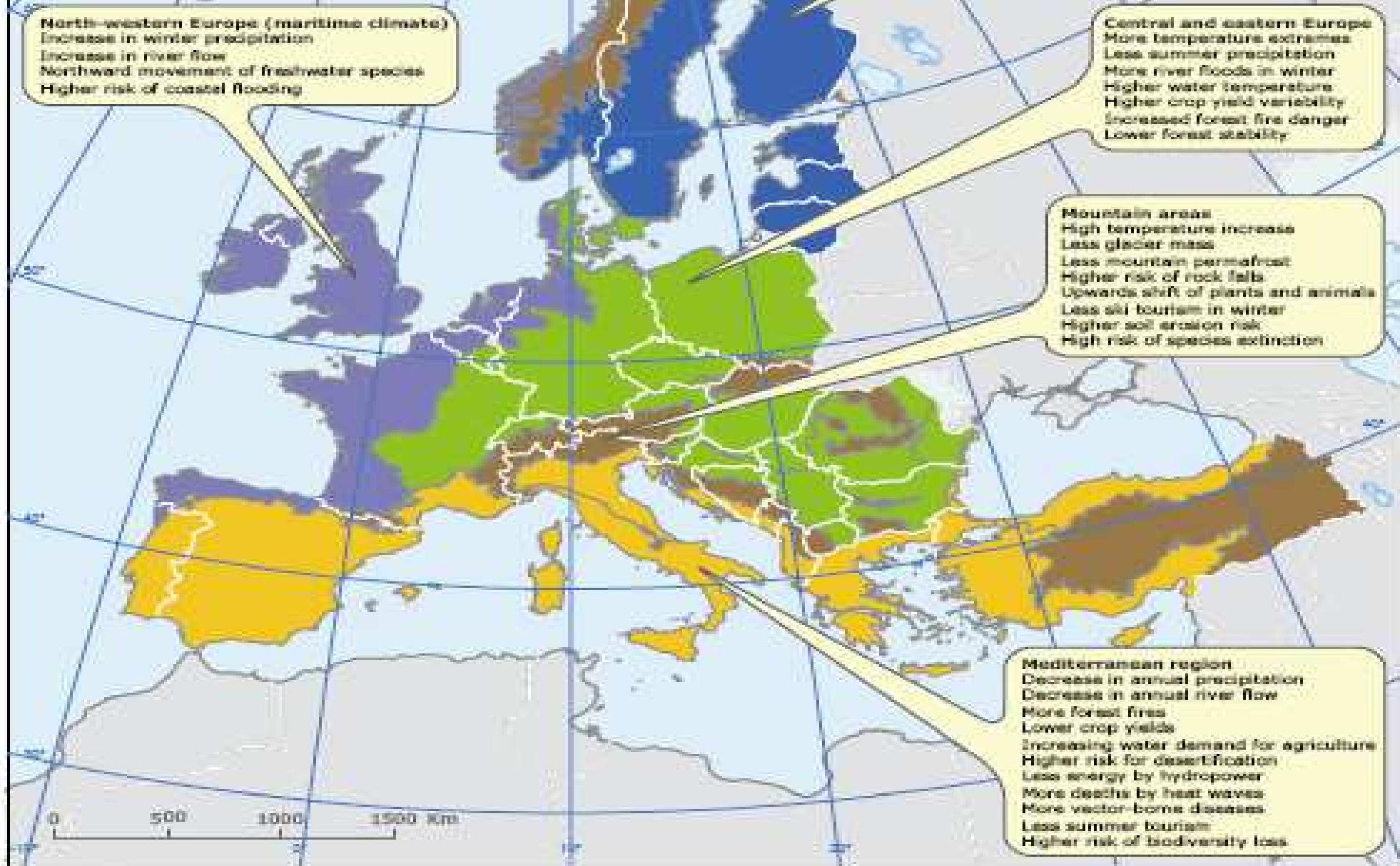


Central / Eastern Europe (vert)








More temperature extremes
Less summer precipitations
More river floods in winter
Higher crop yield variability
Increased forest danger
Lowest forest stability

Mediterranean Region (jaune)

Decrease in annual precipitation
Decrease in annual river flow
Lower crop yields
Increasing water demand
Higher risk of desertification
Less energy by hydropower
More vector borne diseases
Higher risk of biodiversity loss



Main biogeographic regions of Europe (EEA member countries)

- | | | |
|---|--|--|
|  Arctic |  North-western Europe |  Mountain areas |
|  Arctic – Greenland (not EEA member) |  Central and eastern Europe |  Mediterranean region |
|  Boreal region | | |