



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

ECE/EB.AIR/WG.1/2009/16
9 juillet 2009

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION
SUR LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE
TRANSFRONTIÈRE À LONGUE DISTANCE

Groupe de travail des effets

Vingt-huitième session
Genève, 23-25 septembre 2009
Point 6 de l'ordre du jour provisoire

EXAMEN DES EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

**INDICATEURS ET OBJECTIFS CONCERNANT LES EFFETS
DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE**

Rapport du Bureau élargi du Groupe de travail des effets

I. INTRODUCTION

1. À sa réunion tenue en février 2009, le Bureau élargi du Groupe de travail des effets (composé du Bureau du Groupe de travail, des présidents des équipes spéciales, du Groupe commun d'experts de la modélisation dynamique, des représentants des centres des Programmes internationaux concertés (PIC) et d'experts invités) a décidé de rendre compte en détail de certains éléments du plan de travail communs à tous les programmes. Il s'agit des éléments suivants: a) paramètres clefs faisant l'objet d'une surveillance et de travaux de modélisation comme indiqué à l'annexe 2 des Directives pour la publication d'informations sur la surveillance et la modélisation des effets de la pollution atmosphérique (ECE/EB.AIR/2008/11, appelées ci-après les Directives); b) avantages respectifs des différentes options envisageables pour fixer des cibles à atteindre d'ici à 2020 et des cibles idéales non contraignantes pour 2050; et c) indicateurs des effets et liens entre ces indicateurs et la modélisation intégrée. Les résultats sont présentés conformément au plan de travail 2009 de la Convention (ECE/EB.AIR/96/Add.2, point 3.1 d) (ii, iv et v)), approuvé par l'Organe exécutif à sa vingt-sixième session en décembre 2008.

2. Pour le texte et les tableaux du présent document, on a adopté les notations générales suivantes: x = faisant l'objet d'une surveillance (ou le nombre de sites, de pays et la période considérée), X = pour lesquels il existe des modèles ou qui ont été calculés, - = ni surveillance ni modèle, s.o. = sans objet, * = non défini dans l'annexe 2 des Directives, [] = concentration, et I ou II = sites de niveau I ou II du Programme international concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique dans les forêts (PIC-Forêts).

3. De plus, les sigles suivants sont utilisés: CNA = capacité de neutralisation de l'acidité, AOT = concentration d'ozone cumulée au-dessus du seuil retenu, en parties par milliard (ppb), BC/Al = rapport cations basiques/aluminium dans une solution du sol, C/N = rapport carbone/hydrogène du sol, UE = Union européenne, HNO₃ = acide nitrique, GCE = Groupe commun d'experts, CMPFE = Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe, NO₂ = dioxyde d'azote, NO₃ = nitrates, N_{total} = concentration totale de l'azote dans le sol, PM_{2,5} et PM₁₀ = particules fines et particules grossières, POP = polluants organiques persistants, ppb = partie par milliard, SO₂ = dioxyde de soufre, SO₄ = sulfates, SOMO35 = somme annuelle des moyennes journalières maximales d'ozone sur huit heures supérieure à 35 ppb, TF = eau d'écoulement de la frondaison, et OMS = Organisation mondiale de la santé.

II. PARAMÈTRES CLEFS À UTILISER POUR RENDRE COMPTE DES EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

4. La présente section décrit les principaux paramètres choisis pour rendre compte des effets faisant l'objet d'une surveillance et de travaux de modélisation. Étant consacrée spécialement aux effets, elle ne tient compte ni des variables climatiques, ni des concentrations atmosphériques, ni des dépôts. Les données et leur disponibilité sont présentées comme dans l'annexe 2 des Directives, et accompagnées d'indications sur les sources particulières au programme. Les tableaux 1 à 8 montrent l'état notifié par les programmes au 1^{er} juin 2009.

A. Acidification des écosystèmes aquatiques

5. Les données fournies par le Programme international concerté d'évaluation et de surveillance de l'acidification des cours d'eau et des lacs (PIC-Eaux) et le Programme international concerté de surveillance intégrée des effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes (PIC-Surveillance intégrée) ont fait apparaître une corrélation entre la CNA, et dans une mesure moindre le pH, et une diminution des concentrations de sulfates dans les eaux. Une régénération chimique est observée sur certains sites. Cette régénération pourrait être à l'origine d'une augmentation des concentrations de carbone organique total observées dans les eaux superficielles de certains sites en Europe et en Amérique du Nord. Quoique plus lente, une régénération biologique a aussi été observée au Canada, en République tchèque, dans les pays nordiques et au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord. L'établissement de modèles des charges critiques et des charges cibles, en collaboration avec le Programme international concerté de modélisation et de cartographie des niveaux et des charges critiques ainsi que des effets, des risques et des tendances de la pollution atmosphérique (PIC-Modélisation et cartographie), a confirmé que la réduction des dépôts de soufre entraînait une diminution des dépassements. Les charges critiques continueraient d'être dépassées d'après la législation en vigueur.

Tableau 1. Acidification des écosystèmes aquatiques

Paramètres	PIC-Eaux	PIC-Surveillance intégrée	PIC-Modélisation et cartographie
CNA	179 (1990-2001)	x	X
pH	179 (1990-2001)	x	X
Alcalinité	179 (1990-2001)	-	X
[Al]	s.o.	-	X
Carbone organique total	5 005 (1990-2004)	x	s.o.
Charges critiques calculées, dépassement, autres critères de seuil retenus	72 (Europe seulement), valeur limite de la CNA	X, -, -	X, X, X
Invertébrés*	60 (6 pays, plusieurs périodes entre 1980 et 2001)	-	s.o.
Modélisation dynamique*	Mise au point de la méthodologie en coopération avec des projets de l'UE	x	X

B. Acidification des écosystèmes terrestres

6. Les observations du PIC-Forêts et du PIC-Surveillance intégrée ne font pas apparaître clairement une régénération du sol. Les sulfates accumulés par le passé sont libérés dans les écosystèmes aquatiques. Aucune tendance générale n'a été observée en ce qui concerne les concentrations de nitrates et le pH. La diminution de la saturation basique du sol ne s'est pas poursuivie mais aucune augmentation générale n'a encore été observée.

7. D'après les calculs du PIC-Modélisation et cartographie, les charges critiques et les charges cibles étaient encore dépassées dans certaines régions européennes. Un lien a été établi entre, d'une part, les réductions des émissions et le moment où elles se produisent et, d'autre part, la diminution du dépassement.

Tableau 2. Acidification des écosystèmes terrestres

Paramètres	PIC-Forêts	PIC-Surveillance intégrée	PIC-Modélisation et cartographie
Saturation basique du sol	xx	x	X
Lessivage – Capacité de neutralisation de l'acidité	x	x	X
pH	xx	x	X
[SO ₄]	x	x	s.o.
[NO ₃]	x	x	X

Paramètres	PIC-Forêts	PIC-Surveillance intégrée	PIC-Modélisation et cartographie
[Al] total	x	-	s.o.
Saturation basique du sol/Al	x	x	X
Charges critiques calculées, dépassement, autres critères de seuil retenus	X, -, -	X	X, X, X
Modélisation dynamique*	-	x	X

Note: Pour le PIC-Forêts, x = niveau II seulement, xx = niveaux I et II.

C. Eutrophisation des écosystèmes terrestres

8. L'apport d'azote atmosphérique aux écosystèmes terrestres peut provoquer un déséquilibre de l'état des nutriments dans le feuillage. Les dépôts d'azote ont affecté l'état des nutriments sur des parcelles du PIC-Forêts plantées de pins et d'épicéas. L'état du feuillage, pour ce qui est de tous les nutriments, accusait un déséquilibre ou une insuffisance sur 30 % des sites. L'évaluation de la flore lichénique épiphyte sur 25 sites du PIC-Surveillance intégrée faisant l'objet d'une surveillance à distance, a montré que l'azote entraînait l'apparition de lichens acidophiles. L'azote atmosphérique était retenu dans les écosystèmes, comme indiqué par les faibles niveaux de lessivage. Le lessivage dépendait du rapport C/N et, lorsque celui-ci était faible, il dépendait aussi de la température. Les calculs du PIC-Modélisation et cartographie ont montré que les charges critiques restaient largement dépassées en Europe et qu'aucune diminution n'avait été observée récemment. Les charges sont fortement dépassées dans les régions d'élevage intensif.

Tableau 3. Eutrophisation des écosystèmes terrestres

Paramètres	PIC-Forêts	PIC-Surveillance intégrée	PIC-Végétation	PIC-Modélisation et cartographie
N _{total}	x	x	s.o.	X
Lessivage des nitrates	x	x	s.o.	X
C/N	xx	x	s.o.	X
Rapport des éléments nutritifs dans le feuillage (N/P, N/K, N/Mg) pour les espèces dominantes et des espèces clefs	xx	-	-	s.o.
Charges critiques calculées, dépassement, autres critères de seuils retenus	X	X	s.o.	X, -, -

Paramètres	PIC-Forêts	PIC-Surveillance intégrée	PIC-Végétation	PIC-Modélisation et cartographie
Charges critiques empiriques, dépassement, autres critères de seuils retenus	-	x	s.o.	x, -, -
Concentration d'azote dans les mousses*	s.o.	-	x	s.o.
Effets sur la biodiversité*	x	x	-	X
Modélisation dynamique*	x	-	s.o.	X

Note: Pour le PIC-Forêts, x = niveau II seulement et xx = niveaux I et II.

D. Effets de l'ozone troposphérique sur la végétation, les matériaux et la santé

9. Aucune tendance n'a été décelée en ce qui concerne la concentration d'ozone dans l'air, ou ses effets sur la végétation et la santé au cours des dix à quinze dernières années. Lors d'une enquête effectuée de 2002 à 2004, sur 67 des parcelles du PIC-Forêts situées dans sept pays d'Europe, 7 % des espèces présentaient des symptômes dus à l'ozone. On a constaté que, entre 2000 et 2002, le niveau critique pour les forêts établi sur la base de la concentration avait été fréquemment dépassé sur 86 à 98 % des 57 parcelles du PIC-Forêts en France, en Italie, en Espagne et en Suisse.

10. Les résultats du Programme international concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur la végétation naturelle et les cultures (PIC-Végétation) ont montré que, dans le cas des cultures, la méthode de calcul du niveau critique basée sur les concentrations sous-estimait les effets dans toute l'Europe, notamment dans le Nord du continent, car des effets avaient été observés dans des zones où le niveau critique ainsi calculé n'était pas atteint. La méthode basée sur les flux avait prévu l'apparition généralisée de dommages dus à l'ozone qui ont effectivement été observés, avec plus de précision que les cartes basées sur la concentration, pour la période 1995-2004.

11. D'après les résultats obtenus par l'Équipe spéciale commune des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (Équipe spéciale des aspects sanitaires), quelque 14 à 61 % de la population urbaine en Europe sont exposés à des concentrations ambiantes d'ozone. Ces concentrations dépassaient l'objectif de protection sanitaire fixé par l'UE pour la période 1997-2006.

Tableau 4. Effets de l’ozone troposphérique sur la végétation, les matériaux et la santé

Paramètres	PIC-Forêts	PIC-Végétation	PIC-Matériaux ^a	Équipe spéciale des aspects sanitaires
Réduction de la croissance et du rendement	-	x	s.o.	s.o.
Dommages aux feuilles et au feuillage	x	x	s.o.	s.o.
Facteurs climatiques	-	x	s.o.	s.o.
Dépassement des valeurs de l’AOT	x	x/X	s.o.	s.o.
Dépassement cumulé des flux	x	x/X	s.o.	s.o.
Degré d’encrassement	s.o.	s.o.	x	s.o.
Niveaux acceptables et/ou tolérables d’encrassement	s.o.	s.o.	x	s.o.
SOMO35	s.o.	s.o.	s.o.	X
Concentration moyenne quotidienne maximale sur huit heures*	s.o.	s.o.	s.o.	X

^a Programme international concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux, y compris ceux des monuments historiques et culturels.

E. Effets des particules sur les matériaux et la santé

12. On a constaté l’existence d’une corrélation positive entre les grosses particules et l’encrassement des matériaux et des bâtiments. L’encrassement se traduit, entre autres, par un aspect déplaisant des bâtiments anciens, l’obligation de nettoyer plus souvent les serres et la diminution de l’énergie fournie par les piles solaires. Le changement d’aspect des bâtiments peut devenir inacceptable même si le matériau de base reste pratiquement intact. Les dépenses de nettoyage connexes risquent d’être assez importantes. Afin de parvenir à un intervalle de nettoyage de vingt ans, les niveaux des grosses particules devraient être $< 10\mu\text{g m}^{-3}$, d’après les réponses fournies par le public à des questionnaires relatifs au niveau d’encrassement tolérable pour le patrimoine culturel.

13. On a estimé que les particules fines causaient la perte de 4,9 millions d’années de vie et 492 000 décès prématurés tous les ans en Europe. Les valeurs les plus élevées des niveaux de concentration pondérés par la population pour les particules fines ($> 23 \mu\text{g m}^{-3}$) et pour les particules grossières ($50 \mu\text{g m}^{-3}$) ont été relevés en Europe centrale et en Europe du Sud-Est. Aucun changement dans les effets des particules sur la santé n’était prévu avec la législation en vigueur.

Tableau 5. Effets des particules sur les matériaux et la santé

Paramètres	PIC-Matériaux	Équipe spéciale des aspects sanitaires
Degré d'encrassement [du verre moderne]	x	s.o.
Niveaux acceptables et/ou tolérables d'encrassement	x	s.o.
Moyenne annuelle des particules fines	-	X
Études épidémiologiques	s.o.	X
Particules grossières*	-	X

F. Effets des métaux lourds sur les écosystèmes et la santé

14. Des niveaux de mercure jusqu'à trois fois plus élevés que ceux observés avant l'ère industrielle, ont été relevés dans les sédiments des lacs sur des sites scandinaves du PIC-Eaux, en raison du transport atmosphérique à longue distance. Les taux de mercure dans les poissons d'eau douce étaient souvent supérieurs à la limite recommandée pour la consommation humaine en Scandinavie et en Amérique du Nord. Des enquêtes faites par le PIC-Végétation ont montré que, dans l'ensemble, les concentrations de métaux dans les mousses avaient diminué depuis 1990, à l'exception du chrome et du mercure. Sur 4 000 parcelles de niveau I du PIC-Forêts, les niveaux dépassaient les limites critiques de 5 à 25 %, selon le métal, d'après des données recueillies entre la fin des années 80 et le début des années 90. Des études du bilan massique faites sur des sites du PIC-Surveillance intégrée ont montré une rétention considérable du cadmium, du cuivre, du nickel, du plomb et du zinc, pouvant atteindre 80 à 95 % de l'apport total. Le PIC-Modélisation et cartographie a calculé que le dépassement des charges critiques était plus marqué et plus généralisé pour le mercure et le plomb que pour le cadmium.

Tableau 6. Effets des métaux lourds sur les écosystèmes et la santé

Paramètres	PIC-Forêts	PIC-Eaux	PIC-Surveillance intégrée	PIC-Végétation	PIC-Modélisation et cartographie	Équipe spéciale des aspects sanitaires
Métaux lourds dans:						
a) Les sédiments des eaux et des lacs	s.o.	x	-	s.o.	s.o.	s.o.
b) Les sols des forêts	x	s.o.	x	s.o.	X	s.o.
c) Les mousses	s.o.	s.o.	-	x	s.o.	s.o.
Charges critiques calculées, dépassement, autres seuils critiques retenus pour:						
a) Les sols des forêts	x, x, -	-	x	-	X, X, x	s.o.
b) Les cultures	s.o.	s.o.	s.o.	-	X, X, x	s.o.
c) La santé	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	x
Métaux lourds dans le biote*	-	x	-	x	s.o.	s.o.

G. Effets des polluants organiques persistants sur les écosystèmes et la santé

15. Le PIC-Eaux ne dispose pas de données d'observation sur les POP. D'après une étude des publications, il a constaté que l'on trouvait des POP dans les poissons de régions isolées comme l'Arctique et les zones alpines, et dans le lait de femme. Les séries chronologiques semblent indiquer une diminution des concentrations pour les POP qui ne sont plus utilisés.

**Tableau 7. Effets des polluants organiques persistants
sur les écosystèmes et la santé**

Paramètres	PIC-Eaux	Équipe spéciale des aspects sanitaires
Niveaux de concentration dans:		
a) Les organes vitaux des organismes aquatiques	-	s.o.
b) Les sédiments des lacs	-	s.o.
Marqueurs biologiques de l'exposition humaine	s.o.	x

H. Effets des polluants multiples sur les matériaux

16. La corrosion des matériaux est due pour une part importante à la pollution atmosphérique. Les taux de corrosion résultant d'une exposition passée et présente aux polluants multiples ont fait l'objet de surveillance et ont été calculés. Les économies réalisées en Europe du fait de la prévention de la corrosion après la mise en œuvre du Protocole de 1994 relatif à une nouvelle réduction des émissions de soufre ont été estimées à 9 milliards de dollars des États Unis par an. Selon une évaluation récente, les pertes annuelles provoquées par la corrosion due aux polluants atmosphériques aux États-Unis d'Amérique atteignent 276 milliards de dollars. La surveillance a montré que l'abaissement des niveaux de SO₂ avait réduit la corrosion due aux polluants multiples dans les zones urbaines, où elle reste cependant nettement plus élevée que dans les zones rurales.

Tableau 8. Effets des polluants multiples sur les matériaux

Paramètres	PIC-Matériaux
Perte de masse des matériaux, y compris du patrimoine culturel (acier au carbone, zinc)	x
Niveaux acceptables et/ou tolérables de corrosion	x
Corrosion du calcaire*	x

III. AVANTAGES RESPECTIFS DES OPTIONS ENVISAGEABLES EN VUE DE FIXER DES CIBLES IDÉALES NON CONTRAIGNANTES POUR 2050 ET DES CIBLES POUR 2020

17. Les activités axées sur les effets ont examiné des cibles idéales pour décrire l'état potentiel de l'environnement et de la santé. De telles cibles ont été fixées pour 2050, ce qui a aidé à fixer les objectifs pour 2020 qui constituent une étape intermédiaire. On a proposé d'utiliser ces deux catégories de cibles pour la modélisation de l'évaluation intégrée. Les tableaux 9 à 14 ci-après décrivent les objectifs pour 2050 et 2020 en ce qui concerne les écosystèmes aquatiques et terrestres, les matériaux et la santé, comme il est proposé par les programmes.

Tableau 9. Cibles pour les écosystèmes aquatiques à atteindre d'ici à 2050

	Cibles pour 2050	Indicateurs	Observations
PIC-Eaux	Population de poissons sains dans tous les lacs et les rivières sensibles aux acides d'Europe et d'Amérique du Nord	Présence de populations de poissons ayant une structure d'âge normale; pas de dépassement des doses critiques	
PIC-Surveillance intégrée	Eaux de qualité conforme à la qualité naturelle	CNA des eaux superficielles $> 20 \mu\text{eq l}^{-1}$; pas de dépassement des charges critiques	
PIC-Modélisation et cartographie	Protéger la structure et la fonction des écosystèmes, ainsi que les services fournis par les écosystèmes pour maintenir la qualité de vie	Pas de dépassement des charges et des niveaux critiques	Objectif atteint le plus rapidement possible
		Pas de violation des limites critiques chimiques et biologiques	Régénération totale de tous les écosystèmes
Équipe spéciale commune de la modélisation dynamique	Protection des récepteurs écologiques appropriés	Bon état; état de conservation favorable. (Note: la gestion des terres, passée et future, affecte les charges cibles pour la biodiversité)	Les états de référence passés pourraient ne plus pouvoir être atteints

Tableau 10. Cibles pour les écosystèmes aquatiques à atteindre d'ici à 2020

	Cibles pour 2020	Indicateurs	Observations
PIC-Eaux	Population de poissons sains dans la plupart des lacs et rivières sensibles aux acides en Europe et en Amérique du Nord	Présence de poissons dans tous les lacs et rivières sensibles aux acides; réduction de 50 % de la zone dans laquelle les charges critiques étaient dépassées en 2010	-

	Cibles pour 2020	Indicateurs	Observations
PIC-Surveillance intégrée	Eaux de qualité conforme à la qualité naturelle	Réduction du dépassement des charges critiques	-
PIC-Modélisation et cartographie	Amélioration ou réduction de la détérioration de la structure et de la fonction de l'écosystème	Diminution du dépassement des charges critiques, y compris pas de dépassement	Comblent les écarts de manière à obtenir des réductions proportionnelles dans toutes les zones de dépassement; objectif atteint le plus rapidement possible; régénération totale de certains écosystèmes

Tableau 11. Cibles pour les écosystèmes terrestres à atteindre d'ici à 2050

	Cibles pour 2050	Indicateurs	Observations
PIC-Forêts	Régénération totale après élimination des apports atmosphériques passés	Non-dépassement des charges critiques d'acidification et d'eutrophisation; concentrations équilibrées des éléments nutritifs dans le feuillage des arbres	Les polluants atmosphériques affectent le fonctionnement des écosystèmes forestiers
	Santé et vitalité des arbres	Réduction de la défoliation de la cime des arbres; diminution de la mortalité due à des détériorations abiotiques et biotiques; régénération naturelle de toutes les essences forestières particulières à un site; maintien des détériorations abiotiques et biotiques à des niveaux acceptables (pas de conflit avec les objectifs économiques et écologiques)	La modification de l'état de l'environnement et la fréquence accrue des phénomènes extrêmes compromettent la stabilité des écosystèmes forestiers
	Pas de nouvelle perte de la biodiversité; augmentation de la biodiversité dans les forêts naturelles	Végétation au sol, essences forestières et composition des lichens épiphytes; structure du peuplement, y compris volume et composition du bois mort	Les apports atmosphériques et les variations climatiques entraînent des changements dans la composition des essences

	Cibles pour 2050	Indicateurs	Observations
	Gestion des forêts adaptée à un stockage maximum du carbone	Quantité de carbone stockée en surface et en profondeur	Des forêts saines atténuent les effets des changements climatiques grâce au stockage et au piégeage du carbone dans la biomasse et les sols
PIC-Surveillance intégrée	Régénération après élimination des apports atmosphériques passés; écosystèmes forestiers sains; pas de nouvelle perte de la biodiversité	<u>Acidification</u> : rapport Al/cations basiques < 1; pas de dépassement des charges limites. <u>Eutrophisation</u> : pas de nouvelle diminution du rapport C/N du sol; pas de modification de la végétation au sol; pas d'augmentation des espèces nitrophiles; pas d'augmentation du lessivage de l'azote; pas de dépassement des charges critiques. <u>Métaux lourds</u> : pas de dépassement des limites critiques du plomb, du cadmium et du mercure dans la couche d'humus; pas de dépassement des charges critiques	-
PIC-Végétation	Éviter toutes les détériorations décelables causées par l'ozone aux récepteurs et la réduction des services fournis par les écosystèmes, comme le piégeage du carbone	<u>Récoltes et arbres</u> : forte réduction des flux d'ozone. <u>Végétation (semi-)naturelle</u> : réduction des flux d'ozone. (Note: tous les calculs sont faits au moyen du modèle générique fondé sur les flux)	Assurer la production et la bonne qualité des aliments; maintenir des forêts saines et assurer la production de bois d'œuvre; empêcher la perte de la biodiversité végétale et préserver les services fournis par les écosystèmes; les modèles fondés sur les flux tiennent compte des changements climatiques
PIC-Modélisation et cartographie	Protéger la structure et la fonction des écosystèmes, y compris la biodiversité, et les services assurant la qualité de vie	Pas de dépassement des charges et des niveaux critiques	Objectif atteint le plus rapidement possible
		Pas de violation des limites critiques chimiques et biologiques	Régénération totale de tous les écosystèmes
Équipe spéciale commune de la modélisation dynamique	Voir les observations du tableau 9 concernant les écosystèmes aquatiques		

**Tableau 12. Cibles pour les écosystèmes terrestres à atteindre d'ici à 2020,
à comparer aux cibles du tableau 11**

	Cibles pour 2020	Indicateurs	Observations
PIC-Forêts	Écosystèmes forestiers sains et gérés de manière durable: régénération en cours, élimination des apports atmosphériques passés	Ibid.	Ibid.
	Amélioration de la santé et de la vitalité des arbres de manière intégrée	Pas d'augmentation significative de la défoliation de la cime des arbres; pas d'accroissement de la mortalité; régénération naturelle accrue des principales essences; réduction des dommages abiotiques et biotiques	Ibid.
	Pas de nouvelle perte de la biodiversité; notion de caractère naturel ^a	Ibid.	Ibid.
	Pas de réduction des réservoirs de carbone forestiers	Ibid.	Ibid.
PIC-Végétation	Éviter les dommages les plus perceptibles causés par l'ozone aux récepteurs et aux services fournis par les écosystèmes	<u>Récoltes et arbres</u> : réduction des flux d'ozone dans le modèle général. <u>Végétation (semi-)naturelle</u> : réduction du dépassement du niveau critique de l'AOT40 de 3 et 6 mois	Ibid.
PIC-Surveillance intégrée	Amélioration de l'état des écosystèmes	Diminution du dépassement des charges critiques	-
PIC-Modélisation et cartographie	Amélioration de l'état des écosystèmes ou diminution de la détérioration de leur structure et de leur fonction	Réduction du dépassement des charges critiques	Comblar les écarts de manière à obtenir des réductions proportionnelles dans toutes les zones de dépassement

^a L'un des 27 indicateurs de la CMPFE applicables à la gestion forestière durable; en cours de mise au point, il permettra de préciser l'état des types de forêts naturelles en Europe, où la diversité des espèces est naturellement faible, ainsi que les objectifs correspondants.

Tableau 13. Objectifs visant à protéger les matériaux des infrastructures et des monuments du patrimoine culturel à atteindre d'ici à 2050 et 2020, établis par le PIC-Matériaux

Année	Objectifs	Indicateurs	Observations
2050	Corrosion	Acier au carbone $< 16 \mu\text{m a}^{-1}$; zinc $< 0,9 \mu\text{m a}^{-1}$; calcaire $< 6,5 \mu\text{m a}^{-1}$	Les valeurs des indicateurs correspondent à 2,0 fois les niveaux naturels actuels
	Encrassage	Perte de réflectance ($< 35 \%$ par rapport à une surface non encrassée au bout de 20 ans)	La valeur acceptable est fondée sur les réponses fournies par des personnes auxquelles on a présenté des photographies de différents degrés d'encrassage de monuments réels
2020	Corrosion	Acier au carbone $< 20 \mu\text{m a}^{-1}$; zinc $< 1,1 \mu\text{m a}^{-1}$; calcaire $< 8,0 \mu\text{m a}^{-1}$	Les valeurs des indicateurs correspondent à 2,5 fois les niveaux naturels actuels
	Encrassage	Perte de réflectance ($< 35 \%$ par rapport à une surface non encrassée au bout de 10 ans)	Ibid. 2050

Note: Tous les indicateurs sont calculés au moyen des fonctions dose-réponse.

Tableau 14. Objectifs pour la santé à atteindre d'ici à 2050 et 2020, établis par l'Équipe spéciale des aspects sanitaires

Année	Objectif	Indicateurs	Observations
2050	<i>Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air</i>	Moyenne maximale quotidienne de l'ozone sur huit heures; concentration annuelle moyenne des particules grossières, des particules fines, de NO_2 , SO_2 , Pb, Cd et Hg.	Les niveaux indiqués dans les Lignes directrices pourraient être réduits à l'avenir, pour tenir compte des données recueillies par des méthodes plus sensibles.
2020	Ibid.	Ibid.	D'après les tendances actuelles des particules grossières et du NO_2 , il est peu probable que les objectifs puissent être atteints en 2020 dans de nombreuses régions et pays d'Europe.

IV. INDICATEURS QUANTIFIÉS LIÉS AUX TRAVAUX DE MODÉLISATION DE L'ÉVALUATION INTÉGRÉE

18. Un certain nombre d'indicateurs, dont certains figurent dans l'annexe 2 des Lignes directrices, font l'objet d'une surveillance ou sont calculés par les programmes axés sur les effets. La présente section expose les liens entre ces indicateurs et la modélisation de l'évaluation intégrée.

19. Le Groupe de travail des effets et l'Équipe spéciale des modèles d'évaluation intégrée, travaillant en collaboration, évaluent les effets de différents scénarios d'évolution des émissions au moyen du modèle GAINS (modèle d'interaction et de synergie entre les gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique). En outre, tous les PIC analysent les scénarios dans le cadre de l'évaluation a posteriori au moyen d'indicateurs qui ne sont pas inclus dans le modèle GAINS. Les rapports de l'Équipe spéciale, qui comprenaient jusqu'ici la charge critique et le dépassement du Carbone organique total pour chaque scénario, seront désormais complétés par les résultats de l'évaluation a posteriori, à savoir la modélisation dynamique, les charges critiques empiriques, les relations dose-réponse, des évaluations faites sur certains sites d'eaux superficielles et la mesure des effets de l'ozone par la méthode des flux pour certains écosystèmes terrestres.

20. La surveillance mise en place par le PIC-Forêts porte à la fois sur les indicateurs mentionnés dans l'annexe 2 des Lignes directrices et sur ceux qui sont spécifiés par la CMPFE, c'est-à-dire les dépôts (essentiellement de soufre, d'azote et de cations basiques) et les paramètres servant à calculer les charges critiques d'acidification et d'eutrophisation. Ce programme couvre aussi les propriétés chimiques du sol, par exemple le pH, la saturation basique, la capacité d'échanges cationiques, le rapport C/N et le carbone organique. La défoliation de la cime des arbres témoigne de l'état de la forêt, qui réagit à de nombreuses contraintes biotiques, abiotiques et anthropiques. La composition de la végétation au sol indique les effets sur la diversité biologique.

21. La surveillance mise en place par le PIC-Eaux porte sur les indicateurs biotiques, qui peuvent être transposés en indicateurs de la biodiversité, à savoir la présence et l'absence d'espèces de poissons clefs, et la fraction d'invertébrés observés par rapport au nombre d'espèces attendu. Des relations dose-réponse bien établies montrent qu'il existe un lien entre les dépôts de soufre et d'azote et la chimie de l'eau – que représente la CNA – et entre la CNA et le biote (poissons et invertébrés). La modélisation dynamique des valeurs passées et futures de la CNA permet de prévoir le temps que prendra la régénération chimique des eaux de surface.

22. Le PIC-Végétation a mis au point des méthodes de mesure de l'ozone qui, du point de vue technique, sont prêtes à être utilisées pour l'évaluation intégrée. Il s'agit du modèle générique fondé sur les flux pour les cultures et les arbres et des niveaux critiques fondés sur la concentration pour la végétation (semi-)naturelle. Un modèle générique des flux d'ozone pour cette dernière est en cours de mise au point.

23. Le PIC-Matériaux a établi des indicateurs de corrosion et d'encrassage des matériaux. Ils sont définis par: a) les résultats fiables en matière de corrosion et d'encrassage après exposition d'un échantillon du matériau pendant un an; b) les fonctions dose-réponse disponibles; et c) les niveaux acceptables et/ou tolérables disponibles. Les matériaux servant d'indicateurs de la corrosion sont l'acier au carbone, le zinc et le calcaire. Aucun indicateur de l'encrassage ne remplit encore toutes les conditions exigées. Les particules grossières sont couramment utilisées à cette fin, associées aux fonctions dose-réponse tirées des publications et à un niveau général tolérable.

24. Le PIC-Surveillance intégrée a calculé les charges critiques d'acidification, d'eutrophisation et de métaux lourds pour chaque site ainsi que leur dépassement à l'aide des dépôts modélisés et mesurés. Les sites sont situés dans des zones protégées telles que Natura 2000. On détermine des liens entre le dépassement des charges critiques et des indicateurs des effets comme les concentrations, les budgets et la biodiversité.
25. Le PIC-Modélisation et cartographie a rassemblé et cartographié les charges critiques ainsi que leurs dépassements et modélisé les situations où certaines limites critiques ne sont pas atteintes. Ces indicateurs de risque chimique sont utilisés traditionnellement pour l'évaluation intégrée. Ce programme a fixé, à partir d'expériences sur le terrain, des charges critiques empiriques d'eutrophisation et les relations dose-réponse sur les effets biologiques. L'utilisation des charges critiques calculées et des charges critiques empiriques pour l'évaluation d'ensemble des impacts améliore la fiabilité des résultats.
26. L'Équipe spéciale des aspects sanitaires a constaté que la perte d'espérance de vie et les années de vie perdues étaient les indicateurs les plus fiables de l'impact de l'exposition à long terme aux particules fines. La modélisation faite par l'Équipe spéciale comprend des estimations de l'exposition de la population, fondées sur la concentration moyenne annuelle des particules fines dans une population donnée, et les fonctions concentration-réponse établies d'après des études épidémiologiques. L'Équipe spéciale emploie des données démographiques telles que les structures démographiques par âge, les tables démographiques et les tables de mortalité par âge ainsi que les causes de décès. L'impact des concentrations d'ozone est calculé à l'aide des données SOMO35 concernant une population donnée ou des estimations des modèles, des fonctions concentration-réponse tirées d'études de séries chronologiques et de l'effectif total de la population. Les résultats sont exprimés en nombre de décès annuels attribuables. La valeur monétaire, en termes d'années de vie perdues ou de décès, permet d'obtenir une évaluation économique de tous les paramètres d'impact sur la santé.
