

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 2

Artikel: Energie et environnement

Autor: Suter, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903066>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

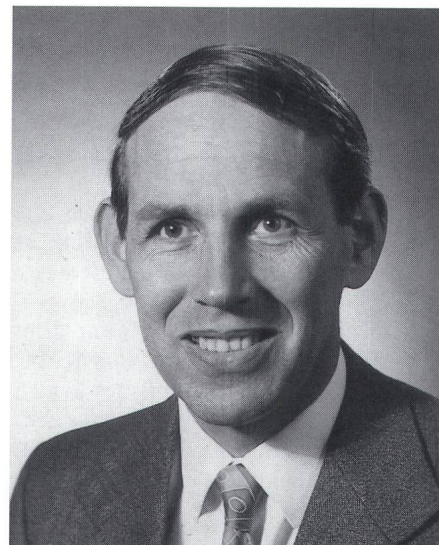
Download PDF: 25.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Energie et environnement

P. Suter

La liste des nuisances dues à l'énergie est longue, et elle s'allonge chaque année ce qui suscite pas mal de confusions auprès du public, des spécialistes et des politiciens. Au fond, cette évolution ne devrait pas étonner, vu la complexité du système écologique. Une excellente étude réalisée par un groupe d'experts de la CME «Technical Committee on Energy-Related Air Pollution» permet de donner un cadre logique et de présenter une synthèse des connaissances acquises ainsi que des lacunes; nous nous basons essentiellement sur cette publication [1].



L'émission de polluants

Les polluants peuvent être classés selon trois catégories:

- Les polluants principaux tels SO₂, NO_x, NMHC (Non-Méthane-Hydrocarbures) ainsi que les polluants secondaires tels l'ozone O₃.
- Les polluants spéciaux, p.ex. les métaux lourds, les polluants organiques (polyaromates, dioxine), les émissions radioactives.
- Les gaz de l'effet de serre, le CO₂, le CH₄, O₃, N₂O et les CFC (réfrigérants à base du chlore et du fluor).

Le tableau I donne pour quelques polluants importants les émissions an-

nuelles anthropogènes par rapport aux émissions naturelles en indiquant en particulier la part due à l'énergie. Pour celle-ci, des estimations assez valables sont connues; l'incertitude est nettement plus grande pour les émissions non énergétiques.

Le tableau II montre ensuite une estimation de l'évolution des émissions au 21^e siècle, en tenant compte des mesures déjà décidées (introduction des catalyseurs; procès-verbal de Montréal pour les CFC). On suppose un doublement de la population mondiale jusqu'en 2050 et une augmentation de la demande en énergie d'un facteur 2,5, avec maintien du «modal split» actuel des différents vecteurs d'énergie.

production naturelle = 100	naturel	anthropogène	
		total	lié à l'énergie
SO ₂	100	65	60
NO _x	100	70	60
NMHC ⁸	100	40	2 ¹
Arsenic	100	300	20 ²
Cadmium	100	800	30 ³
Mercure	100	50	3
Plomb	100	1800	1200 ³
Polyaromates	100	1000	700
CFC	0	100 ⁶	25
CH ₄	100	15	3
CO ₂	100 ⁴	7 ⁵	5
Emissions radioactives	100	200 ⁷	1

Tableau I Rapport entre émission anthropogène et naturelle selon [1]

¹ Combustion du charbon et du bois

² Combustion du bois

³ Secteur des transports

⁴ En équilibre naturel

⁵ Différence due au déboisement

⁶ Les CFC n'existent pas dans la nature

⁷ Médecine, Radon dans les maisons

⁸ Non-méthane-hydrocarbures

Adresse de l'auteur

Peter Suter, prof. à l'Ecole Polytechnique Fédérale Zurich, 8094 Zurich

Smog, pluie acide		
	1989	2050
SO ₂	100	30-100 ¹
NO _x	100	30
NMHC	100	50

Tableau IIa Evolution possible des émissions des polluants principaux, 1989 = 100

¹ mauvaises technologies dans le Tiers-Monde

Emission des substances «ozonophages»		
	1989	2050
CFC	100	50

Tableau II b Evolution possible des émissions de CFC (réfrigérants à base de chlore et de fluor), 1989 = 100

Gaz de l'effet de serre		
	1989	2050 ¹
lié à l'énergie	53	126
autres	47	54 ²
total	100	180

Tableau II c Evolution possible des émissions annuelles des gaz de l'effet de serre sans mesures spéciales (évolution non influencée), 1989 = 100

¹ population: ×2
énergie: ×2,5

² déboisement arrêté, procès verbal de Montréal pour les CFC respectés

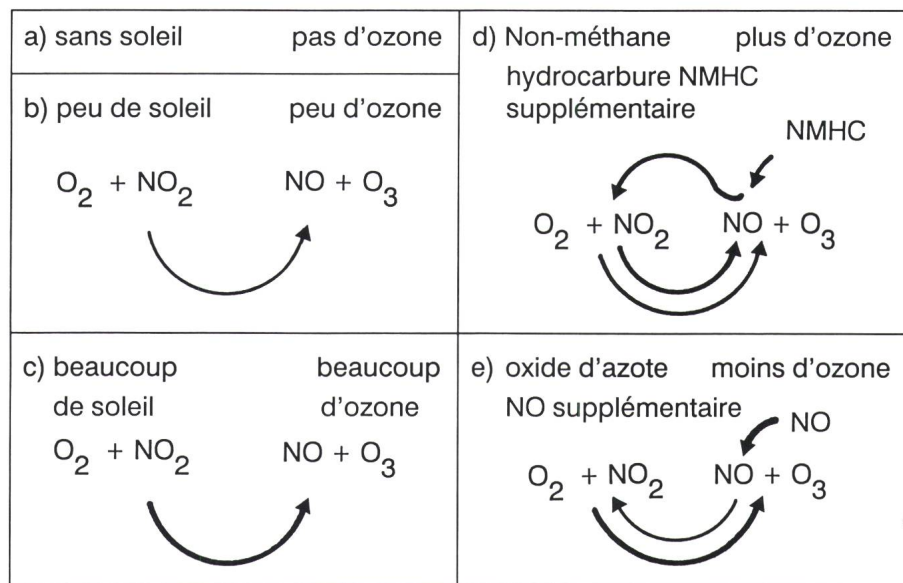


Figure 1 Mécanismes de formation d'ozone dans l'atmosphère

- Pertes pour l'agriculture
- Maladie des forêts
- Corrosion de matériaux, p.ex.
 - façades
 - conduites dans l'eau et dans le sol
- Effet de serre

Le tableau III montre les relations de cause à effet des polluants essentiels liés à l'énergie; elle mérite quelques commentaires.

L'ozone

Une certaine confusion auprès du public est due au fait qu'on déplore tantôt un excès d'ozone, tantôt un déficit. Il convient donc de préciser:

En altitude (stratosphère), une concentration suffisante en ozone, produit naturellement par le rayonnement cos-

mique, est nécessaire pour atténuer le rayonnement ultraviolet du soleil; autrement, des cancers de la peau seraient provoqués. Des substances «ozonophages» produites par l'homme, les CFC, montent vers la stratosphère en y causant ce que l'on appelle le «trou d'ozone».

Proche du sol par contre, l'ozone est nuisible, aussi bien à notre système respiratoire qu'aux plantes et aux arbres.

Ne serait-il pas possible de combler le déficit dans la stratosphère par les excédents des basses altitudes? Non, parce que le temps de transport est trop long et la durée de vie de l'ozone trop courte.

D'où provient l'ozone? C'est un polluant secondaire produit à partir du NO₂ en présence du rayonnement so-

Les effets polluants

Pour discuter les effets causés par les polluants dans le système écologique, il est utile de définir six secteurs différents:

- Santé de l'homme, p.ex.
 - atteintes au système respiratoire (smog)
 - neurotoxines
 - cancer
 - mutations du code génétique
- Atteintes à la biosphère aquatique, p.ex. par
 - acidité excessive
 - eutrophisme

Emissions nocives:	SO ₂	NO _x	NMHC	Metaux	Polyaromates	CFC	CH ₄	CO ₂	Radon
<i>Effet:</i>									
Système respiratoire		○	○						
Cancer				○	○	○	○		○
Pertes pour l'agriculture	○	○	○						
Pertes piscicoles	○	○		○					
Dommages forestiers	○	○	○						
Dommages matériels	○	○							
Effet de serre, climat						○	○	○	

Tableau III Relation de cause à effet selon [1]

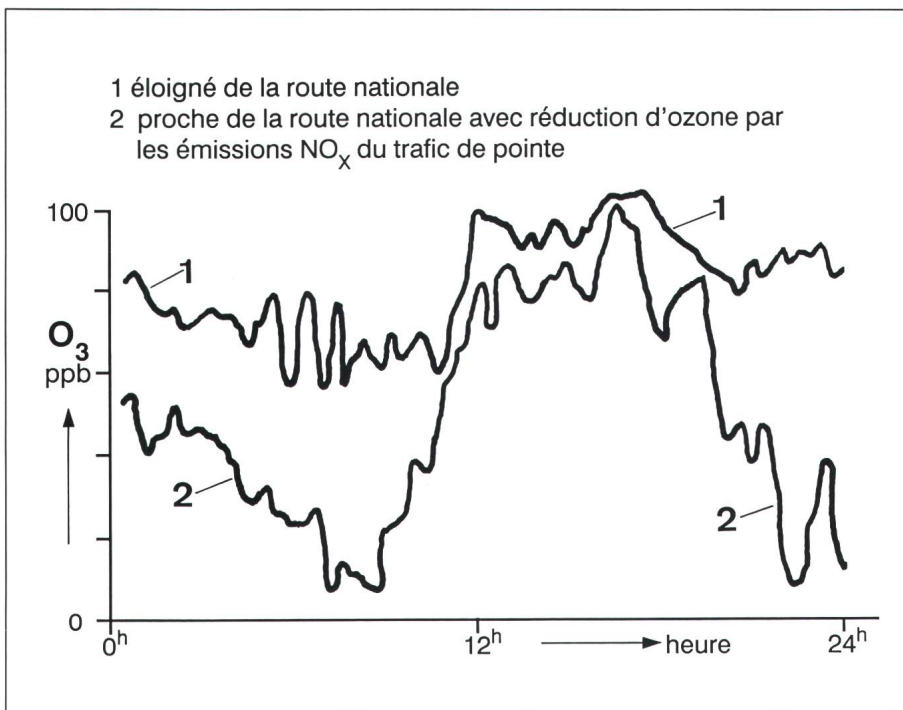


Figure 2 Evolution journalière type de la concentration en ozone

laire, jusqu'à un équilibre entre NO_2 d'un côté, NO et ozone de l'autre côté, voir figure 1. Plus il y a de rayonnement, et plus il y aura d'ozone. Une émission supplémentaire en NO provenant p.ex. des moteurs fait diminuer la teneur en ozone, ceci à cause de l'équilibre mentionné. Cet effet s'observe régulièrement pendant les heures de pointe du trafic du matin ou du soir, voir figure 2.

Une émission en hydrocarbures (NMHC) par contre transforme partiellement le NO en NO_2 ; l'équilibre ainsi perturbé demande la formation supplémentaire d'ozone. Ainsi, on peut constater:

Le rayonnement solaire est plus important que les oxydes d'azote; ainsi, la concentration en ozone est régulièrement supérieure à Payerne qu'à Zurich.

Les émissions d'hydrocarbures sont plus importantes que celles des oxydes d'azote pour la production de l'ozone.

Atteintes aux plantes et aux forêts

Le diagnostic est difficile puisqu'il existe une multitude de facteurs avec effet:

- prédisposant (p.ex. âge, compression du sol)
- excitateur (p.ex. gel, sécheresse, pollution de l'air)

- contribuant (p.ex. insectes, mycélium)

Mutation du code génétique

Il est peu connu que 10% des hommes sont normalement porteurs d'une mutation de leur code génétique, due soit à la radioactivité naturelle ou médicale, soit à des effets chimiques. La grande majorité des cas ne donnent lieu à aucune modification observable.

Radioactivité

Il existe un accord d'opinions que la radioactivité due à l'énergie est de loin négligeable par rapport aux doses provenant des sources naturelles, de la médecine ou des maisons, avec la seule exception des environs de Tchernobyl. Le secteur de l'énergie intervient seulement si un manque en énergie conduisait à une aération insuffisante des bâtiments (problème du radon).

Effet de serre

Cet effet est dû à la perturbation de la balance entre le rayonnement solaire incident et l'émission infrarouge de la terre; celle-ci s'effectue avec les longueurs d'onde entre $3\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$. Or il convient d'ajouter que l'atmosphère est opaque pour ces longueurs d'onde à cause de l'absorption par la vapeur

d'eau et le CO_2 naturellement présent dans l'atmosphère, exception faite de la soi-disant «fenêtre atmosphérique» entre $8\mu\text{m}$ et $12\mu\text{m}$, où il existe une certaine transparence (fig. 3). Mais dans cette gamme, des gaz encore rares tels que CH_4 , N_2O , O_3 , CFC pourraient absorber le rayonnement. Ainsi, il y existe un potentiel considérable pour diminuer la transparence, ce qui produit l'effet de serre. De ce fait, une molécule de méthane CH_4 est 32 fois plus efficace qu'une molécule de CO_2 en ce qui concerne l'effet de serre.

Le remplacement du charbon par le gaz naturel (qui semble logique puisque l'émission de CO_2 par unité d'énergie diminue d'un facteur 2) n'est avantageux qu'à condition que le taux de fuite du système gazier total (gisement, transport, distribution, utilisation) ne dépasse pas 1%.

Dans l'évaluation des effets et des chances des mesures d'assainissement, il faut faire trois considérations:

- L'émission est-elle fondamentale pour la technique énergétique en question (les combustibles fossiles produisent inévitablement le CO_2) ou n'est-elle qu'accessoire? Dans ce dernier cas, un meilleur procédé technique permet d'éliminer l'émission. Au fond, tous les polluants (avec l'exception du CO_2) appartiennent à cette catégorie.
- Quel est l'impact géographique?
 - local (ozone)
 - régional (pluie acide)
 - global (effet de serre)
- Quel est le temps caractéristique?
 - heures et jours (ozone)
 - semaines (pluie acide)
 - décennies (effet de serre)

Stratégies d'assainissement écologique

On peut distinguer trois types de stratégies:

- Ne rien faire jusqu'à ce que tous les effets et relations soient rigoureusement prouvés – un but qui ne sera jamais atteint vu la complexité du système écologique.
- Appliquer tout de suite et massivement toute technique ou mesure disponible s'il existe la moindre probabilité d'une nuisance – ce qui peut conduire à de fausses allocations de moyens importants.

- Une stratégie selon trois phases:
 - contenir les émissions pour éviter un accroissement incontrôlé; en même temps travailler activement pour combler les lacunes des connaissances;
 - introduire les mesures les plus efficaces et les plus économiques aussitôt que le niveau des connaissances s'est amélioré;
 - quand les relations de cause à effet sont claires, alors réaliser la solution définitive par un effort concentré et massif.

Que faut-il faire?

Les polluants principaux et les polluants spéciaux sont à réduire par de meilleurs procédés techniques. Ces solutions et les conditions politico-économiques pour leur réussite sont discutées dans les autres rapports.

Au regard de la gravité et des temps caractéristiques de l'effet de serre, une solution doit s'appuyer sur plusieurs piliers:

- Utilisation plus efficace de l'énergie chez le producteur et chez l'utilisateur, à réaliser assez rapidement (20-30 ans).
- Remplacement transitoire du charbon par le gaz, réalisable assez vite, mais seulement raisonnable si le

taux de fuite du système gazier entier était inférieur à 1%.

- Vecteurs d'énergie sans CO₂, soit conventionnels (énergie hydraulique et nucléaire) soit nouveaux (solaire, etc.).
- Dépôt du CO₂ dans des gisements vides de gaz ou de pétrole. Ceci nécessite un nouveau type de centrales où le CO₂ sort non mélangé (avec l'azote p.ex. comme dans les centrales classiques), construites au dessus de ces gisements. Une telle installation pilote est annoncée aux Pays-Bas.

En ce qui concerne les *énergies renouvelables* (solaire, etc.) il convient de préciser qu'elles peuvent déjà maintenant être économiques dans des circonstances spéciales, mais qu'il leur faut encore plusieurs décennies de développement pour arriver à des coûts suffisamment bas pour permettre l'introduction massive. Elles pourraient toutefois couvrir, vers 2050, 50% de l'énergie finale actuelle, soit 20% des besoins du milieu du 21^e siècle.

L'*électricité solaire* est déjà utilisée en Californie (centrales thermiques solaires de la société Luz d'une puissance unitaire de 80 MW); dans trois ans on prévoit 600 MW installés, mais seulement les conditions spéciales (combinaison avec gaz naturel, etc.) assurent la viabilité économique. Normale-

ment, le coût du kWh produit dépasserait 16 ct./kWh. L'*énergie éolienne* n'est économique qu'en des sites avec vents favorables et avec aides financières; la situation est plus avantageuse dans les cas où les éoliennes permettent de renoncer à la mise en chantier d'un réseau électrique. Ceci est aussi valable pour la *photovoltaïque* dont le coût du kWh est encore au moins le double de celui de Luz.

La part de la *biomasse* est déjà actuellement importante, utilisée notamment dans le Tiers-Monde, avec un rendement très bas et des émissions énormes. Une utilisation plus rationnelle, soit décentralisée, soit centralisée (p.ex. production de l'éthanol au Brésil), présente un potentiel considérable pour l'avenir. L'alimentation n'en serait pas menacée étant donné que l'agriculture actuelle pourrait déjà nourrir le double de la population mondiale s'il n'y avait pas les pertes de transport et de stockage.

Conclusions concernant l'effet de serre

L'effet de serre est un danger énorme et réel. L'introduction coordonnée de plusieurs mesures techniques permettrait de réaliser une amélioration considérable par rapport à l'évolution non-influencée indiquée dans tableau IIc. Les contributions suivantes paraissent possibles en 2050, voir tableau IV et figure 4 (en mettant la valeur 100% pour les émissions annuelles totales en 1989):

- environ 32% par l'utilisation plus rationnelle de l'énergie (à ce chiffre, il faut ajouter l'amélioration déjà comprise dans l'évolution non influencée; ce progrès avait et a lieu continuellement; ainsi, il est estimé à 20% environ entre 1979 et 1989);
- environ 12% par les énergies hydraulique et nucléaire supplémentaires (ces ressources contribuent dans l'évolution non influencée déjà avec 19%, ce qui porte leur contribution totale à 31%, à parts approximativement égales);
- environ 16% en substitution le charbon pour du gaz naturel
- environ 25% par l'énergie solaire;
- environ 10% par la dépôt du CO₂ dans des gisements vides.

Ainsi, les émissions provenant du secteur de l'énergie pourront être réduites considérablement malgré l'augmentation de la population mondiale.

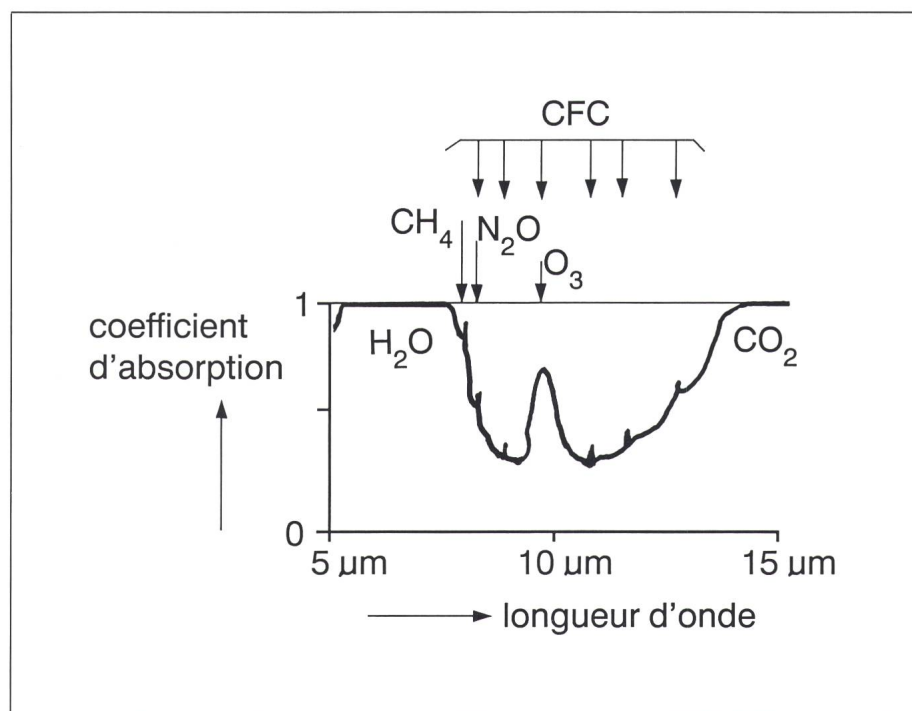


Figure 3 Renforcement de l'absorption dans la «fenêtre atmosphérique» par les gaz de l'effet de serre

réal à cause du «trou d'ozone» sont d'ailleurs aussi bénéfiques pour pallier à l'effet de serre. Avec le reboisement (à la place de la destruction actuelle des forêts tropicales) l'ensemble de ces mesures permettra de contenir le problème de façon à éviter un effet cata-



Tableau IV Réduction des émissions annuelles des gaz de l'effet de serre en 2050

strophique sur le climat, et ceci en dépit des augmentations des émissions dans le secteur de l'agriculture dues à l'évolution démographique (méthane provenant des rizières et de l'élevage des animaux).

La technique aurait le mérite principal de cette réussite, mais il faut souligner l'urgence: le temps presse, puisqu'on a besoin de beaucoup de temps, et il ne faut négliger aucune contribution même si elle n'est que modeste.

[1] World Energy Conference: An Assessment of Worldwide Energy-Related Atmospheric Pollution. Report 1989. WEC, London, 1989