

# Impacts environnementaux

Rappel (cf. Cours gestion de l'environnement)

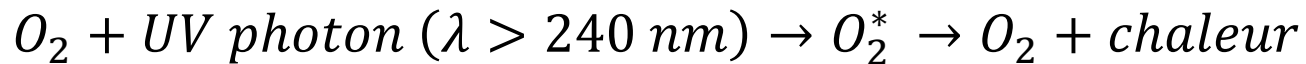
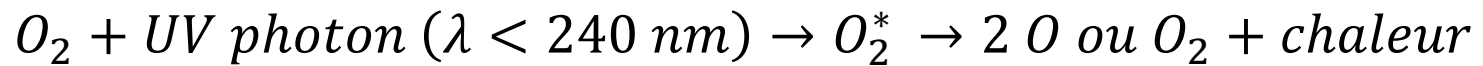
## **Destruction de la couche d'ozone**



# Production de l'ozone stratosphérique

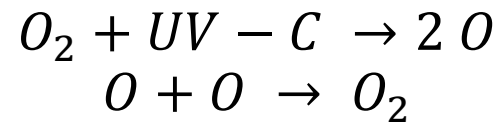
- Lumière = phénomène ondulatoire

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

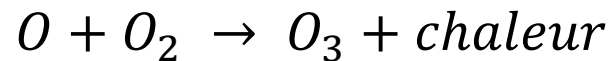


# Production de l'ozone stratosphérique

- Au dessus de la stratosphère : air raréfié et UV important → O

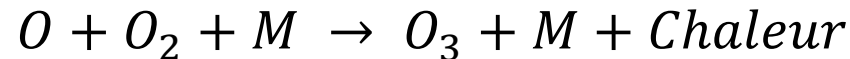


- Basse stratosphère : présence d'O<sub>2</sub>



# Production de l'ozone stratosphérique

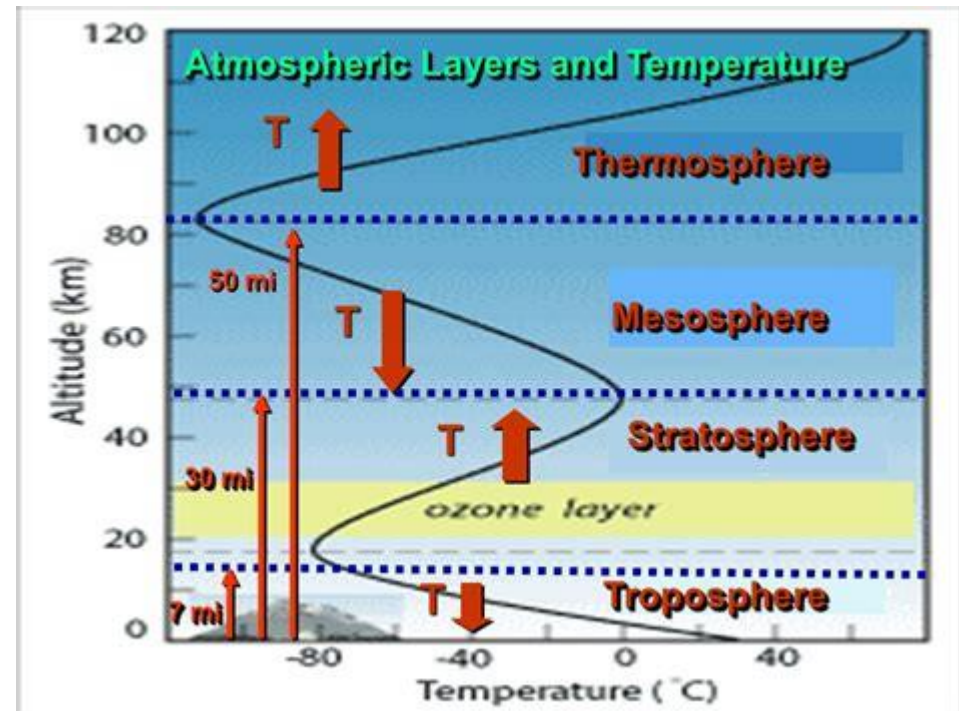
- Couche maximale où rapport =  $[O_2]$  x Intensité UV-C max
- De manière plus réaliste



Avec  $M = N_2$  ou  $H_2O$  pour transporter la chaleur → augmentation de température

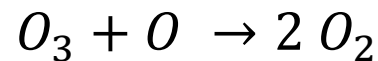
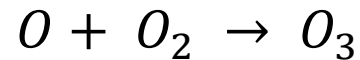
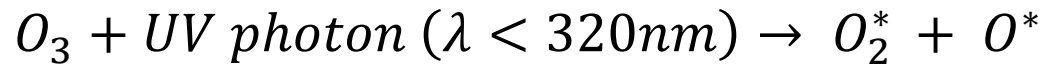
# Production de l'ozone stratosphérique

- Température stratosphère > au dessous ou en dessous
- Couche stratifiée
- Troposphère = mélange vertical



# Destruction de l'ozone stratosphérique

- Destruction importante dans la haute et moyenne stratosphère (UV-B et UV-C)



- Cycle de Chapman – état stationnaire

$[O] \approx \text{constante}$

$[O_3] \approx \text{constante}$

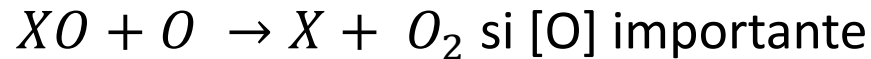
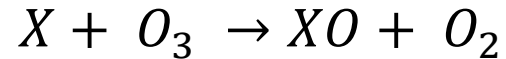
# Destruction de l'ozone stratosphérique

- Durée de vie
  - 30 minutes 30 km
  - 1 mois basse stratosphère
- $[O_3] = 10 \text{ ppm}$

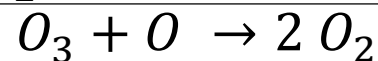
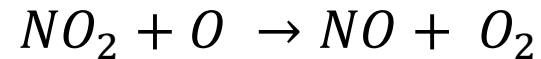
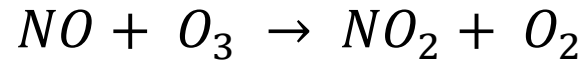


# Destruction de l'ozone stratosphérique

- **Mécanisme I**



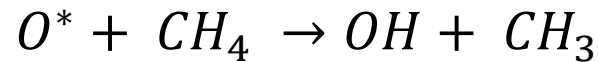
Réalisée de manière naturelle sans pollution car présence de catalyseurs



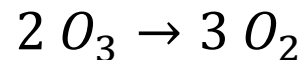
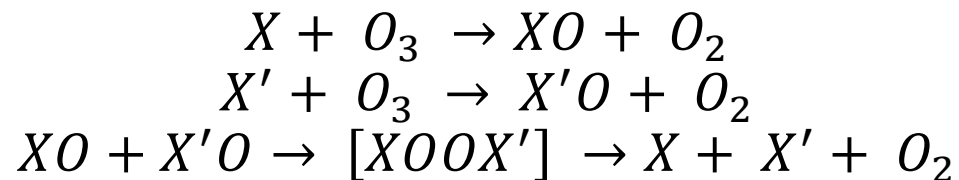
# Destruction de l'ozone stratosphérique

- **Mécanisme I**

Autre catalyseur disponible OH



- **Mécanisme II sans oxygène atomique**

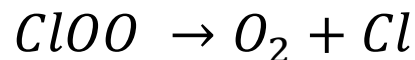
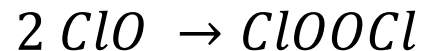
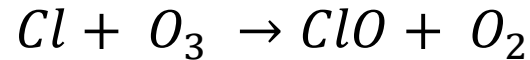


# Destruction de l'ozone stratosphérique

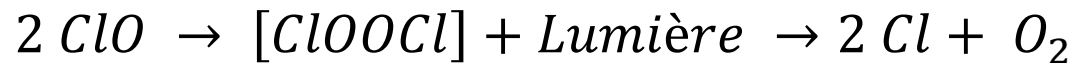
- Effet du chlore

## Mécanisme II

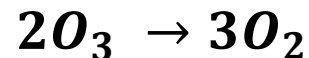
Etape 1



Etape 2



**Global**

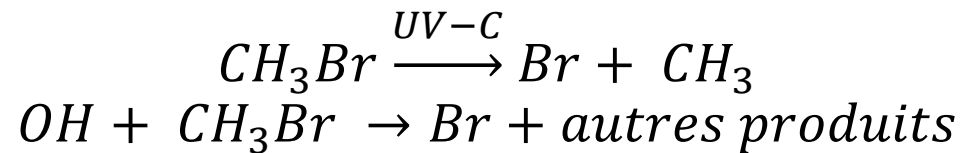


# Destruction de l'ozone stratosphérique

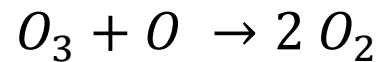
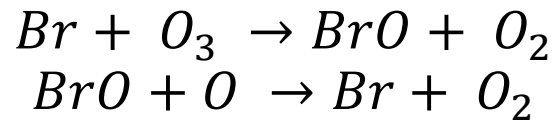
- **Effet du brome**

Halons et source naturelle

Grande stabilité



- **Mécanisme I**



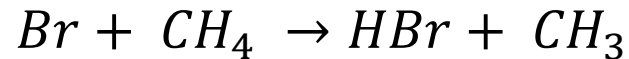
# Destruction de l'ozone stratosphérique

- **Brome**

Pas de puits troposphérique → stratosphère

Peu de formes inactives

Réaction non réalisée



Brome 40 à 50 fois plus réactif que le chlore

# Destruction de l'ozone stratosphérique

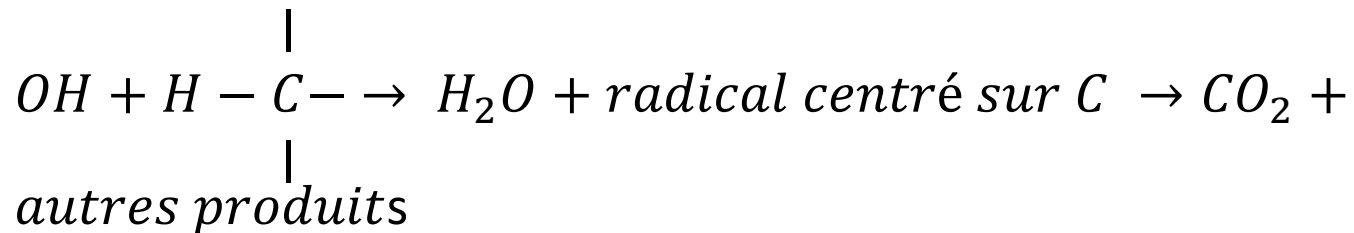
- **CFC**

Pas de puits troposphérique → stratosphère

Décomposition par UV-C en Cl

Durée de vie  $\text{CCl}_4 = 26$  ans,  $\text{CH}_3\text{Cl}_3 = 5$  ans

- **HCFC**

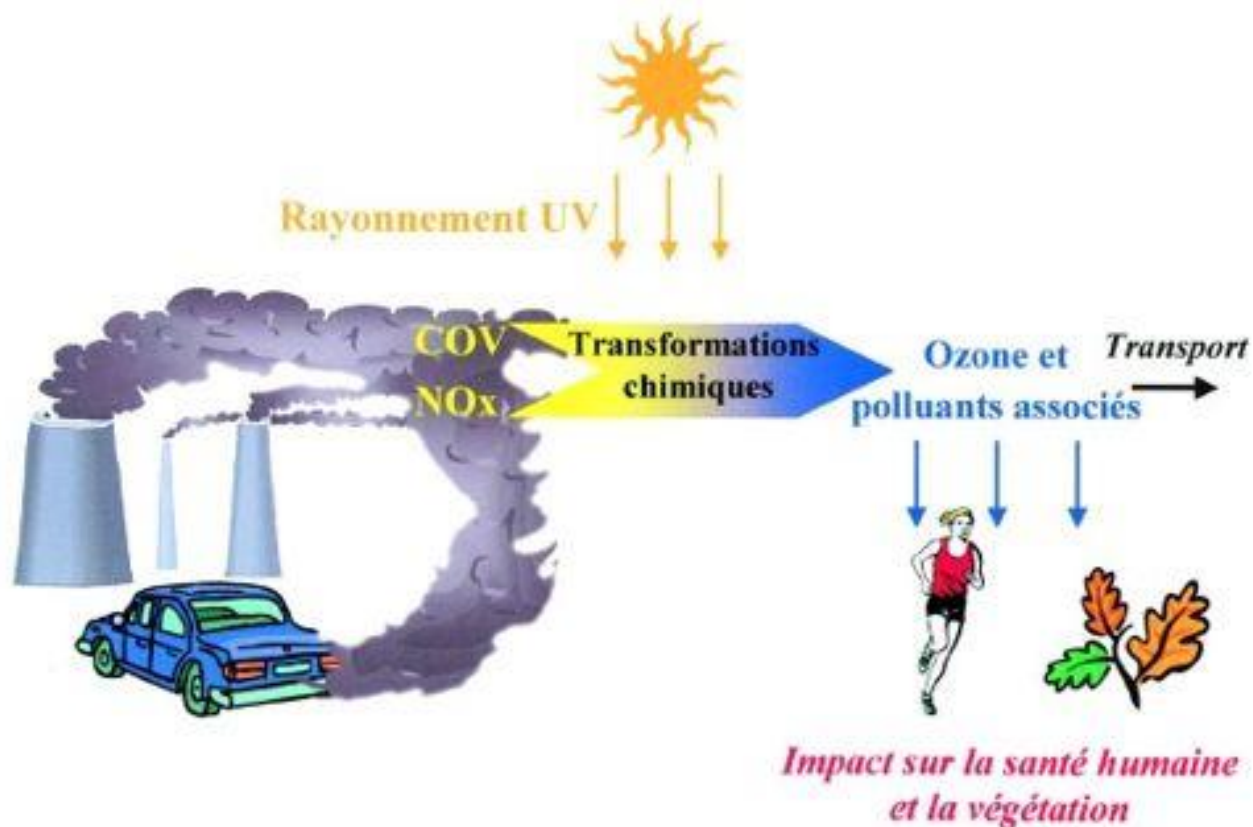


# Impacts environnementaux

Rappel (cf. Cours gestion de l'environnement)

## **Production du smog photochimique**

# Formation d'ozone troposphérique

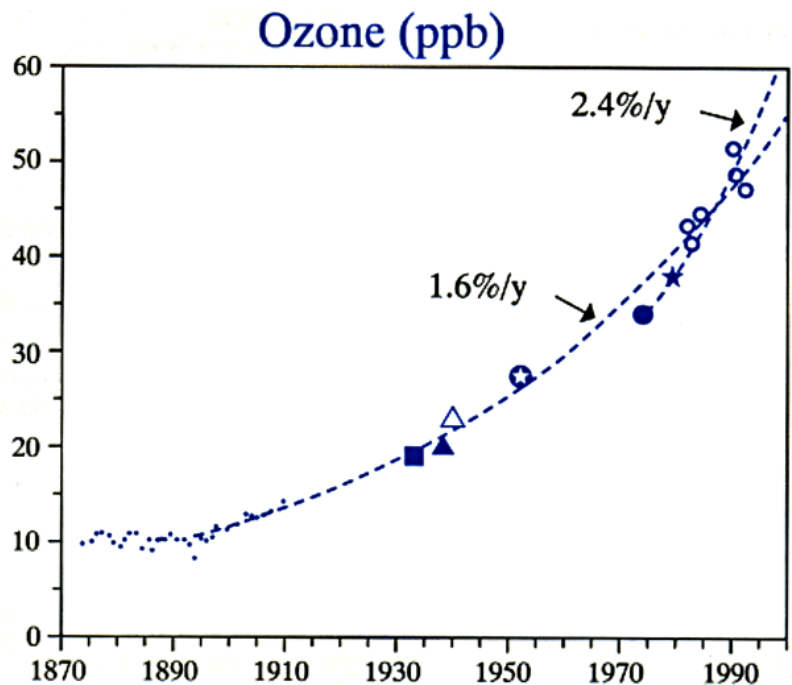


$COVs + NO + O_2 + \text{lumière solaire}$   
→ mélange d' $O_3$ , d' $HNO_3$ , composés organiques



# Formation d'ozone troposphérique

## ■ Teneur moyenne en augmentation



Évolution de la concentration en ozone dans la troposphère en Europe de l'Ouest

1874 → 10 ppbv

1994 → 50 ppbv

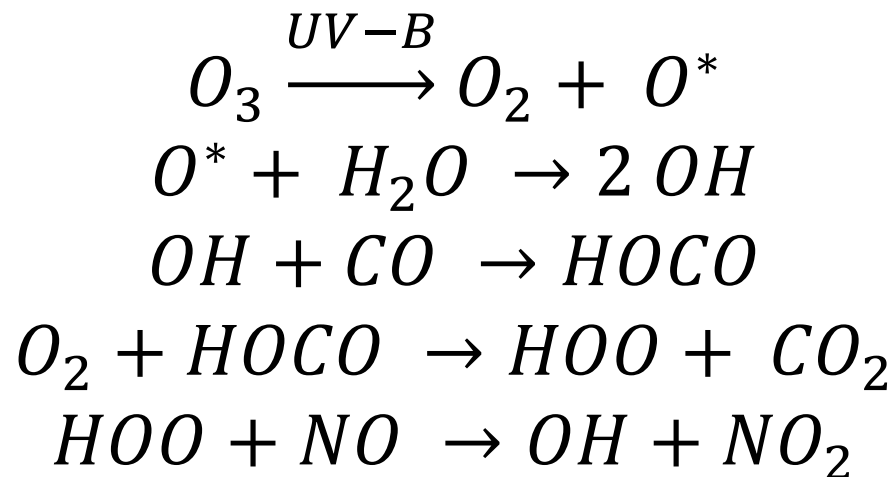
Taux de croissance annuel = 2%

- Pic du Midi (3 000 m) (1982-84)
- ★ Zugspitze (3 000 m) (1977-80)
- Hohenpeiisenberg (1 000m) (1971-76)
- ⊙ Arosa (1 860 m) (1951-53)
- △ Pfander Mountain (1 064 m) (1940)
- ▲ Mont Ventoux (1 900 m) (1938)
- Jungfrauoch (3 500 m) (1933)
- Pic du Midi (3 000m) (1874-1909)

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/chimieatmo/gdeimghtml/1p10.html>

# Formation d'ozone troposphérique

- Radical hydroxyle

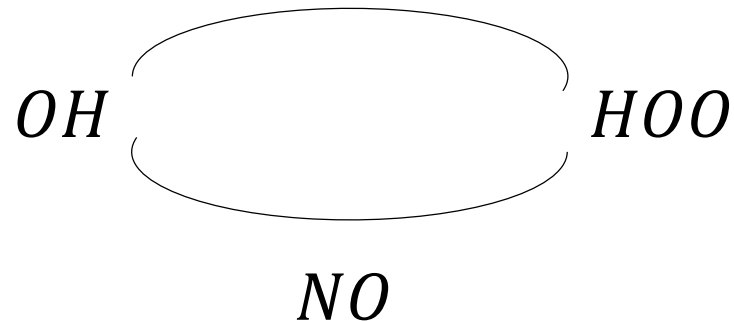


OH permet d'initier la réaction d'oxydation

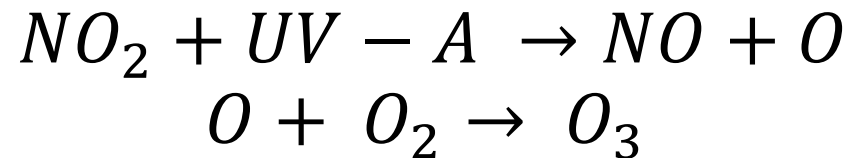
OH et HOO oxydent les polluants dans la troposphère

# Formation d'ozone troposphérique

*Gaz stable, O<sub>2</sub> (lumière)*



- Décomposition NO<sub>2</sub>



# NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>) : sources et impacts

- Production anthropique\*
  - Combustion des combustibles fossiles
  - Combustion de biomasse, feux de forêts
  - Activité industrielle
    - Production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, ...

\* Existence de sources naturelles non abordée ici

# NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>) : sources et impacts

- Toxicité pour l'homme

- NO<sub>2</sub> = gaz hautement toxique
  - Irritation du système respiratoire
  - Fonction pulmonaire perturbée dès 300 ppb (100 pour enfants et personnes sensibles)

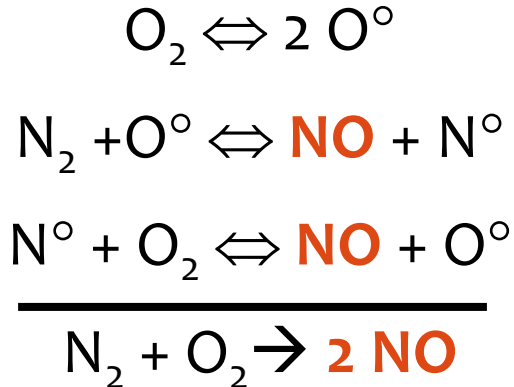
NO<sub>2</sub> = gaz fortement coloré en jaune

→ réduction visibilité atmosphérique

→ coloration brunâtre typique des masses d'air au dessus des zones urbanisées

# NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>) : formation

- NO = 1<sup>er</sup> oxyde formé puis oxydation en NO<sub>2</sub>
- 3 mécanismes de formation différents du NO
  - Oxydation de l'azote du combustible
  - NO thermique = oxydation de l'azote de l'air à des T > 1000°C

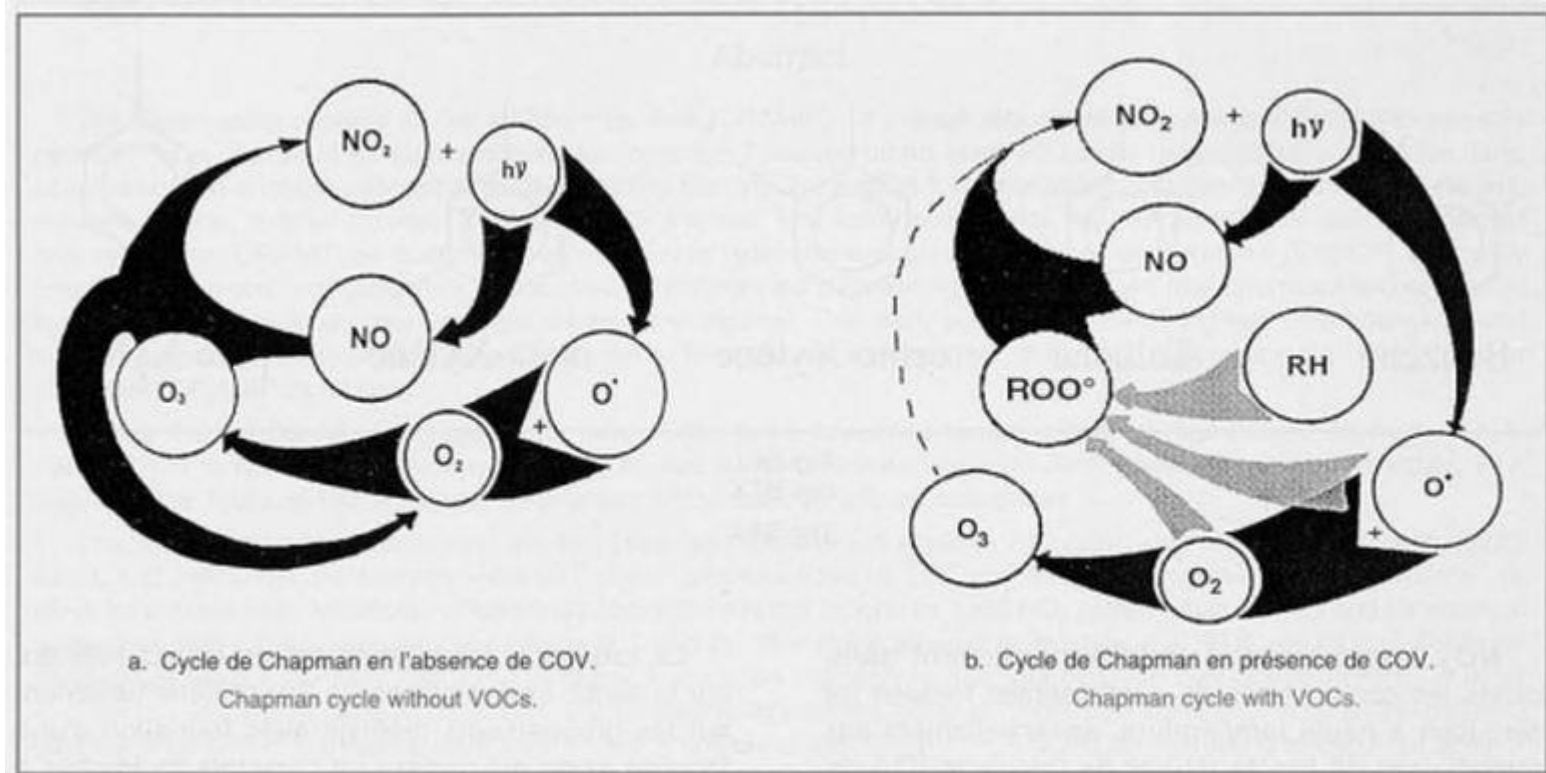


$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_1K \frac{[O_2][N_2][H_2]}{[H_2O]}$$

÷ exp(-E/RT)

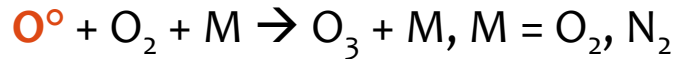
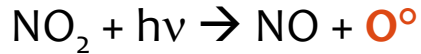
- NO prompt = formé rapidement en cours de combustion
  - Réactions complexes entre azote de l'air et molécules du combustible
  - Favorisé pour des mélanges pauvres en oxygène

# Cycle de Chapman



# Formation d'ozone troposphérique

## ■ Équilibre dynamique de base



1) Production de  $\text{O}^\circ$  dans la troposphere

$$\lambda > 0,29 \mu\text{m}$$

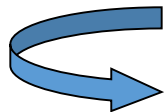
2) Production d'ozone

3) Destruction d'ozone

## ■ Rôle de la pollution

□ NO réagit avec des radicaux hydroperoxyde et peroxyde

→ Pas de destruction d'ozone via réaction 3 !



Radicaux produits durant l'oxydation de  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{HC}$  et  $\text{COV}$   
= précurseurs de l'ozone

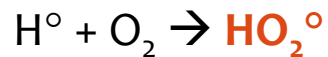
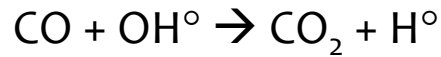


# Formation d'ozone troposphérique

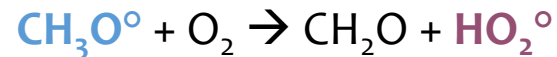
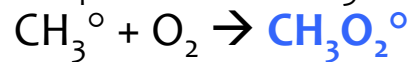
## ■ Rôle de la pollution

### □ Les précurseurs de l'ozone

#### *Monoxide de carbone (CO)*



#### *Méthane (CH<sub>4</sub>)*



Formaldéhyde CH<sub>2</sub>O peut à son tour entrer dans cycle d'oxydation

### □ Facteurs favorisant la formation d'ozone

- Trafic intense → précurseurs de l'ozone
- Temps ensoleillé → production d'O<sup>°</sup>
- Peu de vent → lente dispersion des polluants → réactions ont le temps de se produire
- Inversion de température → lente dispersion des polluants

# Formation d'ozone troposphérique

## ■ Rôle de la pollution

### □ Augmentation de l'ozone troposphérique liée à

#### ■ Augmentation des émissions de NOx

□ Multiplication par 7 durant le 20<sup>ème</sup> siècle

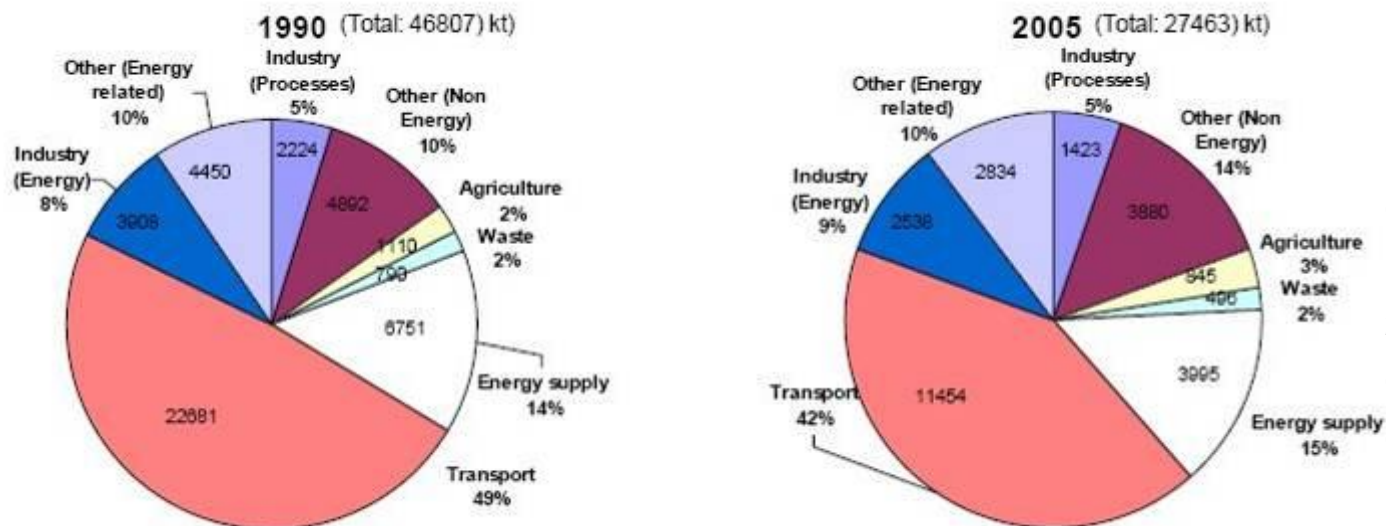
□ Taux de croissance annuel = 2%

#### ■ Augmentation des émissions des précurseurs CO, CH<sub>4</sub>, HC, COV

□ Taux de croissance annuel = 1%



## Rôle majeur de la combustion de combustibles fossiles



Diminution de 45% des émissions de précurseurs reliées au secteur de l'énergie entre 1990 et 2005 dans l'UE-27

# Formation d'ozone troposphérique

- Impacts sur la santé humaine
  - Problèmes respiratoires
    - Gaz agressif à odeur âcre
    - Toux, inconfort, irritation des yeux, des voies respiratoires
    - Sensibilité particulière pour personnes âgées et enfants
- Impacts sur la végétation
  - Nécroses sur feuilles et aiguilles d'arbres et sur végétaux
  - Perte de production dans les massifs forestiers

**Tâches sur cerisier noir**



# Impacts environnementaux

Rappel (cf. Cours gestion de l'environnement)

## **Smog d'hiver**

# Particules – définition

## ■ Fumée

- Matières particulaires : particules solides ou liquides en suspension dans l'air
  - Solides = poussières ou suies
  - Liquides = brume ou brouillard
- Invisibles à l'œil nu

## ■ Taille des particules

- Diamètre < ou > à  $2,5 \mu\text{m}$

# Particules – origines

## ■ Grosses particules

### □ Primaires

- Tempêtes de sable
- Désintégration des feuilles mortes par le vent
- Pollen
- Feux de forêts

## ■ Particules fines

### □ Primaires

- Usure des freins ou poussière métallurgie
- Echappement des véhicules

### □ Secondaires

- Réactions chimiques entre gaz et agrégation d'espèces plus petites
- Réactions COV et NO<sub>x</sub>

# Particules – indices PM

- Quantité de matière particulaire dans un volume donné
  - Pas de MM
  - Utilisation de  $\mu\text{g}$  par  $\text{m}^3$
- $\text{PM}_{10}$  = toutes les particules dont le diamètre est inférieur à  $10 \mu\text{m}$
- $\text{PM}_{2,5}$  = toutes les particules dont le diamètre est inférieur à  $2,5 \mu\text{m}$ 
  - Particules fines respirables

# Particules – effets sur la santé

- Problèmes respiratoires
- Particules inhalées transportent les molécules organiques et ions métalliques dans les poumons
- Pollution de l'air corrélée avec concentration PM 2,5



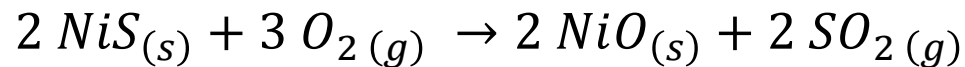
# SOx : sources et impacts

- Production anthropique de composés soufrés
  - Combustion des combustibles fossiles
    - Charbon, lignite, coke de pétrole, fuel lourd, fuel domestique, gazole
  - Activité industrielle
    - Production de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , production de pâte à papier, raffinage du pétrole, ...
- Phénomènes liés
  - Pluies acides
  - Smog acide
- Toxicité pour l'homme
  - $\text{SO}_2$  = gaz irritant, fortement hydrophobe et facilement dissous dans le mucus nasal
    - Toux, bronchite, asthme
    - Mortel au-delà de 1500 ppb
  - $\text{SO}_3$  = gaz irritant (à l'état sec)

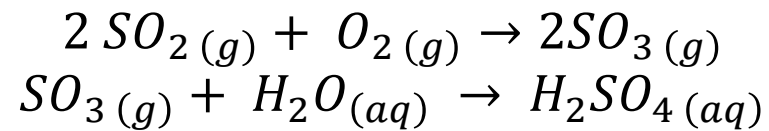
\* Existence de sources naturelles non abordée ici

# SOx : sources et impacts

- Torréfaction du minerai

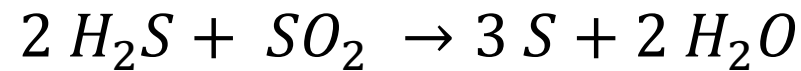


- Passage sur catalyseur



# SOx : sources et impacts

- Raffinage du pétrole : émissions SO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S
- Réaction Claus



# Smog acide

- Généralement en hiver
- Concentration accrue de suie et de  $\text{SO}_2$
- Engendre des problèmes respiratoires importants

# QUESTIONS

# ?