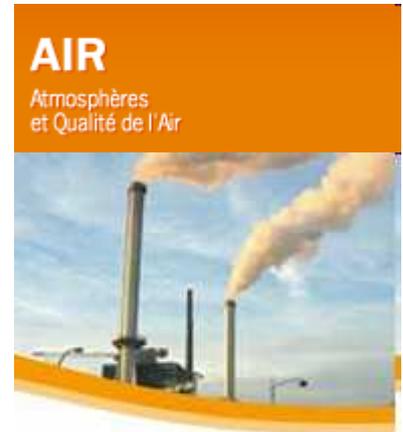


Spécialité:
Atmosphères et Qualité de l'Air

Option modélisation

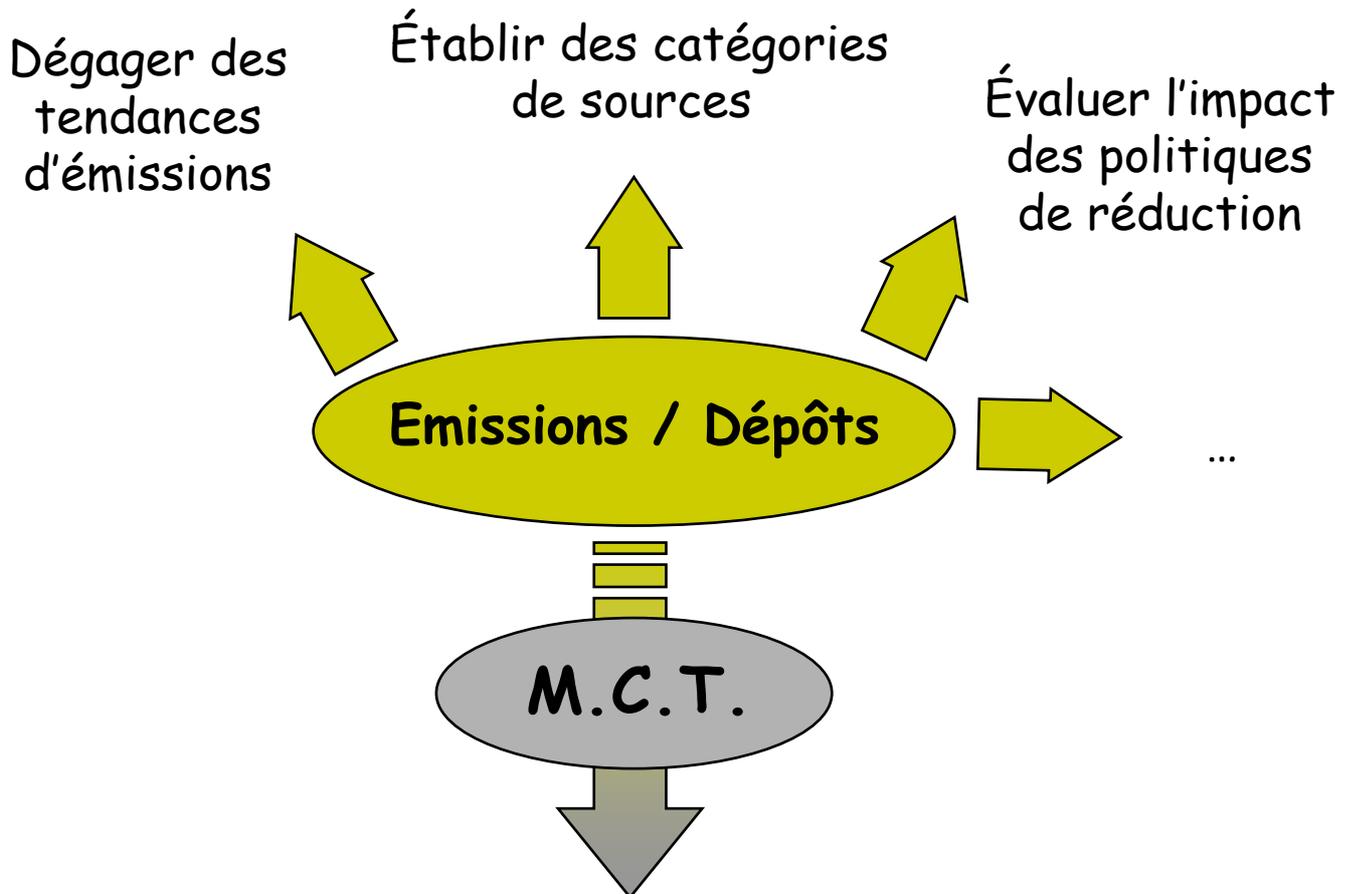


Modélisation des émissions et des dépôts atmosphériques

1. Introduction
2. Les besoins des modèles en terme d'émissions
3. Estimation des émissions de composés gazeux
 - 3.1. Les différentes approches
 - 3.2. Approche Bottom-Up: Cas général
 - 3.3. Les émissions de composés anthropiques
 - 3.4. Les émissions de BVOC foliaires
4. Le dépôt sec et humide
5. Validation et tests de sensibilité
6. **TD d'application**

1. INTRODUCTION

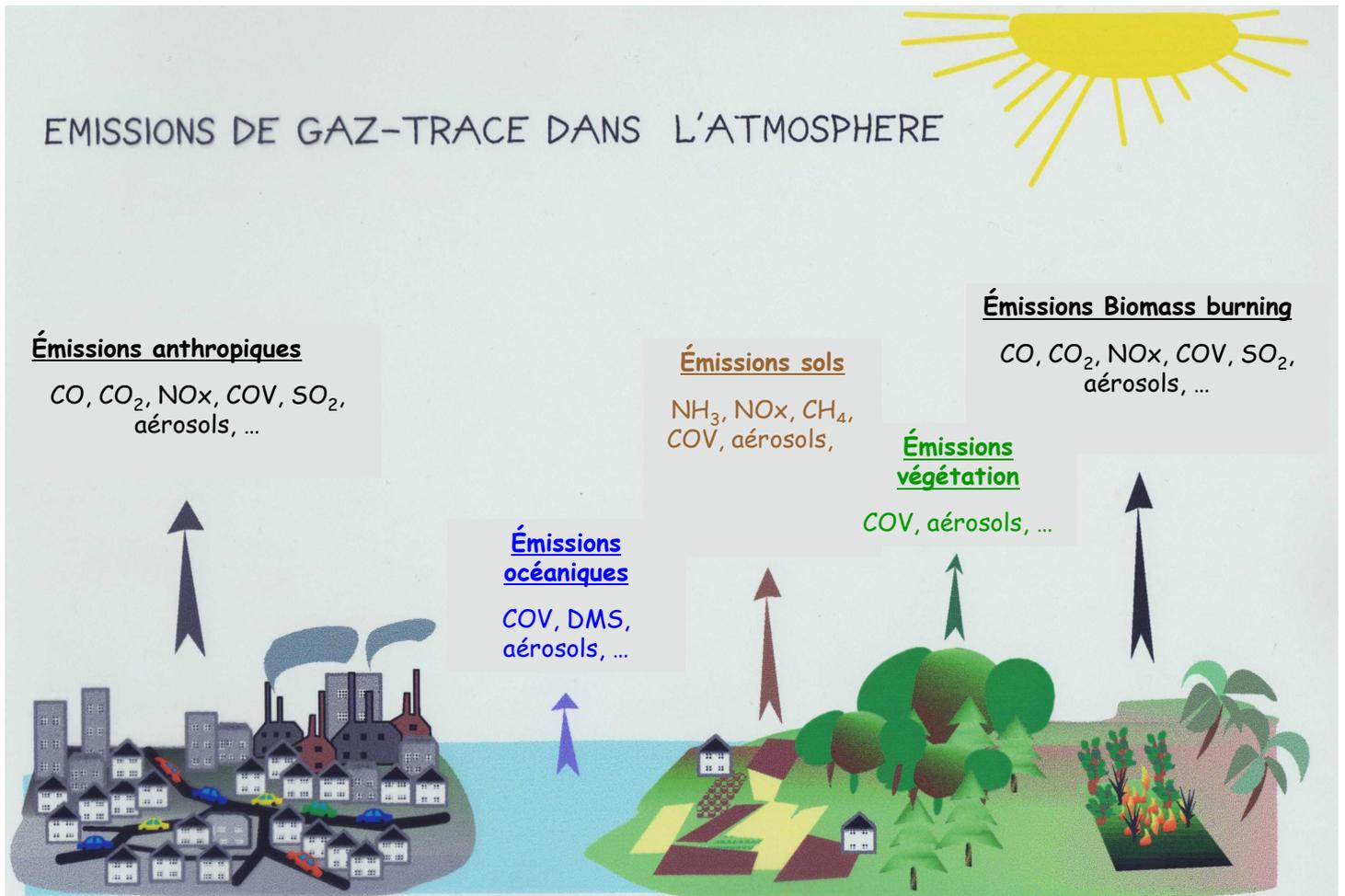
ESTIMER DES EMISSIONS/DEPOTS ? POUR QUOI ?



Evaluer les impacts
des émissions -et de leurs changements -
sur les teneurs des gaz en traces,
la pollution urbaine, le réchauffement global, ...

1. INTRODUCTION

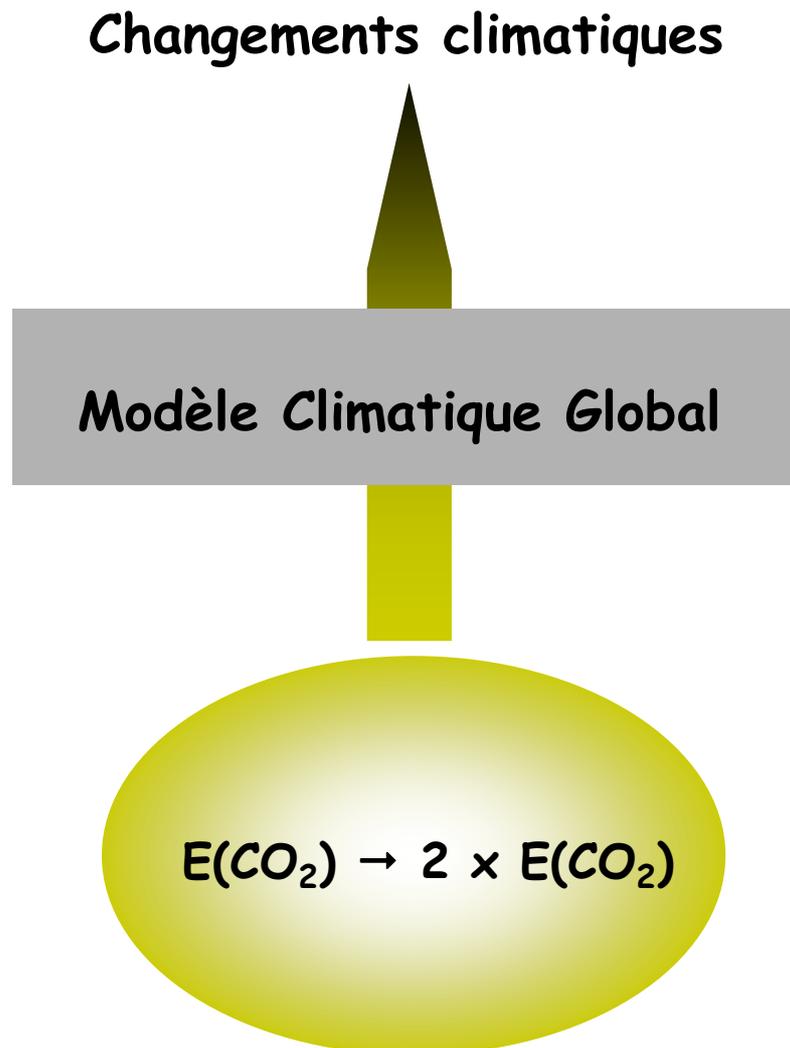
MODELISER LES EMISSIONS/DEPOTS: POURQUOI ?



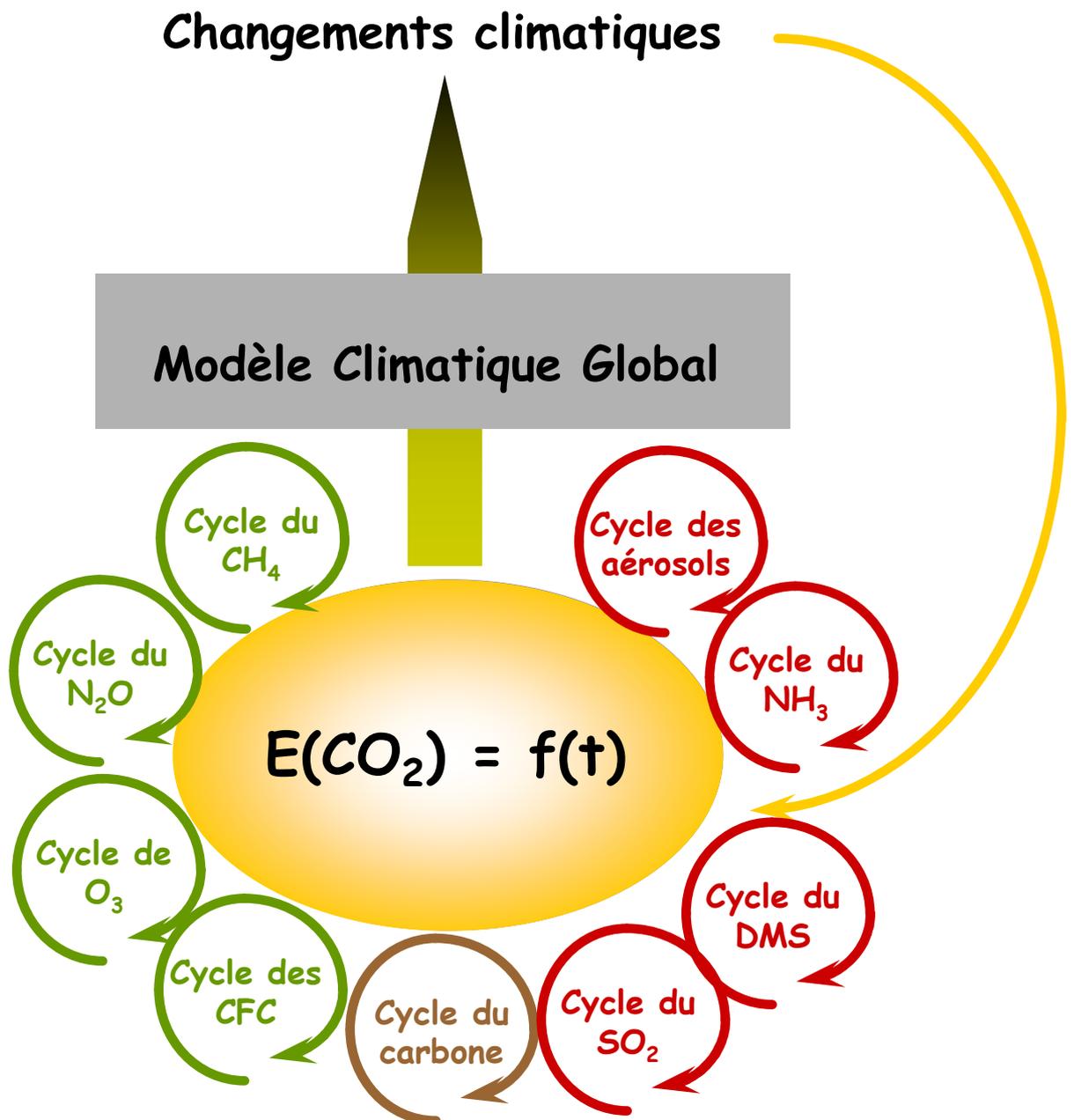
... mise en jeu de **nombreux** processus, +/- **complexes** et hautement **variables** dans l'espace et dans le temps

↳ **paramétrisation numérique indispensable**

2. BESOINS DES MODELES d'ÉMISSION



2. BESOINS DES MODELES D'ÉMISSION



2. BESOINS DES MODELES D'ÉMISSION

↳ *EVOLUTION*

- **Champs fixes d'émissions pour chaque espèce i**



- **Champs d'émissions dont la spatialisation et les intensités sont fonction:**

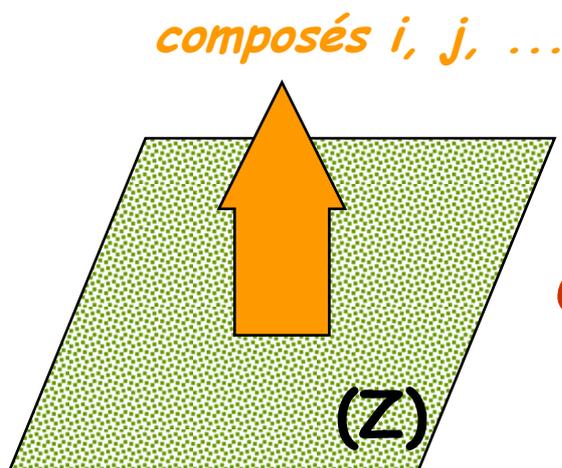
- *des changements climatiques*
- *de la prospérité économique*
- *de la démographie*
- *du «land use»*
- *des décisions politiques, ...*

- ⑤ **Un enjeu majeur pour l'étude de l'atmosphère**
GEIA: Global Emissions Inventory Activities
([http://geiacenter.org/.](http://geiacenter.org/))

2. BESOINS DES MODELES d'ÉMISSION

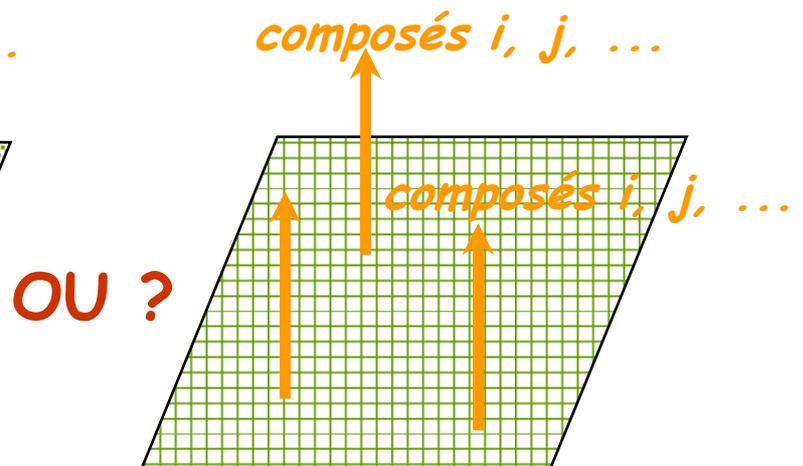
DEFINITION DES BESOINS

*Emissions globales
sur la zone Z*



↳ INVENTAIRE
D'EMISSIONS

Emissions spatialisées



↳ CADASTRE
D'EMISSIONS

2. BESOINS DES MODELES d'ÉMISSION

DEFINITION DES BESOINS

C_i	m_i (kg)	F_i (kg.h ⁻¹)
SO ₂	124	12.5
NO	25	15.3
NO ₂	12	2.3
CO	26	6.3
C ₂ H ₄	12.1	8.0
NH ₃	5.6	10.3
...		

Par composé ?

2. Exemple de spéciation des composés dans le cadastre ESCOMPTE

N° du polluant	Priorité	Composés chimiques ou groupe de composés
1	1	dioxyde de soufre : SO ₂
2	2	oxyde d'azote totaux (NO _x = NO+NO ₂) en équivalent dioxyde d'azote (NO ₂)
3	1	le monoxyde d'azote (NO)
4	1	le dioxyde d'azote (NO ₂)
5	2	acide nitreux HNO ₂
6	5	protoxyde d'azote (N ₂ O)
7	1	monoxyde de carbone (CO)
7	5	dioxyde de carbone (CO ₂)
8	1	méthane (CH ₄)
9	1	alcanes totaux hors méthane
10	1	éthane
11	1	propane
12	1	butanes: iso-+n-butane
13	2	n-butane
14	2	iso-butane
15	1	pentanes: n- et iso-pentane
16	2	n-pentane
17	2	iso-pentane
18	1	hexanes:
19	1	heptanes + Octanes
20	2	C ₈ < ALK < C ₁₂
21	3	ALK > C ₁₂
22	1	éthène
23	1	propène
24	1	butènes
25	2	1-butène
26	2	2-butène
27	2	1,3 butadiène
28	1	Isoprène
29	1	somme des alcènes hors terpène
30	1	somme des terpènes
31	2	a-pinene
32	2	b-pinene
33	1	acétylène
34	1	somme des alcynes
35	1	benzène
36	1	toluène
37	2	alkylbenzene monosubstitués hors toluène
38	1	xylènes + ethyltoluène
39	1	somme des Hydrocarbures Aromatiques monocycliques
40	2	somme des composés aromatiques oxygénés monocycliques
41	4	somme des hydroc. Aromat. polycycliques (HAP) et leurs dérivés nitrés
42	4	benzo - a - pyrène

2. Exemple de spéciation des composés dans le cadastre ESCOMPTE

N° du polluant	Priorité	Composés chimiques ou groupe de composés
1	1	dioxyde de soufre : SO ₂
2	2	oxyde d'azote totaux (NO _x = NO+NO ₂) en équivalent dioxyde d'azote (NO ₂)
3	1	le monoxyde d'azote (NO)
4	1	le dioxyde d'azote (NO ₂)
5	2	acide nitreux HNO ₂
6	5	protoxyde d'azote (N ₂ O)
7	1	monoxyde de carbone (CO)
7	5	dioxyde de carbone (CO ₂)
8	1	méthane (CH ₄)
9	1	alcanes totaux hors méthane
10	1	éthane
11	1	propane
12	1	butanes: iso-+n-butane
13	2	n-butane
14	2	iso-butane
15	1	pentanes: n- et iso-pentane
16	2	n-pentane
17	2	iso-pentane
18	1	hexanes:
19	1	heptanes + Octanes
20	2	C ₈ < ALK < C ₁₂
21	3	ALK > C ₁₂
22	1	éthène
23	1	propène
24	1	butènes
25	2	1-butène
26	2	2-butène
27	2	1,3 butadiène
28	1	Isoprène
29	1	somme des alcènes hors terpène
30	1	somme des terpènes
31	2	a-pinene
32	2	b-pinene
33	1	acétylène
34	1	somme des alcynes
35	1	benzène
36	1	toluène
37	2	alkylbenzene monosubstitués hors toluène
38	1	xylènes + ethyltoluène
39	1	somme des Hydrocarbures Aromatiques monocycliques
40	2	somme des composés aromatiques oxygénés monocycliques
41	4	somme des hydroc. Aromat. polycycliques (HAP) et leurs dérivés nitrés
42	4	benzo - a - pyrène

2. Exemple de spéciation des composés dans le cadastre ESCOMPTE

N° du polluant	Priorité	Composés chimiques ou groupe de composés
1	1	dioxyde de soufre : SO ₂
2	2	oxyde d'azote totaux (NO _x = NO+NO ₂) en équivalent dioxyde d'azote (NO ₂)
3	1	le monoxyde d'azote (NO)
4	1	le dioxyde d'azote (NO ₂)
5	2	acide nitreux HNO ₂
6	5	protoxyde d'azote (N ₂ O)
7	1	monoxyde de carbone (CO)
7	5	dioxyde de carbone (CO ₂)
8	1	méthane (CH ₄)
9	1	alcanes totaux hors méthane
10	1	éthane
11	1	propane
12	1	butanes: iso-+n-butane
13	2	n-butane
14	2	iso-butane
15	1	pentanes: n- et iso-pentane
16	2	n-pentane
17	2	iso-pentane
18	1	hexanes:
19	1	heptanes + Octanes
20	2	C ₈ < ALK < C ₁₂
21	3	ALK > C ₁₂
22	1	éthène
23	1	propène
24	1	butènes
25	2	1-butène
26	2	2-butène
27	2	1,3 butadiène
28	1	Isoprène
29	1	somme des alcènes hors terpène
30	1	somme des terpènes
31	2	a-pinene
32	2	b-pinene
33	1	acétylène
34	1	somme des alcynes
35	1	benzène
36	1	toluène
37	2	alkylbenzene monosubstitués hors toluène
38	1	xylènes + ethyltoluène
39	1	somme des Hydrocarbures Aromatiques monocycliques
40	2	somme des composés aromatiques oxygénés monocycliques
41	4	somme des hydroc. Aromat. polycycliques (HAP) et leurs dérivés nitrés
42	4	benzo - a - pyrène

2. Exemple de spéciation des composés dans le cadastre ESCOMPTE

N° du polluant	Priorité	Composés chimiques ou groupe de composés
1	1	dioxyde de soufre : SO ₂
2	2	oxyde d'azote totaux (NO _x = NO+NO ₂) en équivalent dioxyde d'azote (NO ₂)
3	1	le monoxyde d'azote (NO)
4	1	le dioxyde d'azote (NO ₂)
5	2	acide nitreux HNO ₂
6	5	protoxyde d'azote (N ₂ O)
7	1	monoxyde de carbone (CO)
7	5	dioxyde de carbone (CO ₂)
8	1	méthane (CH ₄)
9	1	alcanes totaux hors méthane
10	1	éthane
11	1	propane
12	1	butanes: iso-+n-butane
13	2	n-butane
14	2	iso-butane
15	1	pentanes: n- et iso-pentane
16	2	n-pentane
17	2	iso-pentane
18	1	hexanes:
19	1	heptanes + Octanes
20	2	C ₈ < ALK < C ₁₂
21	3	ALK > C ₁₂
22	1	éthène
23	1	propène
24	1	butènes
25	2	1-butène
26	2	2-butène
27	2	1,3 butadiène
28	1	Isoprène
29	1	somme des alcènes hors terpène
30	1	somme des terpènes
31	2	a-pinene
32	2	b-pinene
33	1	acétylène
34	1	somme des alcynes
35	1	benzène
36	1	toluène
37	2	alkylbenzene monosubstitués hors toluène
38	1	xylènes + ethyltoluène
39	1	somme des Hydrocarbures Aromatiques monocycliques
40	2	somme des composés aromatiques oxygénés monocycliques
41	4	somme des hydroc. Aromat. polycycliques (HAP) et leurs dérivés nitrés
42	4	benzo - a - pyrène

2. Exemple de spéciation des composés dans le cadastre ESCOMPTE

N° du polluant	Priorité	Composés chimiques ou groupe de composés
1	1	dioxyde de soufre : SO ₂
2	2	oxyde d'azote totaux (NO _x = NO+NO ₂) en équivalent dioxyde d'azote (NO ₂)
3	1	le monoxyde d'azote (NO)
4	1	le dioxyde d'azote (NO ₂)
5	2	acide nitreux HNO ₂
6	5	protoxyde d'azote (N ₂ O)
7	1	monoxyde de carbone (CO)
7	5	dioxyde de carbone (CO ₂)
8	1	méthane (CH ₄)
9	1	alcanes totaux hors méthane
10	1	éthane
11	1	propane
12	1	butanes: iso-+n-butane
13	2	n-butane
14	2	iso-butane
15	1	pentanes: n- et iso-pentane
16	2	n-pentane
17	2	iso-pentane
18	1	hexanes:
19	1	heptanes + Octanes
20	2	C ₈ < ALK < C ₁₂
21	3	ALK > C ₁₂
22	1	éthène
23	1	propène
24	1	butènes
25	2	1-butène
26	2	2-butène
27	2	1,3 butadiène
28	1	Isoprène
29	1	somme des alcènes hors terpène
30	1	somme des terpènes
31	2	a-pinene
32	2	b-pinene
33	1	acétylène
34	1	somme des alcynes
35	1	benzène
36	1	toluène
37	2	alkylbenzene monosubstitués hors toluène
38	1	xylènes + ethyltoluène
39	1	somme des Hydrocarbures Aromatiques monocycliques
40	2	somme des composés aromatiques oxygénés monocycliques
41	4	somme des hydroc. Aromat. polycycliques (HAP) et leurs dérivés nitrés
42	4	benzo - a - pyrène

43	4	fluoranthène
44	4	anthracène
45	4	naphtalène
46	1	formaldéhyde
47	2	acétaldéhyde
48	1	somme des aldéhydes
49	3	méthanol
50	1	éthanol
51	1	sommes des alcools
52	1	acétone
53	3	méthyl-éthyl-cétone
54	1	somme des cétones
55	1	diMethyl-ether
56	3	méthyl-tertio-butyl éther (MTBE)+ éthyl-tertio-butyl éther (ETBE)
57	1	sommes des éthers
58	3	esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV)
59	1	somme des autres esters
60	1	somme des composés organiques volatils halogénés
61	1	somme des COV halogénés insaturés
62	4	somme des dibenzodioxines et dibenzofuranes en équ. toxique TEQ (F
63	2	acide méthanoïque
64	1	somme des acides organiques
65	1	somme des autres composés organiques volatils autres que méthane (non classés dans l'une quelconque catégorie précédente)
66	1	ammoniac (NH3)
67	1	HCl acide chlorhydrique
68	3	composés fluorés gazeux inorganiques en équivalent HF (HF) acide flu
69	1	acide sulfurique H2SO4
70	1	acide nitrique HNO3
71	4	mercure dans les poussières (Hg)
72	4	cadmium dans les poussières (Cd)
73	4	plomb dans les poussières (Pb)
74	4	arsenic dans les poussières (As)
75	4	vanadium dans les poussières (Va)
76	4	nickel dans les poussières (Ni)
77	4	chrome dans les poussières (Cr)
78	4	particules de platine
79	4	somme métaux lourds
80	1	particules (PAR)
81	1	suies
82	3	autres composés indéterminés
83	3	autres composés déterminés

2. BESOINS DES MODELES d'ÉMISSION

DEFINITION DES BESOINS

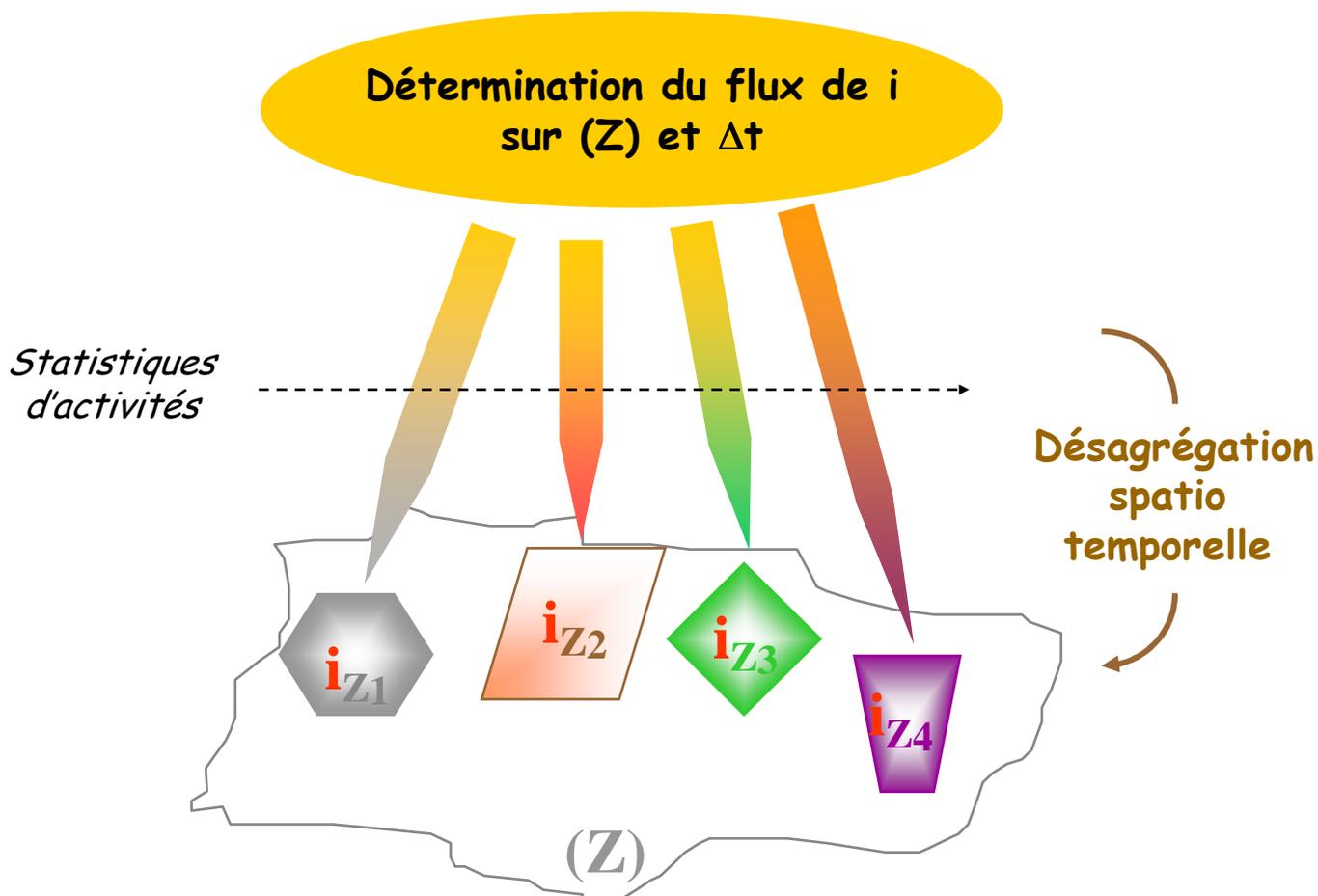
- Quelle(s) zone(s) d'étude ?
- Quels composés et avec quel raffinement de spéciation ?
- Quel maillage spatio-temporel ?
- Pérennité des estimations?
- ...

↳ **Élaboration
d'un cahier des charges**

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.1 LES DIFFÉRENTES APPROCHES D'ESTIMATION

APPROCHE TOP-DOWN



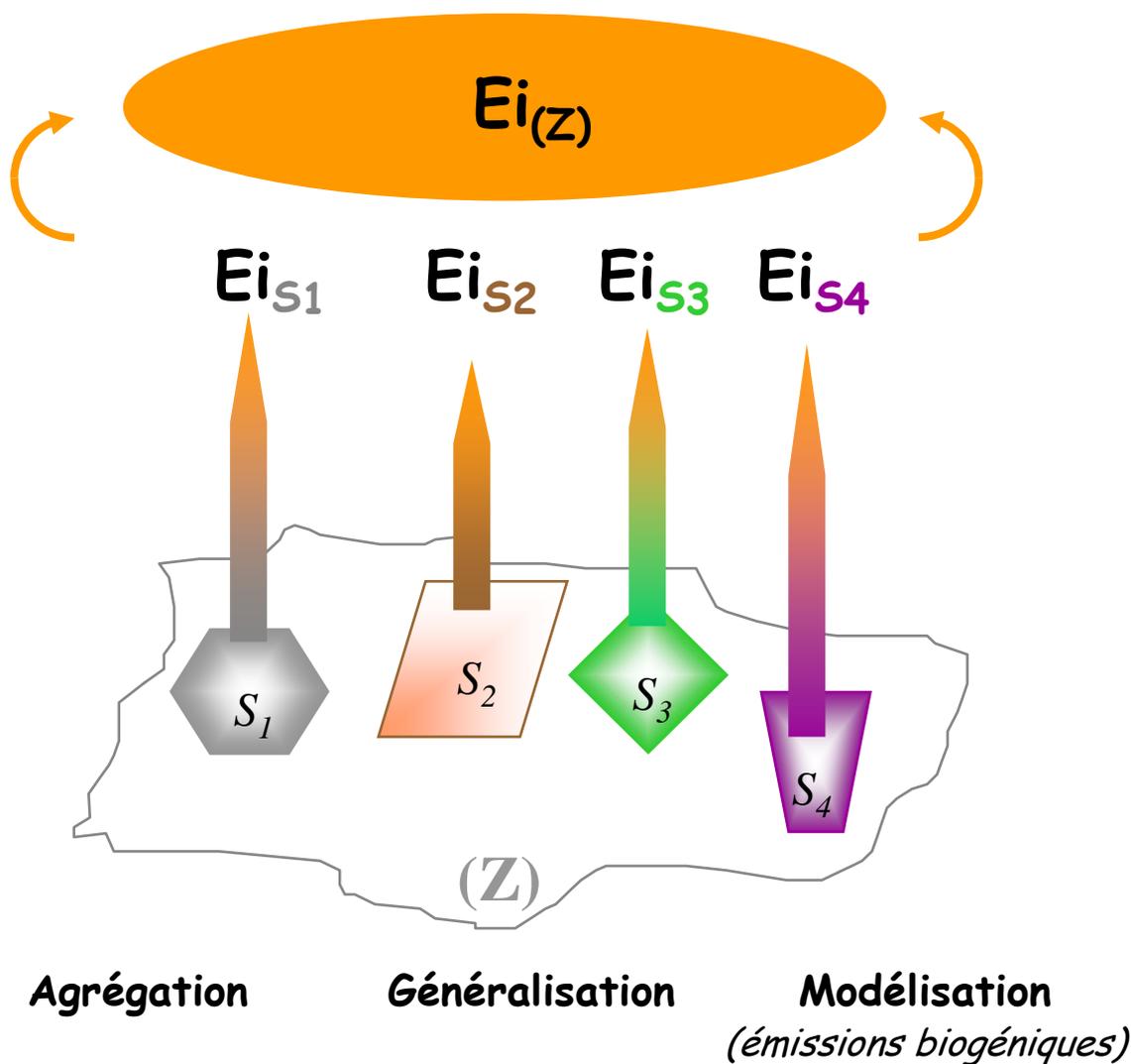
- *Résolution spatio-temporelle grossière*
- *Fortes incertitudes, ...*

- *Réalisation aisée*
- *Pré étude*
 - *vision rapide d'ensemble*
 - *estimation des catégories/sources prépondérantes*

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.1 LES DIFFÉRENTES APPROCHES D'ESTIMATION

APPROCHE BOTTOM-UP



- • *Élaboration fastidieuse*
- *Coût élevé*

- + • *Résolution spatio-temporelle fine (1h, 1x1 km)*
- ↳ *Méthode bien appropriée aux problèmes de qualité de l'air*

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.1 LES DIFFÉRENTES APPROCHES D'ESTIMATION

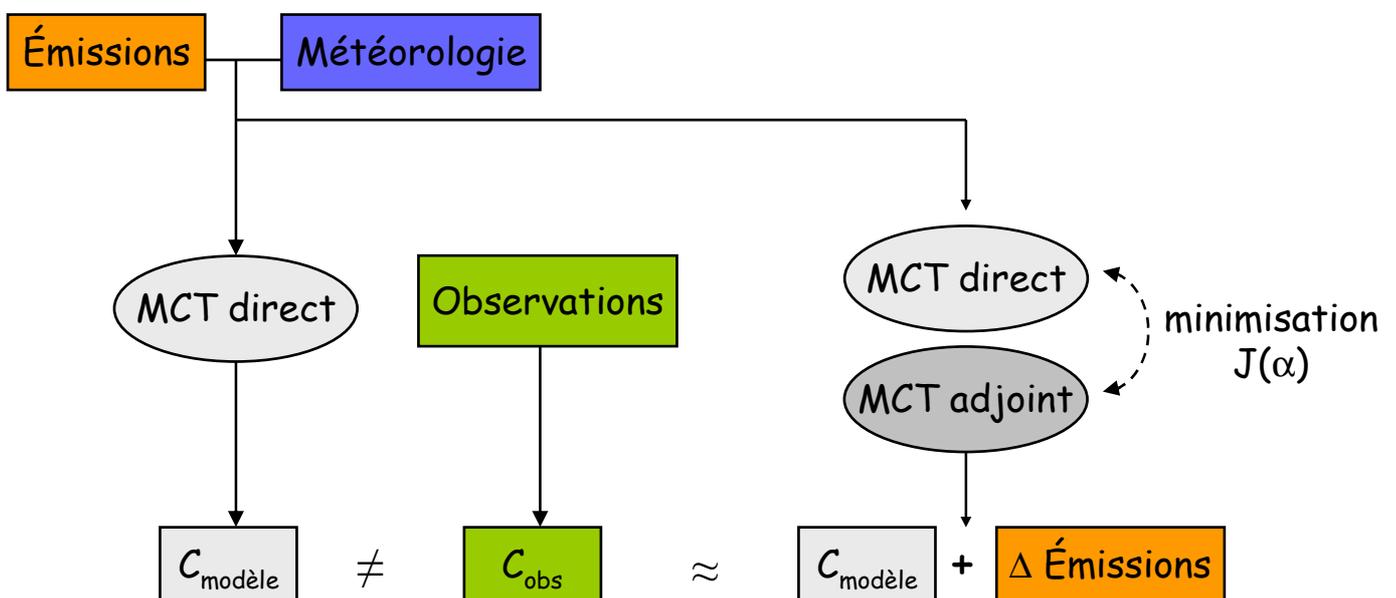
MODELISATION INVERSE

- ⇒ estimer, à partir d'observations, les valeurs des paramètres du modèle permettant de retrouver les prévisions souhaitées.
- ⇐ **minimiser** la différence entre l'observation et la prévision

Exemple de l'approche adjointe :

Recherche des paramètres de contrôle α dans une fonction de coût: $J(\alpha) = \sum_i (H(f_i(\alpha)) - \text{obs}_i)^2$ et H : *opérateur d'observation*

Application : O_3 , NO_2

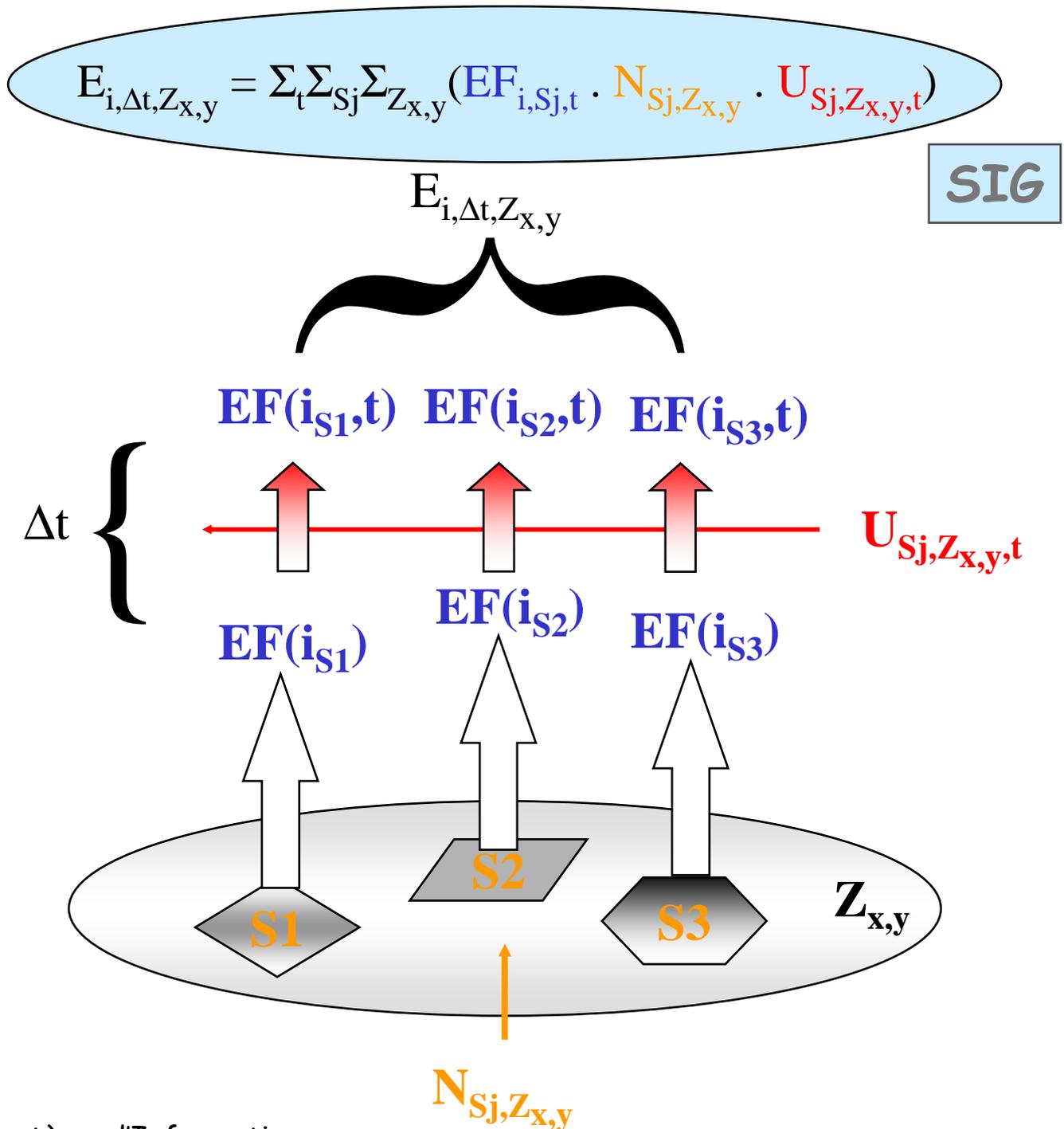


d'après Pison, 2006

Autre approche : filtre de Kalman (covariances d'erreurs)

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2 APPROCHE BOTTOM-UP: cas général



*Système d'Information Géographique

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2 Le facteur d'émission: $EF_{i,sj,t}$

Définition:

Emission potentielle moyenne d'une population d'émetteurs/d'activités, dans des conditions normalisées «connues»

↳ **Unité:** quantité de matière.activité⁻¹.temps⁻¹



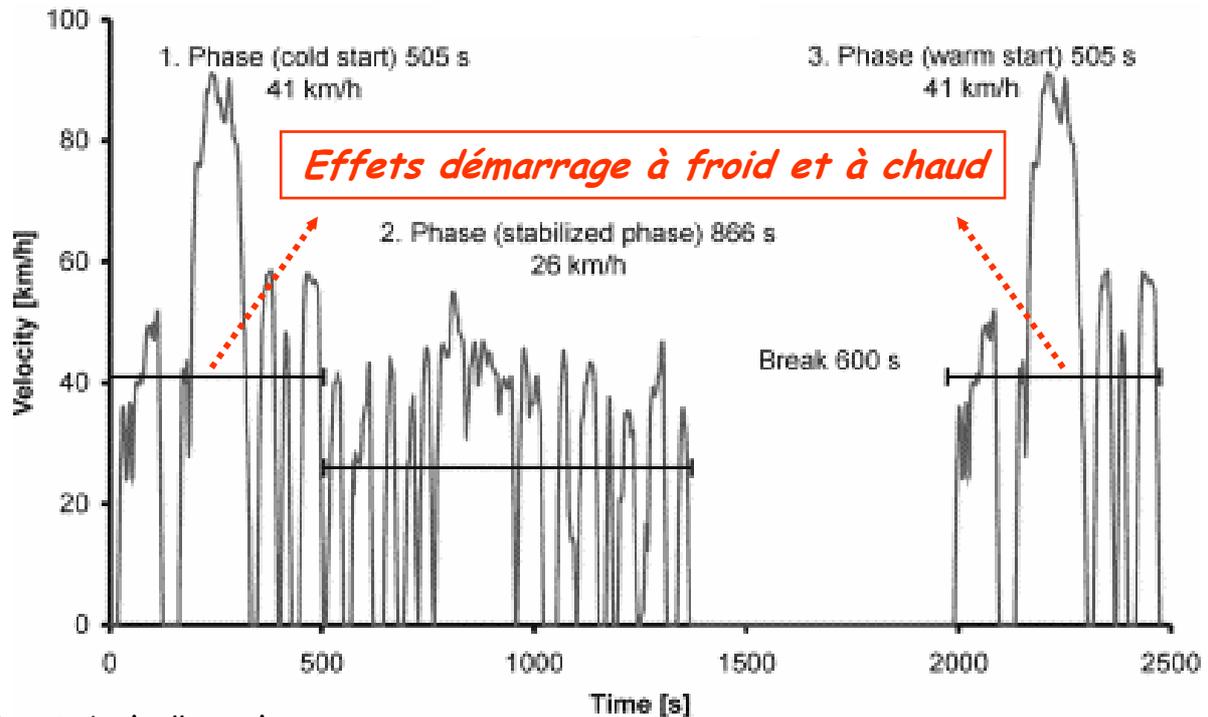
Conditions normalisées: risque de considérer plusieurs fois des mêmes effets si plusieurs paramètres sont «cachés», ou d'en oublier ...

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

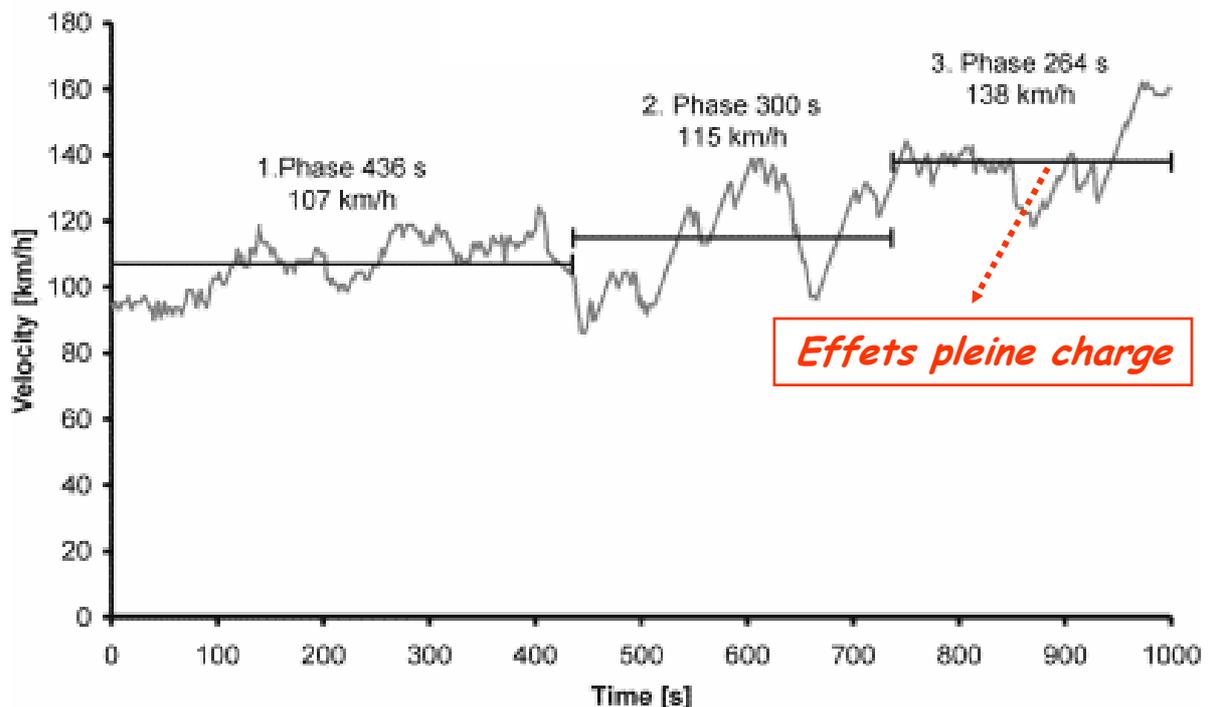
3.2. ↪ $EF_{i,s,j,t}$ dans des conditions normalisées

Exemple pour les transports routiers

United States federal test procedure US FTP - 75



"Autobahn" cycle



3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Exemples de EF pour les transports routiers

	Catalyst cars				Non-catalyst cars			
	average	max	min	weight-%	average	max	min	weight-%
ethane	27	112	0.5	3.2±2.0	28	64	9.9	0.6±0.3
propane	2.4	5.3	0.9	1.3±1.5	11	30	3.6	0.2±0.1
iso-butane	5.4	23	0.7	0.9±0.5	99	285	21	1.5±0.6
n-butane	37	143	2.8	6.1±2.4	276	875	53	3.3±1.0
iso-pentane	35	134	2.9	5.9±1.4	865	2998	100	7.4±0.8
n-pentane	15	54	2.8	3.6±2.3	271	949	25	2.2±0.3
hexane	4.1	12	1.3	1.5±1.3 ^a	92	326	8.7	0.7±0.1
heptane		interfering peaks in chromatogram			58	242	5.2	0.5±0.1
octane		data for 1 car only			87	195	8.1	0.5±0.3
nonane	0.6	0.9	0.2	0.5±0.6	2.1	5.8	0.3	0.03±0.02
decane	2.5	data for 1 car only			1.8	3.2	0.5	0.05±0.07
2+3-methyl-pentane	20	75	1.3	3.4±0.8	457	1495	42	3.7±0.4
cyclopentane	7.4	29	0.3	1.1±0.5	49	174	4.1	0.4±0.1
cyclohexane	2.5	5.8	0.1	0.8±0.6	49	162	6.4	0.5±0.1
ethene	56	250	1.8	5.4±2.8	313	792	95	6.2±2.9
propene	22	99	0.8	2.4±1.0	110	225	48	2.9±1.7
1-butene	2.8	12	0.3	0.4±0.2	18	36	7.1	0.5±0.3
iso-butene	10	42	0.7	1.6±0.7	60	151	17	1.2±0.6
cis-2-butene	1.4	5.5	0.2	0.3±0.2	6.5	12	3.2	0.2±0.1
trans-2-butene	1.7	7.2	0.2	0.3±0.1	9.1	16	4.8	0.3±0.2

	Catalyst cars				Non-catalyst cars			
	average	max	min	weight-%	average	max	min	weight-%
1-pentene	0.6	2.3	0.1	0.2±0.1	3.5	6.6	1.6	0.1±0.1
cis-2-pentene	0.6	2.0	0.1	0.1±0.1	2.8	4.9	0.8	0.1±0.1
trans-2-pentene	1.0	3.6	0.1	0.2±0.1	5.8	10	1.7	0.2±0.2
2-methyl-1-butene	1.8	7.4	0.1	0.2±0.1	7.3	14	2.0	0.2±0.1
3-methyl-1-butene	0.7	2.6	0.1	0.2±0.1	4.4	7.9	2.4	0.1±0.1
2-methyl-2-butene	1.3	5.2	0.1	0.2±0.1	7.0	15	2.8	0.2±0.1
propadiene	6.5	32	0.1	0.4±0.5	9.2	23	2.4	0.2±0.1
1,3-butadiene	4.6	21	0.2	0.5±0.3	22	43	9.4	0.6±0.3
acetylene	151	744	0.3	7.3±13	639	2279	34	4.5±1.5
propyne	2.6	12	0.1	0.3±0.2	18	51	4.2	0.3±0.2
1-butyne	9.8	47	0.1	0.6±0.8	8.6	17	2.3	0.2±0.1
benzene	36	141	2.5	6.5±1.0	430	1392	62	5.2±0.9
toluene	47	164	3.6	11±2.8	1012	3379	138	11±2.1
ethylbenzene	5.5	17	0.4	1.5±0.5	28	75	8.1	1.3±0.3
m+p-xylene	26	67	1.0	7.2±7.3	113	372	15	4.0±1.3
o-xylene	11	26	1.1	4.8±3.8	311	990	42	1.4±0.5
1,2,3-trimethylbenzene	16	data for 1 car only			76	16	14	0.6±0.7
1,2,4-trimethylbenzene	4.4	"			30	68	7.0	0.4±0.2
1,3,5-trimethylbenzene	1.1	"			15	35	4.0	0.2±0.1
formaldehyde	6.8	29	0.9	0.6±0.4	43	62	25	1.2±1.7
acetaldehyde	0.4	0.7	0.1	0.2±0.2	0.9	1.1	0.6	0.03±0.04

Table 2.8. Average, max and min VOC emission factors in mg/km along with weight -% fractions of THC according to the TFP test for the nine cars in the 1997 measurements.

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Spéciation des sources: $N_{s,j,z_x,y}$

Elle doit couvrir l'ensemble des sources et substances

↳ Isoler des processus spécifiques

↳ Processus de combustion

- *dans les usines*
- *dans les fours*
- *dans les moteurs*

↳ Production / Stockage / Distribution de combustibles

↳ Production industrielle

↳ Processus biologiques

- *des animaux*
 - ↳ *digestion des ruminants*
 - ↳ *fumier*
- *des végétaux*
 - ↳ *au niveau des sols*
 - ↳ *au niveau foliaire*

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Exemple de spéciation des sources:

le cadastre ESCOMPTE*

- **SOURCES FIXES**

- Sources ponctuelles

- Sources industrielles surfaciques

- Sources du secteur résidentiel et IIIre

- **SOURCES MOBILES**

- Sources du trafic routier (sources linéaires)

- Sources du trafic aérien

- Sources du trafic fluvial et maritime

- Sources du trafic ferroviaire

- **SOURCES BIOGENES & ANTHROPIQUES DIVERSES**

- Forets et zones non cultivées

- Espaces agricoles

- Elevage

- Mer

- Utilisation domestique de solvants, ...

- Sources accidentelles ou occasionnelles

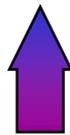
- Autres

* Expérience sur Site pour COntreindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Émissions

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Méthode de spéciation des sources:

Exemple du code européen **S.N.A.P.**
(***S**electe**N**omenclature for **A**ir **P**ollution*)
qui propose une hiérarchisation des sources



CORINAIR*

(***C**o**R**dination d'**I**nformation e**N**vironnementale sur l'**A**IR*)

IER Stuttgart (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung)

Code SNAP 1 ^{er} niveau	Source
01	Public power and district heating
02	Commercial, institutional and residential combustion
03	Industrial combustion
04	Industrial processes
05	Extraction and distribution
06	Solvent use
07	Road transport
08	Other mobile sources and machinery
09	Waste treatment and disposal activities
10	Agricultural activities
11	Autres sources et puits (Biogenic)

* Vers une uniformisation européenne :

↳ NFR : Nomenclature For Reporting

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

Code SNAP 07 2^{ème} niveau	Source
0701	Passenger cars transport
0702	Light duty vehicles
0703	Heavy duty vehicles
0704	Mopets & Motorcycles < 50 cm ³
0705	Mopets & Motorcycles > 50 cm ³
0706	Gasoline evaporation
0707	Tyre & Brake wear

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

Code SNAP 07 2 ^{ème} niveau	Source
0701	Passenger cars transport
0702	Light duty vehicles
0703	Heavy duty vehicles
0704	Mopets & Motorcycles < 50 cm ³
0705	Mopets & Motorcycles > 50 cm ³
0706	Gasoline evaporation
0707	Tyre & Brake wear

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

Code SNAP 0701 3^{ème} niveau	Source
070101	Gasoline passenger cars
070102	Catalyst passenger cars
070103	Diesel passenger cars
070104	Two stroke passenger cars

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

Code SNAP 0701 3^{ème} niveau	Source
070101	Gasoline passenger cars
070102	Catalyst passenger cars
070103	Diesel passenger cars
070104	Two stroke passenger cars

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

Code SNAP 070101 4^{ème} niveau	Source
07010101	Gasoline passenger cars - Highway driving
07010102	Gasoline passenger cars - Rural driving
07010103	Gasoline passenger cars - Urban driving

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

10 Agriculture et sylviculture

- **1001 Culture avec engrais**
 - 100101 Cultures permanentes
 - 100102 Terres arables
 - 100103 Rizières
 - 100104 Vergers
 - 100105 Prairies
 - 100106 Jachères
- **1002 Culture sans engrais**
 - 100201 Cultures permanentes
 - 100202 Terres arables
 - 100203 Rizières
 - 100204 Vergers
 - 100205 Prairies
 - 100206 Jachères
- **1003 Écobuage**
 - 100301 Céréales
 - 100302 Légumes
 - 100303 Racines et tubercules
 - 100304 Cannes à sucre
 - 100305 Autres
- **1004 Fermentation entérique**
 - 100401 Vaches laitières
 - 100402 Autres bovins
 - 100403 Ovins
 - 100404 Porcins à l'engraissement
 - 100405 Chevaux
 - 100406 Mules et ânes
 - 100407 Caprins
 - 100408 Poules
 - 100409 Poulets
 - 100410 Autres volailles (canards, oies, ...)
 - 100411 Animaux à fourrure
 - 100412 Truies
 - 100413 Chameaux
 - 100414 Buffles
 - 100415 Autres
- **1005 Composés organiques issus des déjections animales**
 - 100501 Vaches laitières
 - 100502 Autres bovins
 - 100503 Porcins à l'engraissement
 - 100504 Truies
 - 100505 Moutons
 - 100506 Chevaux
 - 100507 Poules
 - 100508 Poulets
 - 100509 Autres volailles
 - 100510 Animaux à fourrure
 - 100511 Caprins
 - 100512 Ânes et mulets
 - 100513 Chameaux
 - 100514 Buffles
 - 100515 Autres
- **1006 Utilisation de pesticides et de calcaire**
 - 100601 Agriculture
 - 100602 Forêt
 - 100603 Maraîchage
 - 100604 Lacs
- **1009 Composés azotés issus des déjections animales**
 - 100901 Anaérobic
 - 100902 Systèmes liquides
 - 100903 Stockage solide
 - 100904 Autre

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP

11 Autres sources et puits

- **1101 Forêts naturelles de feuillus**
- 110104 Chênes européens
- 110105 Chênes à feuilles sessiles
- 110106 Autres chênes feuillus
- 110107 Chênes verts
- 110108 Chênes lièges
- 110109 Autres chênes à feuilles vertes
- 110110 Hêtres
- 110111 Bouleaux
- 110115 Autres espèces de feuillus à larges feuilles
- 110116 Autres espèces de feuillus à feuilles vertes
- 110117 Sols (CO2 exclu)
- **1102 Forêts naturelles de conifères**
- 110204 Épicéas
- 110205 Sapinettes
- 110206 Autres sapins
- 110207 Pins
- 110208 Pins maritimes
- 110209 Pins d'Alep
- 110210 Autres pins
- 110211 Sapins
- 110212 Mélèzes
- 110215 Autres conifères
- 110216 Sols (CO2 exclu)
- **1103 Feux de forêt**
- 110301 Feux dus à l'homme
- 110302 Autres
- **1104 Prairies naturelles et autres végétations**
- 110401 Prairies
- 110402 Toundra
- 110403 Autres prairies
- 110404 Autres végétations (garrigues...)
- 110405 Sols (CO2 exclu)
- **1105 Zones humides**
- 110501 Marécages non drainés et saumâtres
- 110502 Marécages drainés
- 110503 Tourbières
- 110504 Plaines marécageuses
- 110505 Terrains humides
- 110506 Terrains inondables
- **1106 Eaux**
- 110601 Lacs
- 110602 Marais salants (< 6m)
- 110603 Eaux souterraines
- 110604 Drainages
- 110605 Rivières
- 110606 Fossés et canaux
- 110607 Eaux côtières (> 6m)
- **1107 Animaux**
- 110701 Termites
- 110702 Mammifères
- 110703 Autres animaux
- **1108 Volcans**
- **1109 Hydrates de gaz**
- **1110 Foudre**
- **1111 Forêts de feuillus exploitées**
- 111104 Chênes européens
- 111105 Chênes à feuilles sessiles
- 111106 Autres chênes feuillus
- 111107 Chênes verts

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Le code européen SNAP (suite)

-
- 111108 Chênes lièges
 - 111109 Autres chênes à feuilles vertes
 - 111110 Hêtres
 - 111111 Bouleaux
 - 111115 Autres espèces de feuillus à larges feuilles
 - 111116 Autres espèces de feuillus à feuilles vertes
 - 111117 Sols (CO2 exclu)
 - **1112 Forêts de conifères exploitées**
 - 111204 Épicéas
 - 111205 Sapinettes
 - 111206 Autres sapins
 - 111207 Pins
 - 111208 Pins maritimes
 - 111209 Pins d'Alep
 - 111210 Autres pins
 - 111211 Sapins
 - 111212 Mélèzes
 - 111215 Autres conifères
 - 111216 Sols (CO2 exclu)
 - **1121 Variation du stock de bois**
 - 112101 Forêts tropicales
 - 112102 Forêts tempérées
 - 112103 Forêts boréales
 - 112104 Prairies, toundra
 - 112105 Autres
 - **1122 Conversion / Forêts et prairies**
 - 112201 Forêts tropicales
 - 112202 Forêts tempérées
 - 112203 Forêts boréales
 - 112204 Prairies, toundra
 - 112205 Autres
 - **1123 Jachères**
 - 112301 Forêts tropicales
 - 112302 Forêts tempérées
 - 112303 Forêts boréales
 - 112304 Prairies, toundra
 - 112305 Autres
 - **1124 Emissions de CO2 des sols (excepté 10.06)**
 - **1125Autres**

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Données géographiques

Exemple: base de données européennes CORINE Land Cover (CLC)

Postes d'occupation des sols dans la base CORINE Land Cover	Explication
111	tissu urbain continu
112	tissu urbain discontinu
121	zones industrielles ou commerciales
122	réseaux routier ou ferrovière et espaces associés
123	zones portuaires
124	aéroports
131	extraction de matériaux
132	décharges
133	chantiers
141	espaces verts urbains
142	équipements sportifs et de loisirs
211	terres arables hors périmètres d'irrigation
212	périmètres irrigués en permanence
213	rizières
221	vignobles
222	vergers et petits fruits
223	oliveraies
231	prairies
241	cultures annuelles associées aux cultures permanentes
242	systèmes culturaux et parcellaires complexes
243	surfaces agricoles, interrompues par de grands espaces naturels
244	territoires agro forestiers
311	forêts de feuillus
312	forêts de conifères
313	forêts mélangées
321	pelouses et pâturages naturels landes et broussailles
322	landes et broussailles
323	végétation sclérophylle
324	forêts et végétation arbustive en mutation
331	plages, dunes et sables
332	roches nues
333	végétation clairsemée
334	zones incendiées
335	glaciers et neiges éternelles
411	marais intérieurs
412	tourbières
421	marais maritimes
422	marais salants
423	zones intertidales
511	cours et voies d'eau
512	plans d'eau
521	lagunes littorales
522	estuaires
523	mers et océans

1^{er} niveau (échelle planétaire)

3^e niveau (1/100 000)

2^e niveau (1/500 000 - 1/1 000 000)

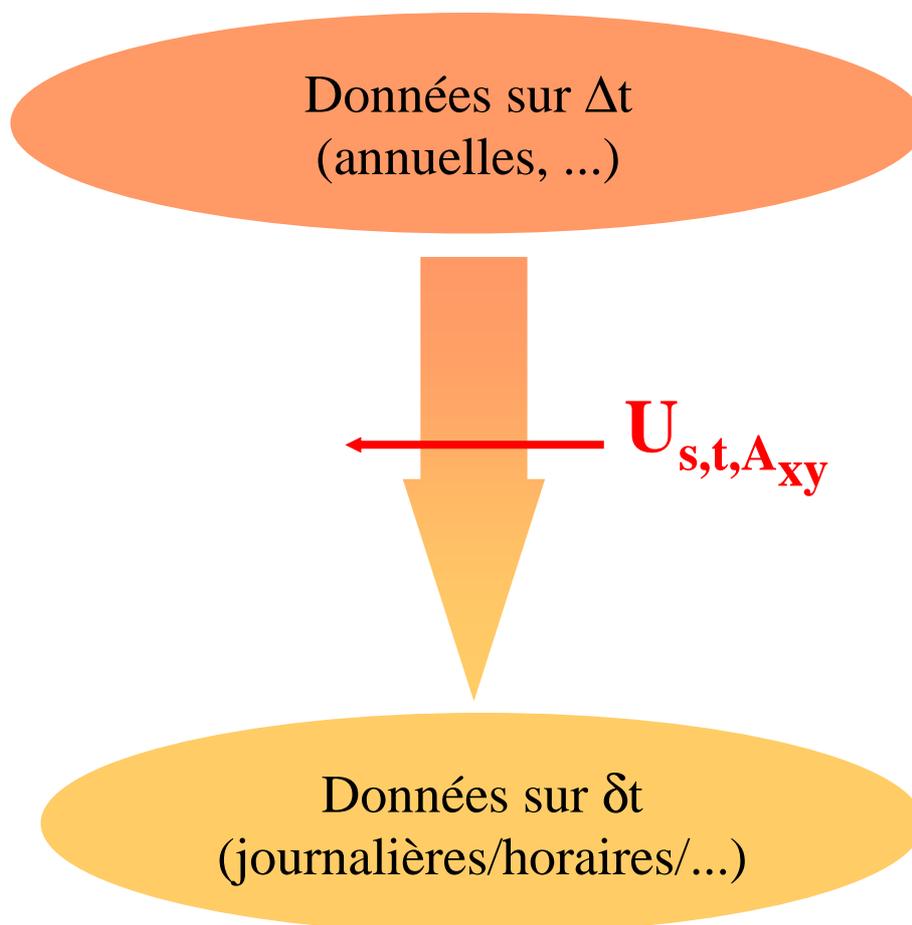
Tableau 4 : Postes d'occupation des sols suivant CORINE Land Cover.

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Désagrégation temporelle: $U_{s,j,z_x,y,t}$

$EF_{i,\Delta t}$ varie en fonction du temps

↳ Δt pas toujours cohérent avec les pas de temps des modèles et/ou la réactivité des composés i



3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.2. Désagrégation temporelle: $U_{s_j, z_x, y, t}$

$$\rightarrow U = f(???)$$

< 1980s

← désagrégation triviale de données mensuelles/annuelles

> 1980s

← *LOTOS** :

- été/hiver
- semaine / week-end
- jour/nuit

← *GENEMIS**

- degré de développement économique
- périodes de vacances
- conditions météorologiques
- changements de comportements

* *LOTOS*

Long Term Ozone Simulation

GENEMIS

GENeration of European EMISsion data for Episodes

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Exemple de $U_{s,A,t}$ utilisés dans GENEMIS

(GENeration of european EMISsion data for episodes)

↙ Centrales électriques

↙ Combustions industrielles

- maisons particulières (chauffage, eau chaude)
- bâtiments publics
- administrations
- ateliers
- fermes
- installations commerciales

↙ Production / distribution de combustibles fossiles

↙ Transport routier

↙ Evaporation d'essence

↙ Biogéniques

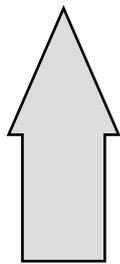
3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par les centrales électriques

Best of:

↙ $U_{s,t} = f(\text{consommation de combustible})$



consommation moyenne
(données EUROSTAT)

Améliorations:

données sur les coupures de consommation
extension hors U.N.E.C.E.

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par les centrales électriques

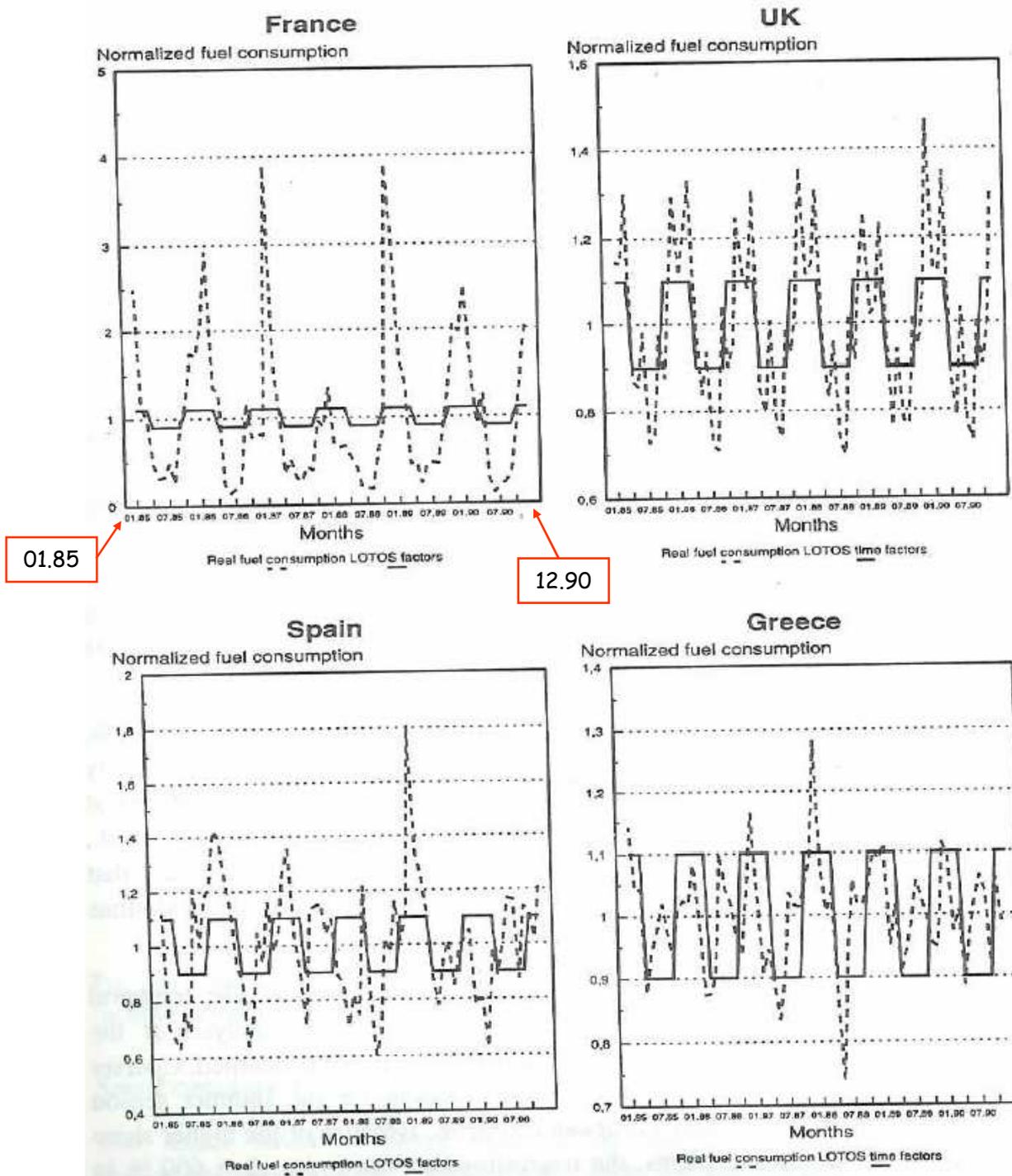


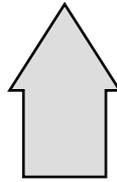
Fig. 6.4: Monthly total fuel use of public power plants 1985-1990 for France, UK, Spain and Greece in relative units (Source : EUROSTAT, LOTOS)

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

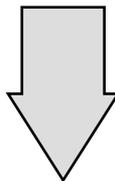
3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par les combustions industrielles

↳ $U_{s,t} = f(\text{consommation en fuel, type d'industrie})$



peu de données



Simulations par régressions statistiques
de la consommation en fuel sur une zone Z * :

$$C_Z = c_0 + c_1 \cdot T_Z + c_2 \cdot DD_Z + c_3 \cdot MPI_Z \cdot WT_Z$$

DD_Z : *degree day of zone Z*

T_Z : *température de la zone Z*

MPI_Z : *monthly production index*

WT_Z : *working time index of zone Z*

f(calendrier, «pont», tradition régionale, w.e./semaine)

← *enquête*

← *savoir faire «d'experts»*

c_i : *facteurs de régression*

*GENEMIS

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par les production/distribution de combustibles fossiles (*idem pour les solvants*)

↙ Emission horaire d'une source s sur une région r

$$U_{s,t} \rightarrow HE_{s,r} = AE_{s,r} \cdot MF_{s,r} \cdot DF_{s,r} \cdot HF_{s,r}$$

$AE_{s,r}$: *annual emission*

$MF_{s,r}$: *monthly factor*

$DF_{s,r}$: *daily factor*

$HF_{s,r}$: *hourly factor,*

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par le transport routier

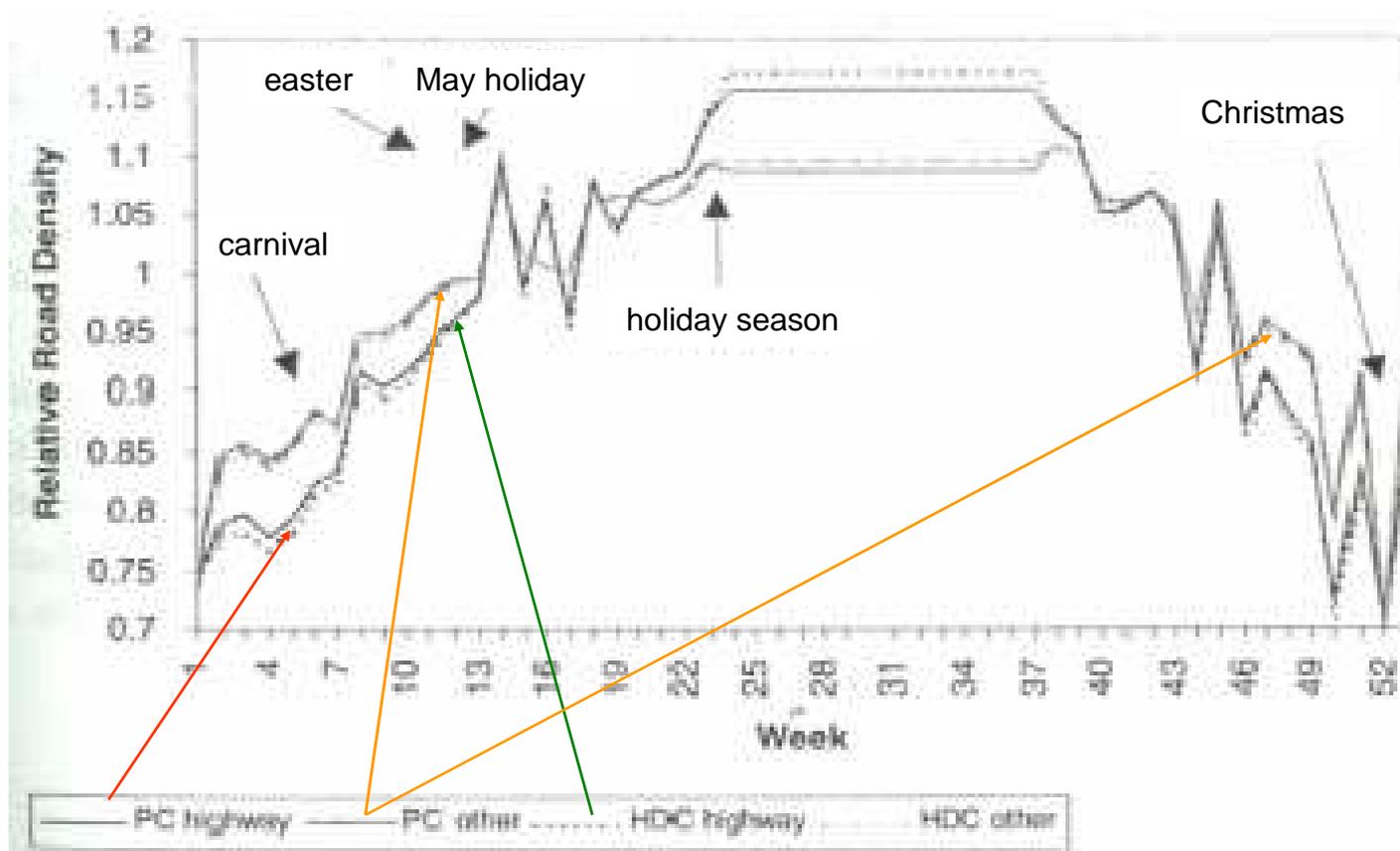
(source majeure de NOx, NMVOC, CO en Europe)

↳ $U_{s,t} = f(\text{jour de la saison,}$
jour de la semaine,
heures de travail,
type de route,
conditions météo,
densité du trafic) ← Comptage

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par le transport routier



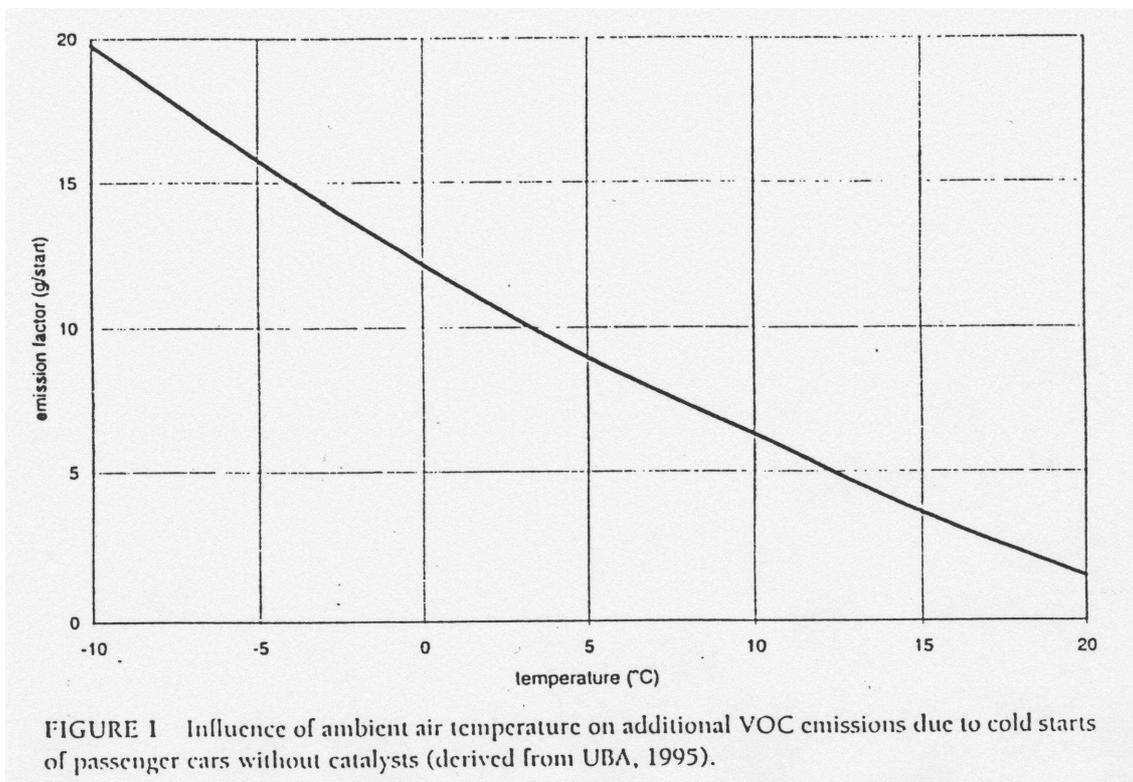
Weekly average traffic densities on highways and other roads for passenger cars (PC) and heavy duty vehicles (HDC) in Schleswig-Holstein in 1990 (Germany)

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par le transport routier

$$EF_{i,voiture} = f(T)$$

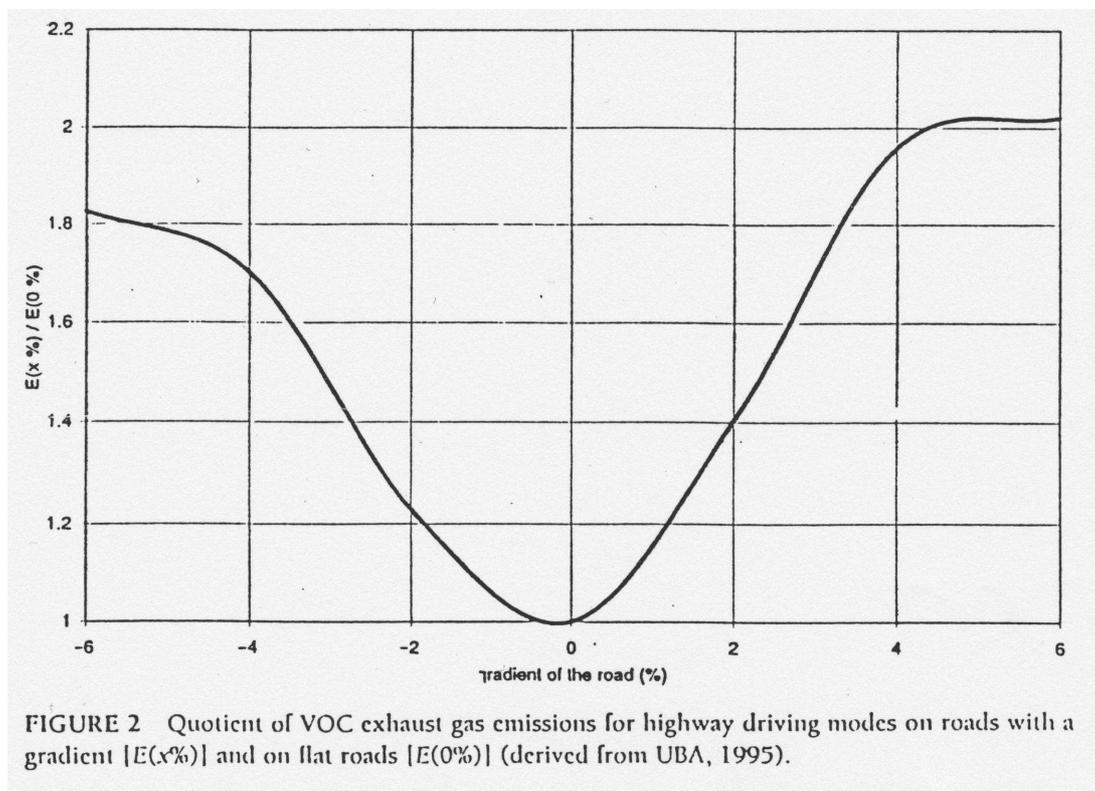


3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par le transport routier

$$EF_{i,voiture} = f(\text{pente})$$



3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES

Par évaporation d'essence

(contribution épisodiquement non négligeable → 7% en Europe)

- ← voiture à l'arrêt
- ← émissions «hot soak»

↙ $U_{s,t} = f(\text{température } T, \text{ nb de démarrages})$

$$EF_h = n_1 \left[\left(GE_h^{winter} + n_2 TC_h \cdot HSE_h^{winter} \right) + \left(GE_h^{summer} + n_2 TC_h \cdot HSE_h^{summer} \right) \right]$$

GE_h : hourly gasoline evaporation

$$GE_h = f(T_{h-3}, PE)$$

HSE_h : hourly hot soak emission

$$HSE_h = f(T_{h-3})$$

TC_h : hourly traffic count

n_1, n_2 : facteurs de normalisation

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES Exemple de fichier d'émission: source surfacique de « solvant use/paint application »

En (t/km²/h)

srf0601010000.txt

EMIRAS

Emission_SP

6	72	15	<i>(nombre de sources ponctuelles, nombre d'heures, nombre de colonnes)</i>								
Heure	Maille	Maille_X	Maille_Y	X_LambertII	Y_LambertII	Hauteur_Ejection	Emi_CO	Emi_CO2	Emi_COV	Emi_NOx	Emi_SO2
1	735	30	16	637000	376000	1,1926E+02	1,5741E-04	1,0521E+00	1,7130E-05	3,1250E-03	4,7107E-03
1	735	30	16	637000	376000	1,7587E+02	2,3495E-05	1,4931E-01	2,8472E-06	4,2824E-04	7,1644E-04
1	1106	25	24	607000	424000	1,7922E+02	3,7915E-04	2,5548E+00	4,2069E-05	8,2662E-03	1,4691E-02
1	1239	17	27	559000	442000	2,4139E+02	1,0421E-04	4,8090E-01	1,8935E-05	7,4468E-04	6,0604E-03
1	1386	23	30	595000	460000	1,2134E+02	1,1921E-04	8,0324E-01	1,3426E-05	2,8357E-03	5,3704E-03
1	1386	23	30	595000	460000	1,7893E+02	1,1331E-04	7,6273E-01	1,2500E-05	2,7083E-03	5,2778E-03
2	735	30	16	637000	376000	1,1926E+02	1,5741E-04	1,0521E+00	1,7130E-05	3,1250E-03	4,7107E-03
2	735	30	16	637000	376000	1,7587E+02	2,3495E-05	1,4931E-01	2,8472E-06	4,2824E-04	7,1644E-04
2	1106	25	24	607000	424000	1,7922E+02	3,7915E-04	2,5548E+00	4,2069E-05	8,2662E-03	1,4691E-02
2	1239	17	27	559000	442000	2,4139E+02	1,0421E-04	4,8090E-01	1,8935E-05	7,4468E-04	6,0604E-03
2	1386	23	30	595000	460000	1,2134E+02	1,1921E-04	8,0324E-01	1,3426E-05	2,8357E-03	5,3704E-03
2	1386	23	30	595000	460000	1,7893E+02	1,1331E-04	7,6273E-01	1,2500E-05	2,7083E-03	5,2778E-03
3	735	30	16	637000	376000	1,1926E+02	1,5741E-04	1,0521E+00	1,7130E-05	3,1250E-03	4,7107E-03
3	735	30	16	637000	376000	1,7587E+02	2,3495E-05	1,4931E-01	2,8472E-06	4,2824E-04	7,1644E-04
3	1106	25	24	607000	424000	1,7922E+02	3,7915E-04	2,5548E+00	4,2069E-05	8,2662E-03	1,4691E-02
3	1239	17	27	559000	442000	2,4139E+02	1,0421E-04	4,8090E-01	1,8935E-05	7,4468E-04	6,0604E-03
3	1386	23	30	595000	460000	1,2134E+02	1,1921E-04	8,0324E-01	1,3426E-05	2,8357E-03	5,3704E-03
3	1386	23	30	595000	460000	1,7893E+02	1,1331E-04	7,6273E-01	1,2500E-05	2,7083E-03	5,2778E-03
4	735	30	16	637000	376000	1,1926E+02	1,5741E-04	1,0521E+00	1,7130E-05	3,1250E-03	4,7107E-03
4	735	30	16	637000	376000	1,7587E+02	2,3495E-05	1,4931E-01	2,8472E-06	4,2824E-04	7,1644E-04
4	1106	25	24	607000	424000	1,7922E+02	3,7915E-04	2,5548E+00	4,2069E-05	8,2662E-03	1,4691E-02
4	1239	17	27	559000	442000	2,4139E+02	1,0421E-04	4,8090E-01	1,8935E-05	7,4468E-04	6,0604E-03
4	1386	23	30	595000	460000	1,2134E+02	1,1921E-04	8,0324E-01	1,3426E-05	2,8357E-03	5,3704E-03
4	1386	23	30	595000	460000	1,7893E+02	1,1331E-04	7,6273E-01	1,2500E-05	2,7083E-03	5,2778E-03

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. LES EMISSIONS ANTHROPIQUES Exemple de fichier d'émission: source ponctuelle « public power »

spt010100.txt

EMIRAS

Emission_SF

2025	72	9	<i>(nombre de mailles, nombre d'heures, nombre de colonnes)</i>						
Heure	Maille	Maille_X	Maille_Y	Emi_CO	Emi_CO2	Emi_COV	Emi_NOx	Emi_SO2	
1	1	1	1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	2	2	1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	3	3	1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	4	4	1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	5	5	1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
...									
1	1848	3	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1849	4	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.826393E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1850	5	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.594216E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1851	6	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.110973E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1852	7	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.128681E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1853	8	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.176297E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1854	9	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.177871E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1855	10	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.177871E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1856	11	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.177871E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1857	12	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.177871E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1858	13	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.177871E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1859	14	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.138913E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1860	15	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.130255E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1861	16	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
1	1862	17	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1848	3	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1849	4	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.194445E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1850	5	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.139815E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1851	6	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.261111E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1852	7	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.302777E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1853	8	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.414815E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1854	9	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.418518E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1855	10	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.418518E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1856	11	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.418518E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	
8	1857	12	42	0.000000E+00	0.000000E+00	0.418518E-05	0.000000E+00	0.000000E+00	

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.3. Une multitude de partenaires impliqués

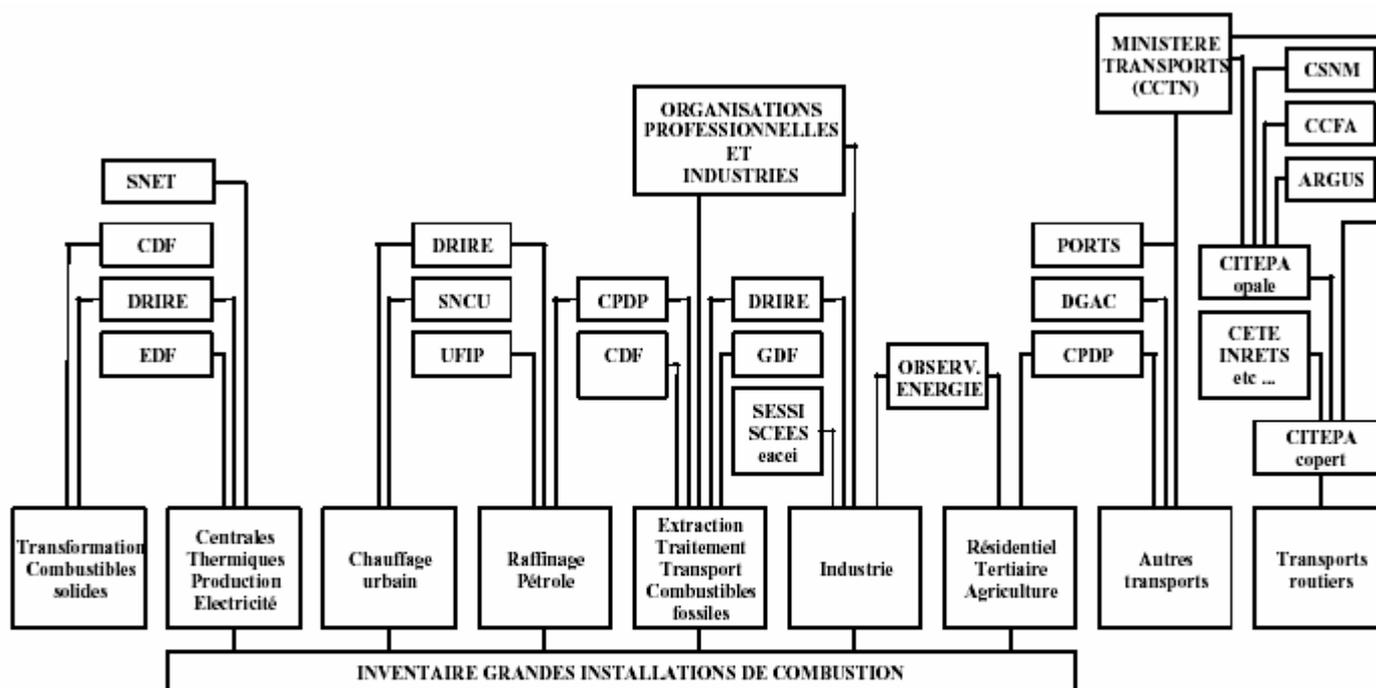


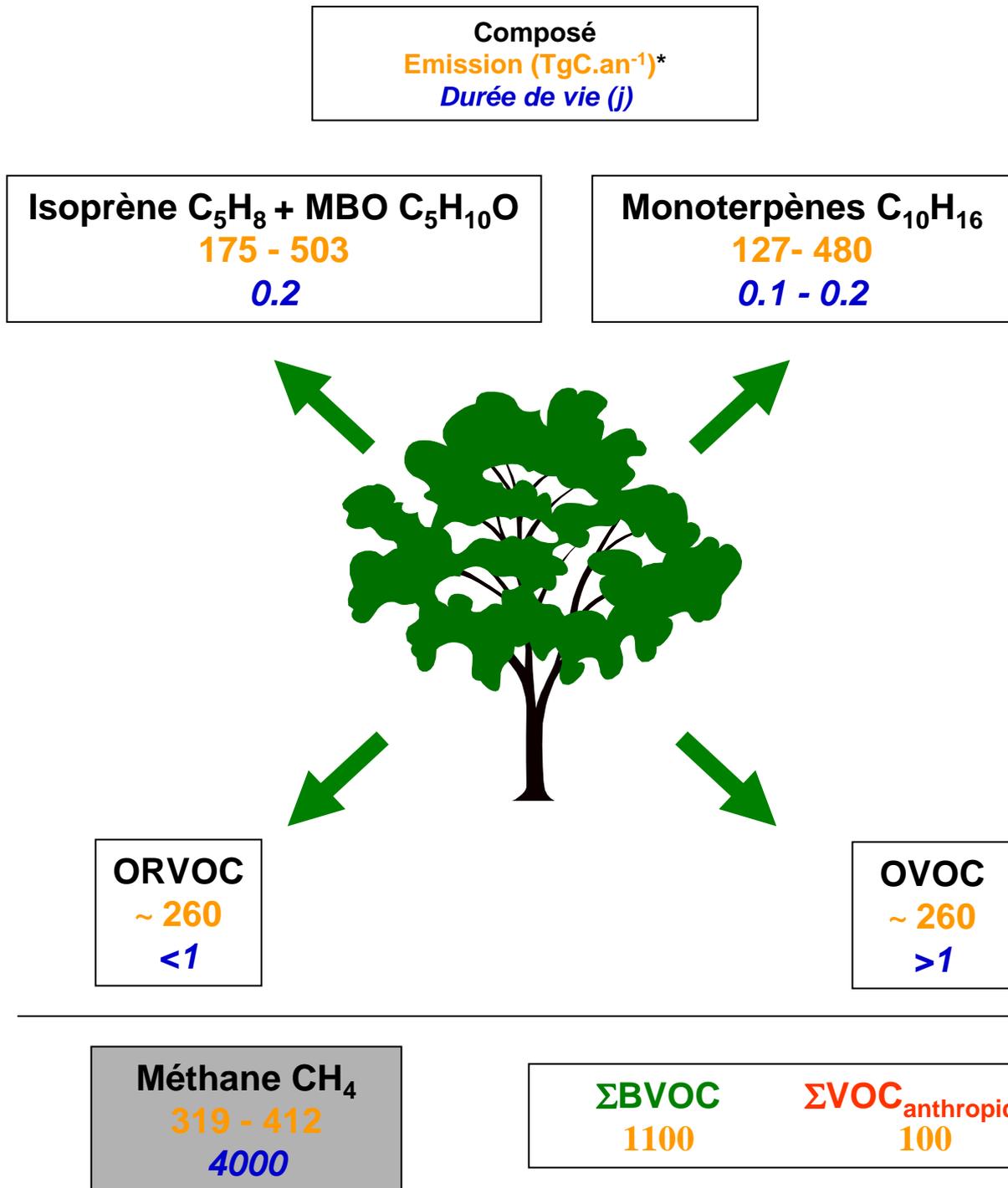
Schéma relationnel des émissions liées à l'énergie

(d'après CITEPA, *Méthodologie du calcul des émissions dans l'air*, 2004)

- CCFA : Comité des Constructeurs Français d'Automobiles
- CETE : Centre d'Études Techniques et d'Équipement
- CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
- CPDP : Comité Professionnel du Pétrole
- CSNM : Chambre Syndicale Nationale du Cycle et Motocycle
- DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile
- DRIRE : Direction régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
- INRETS: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
- SCESS : Sous Comité des Sciences Économiques et Sociales
- SESSI : Service des Études et des Statistiques des Industries
- SNCU : Syndicat National de Chauffage Urbain
- SNET : Syndicat national d'Électricité et de Transport
- UFIP : Union Française des Industries du Pétrole

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

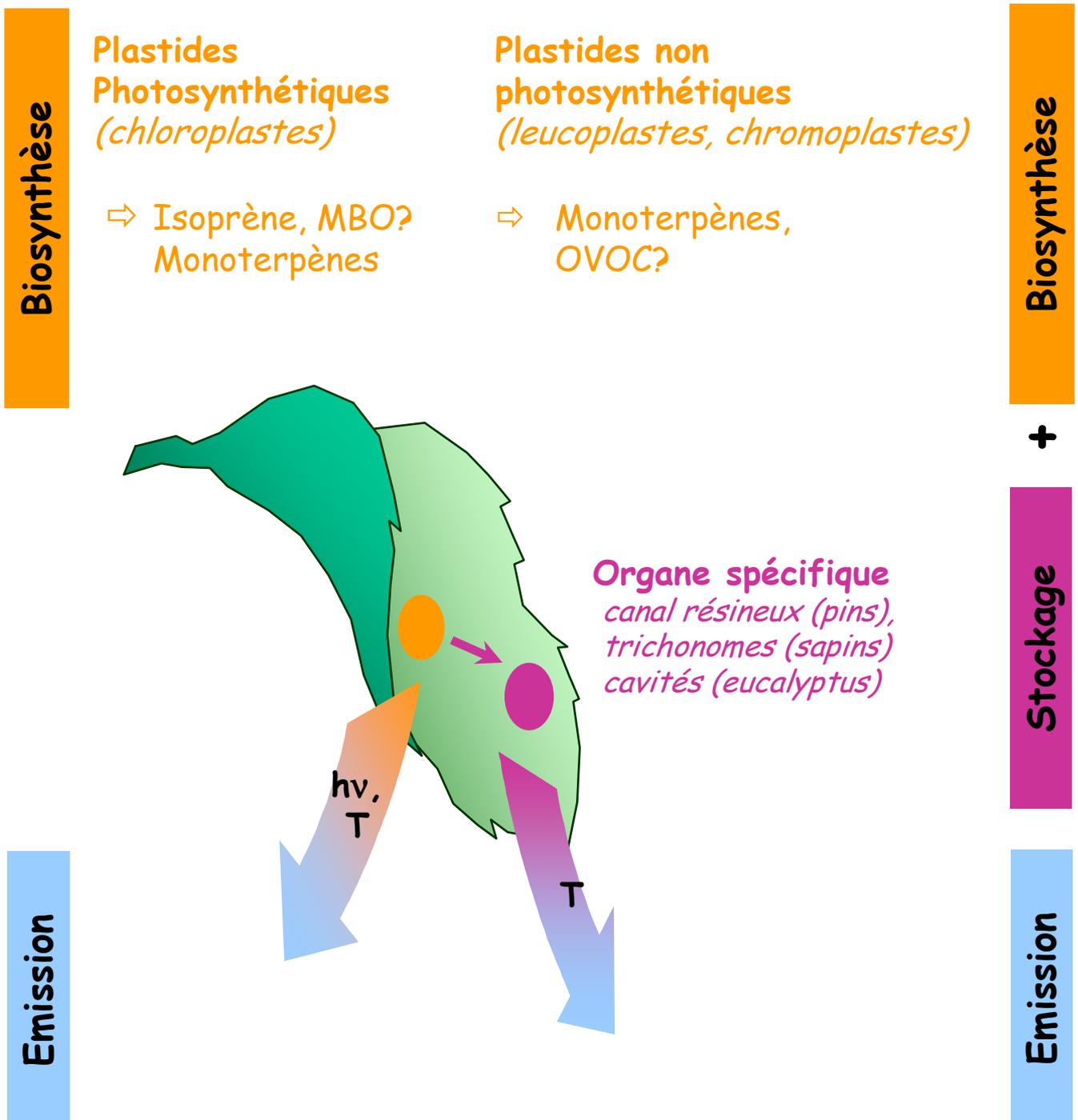
3.4. LES EMISSIONS DE BVOC FOLIAIRES: rappels



*d 'après Fall, 1999

3. ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ

3.4. LES MÉCANISMES D'ÉMISSION DE BVOC: rappels

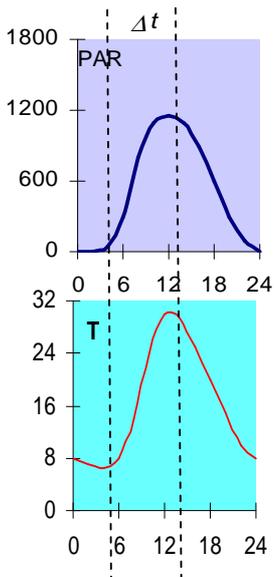


3.4.EMISSION FOLIAIRES DE BVOC

(MEGAN Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature - Guenther *et al.*, 2006)

$$\phi_{i,Z, \Delta t} = \sum_{Z, \Delta t, D} (E_{i(Z)} \cdot D_j(Z) \cdot \gamma_{\Delta t} \cdot \gamma_A \cdot \gamma_S \cdot \gamma_C)$$

$\phi_{i,Z, \Delta t}$: flux de i ($gC.m^{-2}.h^{-1}$)
 $E_{i(Z)}$: facteur d'émission ($gC.g_b^{-1}.h^{-1}$)
 $D_j(Z)$: biomasse ($g_b.m^{-2}$)
 $\gamma_{\Delta t}$: instantanée ($f(PAR, T)$)
 γ_A : ?
 γ_S : ?
 γ_C : ?



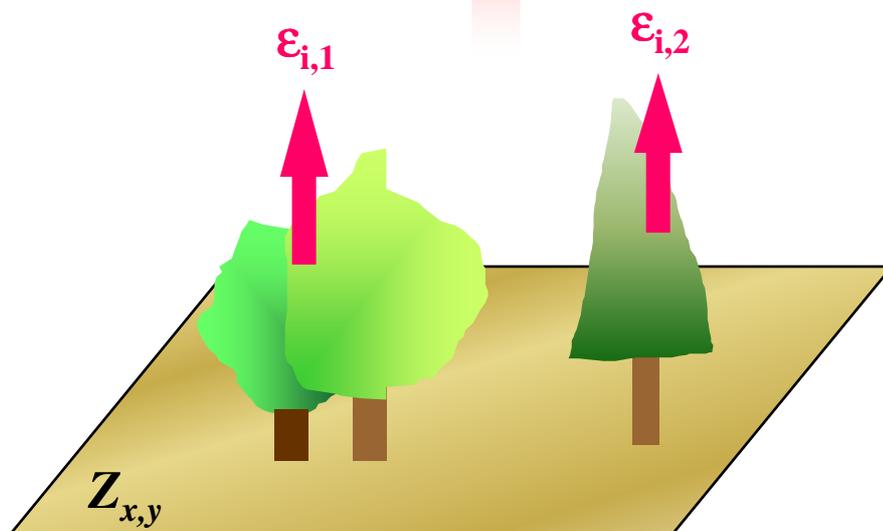
Modulation temporelle:

- instantanées: $\gamma_{\Delta t}(T, PAR)$
- age de la feuille γ_A
- saisonnière $\gamma_S = ?$

$$E_{i(Z)} (= \sum_j \epsilon_{i,j})$$

Effet de la canopée :

$$\gamma_C = f(LAI, \mu_{\text{météorologie}}, \tau_i)$$



Détermination du facteur d'émission ϵ_i par "land cover j "

Détermination, spatialisée et quantification des j land cover $D_j(Z)$

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

Le facteur d'émission ϵ_Z

*Taux d'émission attendu dans des conditions déterminées
(en général: $T=30^\circ\text{C}$ & $\text{PAR}=1000 \mu\text{mole.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)*

Considéré constant dans le temps et dans l'espace

⊗ Détermination en laboratoire: cuvettes, chambres

- croissance dans des conditions environnementales contrôlées
- mesure de ϵ en contrôlant les paramètres un à un
- représentativité in-situ = ?

⑤ ϵ_i

⊗ Détermination in-situ: cuvettes, chambres, mesures de flux

⑤ $\epsilon_Z = \sum_Z(\epsilon_i.n_i)$ (système hétérogènes) ou ϵ_Z (écosystèmes homogènes)

⊗ Attribution phylogénique pour écosystème non étudié

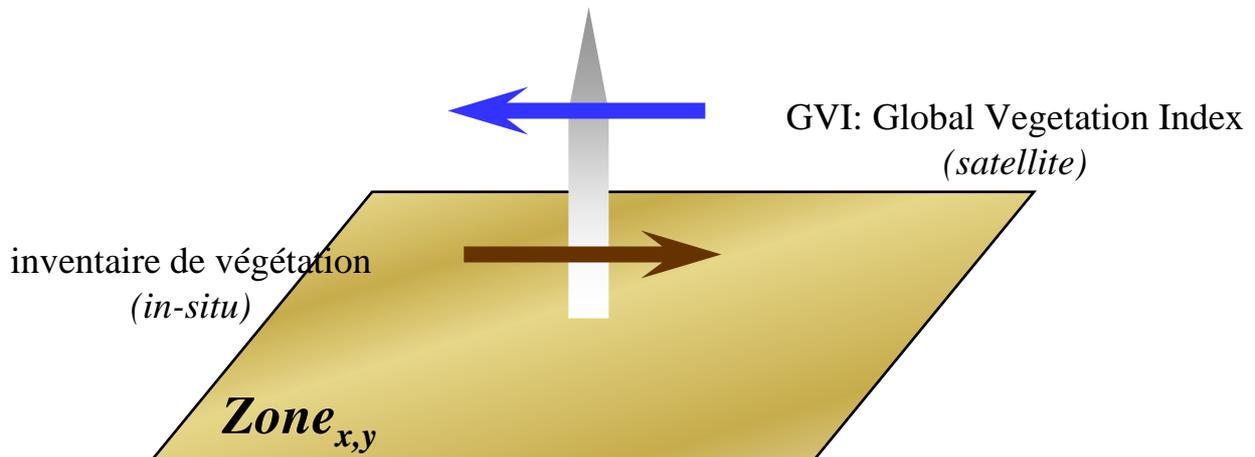


bases de données d' ϵ_i ou $\epsilon_{\text{land cover}}$: ϵ_{ISO} , ϵ_{MT} , ϵ_{OVOC} , $\epsilon_{\text{composé}}$

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

La biomasse foliaire $D_{Z,\Delta t}$

1. Caractérisation et spatialisation de la biomasse



2. Quantification

$$D_{Z,\Delta t} = \sum_Z (D_{\text{ecosyst},\Delta t} \cdot n_{e,\Delta t})$$

• $n_{e,\Delta t}$: % de présence de chaque écosystème

• $D_{\text{ecosyst},\Delta t} = D_{f,\Delta t} \cdot D_p$

➤ $D_{f,\Delta t}$: % foliaire (détermination satellitaire, rapport d'absorption R/IR)

➤ D_p : maximum annuel de densité foliaire = $D_r \cdot \text{NPP}$

D_r : coefficient pour un écosystème (*empirique*)

$$\text{NPP} = \min(\text{NNP}_T, \text{NNP}_p)$$

$$\text{NNP}_T = f(\text{Température})$$

$$\text{NNP}_p = f(\text{Précipitation})$$

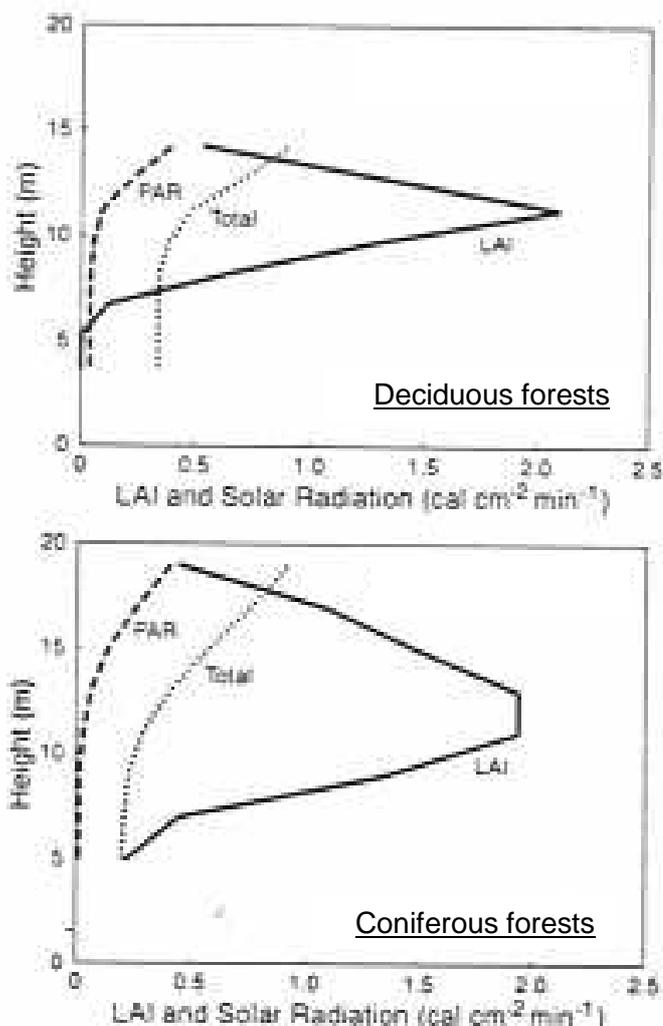
} *algorithmes empiriques*
(Lieth, 1995)

3. Parfois: modulation verticale du LAI au sein de la canopée

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

La biomasse foliaire $D_{Z,\Delta t}$

Exemple de modèle de distribution verticale de biomasse*



Forest canopy profiles and equations for deciduous and coniferous forests with canopy height $h=15$ m for deciduous canopies and $h=20$ m for coniferous canopies (LAI and solar radiation profiles are shown in graph with $Q_h=1$ cal.m⁻².s⁻¹ as a typical value).

* Lamb et al., 1993

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

La biomasse foliaire $D_{Z,\Delta t}$: exemple de landuse

- ④ **Inventaire Amérique du Nord:** *(Geron et al., 94)*
 - Forêt de chênes
 - Forêt autres caduques
 - Forêt de conifères
 - Zone herbeuse
 - Zone aride/déserte

- ④ **Inventaire Global:** *(Guenther et al., 95)*
57 écosystèmes différents GEIA)

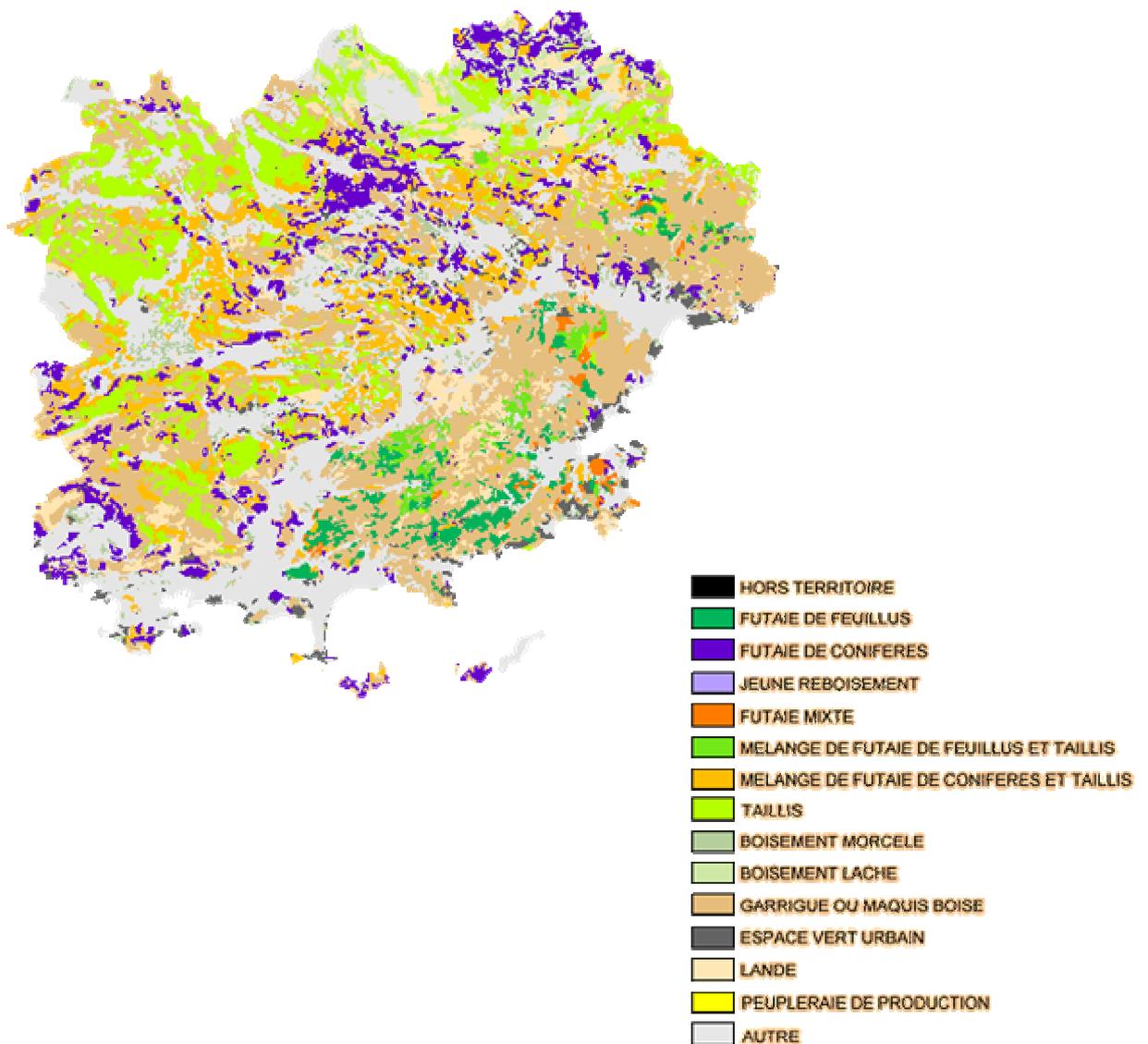
- ④ **Europe:** *(Simpson et al., 99)*
 - 39 espèces forestières différentes
 - Zone herbeuse
 - Pâturage
 - Maquis
 - Garrigue
 - Landes
 - Arbustes méditerranéens
 - Culture

- ④ **Projet GTCE (Global Change in Terrestrial Ecosystems):**
 - Distinction de la distribution de la biomasse dans la canopée
 - Distinction des différents régimes nutritionnels

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

La biomasse foliaire $D_{Z,\Delta t}$: exemple de cartographie

Couverture forestière du Var (1998, IFN*)

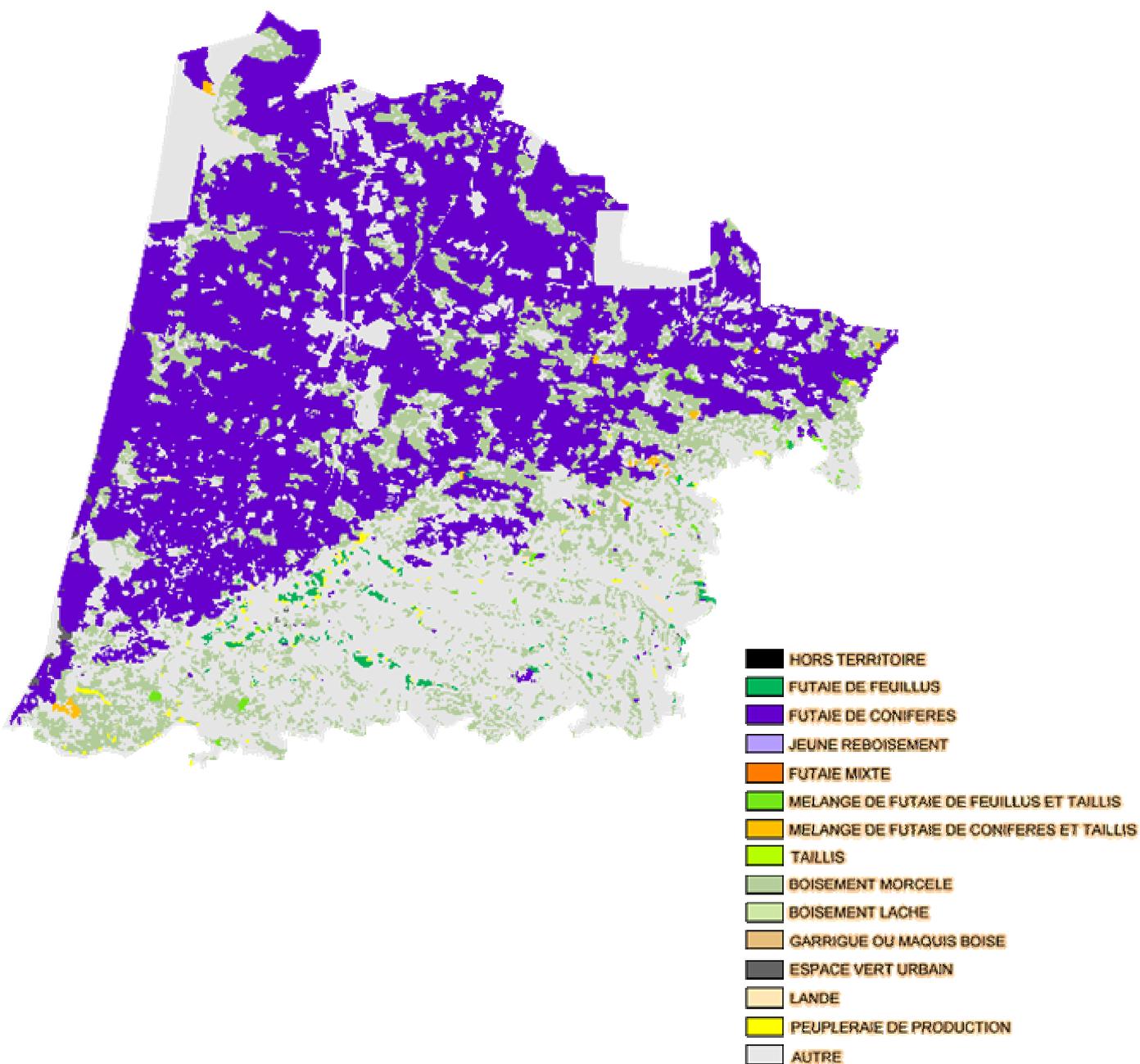


* Institut Forestier National

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

La biomasse foliaire $D_{Z,\Delta t}$: exemple de cartographie

Couverture forestière des Landes (1998, IFN)

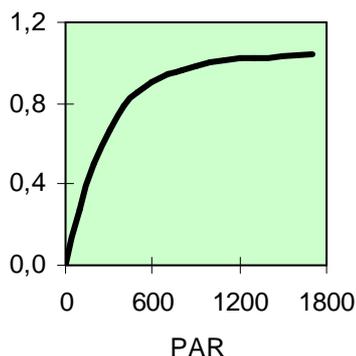


3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

Modulation temporelle instantanée: $\gamma_{\Delta T}$

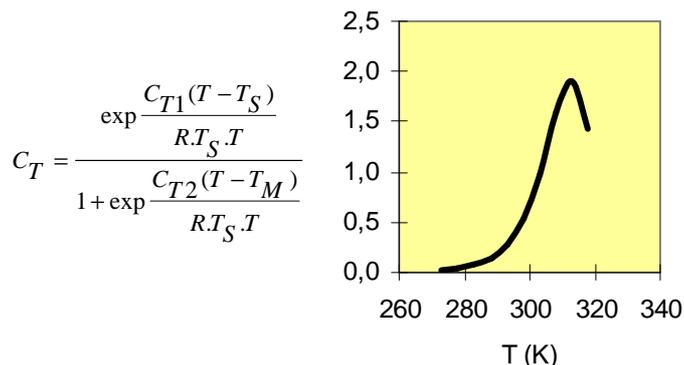
⊗ BVOC non-stockés

Activité photosynthétique



$$C_L = \frac{\alpha C_{L1} \cdot PAR}{\sqrt{1 + \alpha^2 \cdot PAR^2}}$$

Activité enzymatique



$$C_T = \frac{\exp\left(\frac{C_{T1}(T - T_S)}{R \cdot T_S \cdot T}\right)}{1 + \exp\left(\frac{C_{T2}(T - T_M)}{R \cdot T_S \cdot T}\right)}$$

Isoprène: $\gamma_{ISO} = C_L \cdot C_T$

(Guenther et al., 1995, zones tempérées)

Monoterpènes: $\gamma_{Mt} = C_L \cdot C_T$

(Steinbrecher et al., 1997, *Quercus ilex*)

⊗ BVOC stockés

Monoterpènes: $\gamma_{Mt} = \exp[\beta(T - T_S)]$ ($\beta = 0.09 \text{ K}^{-1}$)

OVOC: $\gamma_{OVOC} = ?$
 ⑤ $\exp[\beta(T - T_S)]$

(Guenther et al., 1995)

3.4. MODELE G95 DE BVOC FOLIAIRES

Modulation temporelle basse fréquence: γ_A, γ_S

- **Age des feuilles (isoprène)** (Guenther et al., 1999)

$$\gamma_A = f(A_1, \Delta D_f, A_2)$$

- ΔD_f : variation (relative) mensuelle de la densité foliaire
- A_1 : émission moyenne de feuilles jeunes et anciennes
- A_2 : % de feuilles matures du mois pendant le pic foliaire

- **Paramètres environnementaux et physiologiques basse fréquence**

Approche statistiques intégrative:

$$\Rightarrow E_{BVOC} = \Sigma(w_i \cdot x_i)$$

- x_i =paramètres
(cumulés sur 1j à 3 semaines)
- w_i = poids optimum déterminés par approche statistique
(réseau de neurones)

3.5. LE DEPOT SEC F^i : rappels

Flux F^i de composé i qui est soustrait de l'atmosphère vers des surfaces de déposition en l'absence de précipitation

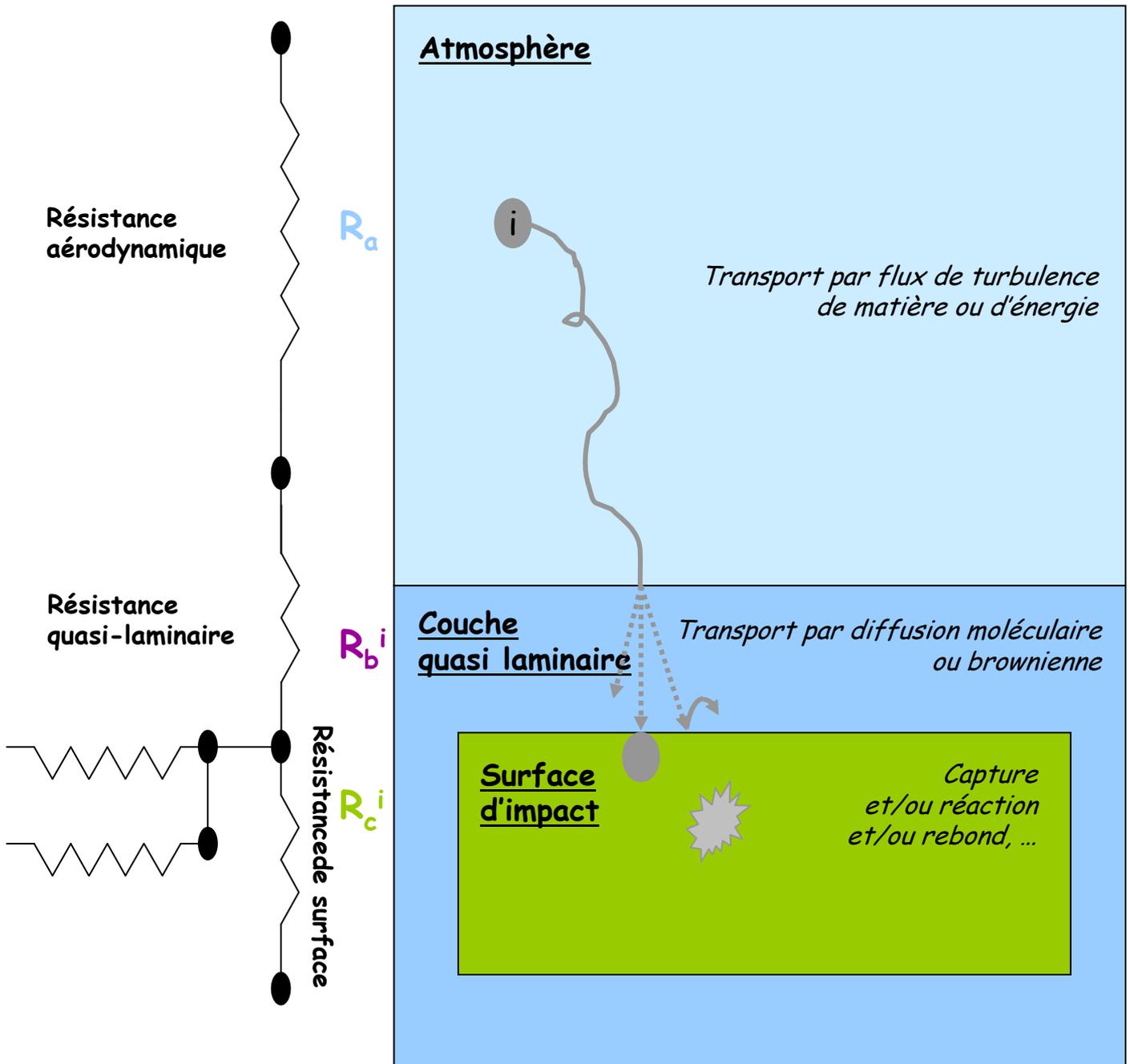
$$F^i = -v_d^i \cdot C_z^i$$

- C_z^i : concentration atmosphérique en i à l'altitude z ($\mu\text{g.cm}^{-3}$)
- v_d^i : vitesse de déposition de i (cm.s^{-1}):

$$\textcircled{5} v_d = R_i^{-1}$$

3.5. LE DEPOT SEC

Estimation de v_d^i : modèle de Wesely



3.5. LE DEPOT SEC

Estimation de v_d^i : modèle de Wesely

Pour un gaz i

⇒ Somme en série des résistances

$$R_t^i = R_a + R_b^i + R_c^i$$

$$\Rightarrow v_d^i = (R_t^i)^{-1}$$

Pour une particule i

- un quatrième processus, la **sédimentation**, intervient, cette fois ci en parallèle; on définit une vitesse de sédimentation, v_s

- on fait l'hypothèse que la particule adhère à la surface après impact
⇒ $R_c^i = 0$ (efficacité de captage de 100%)

on montre alors que :

$$\Rightarrow v_d^i = (R_a + R_b^i + R_a \cdot R_b^i \cdot v_s)^{-1} + v_s$$

3.5. LE DEPOT SEC

Résistance aérodynamique R_a

- Elle est indépendante du composé i
- Elle est calculable, pour des terrains plats et uniformes (flux turbulent cte)

↪ On suppose que ce flux turbulent de matière est gouverné par des mécanismes semblables au transport turbulent de chaleur ou d'énergie et donc calculable par la méthode des gradients:

$$\Rightarrow F = K \cdot \frac{\delta C}{\delta z}$$

avec K , le coefficient de diffusion turbulente

$$K = \frac{\kappa \cdot u^* \cdot z}{\phi(\zeta)}$$

avec κ la constante de Von Karman, u^* la vitesse de friction, $\phi(\zeta)$ la fonction (empirique) de correction du profil d'énergie ou de température

On montre que:

$$R_a = \int \left[\frac{\phi(\zeta)}{\kappa \cdot u^* \cdot z} \right] \cdot dz$$

3.5. LE DEPOT SEC

Résistance quasi laminaire R_b^i

Le flux à travers la sous couche quasi-laminaire est exprimé sous la forme d'un coefficient de transfert, B, sans dimension, multiplié par la différence de concentration en i de part et d'autre de cette couche:

$$\Rightarrow F_b = B \cdot u^* \cdot (C_2 - C_1)$$

et

$$R_b^i = \frac{1}{B \cdot u^*}$$

R_b^i dépend du type de diffusivité de i :
diffusion moléculaire (gaz)
diffusion brownienne (particules):

$$\Rightarrow \text{Pour les gaz} \quad R_b^i = \frac{5S_c^{2/3}}{u^*}$$

$$\Rightarrow \text{Pour les particules} \quad R_b^i = \frac{1}{u^* \cdot (S_c^{-2/3} + 10^{-3/S_t})}$$

avec S_t nombre de Stokes = $v_s \cdot u^* / g \cdot \nu$
 S_c nombre de Schmidt = ω / D
 D diffusivité
 ω viscosité de l'air

3.5. LE DEPOT SEC

Résistance de surface R_c^i

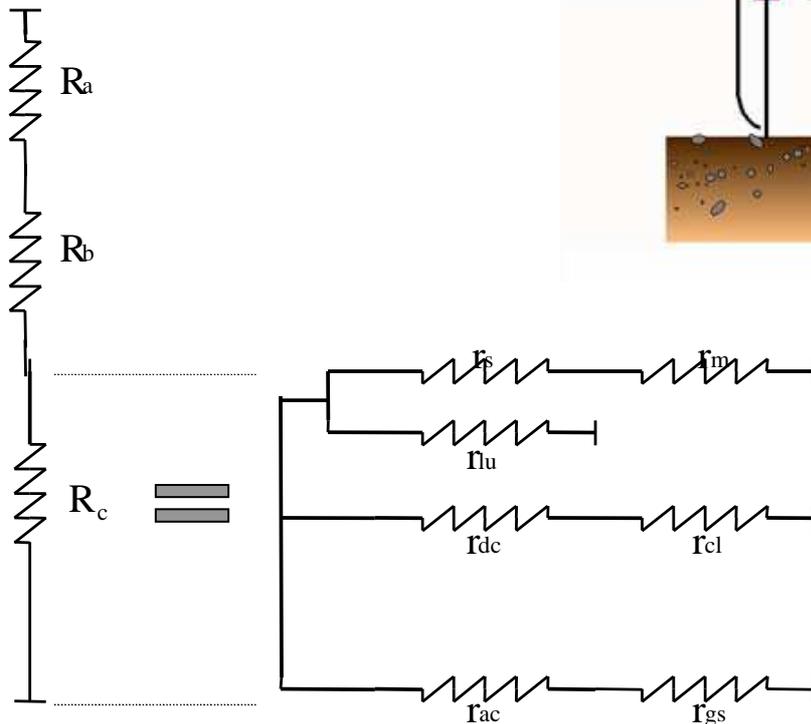
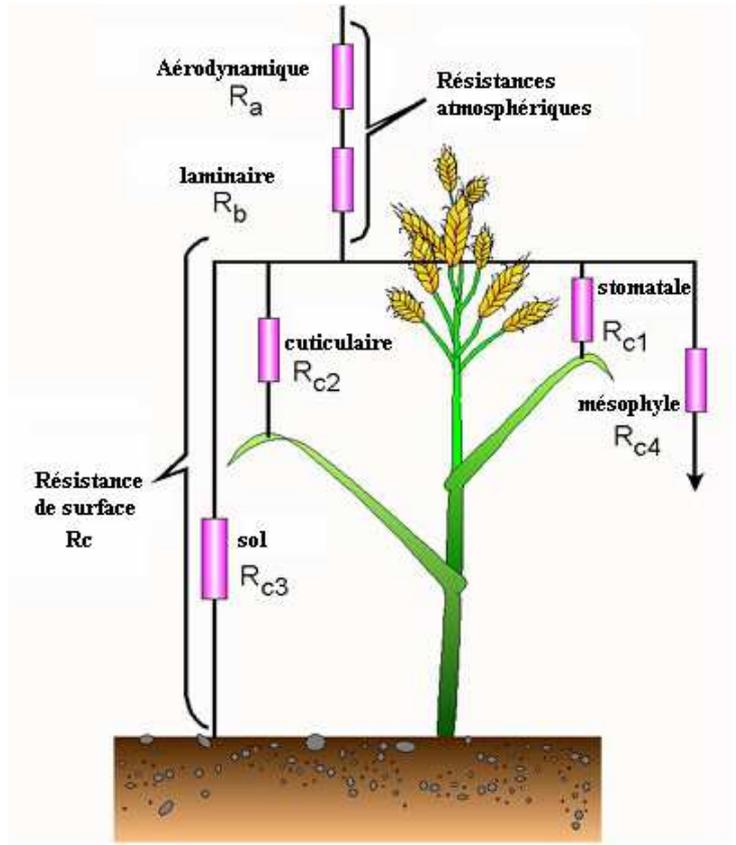
- C'est la résistance la plus difficile à déterminer (\Rightarrow grande incertitude)
- R_c^i dépend des propriétés (solubilité, réactivité) du composé i .
- R_c^i peut être la somme de différentes résistances en fonction des processus impliqués

Cas de la végétation:

- la capture d'un gaz par la végétation dépend avant tout de l'accessibilité du gaz aux sites réactifs de la plante.
- des études in-situ ont montré que R_c^i représente la principale résistance au dépôt de SO_2 sur une plante.

3.5. LE DEPOT SEC

Résistance de surface: conception



3.5. LE DEPOT SEC

Résistance de surface: une paramétrisation complexe

$$R_c = \left[\frac{1}{r_s + r_m} + \frac{1}{r_{lu}} + \frac{1}{r_{dc} + r_{cl}} + \frac{1}{r_{ac} + r_{gs}} \right]^{-1}$$



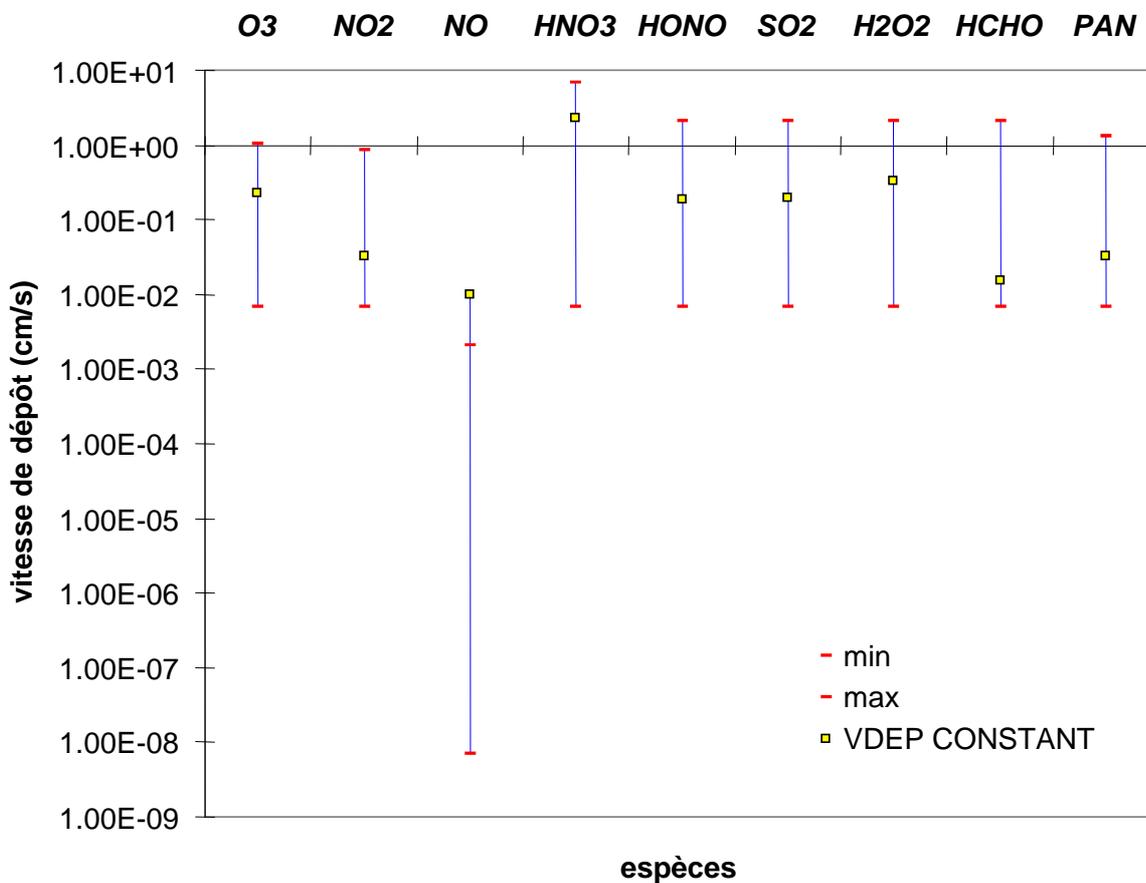
Sous-résistance	Equation
1. Résistance pour les stomates des feuilles	$r_s = r_i \cdot \frac{D_{H_2O}}{D_i} \cdot \left[1 + \left(\frac{200}{G + 0.1} \right)^2 \left(\frac{400}{T_s(40 - T_s)} \right) \right] \quad (16)$ <p>quand $0 < T_s < 40^\circ\text{C}$ r_s prend une valeur très grande quand $T_s < 0^\circ\text{C}$ ou $T_s > 40^\circ\text{C}$ (le transfert par les stomates est arrêté)</p>
2. Résistance mésophyle des feuilles	$r_m^i = \left(\frac{H^*}{3000} + 100f_0 \right)^{-1} \quad (17)$
3. Résistance cuticulaire de la végétation	$r_{lu}^i = r_{lu} (10^{-5} H^* + f_0)^{-1} \quad \text{¶} \quad (18)$
4. Résistance de transfert en phase gazeuse due à la convection turbulente dans la canopée	$r_{dc} = 100 \left(1 + \frac{1000}{G + 10} \right) \left(\frac{1}{1 + 1000\theta} \right) \quad (19)$
5. Résistance des feuilles, brindilles ou autres surfaces dans la canopée	$r_{cl}^i = \left(\frac{10^{-5} H^*}{r_{cls}} + \frac{f_0}{r_{clo}} \right)^{-1} \quad \text{¶} \quad (20)$
7. Résistance du sol, de la litière	$r_{gs}^i = \left(\frac{10^{-5} H^*}{r_{gsS}} + \frac{f_0}{r_{gsO}} \right)^{-1} \quad \text{¶} \quad (21)$

¶ Si $T < -2^\circ\text{C}$ il faut ajouter : $+1000\exp(-T_s-4)$

3.5. LE DEPOT SEC

Résistance de surface: sensibilité

Etude de sensibilité en fonction de la saison, du type de sols, de la température et de la radiation solaire*



aux simplifications

*Syméon Koumoutsaris, 2000

3.5. LE DEPOT SEC des particules

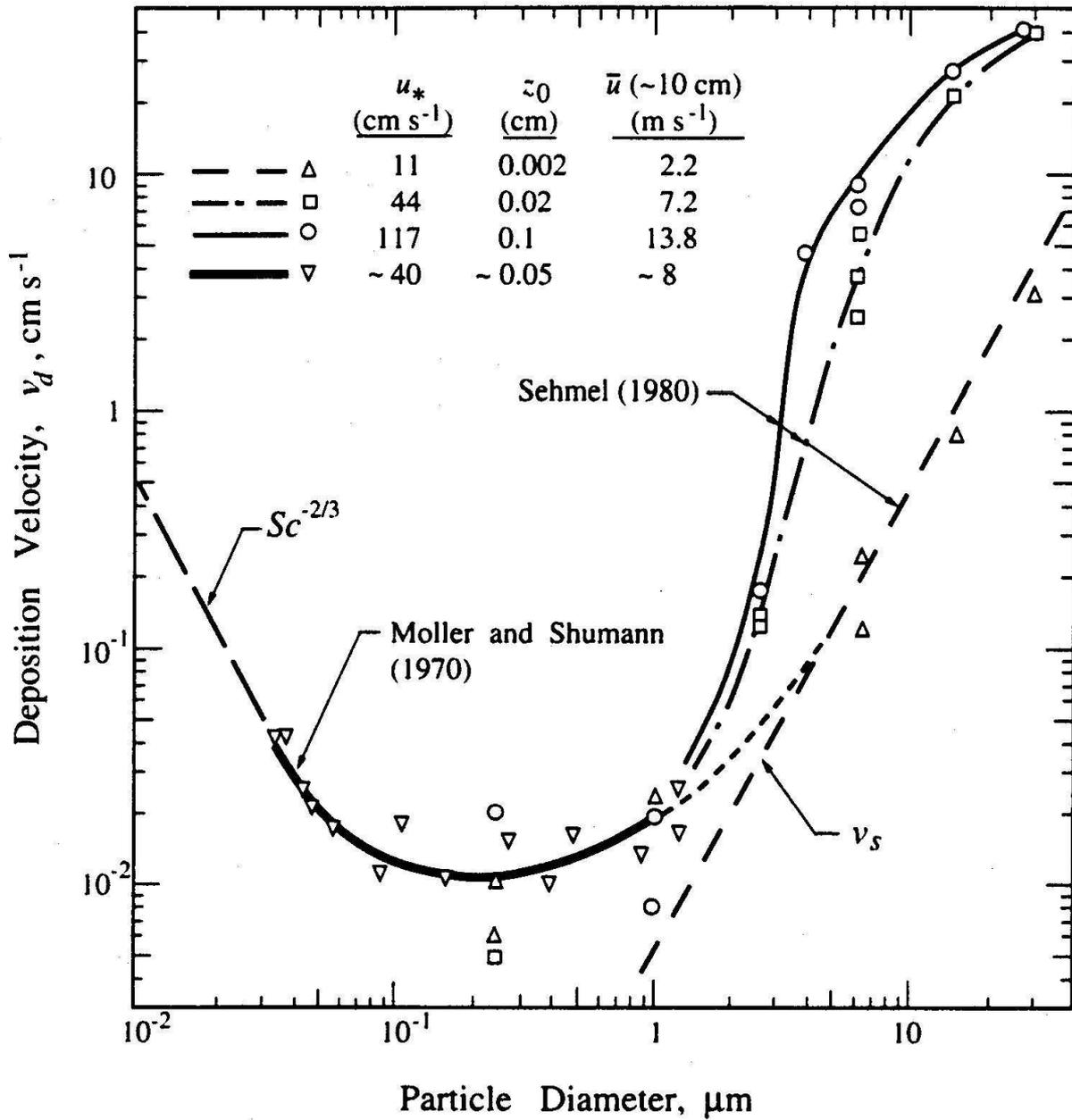


FIGURE 19.3 Particle dry deposition velocity data for deposition on a water surface in a wind tunnel (Slinn et al., 1978).

3.5. LE DEPOT HUMIDE

Le flux de dépôt humide F_{wet} d'un composé i est fonction:

- de la concentration C_{rain}^i de i dans la précipitation, en $mg-i.L^{-1}$
- du taux de précipitation D , en $mm.h^{-1}$

$$\Rightarrow F_{\text{wet}} = C_{\text{rain}}^i \cdot D \quad \text{en } kg-i.m^{-2}.h^{-1}$$

4. VALIDATION / TESTS DE SENSIBILITE

→ **Sur les données d'entrée** (*exemple: EF*)

- étude de tunnel
- étude sur un écosystème

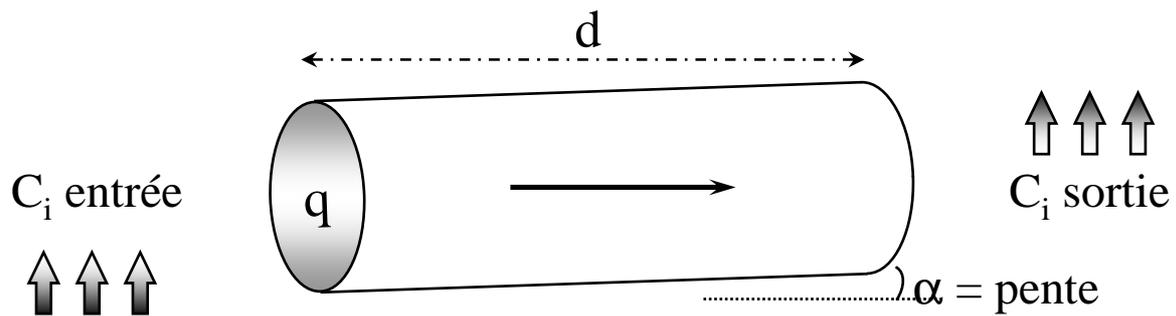
→ **Sur les méthodes et les données**

- tests de sensibilité

↳ **Estimer les incertitudes**

↳ **Dégager les données manquantes**

4. VALIDATION ETUDES DE TUNNEL



← mesures de C_i (NO_x , HC_{total} , CO , SO_2) entrée / sortie

← comptage du nombre N et du type de véhicule

Régressions  statistiques

$$EF_{i,type} = \frac{\Delta C_i \cdot V_{air} \cdot t \cdot q}{N \cdot d}$$

4. VALIDATION

ETUDES DE TUNNEL: résultats

Table 8.2.1: Emission factors (mg/km) of gasoline and diesel vehicles from the Gubrist Tunnel study and comparison with the model results of Institute for Energy Economics and Rationale Use of Energy, University of Stuttgart (IER) for the Gubrist Tunnel fleet (preliminary results, final results will be presented by John *et al.*).

	Compound	Gubrist Tunnel ^{1,2}	IER ³	
			1.3 %	0 %
gasoline-powered vehicles	NO _x	623 ± 52	956	820
	t-HC ⁴	444 ± 25	391	262
	CO	4150 ± 230	8287	2955
diesel-powered vehicles	NO _x	13,130 ± 310	16,961	13,673
	t-HC ⁴	260 ± 120	1991	1778
	CO	1065 ± 1040	1786	1576

¹ the uncertainties are the confidence intervals calculated by the statistical model

² 90 km/h, steepness of road: 1.3 %.

³ provided by John and Friedrich, Institute for Energy Economics and Rationale Use of Energy, University of Stuttgart (IER) using the EF of Hassel *et al.*, 1983 and Hassel *et al.*, 1993.

⁴ The analytical error is believed to be in the order of ± 15 %.

4. VALIDATION SUR UN ECOSYSTEME FORESTIER

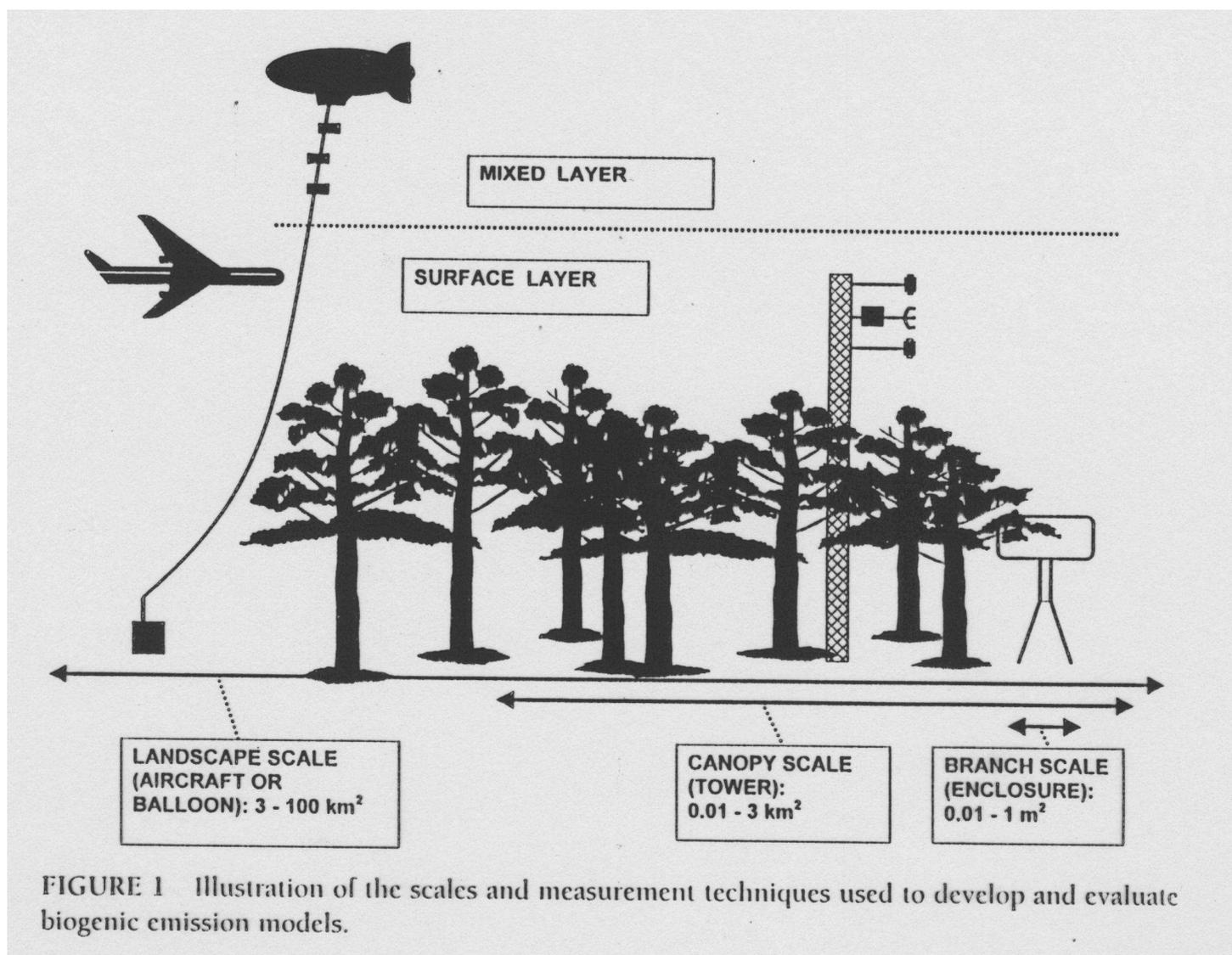
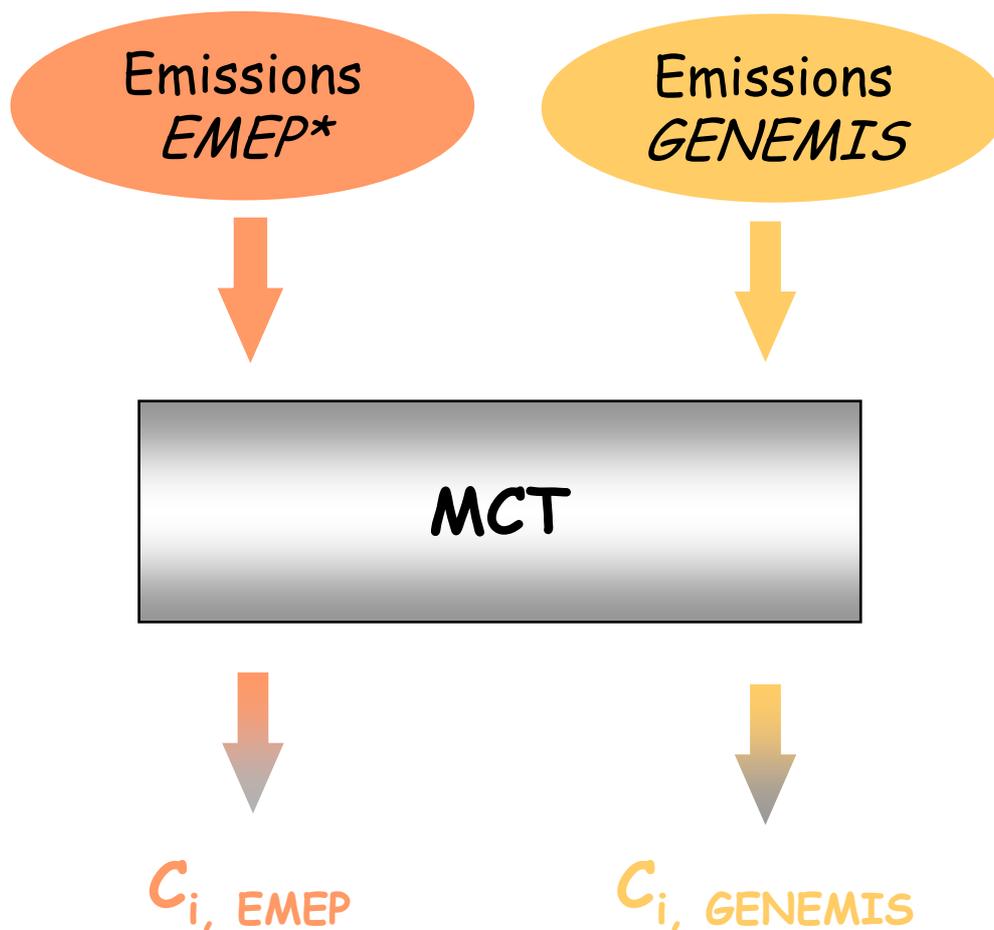


FIGURE 1 Illustration of the scales and measurement techniques used to develop and evaluate biogenic emission models.

4. TESTS DE SENSIBILITE

Entre 2 inventaires d'émission: principe



* EMEP: European Emission Project

4. TESTS DE SENSIBILITE

Entre 2 inventaires d'émissions: résultats

NO

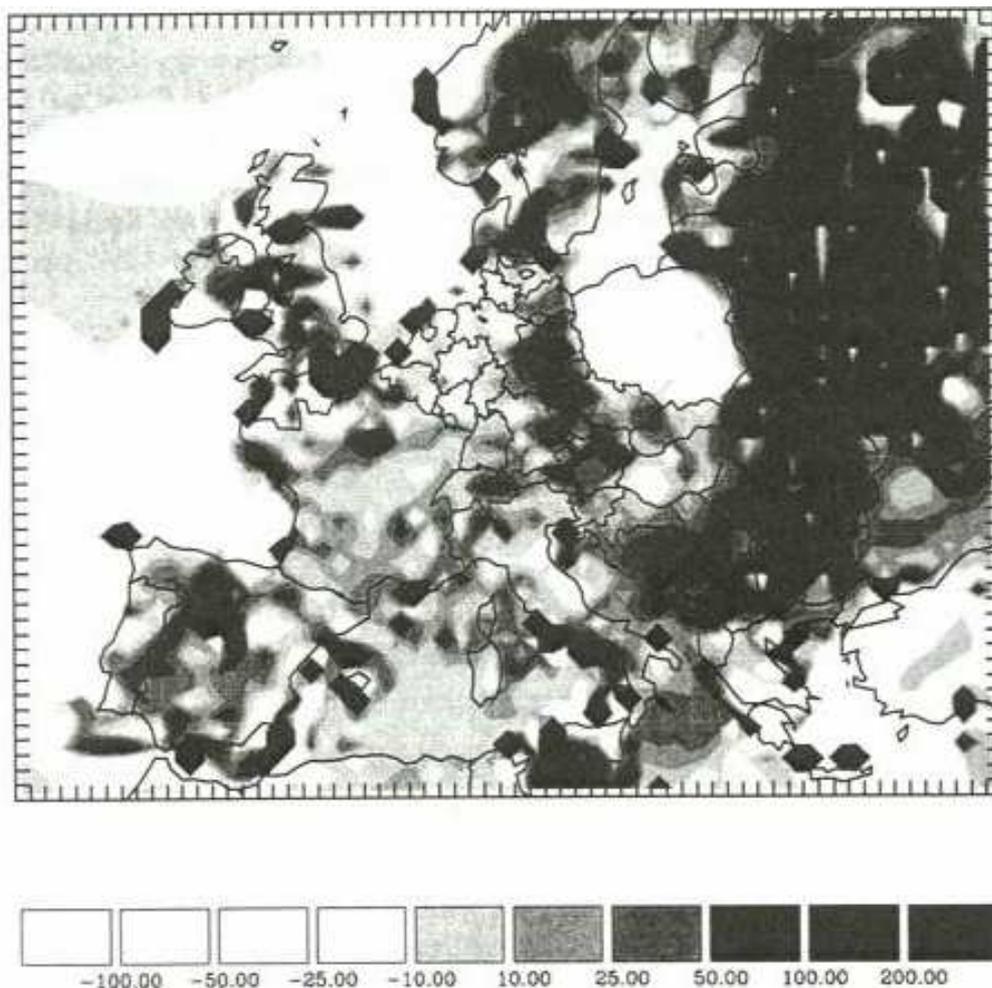


Fig. 8.1.3: Relative deviation [%] of the NO concentration fields between the base case (EEM-EMEP emissions) and the reference case (GENEMIS emission data). The largest differences occur in eastern Europe and in the Mediterranean regions. The increase in nitrogen oxide exceeds 100 % in eastern Europe and parts of southern Europe. The spatial pattern show more features with a horizontal scale on the order of the grid resolution (urban scale). Changes in central Europe are relatively small compared to eastern and southern Europe.

4. VALIDATION / TESTS DE SENSIBILITE

TESTS DE SENSIBILITE: résultats

O₃

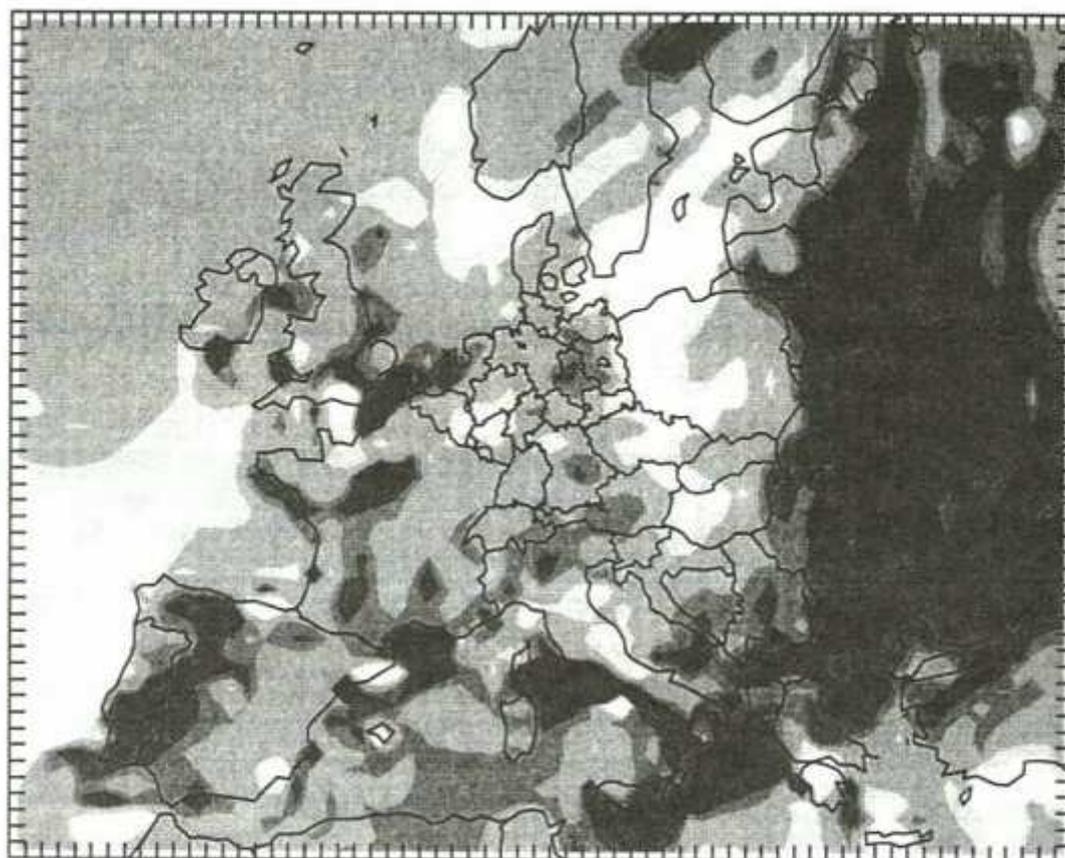


Fig. 8.1.2: Relative deviation [%] of the ozone concentration fields between the base case (EEM-EMEP emissions) and the reference case (GENEMIS emission data). The largest differences occur in eastern Europe and in the Mediterranean regions. The ozone increase exceeds 25 %. However, one has to take into account that ozone concentrations themselves are quite low in eastern Europe. Central Europe shows only minor changes in ozone.