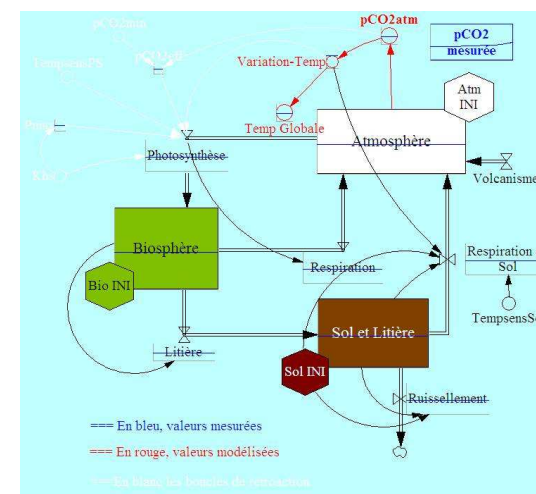
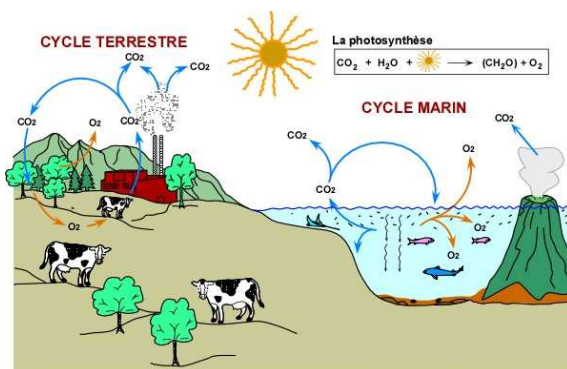




Modélisation du cycle du carbone en classe de seconde



Michèle Prieur

Formation INRP – Mai 2008

Contexte d'enseignement - Contexte de recherche

ENSEIGNEMENT



- **Expérimentation article 34 :**
Expérimentation pédagogique



- **Enseignement de pratiques scientifiques en classe de seconde (P2S) :**
Démarche d'investigation en sciences
Enseignement pluridisciplinaire

RECHERCHE



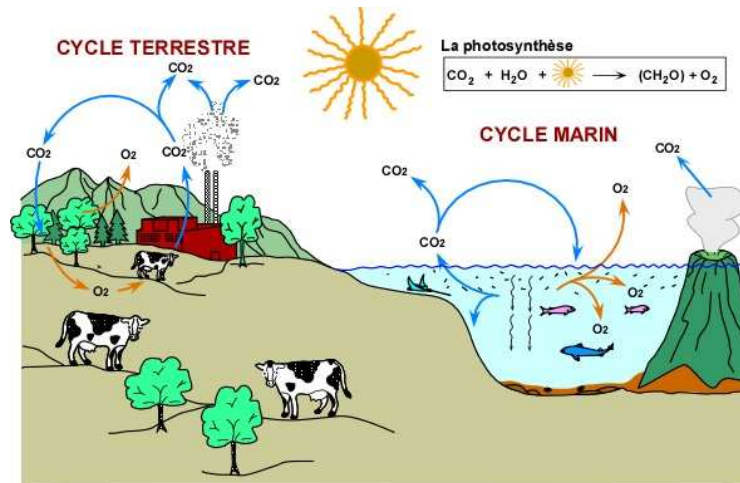
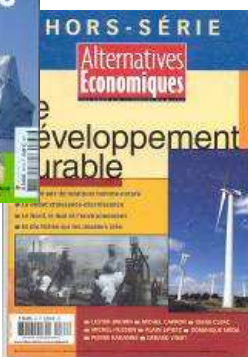
- **P2S – CORISE**
Investigation – Modélisation

P2S au lycée du Val de Saône



Une thématique annuelle :
Le cycle du carbone et le réchauffement climatique

Modélisation et simulation

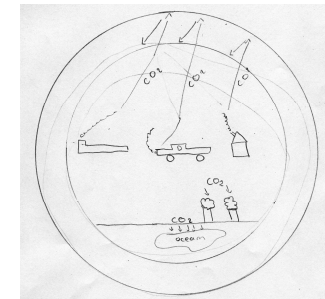
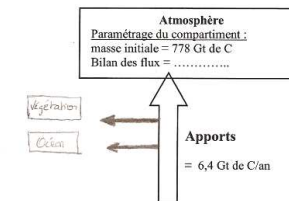


Des travaux antérieurs en 2006-2007

Quelques résultats

Pour les élèves :

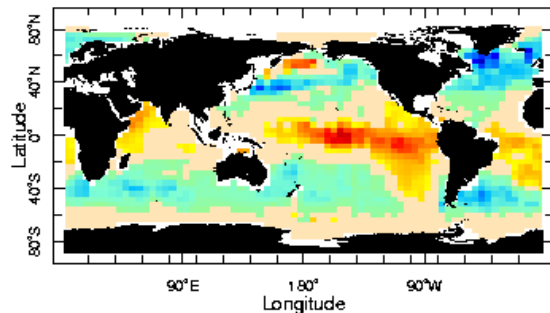
- **Des difficultés d'ordre conceptuel**
 - La modélisation compartimentale
 - ▶ – la diversité des concepts appartenant à différents champs disciplinaires
- **Des difficultés d'ordre pédagogique**
 - la prise en main d'un logiciel de modélisation
 - La durée des activités
 - la mise en place d'un travail pluridisciplinaire
- **Des difficultés d'ordre épistémologique**
 - Le statut du modèle



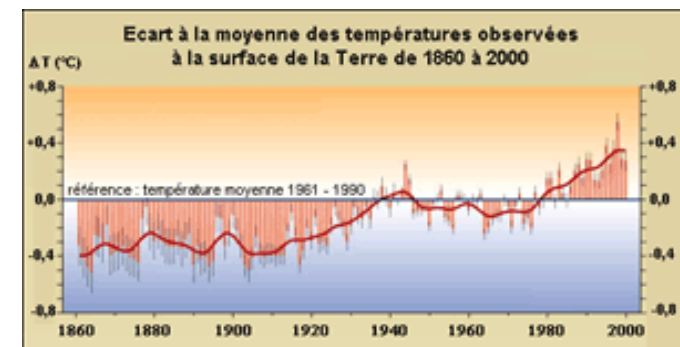
**L'enseignement de la modélisation du cycle du carbone
une situation d'enseignement complexe**

P2S Trévoux : un contexte favorable

- SVT – PC – Mathématiques
- 18 élèves
- 3 heures hebdomadaires
- une équipe de recherche INRP associée



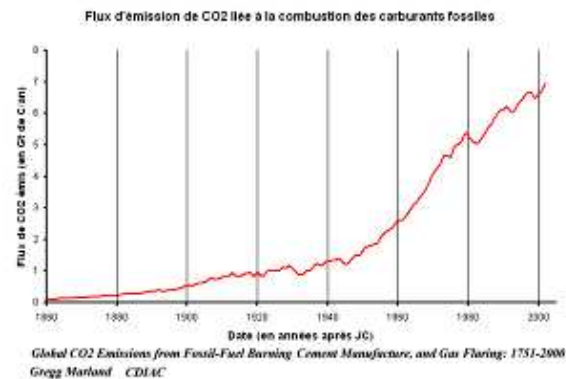
Jan-Dec 1990



Motivation – problématisation

Des études préalables

- Conséquences du réchauffement climatique
- Corrélation température de la Terre et teneur de l'atmosphère en CO₂
- Mécanismes de l'effet de serre

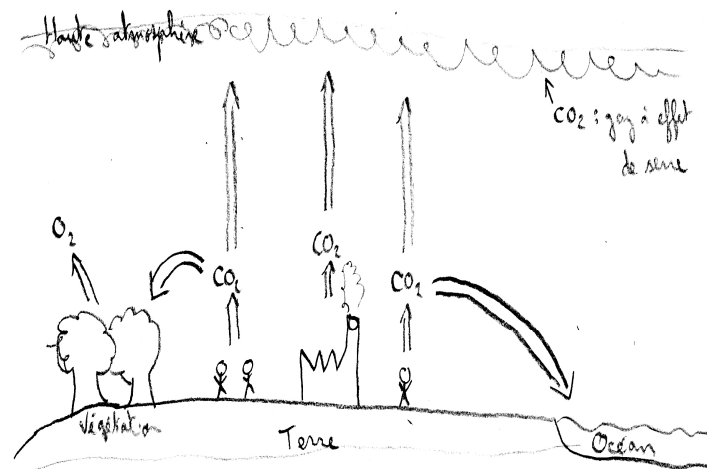


Problème : évaluation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère au cours du temps

Motivation – problématisation

Conceptions des élèves

D'où vient et où va le CO₂ produit par les activités humaines ?



Travail individuel :

- 14 élèves : atmosphère
- 2 élèves : atmosphère et végétaux

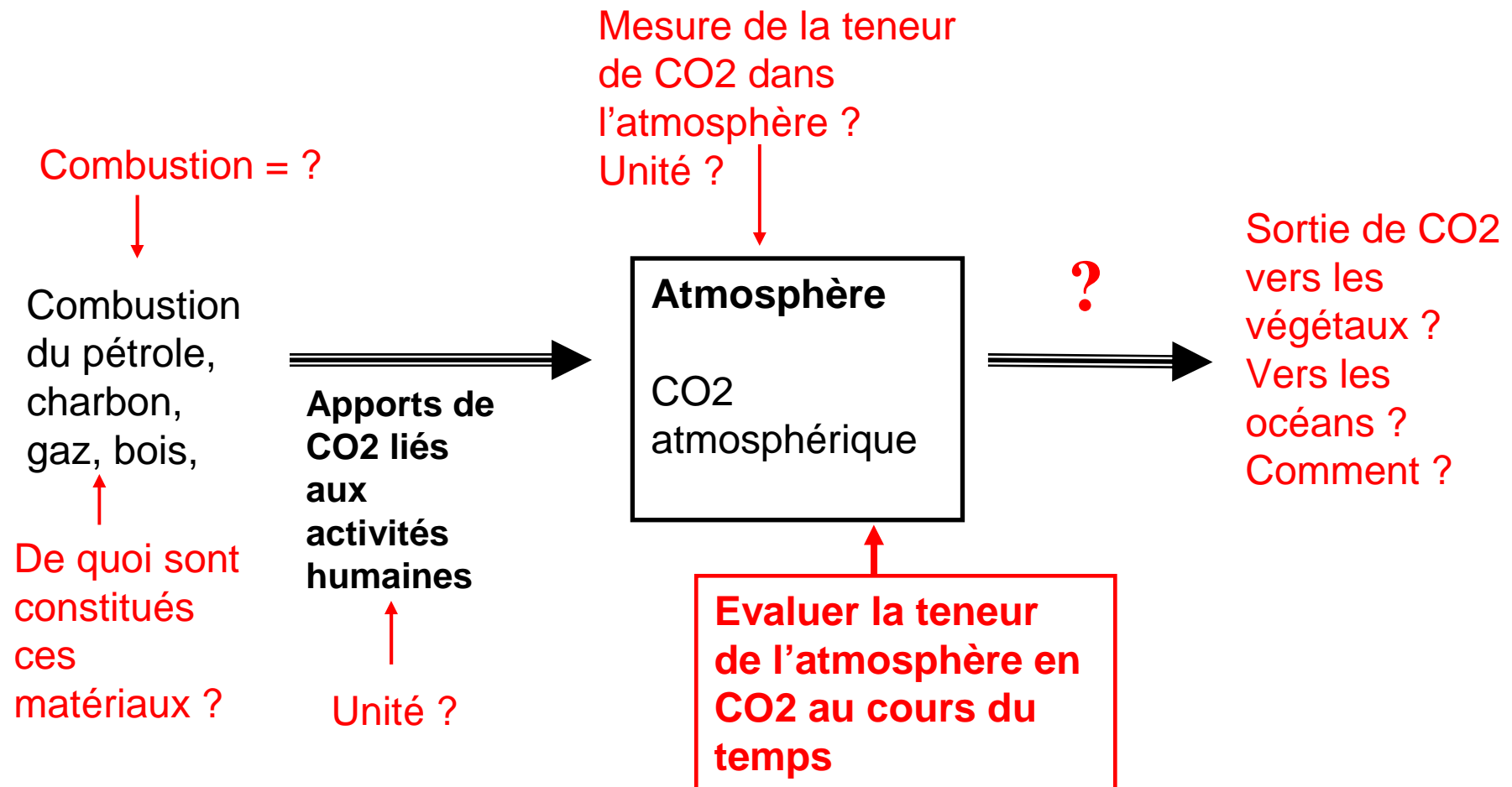
Bilan collectif :

- Moitié : atmosphère
- Moitié : atmosphère et végétaux
- 1 élève : océan ?

**Modèle du cycle du carbone à 1 compartiment :
un prémodèle qui fait consensus dans la classe**

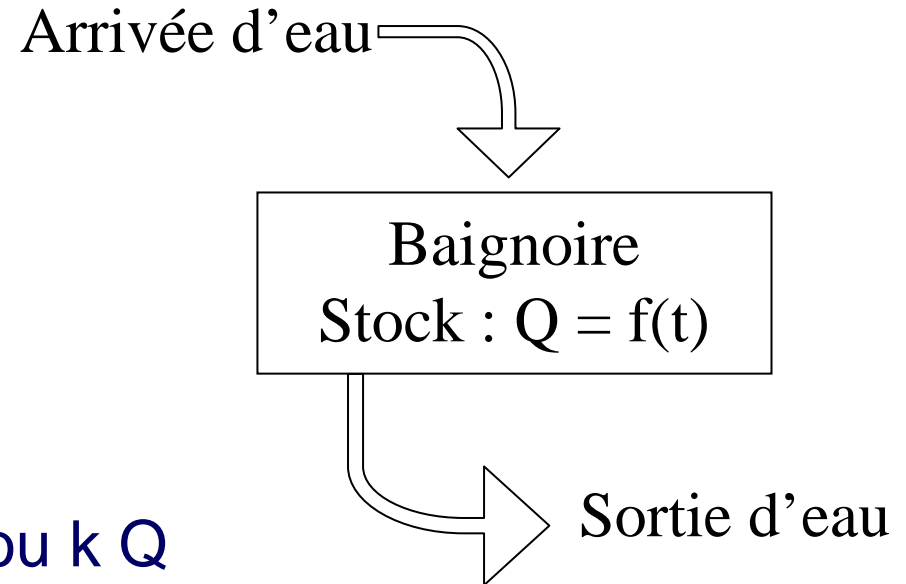
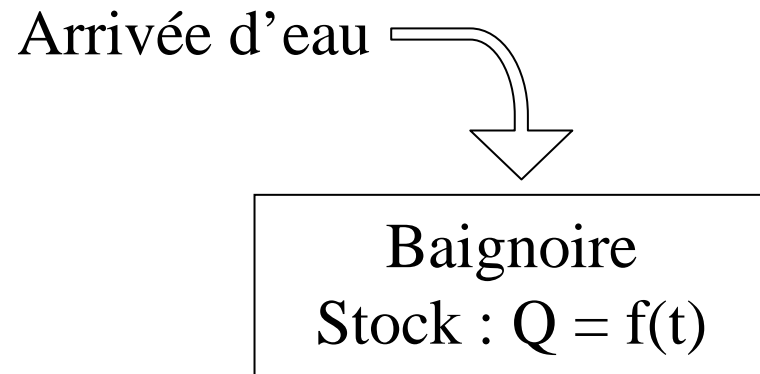
Motivation – problématisation

un pré-modèle source de questionnement



Modélisation à compartiment

Analogie avec le remplissage d'une baignoire



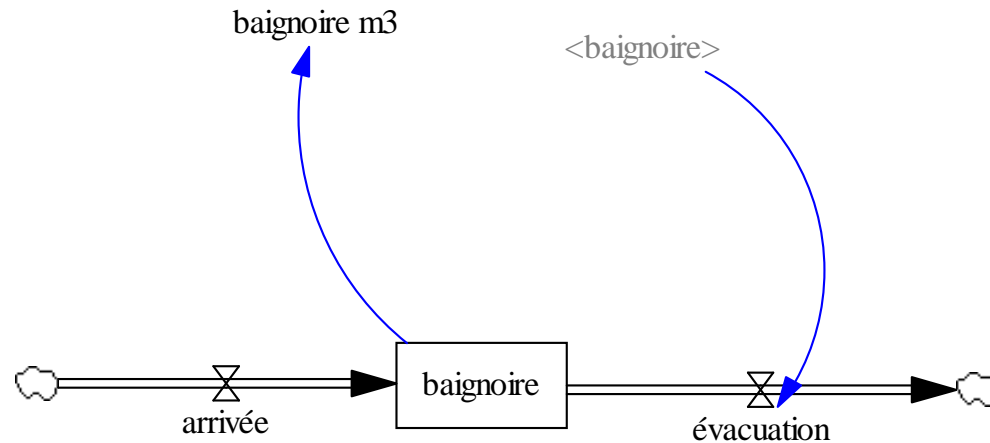
- Arrivée d'eau = constant ou $k Q$
- Sortie eau = constant ou $k Q$

Formalisme :

- de description : compartiment, flux,
- de représentation,
- mathématique

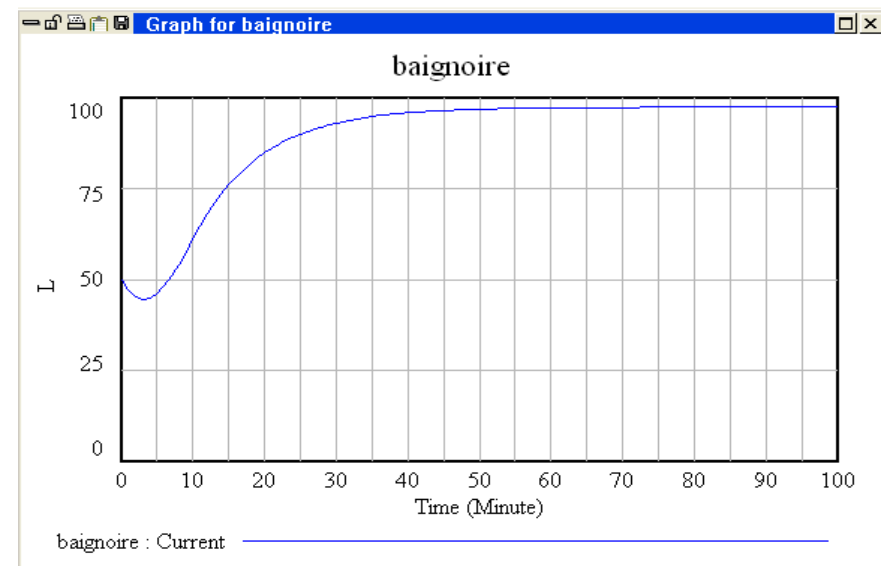
Modélisation à compartiment

Analogie avec le remplissage d'une baignoire

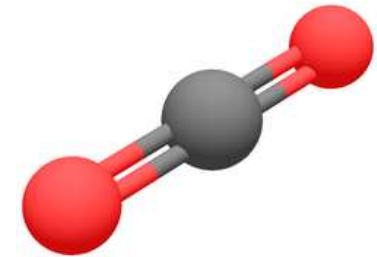
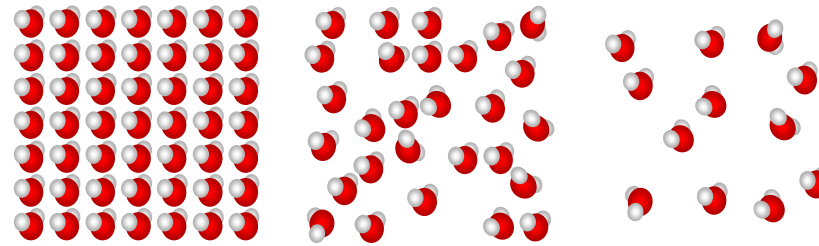


Logiciel Vensim :
construire un modèle

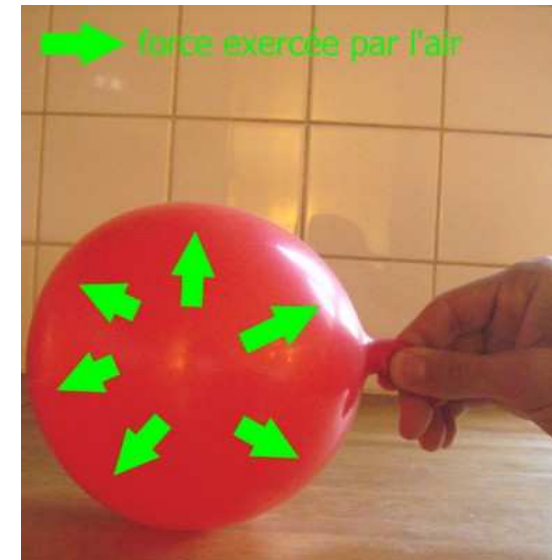
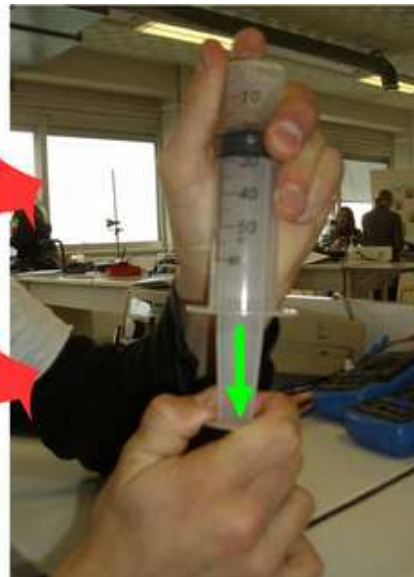
Logiciel Vensim :
simuler et comparer
aux valeurs calculées



Comparaison des propriétés physiques de l'eau et du CO2

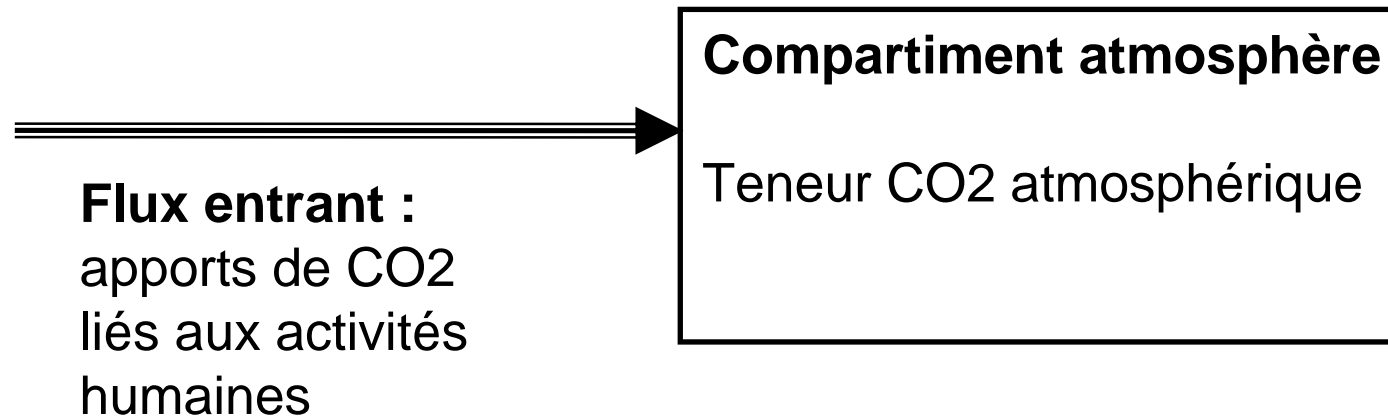


CO2 = matière



Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000



Interrogation de bdd :

- valeur initiale de CO₂ dans l'atmosphère,
- valeur du flux de CO₂ entrant

Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000

Editing equation for - emission CO2

emission CO2

= 6.4

Type

Constant

Normal

Supplementary

Help

Units: Gt de C/an

Comment:

Minimum Value Maximum Value Increment

Errors: Equation OK

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel

Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000

Editing equation for - Atmosphère C

Atmosphère C

= emission CO2

INTEG (

Initial Value 778

Type Level

Supplementary

Units: Gt de C

Comment:

Minimum Value Maximum Value Increment

Errors: Equation OK

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel

Variables Functions More

Choose Initial Variable...

Atmosphère C
emission CO2


Undo	7	8	9	+
{() }	4	5	6	-
	1	2	3	*
	0	E	.	/
Help	()	.	^

Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000

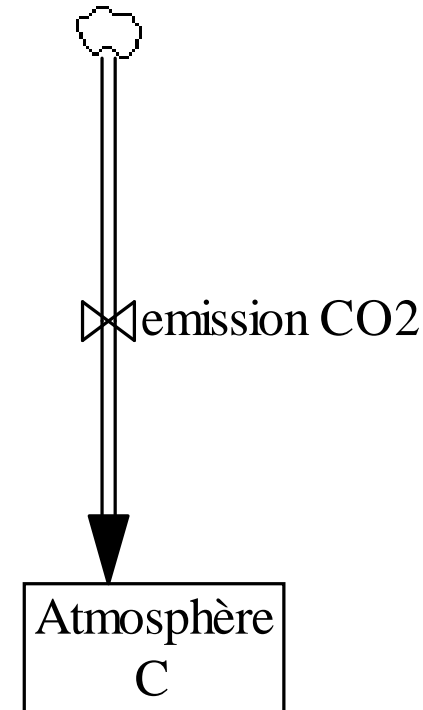
Atmosphère CO₂
mesurée

<Time>



WMO Global Atmosphere Watch
World Data Centre
for Greenhouse Gases

**Des teneurs de CO₂
atmosphérique
mesurées issues des
bdd**



**Des teneurs de CO₂
atmosphérique
calculées par le
modèle**

Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000

Editine equation for - Atmosphère CO2 mesurée

Atmosphère CO2 mesurée

= WITH Time
LOOKUP
P (

Look up
up
([(1990,200)-(2000,400)],(1991,358.3),(1992,359.2),(1993,359.4),(1994,360.6),(1995,363.03),(1996,364.7),(1997,365.3),(1998,368.8),(1999,370.1),(2000,371.3))

Type
Auxiliary
with Lookup
 Supplementary
As Graph Help
Units: ppmv

Undo 7 8 9 +
{()} 4 5 6 -
1 2 3 *
0 E . /
() , ^

Variables Functions More
Choose Initial Variable...
Time

Comment:
source bbd WGCCD station Mauna Loa continuous!!!

Minimum Value Maximum Value Increment

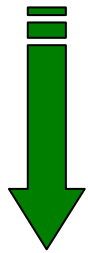
Errors: Equation OK

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel

Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000

Atmosphère CO2
mesurée



Unité : ppmv

Cohérence des
unités



Unité : Gt de C

<Time>



emission CO2

Atmosphère
C

Conversion des
Gt de C en ppmv
de CO2

Atmosphère CO2



Construire un modèle numérique du cycle du C

Modèle à 1 compartiment pour la période 1991-2000

Editing equation for - CO2 atm

CO2 atm

= Atm*(355.7/778.6)

Type

Auxiliary

Normal

Supplementary

Help

Units: ppmv

Comment:

Minimum Value Maximum Value Increment

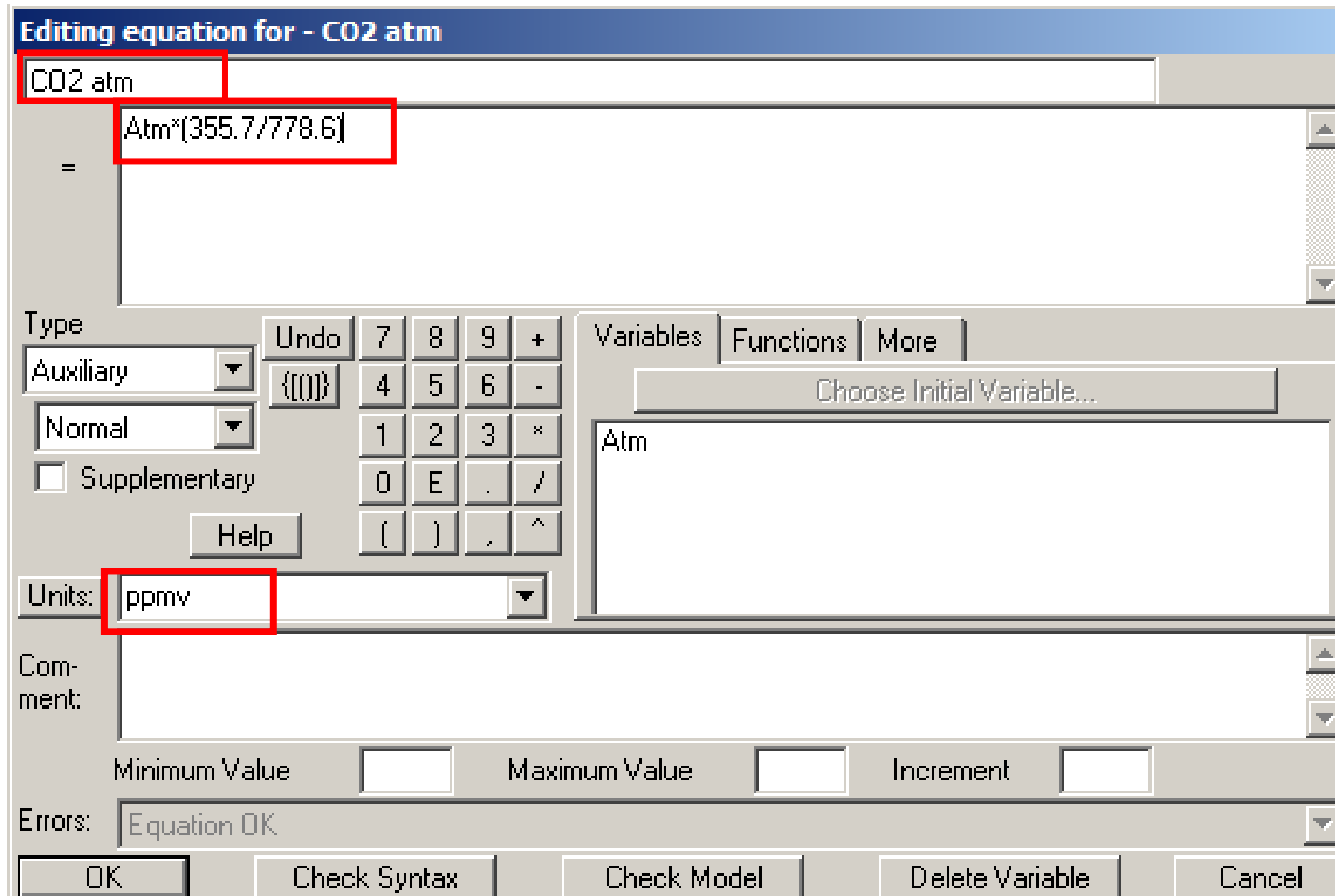
Errors: Equation OK

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel

Variables Functions More

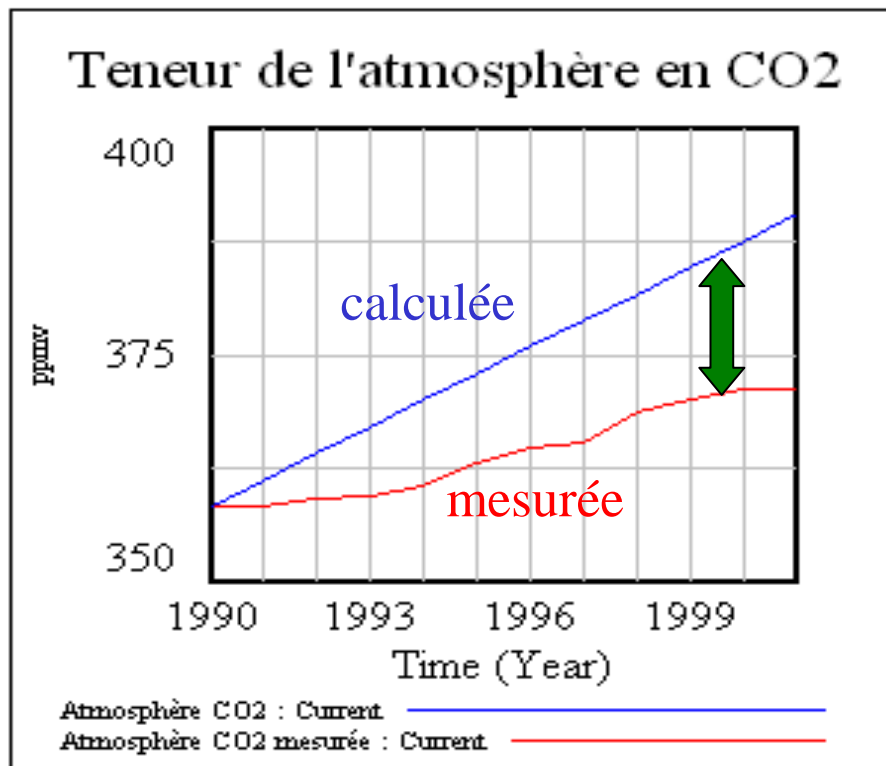
Choose Initial Variable...

Atm



Simuler et identifier de nouvelles nécessités du modèle

Simuler et comparer les valeurs calculées par le modèle aux valeurs mesurées sur le terrain



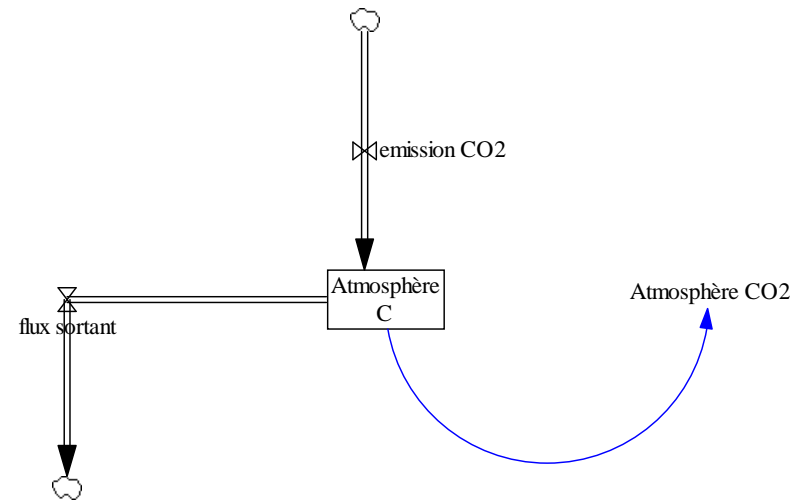
Nécessité d'un ou de plusieurs flux sortant

Faire évoluer le modèle initial

Ajouter un flux sortant

Vensim

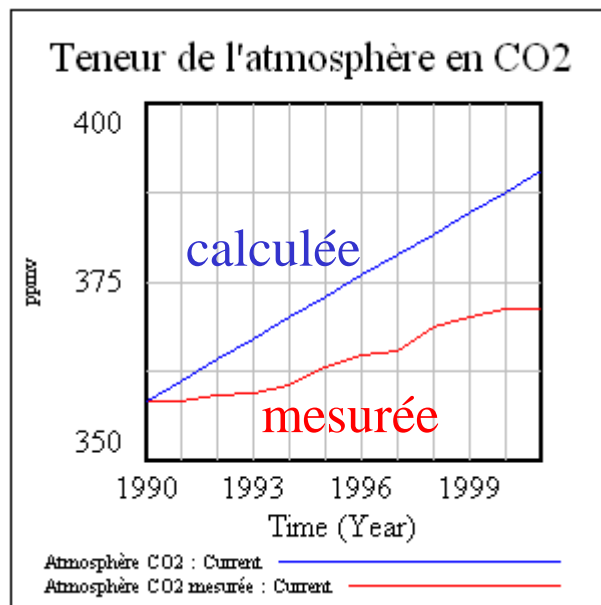
- Créer et paramétrer un ou plusieurs nouveaux flux
- Modifier le paramétrage du compartiment atmosphère (bilan des flux)



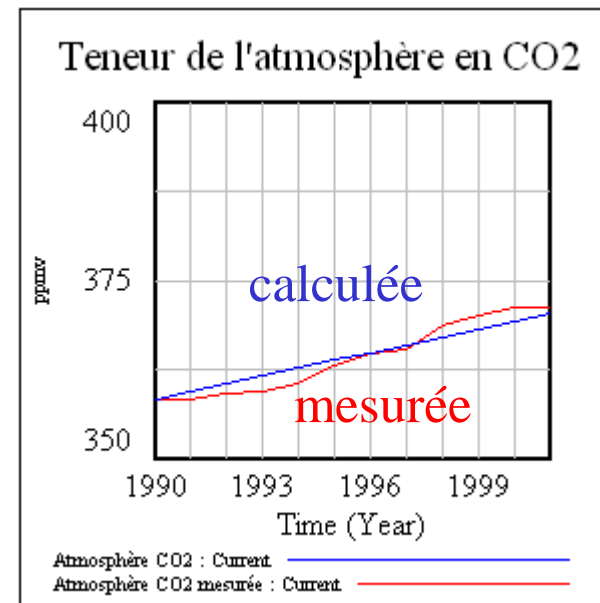
Faire évoluer le modèle initial

Identifier la valeur du flux sortant

Simuler pour évaluer la valeur du flux de CO₂ qui est piégé hors de l'atmosphère



Flux sortant = 0
Gt de C / an



Flux sortant = 4
Gt de C / an

Faire évoluer le modèle initial

Identifier les puits du CO₂

Etude des flux sortants proposés dans les conceptions initiales des élèves :

- Moitié des élèves : atmosphère
 - Moitié des élèves : atmosphère et végétaux
 - 1 élève : océan ?
-
- Le CO₂ peut-il être piégé par les végétaux ? Par l'océan ?
 - Quels sont les mécanismes responsables des échanges entre ces compartiments ?
 - Quels sont les facteurs influençant ces échanges ?

Faire évoluer le modèle initial

Etude du compartiment biosphère

Etude expérimentale des échanges de CO₂ :

- Entre les végétaux et l'atmosphère
- Entre la litière et l'atmosphère



Etude expérimentale du stockage de CO₂ par les végétaux

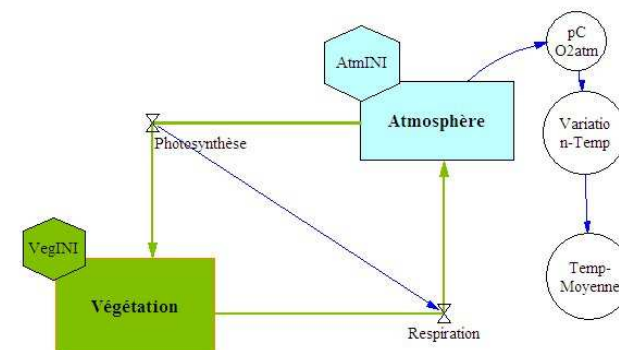
- Évaluation de la masse de carbone stocké dans un champ de maïs en une année



Simulation avec Vensim :

Modèle : Atmosphère + biosphère

Modèle : Atmosphère + biosphère + litière



Faire évoluer le modèle initial

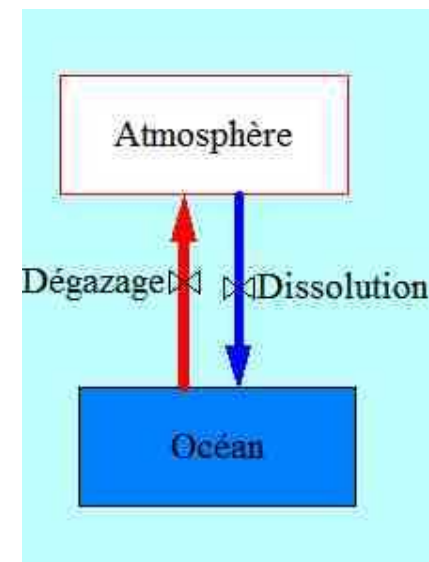
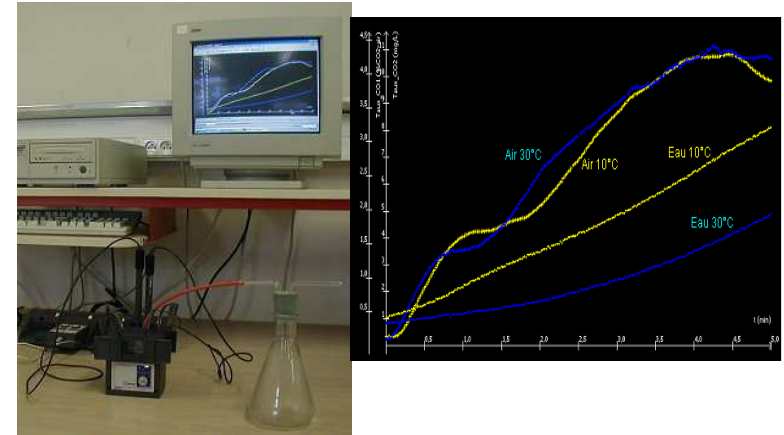
Etude du compartiment océan

Etude expérimentale des échanges de CO₂ entre l'océan et l'atmosphère

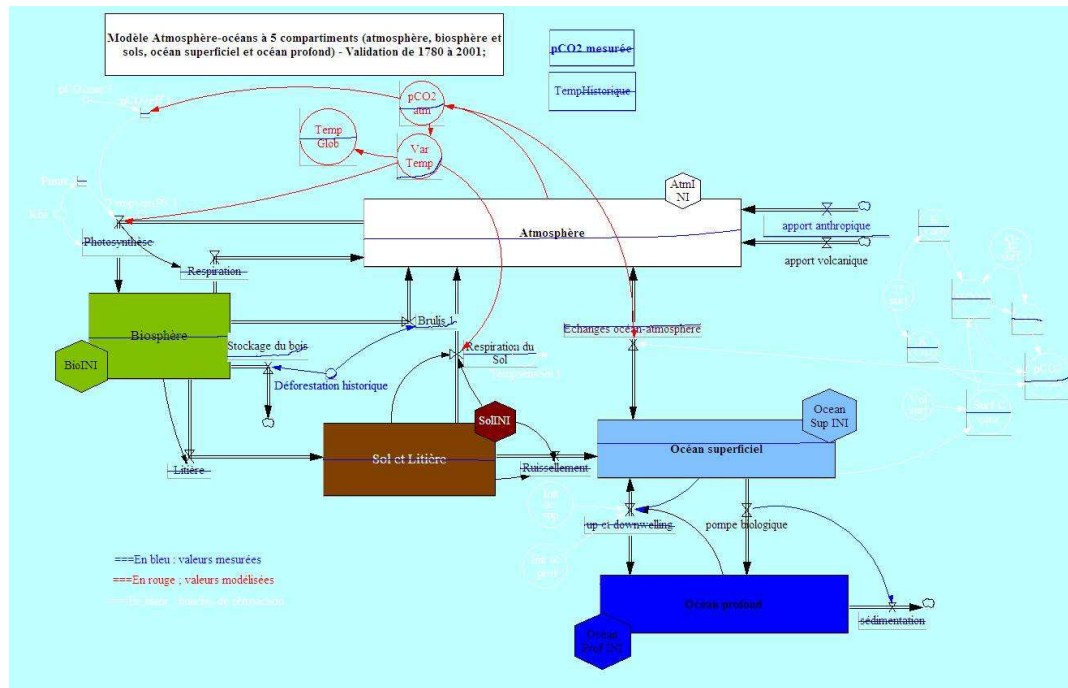
- Influence de la salinité et du PH dans la dissolution du CO₂ dans l'eau
- Influence de la température sur le dégazage
- Précipitation chimique et biologique des carbonates dans les océans

Simulation avec Vensim :

- Modèle : Atmosphère + océan



Simuler avec un modèle du chercheur



- Comprendre que le modèle du chercheur n'est pas le réel
- Préciser la réponse à la question « Où est passé le CO2 lié aux activités humaines ? »
- Comprendre l'enrichissement de l'atmosphère en CO2 en fonction de différents scénarios du GIEC et ses conséquences sur la température

Pour aller plus loin...

<http://eductice.inrp.fr>



<http://aces.inrp.fr>



- Eric Sanchez eric.sanchez@inrp.fr
- Gilles Aldon gilles.aldon@inrp.fr
- Michèle Prieur michele.prieur@inrp.fr
- Catherine Vautier
- Frédérique Wursmer

Concepts biologiques

Nutrition des végétaux

- Photosynthèse
- Absorption de CO₂
- Autotrophie

Nutrition des animaux

- aliments organiques
- assimilation

Respiration des êtres-vivants

- oxydation de molécules organiques
- rejet de CO₂

Fermentation des micro-organismes

- oxydation de molécules organiques
- rejet de CO₂

Concepts physico-chimiques

- les états de la matière : solide, liquide, gazeux
- les propriétés des gaz
- les éléments de la matière : atome, ion, isotope, molécule
- la conservation de la matière
- la transformation de la matière, réactions chimiques (combustion, dissolution...)
- matière organique-matière minérale
- acido-basicité

Concepts écologiques

Interdépendances

- chaînes et réseaux trophiques
- décomposition-minéralisation
- production I et II
- producteur I et II

Relations vivants/non-vivant

- Conditions de la respiration, de la photosynthèse, de la fermentation
- Echanges avec le milieu extérieur (flux, entrée, sortie)

Actions de l'homme

Concepts géologiques

- le temps
- les enveloppes (atmosphère, biosphère, hydrosphère) et leurs interactions
- les roches, roches carbonatées et carbonées
- la sédimentation
- Erosion : altération, dissolution
- Le volcanisme (émission de gaz)

Concepts mathématiques

Les statistiques

notions de moyenne, traitement de données, nuages de points, interpolation, corrélation, ajustement

Les fonctions

vocabulaire commun, lien avec les représentations graphiques, fonctions à plusieurs variables, équations différentielles, suites numériques, récurrence

Les équations

résolution, interprétation, analyse dimensionnelle ;

Modélisation

algébrisation, lien modèle-réalité (traduction réalité->modèle, modèle->réalité), constructions de concepts, lien simulation-modélisation

D'après « Réseau conceptuel des cycles de la matière en seconde » (Labbé-Espéret, 2002)

