

Ce document est autorisé sous la Licence CC BY-NC-SA 4.0.

Pour obtenir une copie de cette License, veuillez consulter :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Pour les documents traduits, nous vous suggérons de donner crédit à l'auteur original ou aux auteurs originaux, et au(x) traducteur(s) ou traductrice(s).



COURS DU FLUX

Juin 2023

Pourquoi es-tu (encore) là ?



www.fluxcourse.org



Cours de flux: Règles de la science !

Règle 1 : Soyez un scientifique – faire des mesures ne fait pas de vous un « empiriste »; utilisez des modèles ne fait pas de vous un « modélisateur »

Règle 2 : Bien connaître sa discipline

Règle 3 : Respectez les autres disciplines – ne vous attendez pas à ce que les autres connaissent votre discipline aussi en détail que vous.

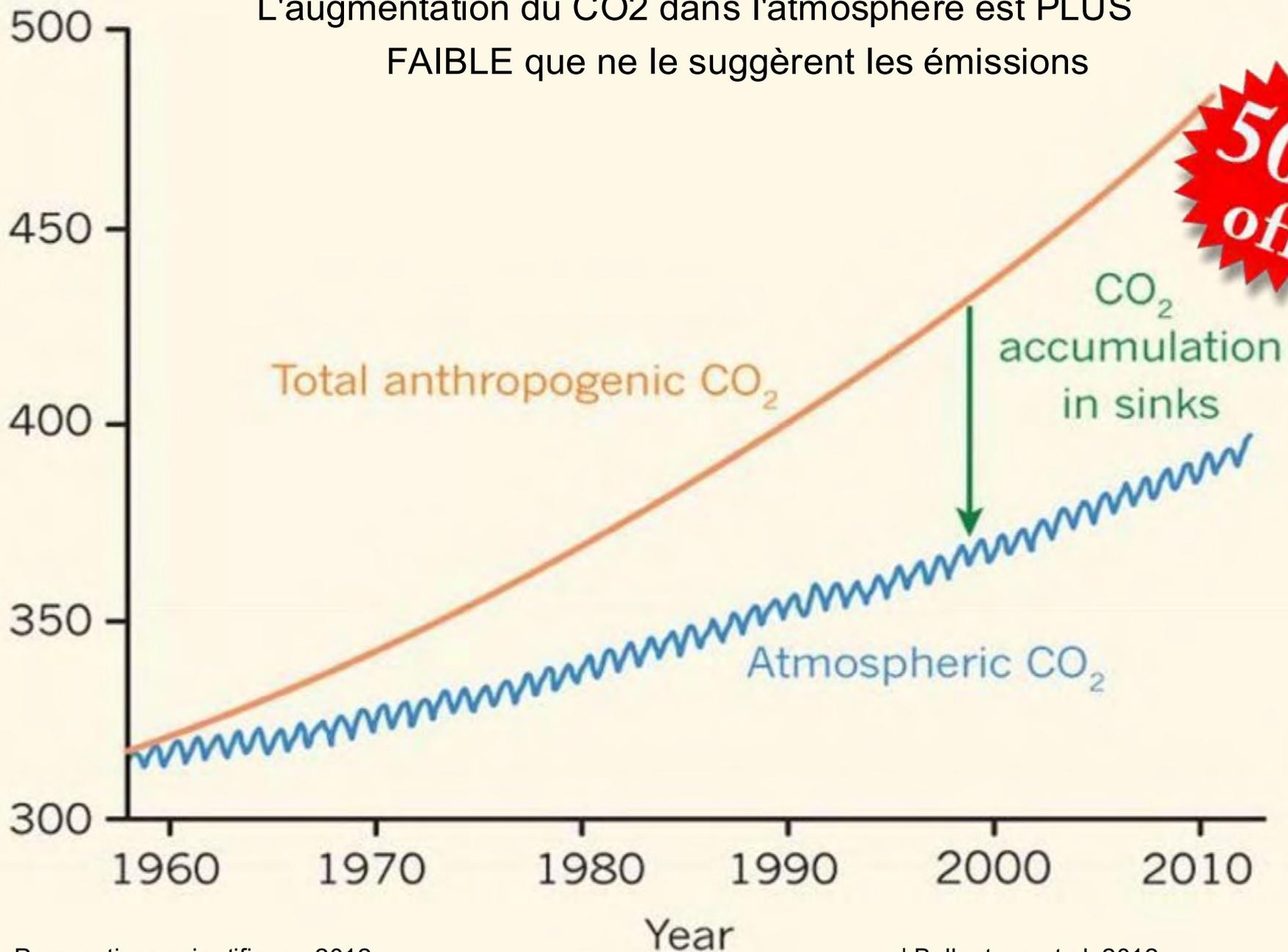
Règle 4 : Expliquez-vous

Règle 5 : Écoutez attentivement

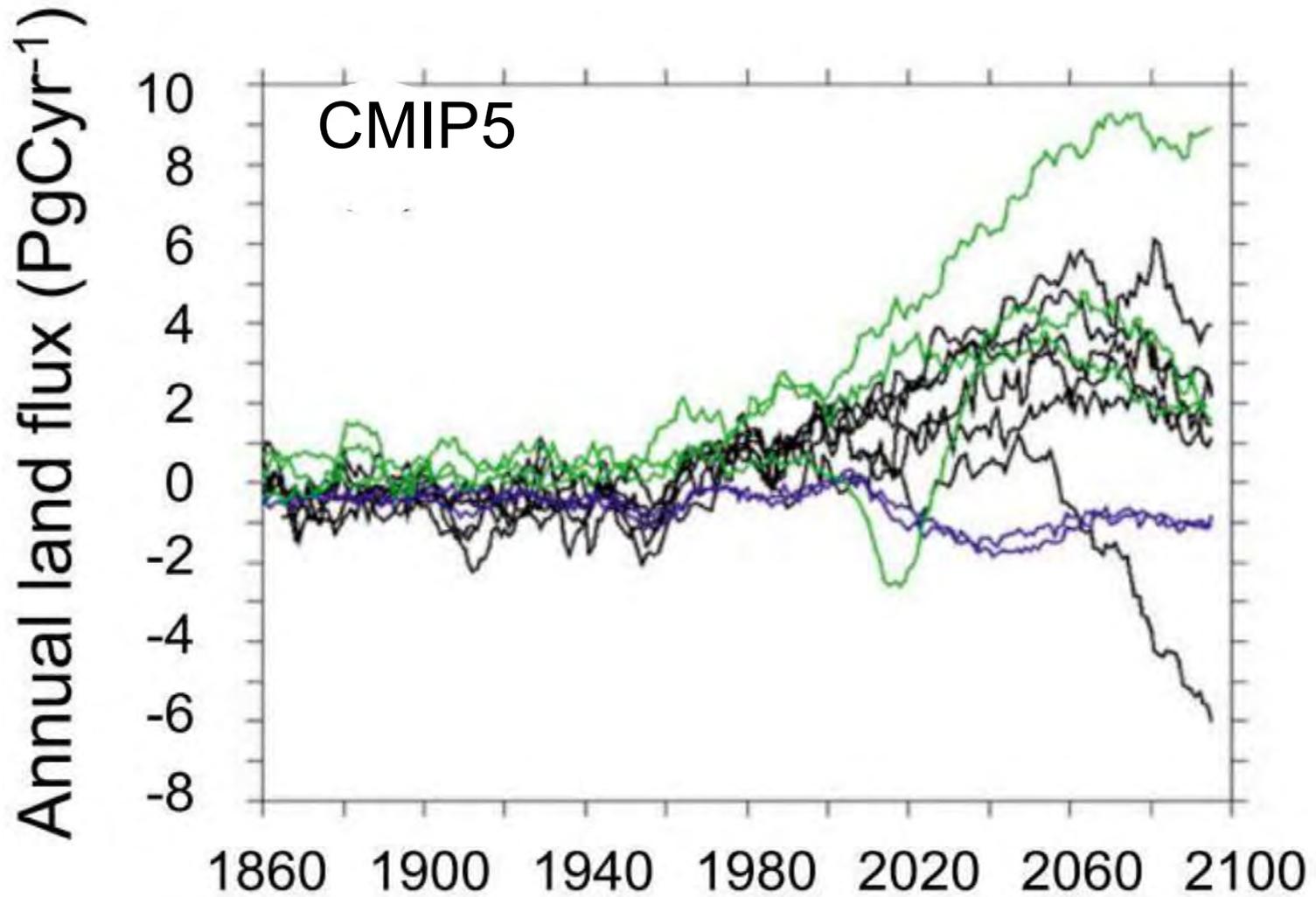
Règle 6 : Travailler ensemble pour résoudre les problèmes

L'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère est PLUS FAIBLE que ne le suggèrent les émissions

50%
off

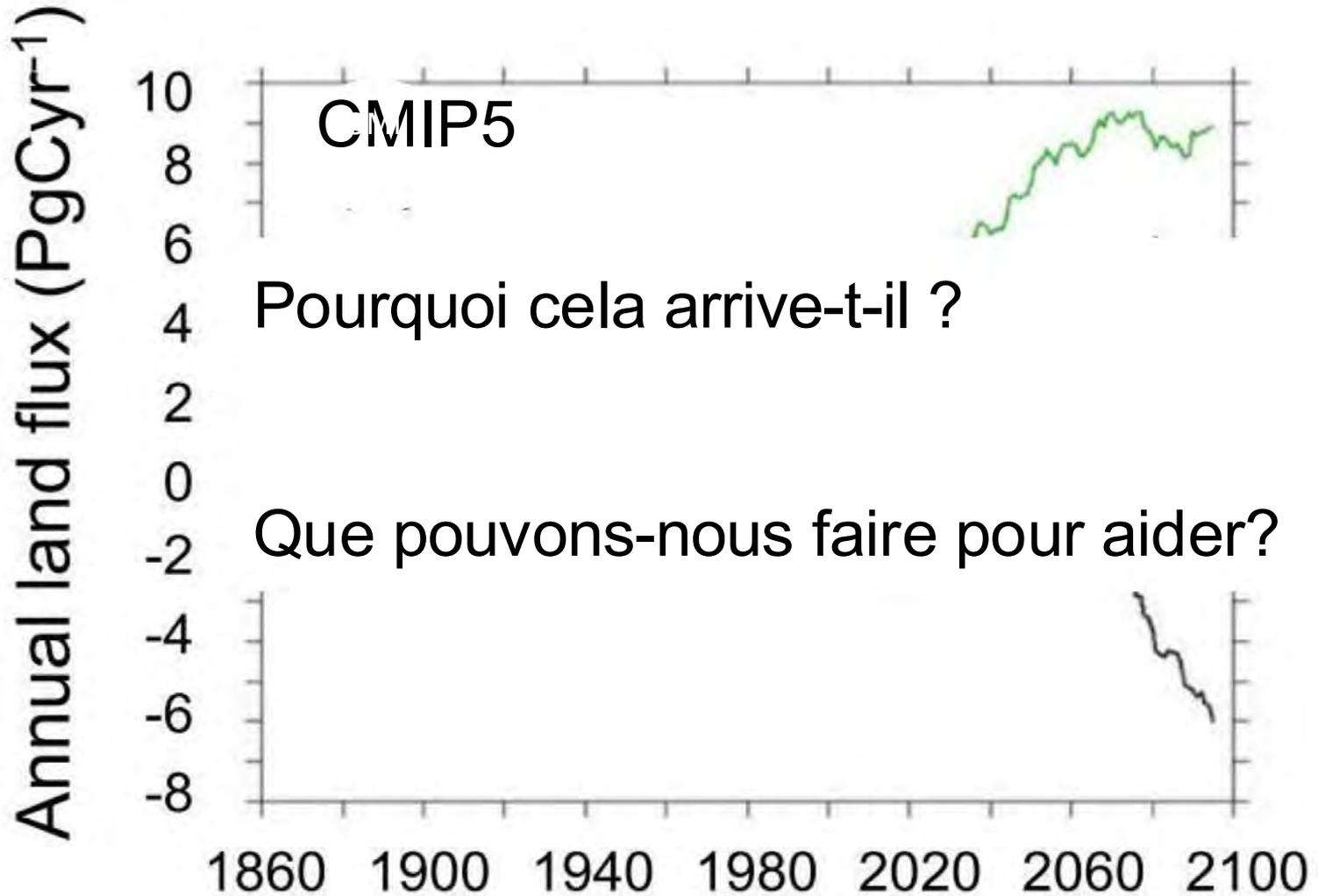


Spaghetti Carbon-Era*



*Jeu de mots avec l'aimable autorisation du Dr Sarah Ivory

Spaghetti Carbon-Era*



Pour prédire comment les écosystèmes fonctionneront dans le futur, nous devons :

- 1) Observer les écosystèmes dans différentes conditions
- 2) Comprendre comment les écosystèmes évoluent en réponse aux variations environnementales
- 3) Intégrer ces réponses de manière judicieuse en utilisant des modèles basés sur des processus ou des modèles statistiques.

Chacune de ces étapes nécessite un

ensemble de compétences

spécialisées

www.fluxcourse.org

Attendez... qu'est-ce qu'un écosystème ?



Écologie et écosystèmes.



Qu'est-ce qu'un écosystème ?

- L'interaction étroite entre les composantes biologiques et physiques de l'espace signifie qu'elles doivent être considérées ensemble

A
r
t
h
u
r
T



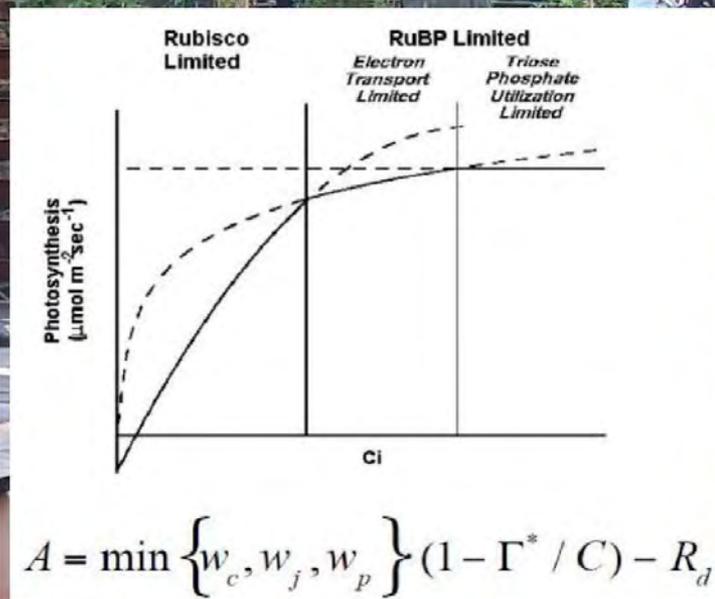
Écosystème

Un **écosystème** est constitué d'organismes (plantes, microbes et animaux, y compris les humains) et des composants physiques (atmosphère, sol, eau, etc.) avec lesquels ils interagissent, ET des interactions entre eux.

Photosynthèse au niveau des feuilles

Chloroplast- and Leaf-Level Flux Modeling

$$A = V_c - 0.5V_o - R_d$$



Mesure des flux





**Tours et données
de
près !**



Pour les fluxeurs
en
déplacement...

essayez le nouveau
système

biométéorologique

monté sur une

casquette



Ed demonstrates the new rapid oral deployment feature for the open path flux system

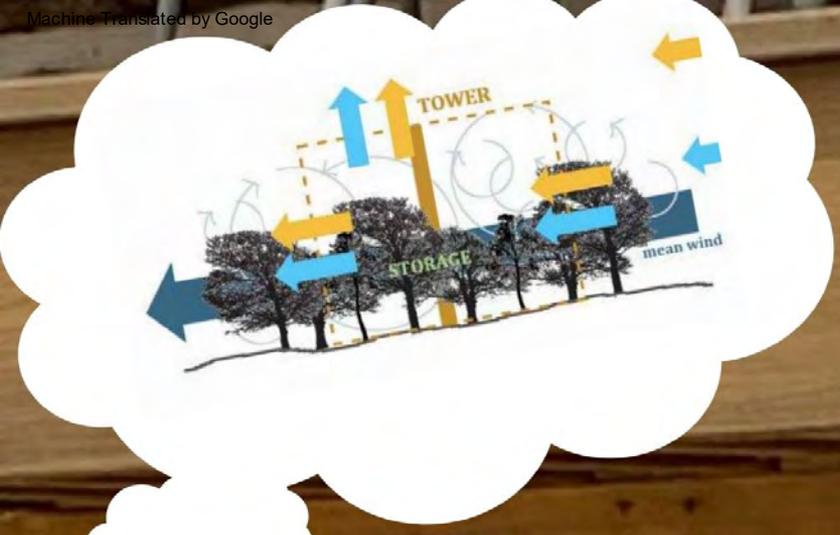
Ed Swiatek démontre le Prototype de « Poudlard » » CS-Hog 1000



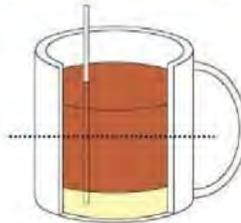
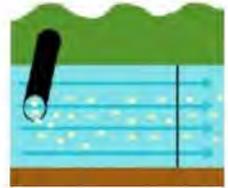
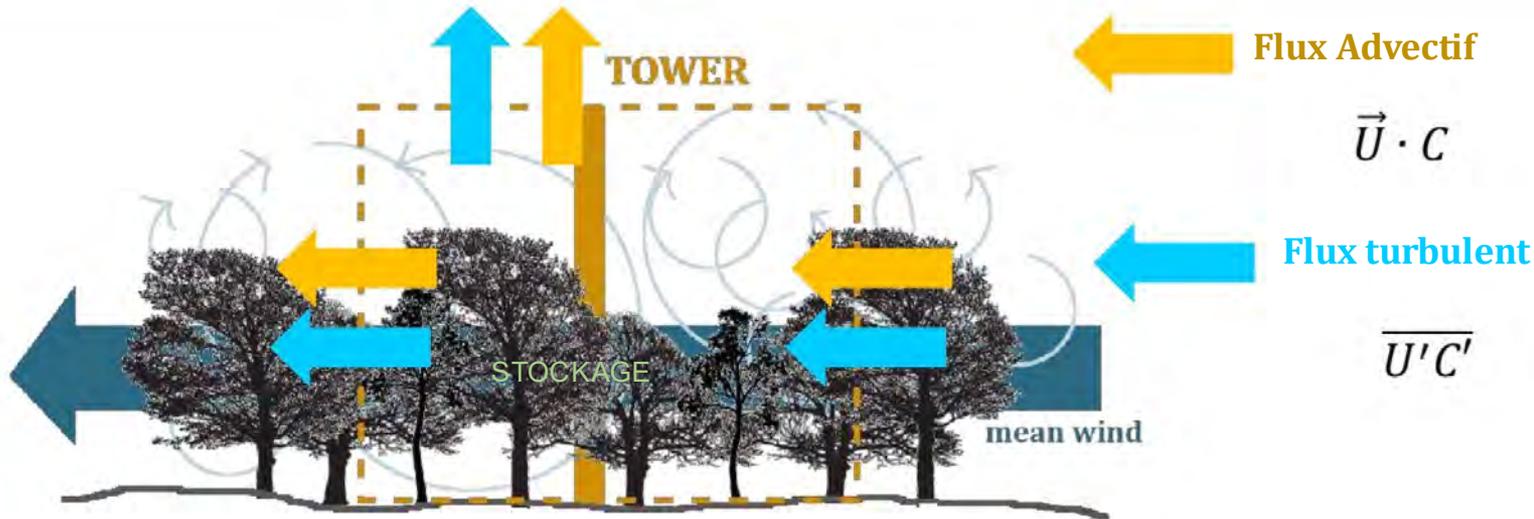
Application des observations des flux



<http://ameriflux.lbl.gov>



Hypothèses et limites fondamentales



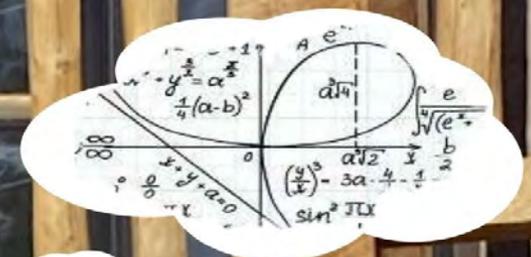
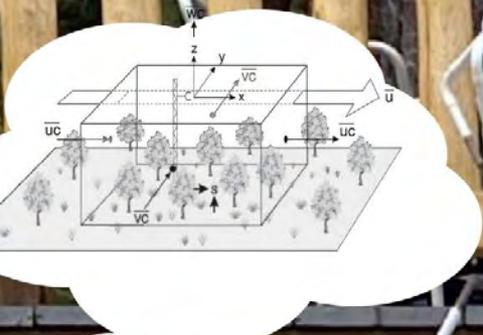
$$NEE = \int_0^z \frac{\partial \overline{u\bar{c}}}{\partial x} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{v\bar{c}}}{\partial y} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{w\bar{c}}}{\partial z} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{u'c'}}{\partial x} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{v'c'}}{\partial y} dz + \int_0^z \frac{\partial \overline{w'c'}}{\partial z} dz + \int_0^z \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} dz$$

Flux advectifs dans 3 directions
directions

Flux turbulents dans 3

Stockage





Distribution mondiale des tours à flux de Foucault –
RÉSEAU FLUXNET de sites d'observation à l'échelle de
l'écosystème

Comment extraire des connaissances de tous
ces sites pour nous donner des informations
sur la façon dont le cycle du carbone et de
l'eau réagissent au climat actuel ?

Image NASA
Image © 2007 TerraMetrics

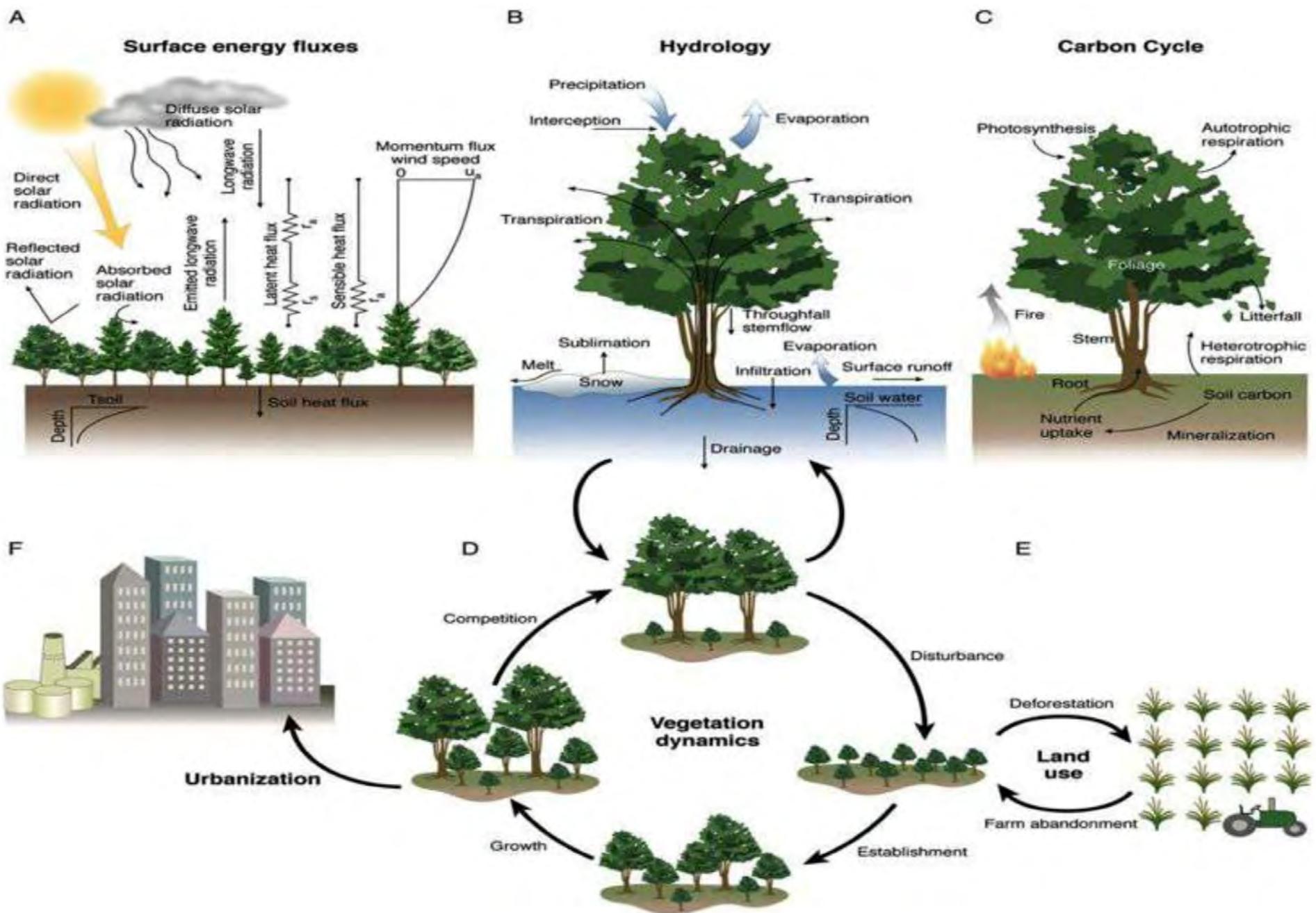
Streaming ||||| 100%

Image NASA
Image © 2007 TerraMetrics

Streaming ||||| 100%

©2007 Google™

10497.64 m



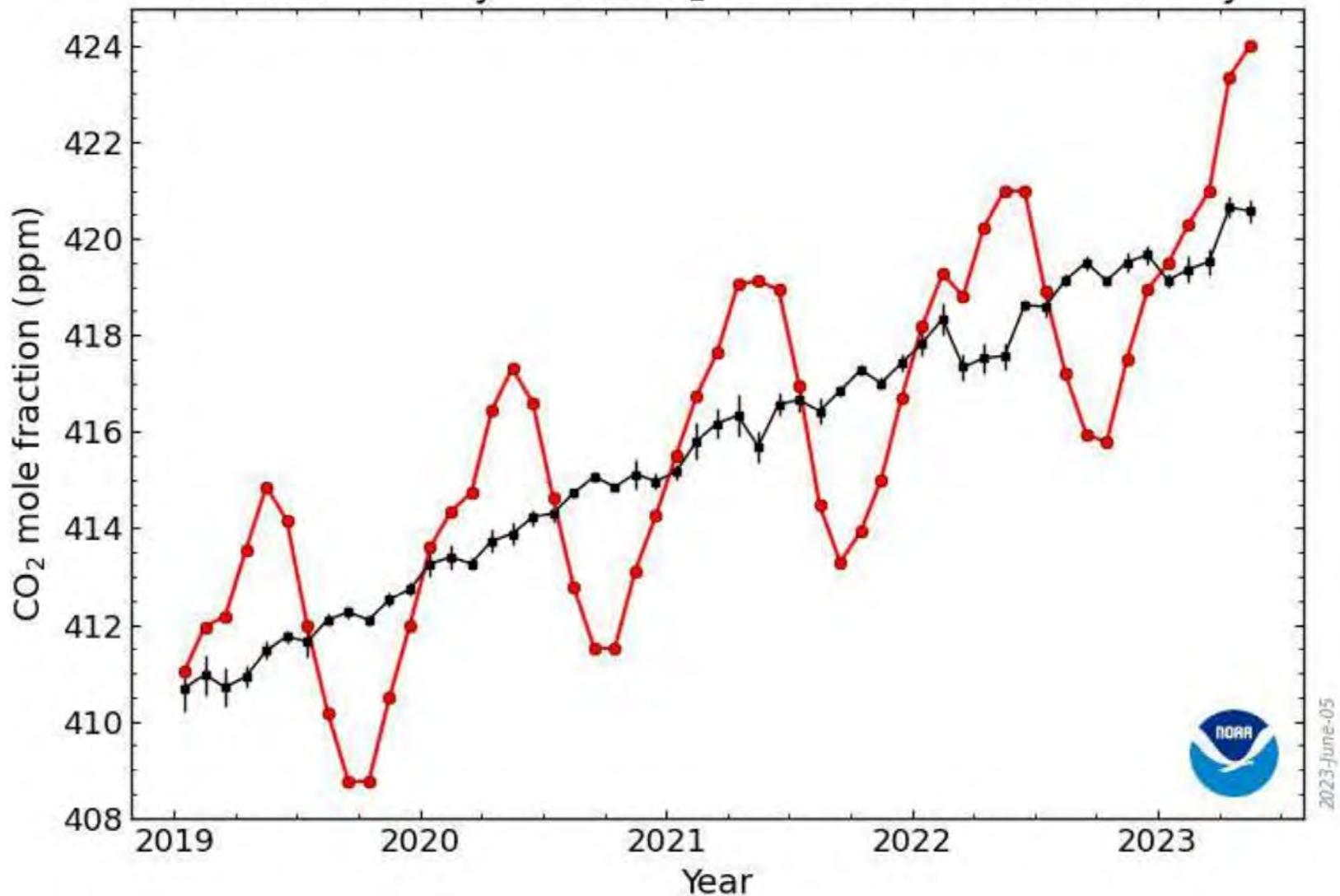
Votre modèle est
complètement faux !

Mais vous ne
mesurez même pas
les bonnes choses !



Que représentent les flux ?

Recent Monthly Mean CO₂ at Mauna Loa Observatory



<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Que représentent les flux ?

Quels sont les processus écosystémiques les plus importants que nous devons prendre en compte si nous voulons faire des prévisions sur le bilan carbone, eau et d'énergie de l'écosystème ?

Pour chacun de ces processus...

Quelles sont les parties biologiques de l'écosystème qui influencent le processus ?

Quelles sont les parties non-biologiques de l'écosystème qui influencent le processus ?

Si vous deviez calculer ce processus en termes de carbone, d'eau et/ou d'énergie, comment pourriez-vous le calculer ?

De quelles informations auriez-vous besoin ?

Étendez!

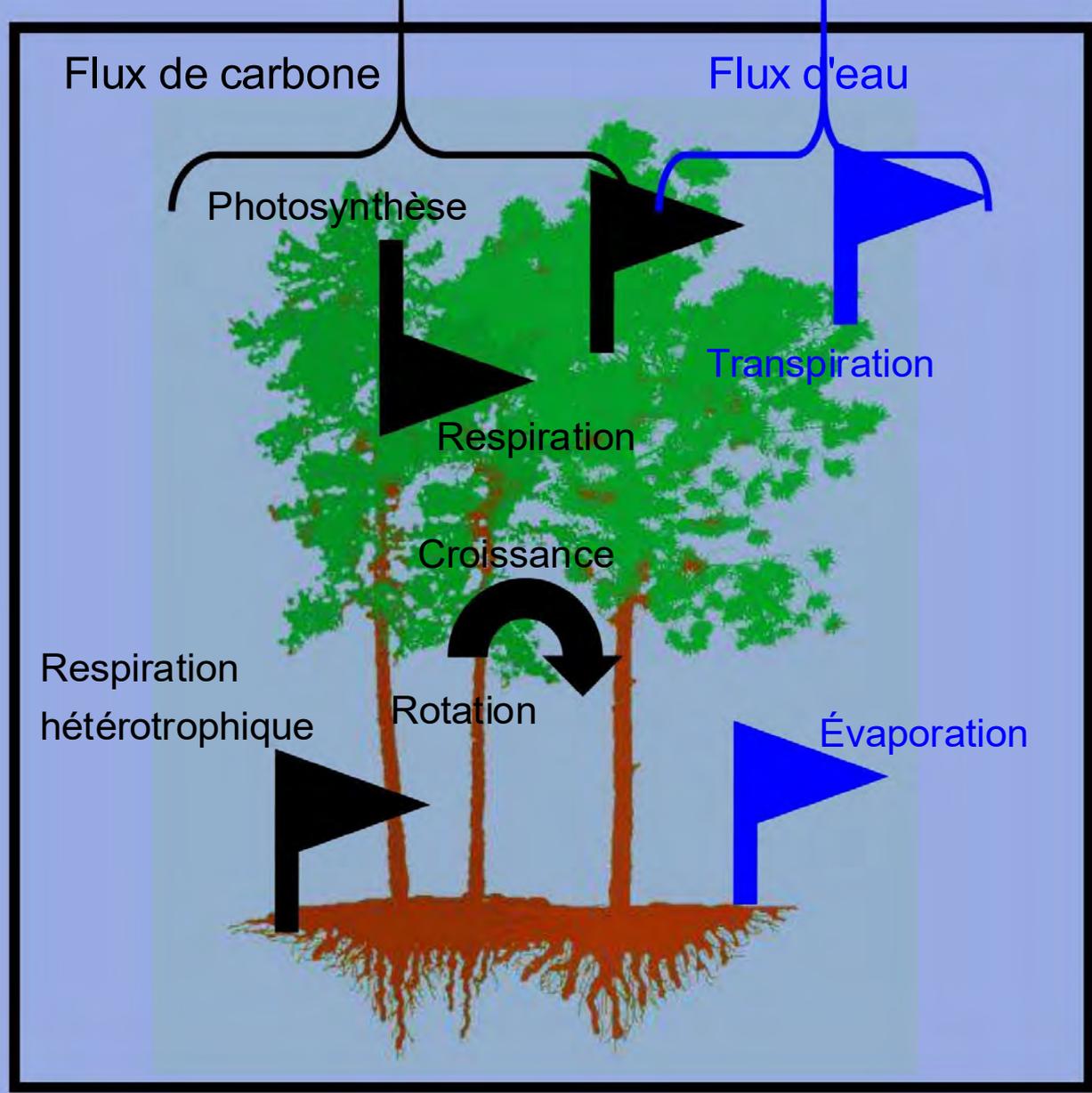


Les plantes facilitent l'échange de carbone et d'eau entre la biosphère et l'atmosphère

Centre de mesures sur

1. Croissance et rotation

2. Mesure directe du flux



Net Ecosystem Exchange - NEE

Nous mesurons cela!



Nous avons besoin d'un modèle pour décomposer les flux

Mesure des composantes de l'échange net d'écosystèmes - stocks et flux terrestres

- Incrément de croissance (bandes dendromètres ? Coupe pour biomasse inc.)
- Chute de déchets
- Flux de CO₂ du sol (mesures ponctuelles automatisées/manuelles, échantillonnage spatial)
- Respiration des composants de l'écosystème (évolution du CO₂ ou absorption de l'O₂, petites chambres)
- Capacité photosynthétique (mesures IRGA, réponse A/C_i, réponse A/Q au niveau de la feuille)
- Indice de surface foliaire (méthodes optiques/récolte)

Ensuite, nous devons adapter ces quantités à l'échelle régionale et mondiale !

Pourquoi utilisons-nous des modèles mathématiques ?



Pourquoi utilisons-nous des modèles mathématiques ?

- Pour codifier notre connaissance du fonctionnement du monde
- Prévoir et comprendre comment les changements environnementaux impactent les écosystèmes...
- Pour simplifier et comprendre des processus complexes et interactifs !
 - L'augmentation du CO₂ peut conduire à une photosynthèse plus élevée mais à une photosynthèse plus faible conductance, investissement réduit en RUBISCO mais une surface foliaire plus importante... Que se passe-t-il si la disponibilité en eau augmente et que la disponibilité en azote change ?

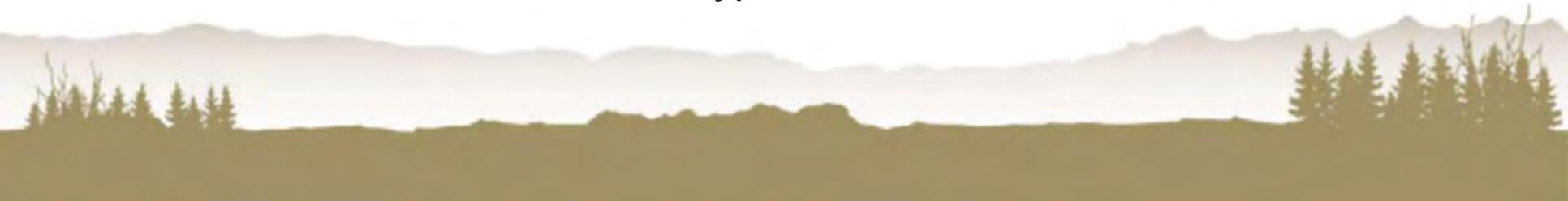


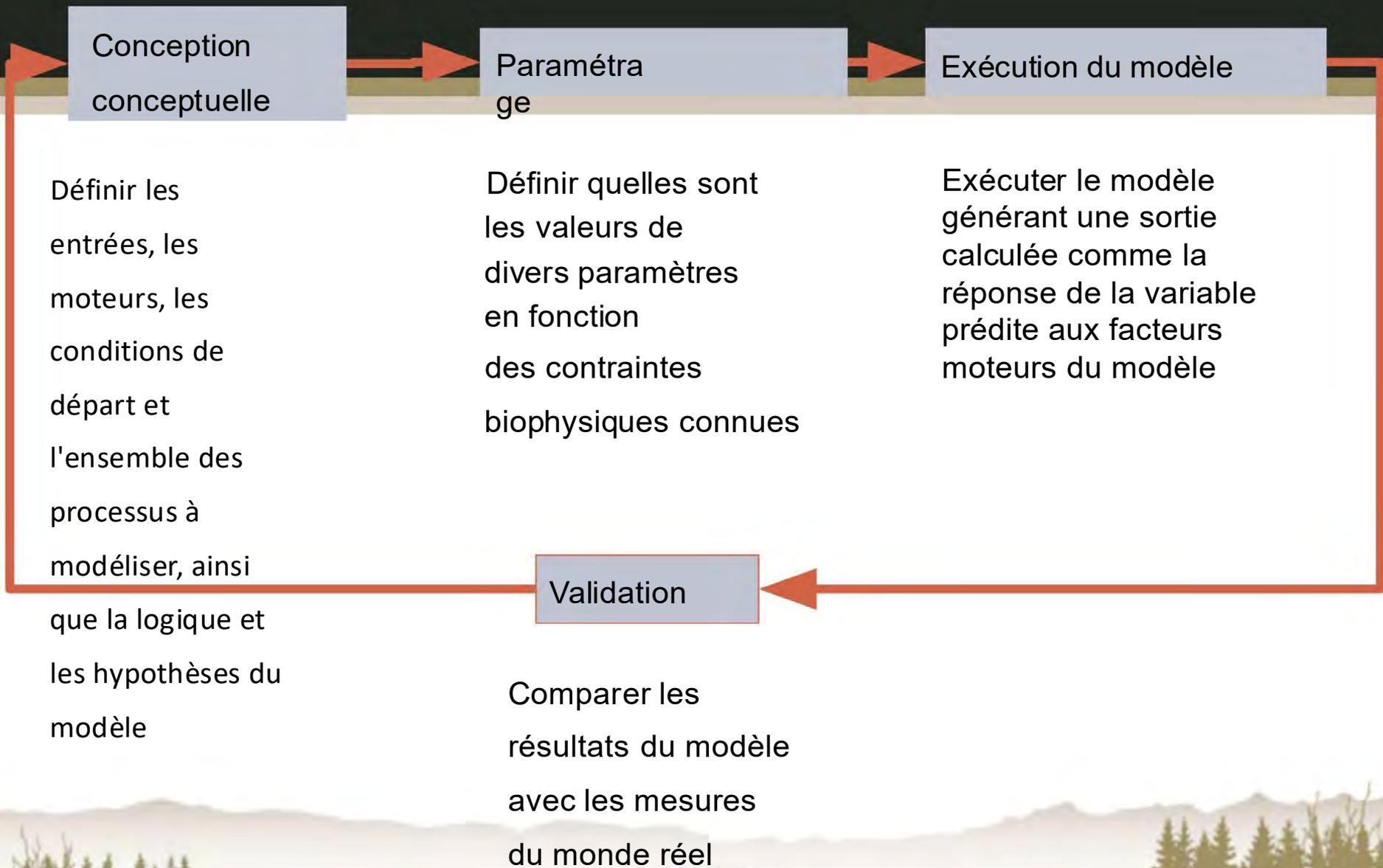
Larges classes de modèles



Larges classes de modèles

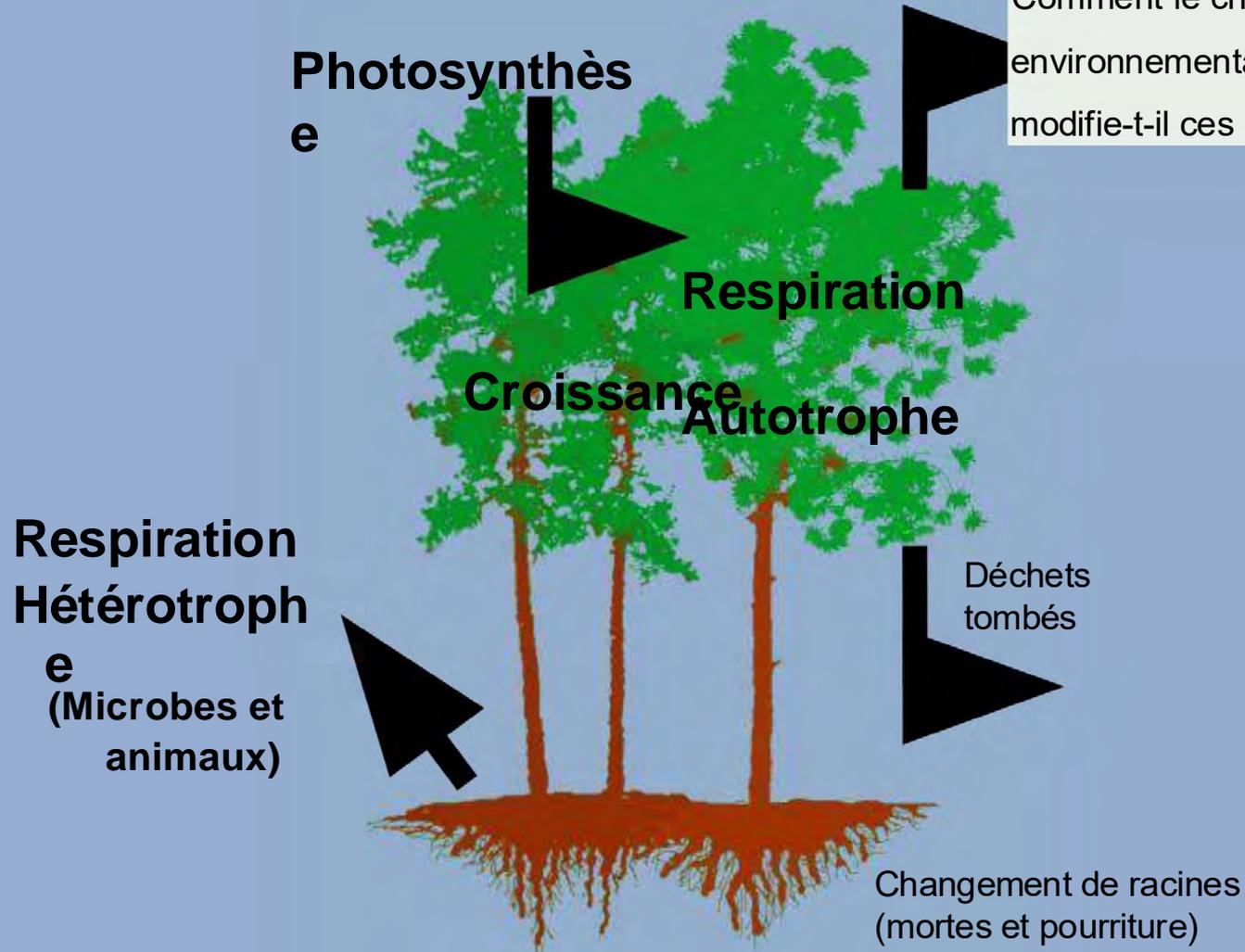
- Modèles conceptuels
- Modèles empiriques (processus = relation statistique)
 - Relations statistiques entre le résultat et le facteur déterminant
 - De grandes incertitudes si l'on extrapole au-delà des données utilisées pour définir les relations
 - Très simpliste mais rapide à exécuter sur les ordinateurs
- Modèles basés sur les processus
 - Les processus physiques, chimiques ou biophysiques établis sont explicitement modélisés
 - Utile dans les tests d'hypothèses

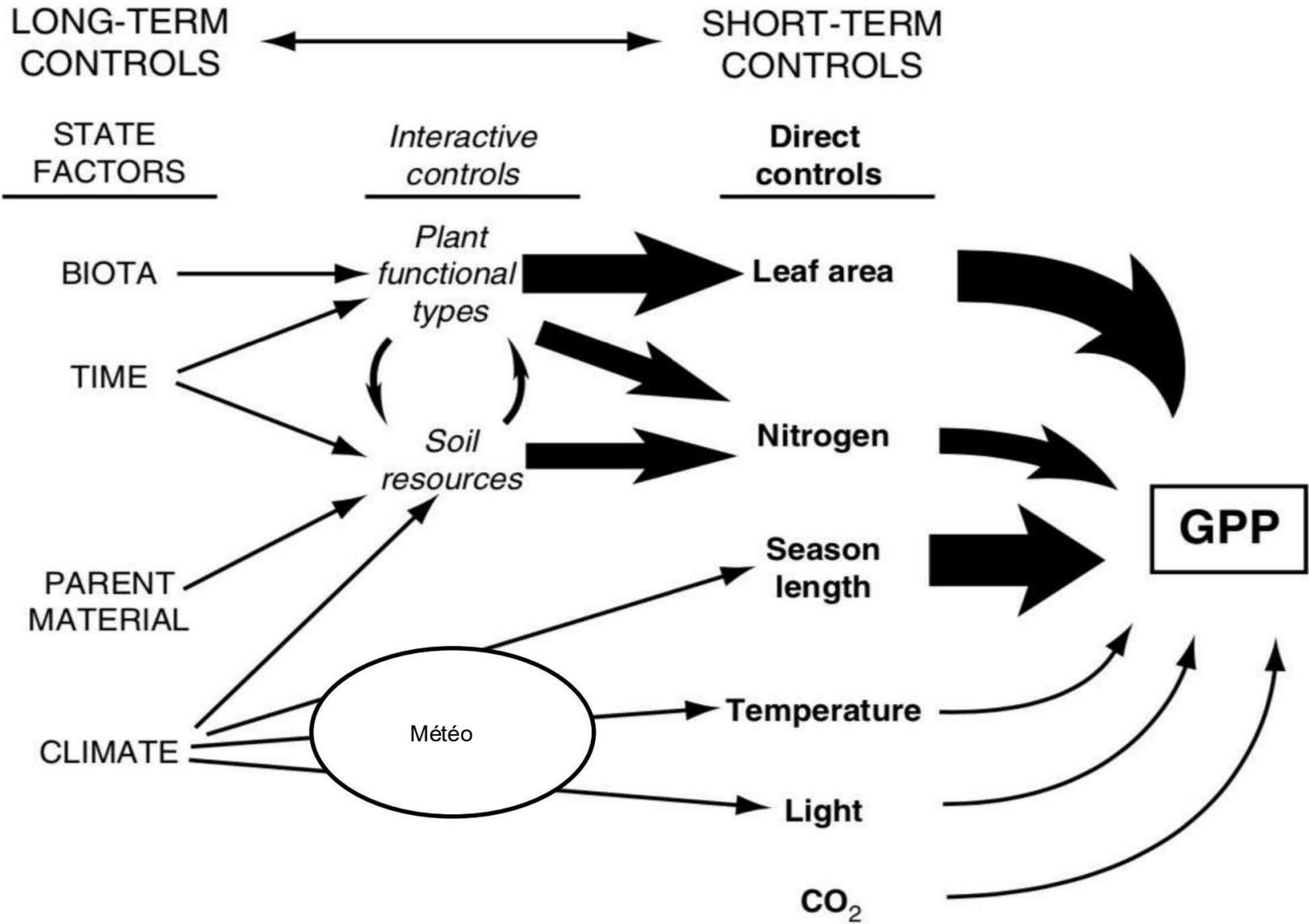


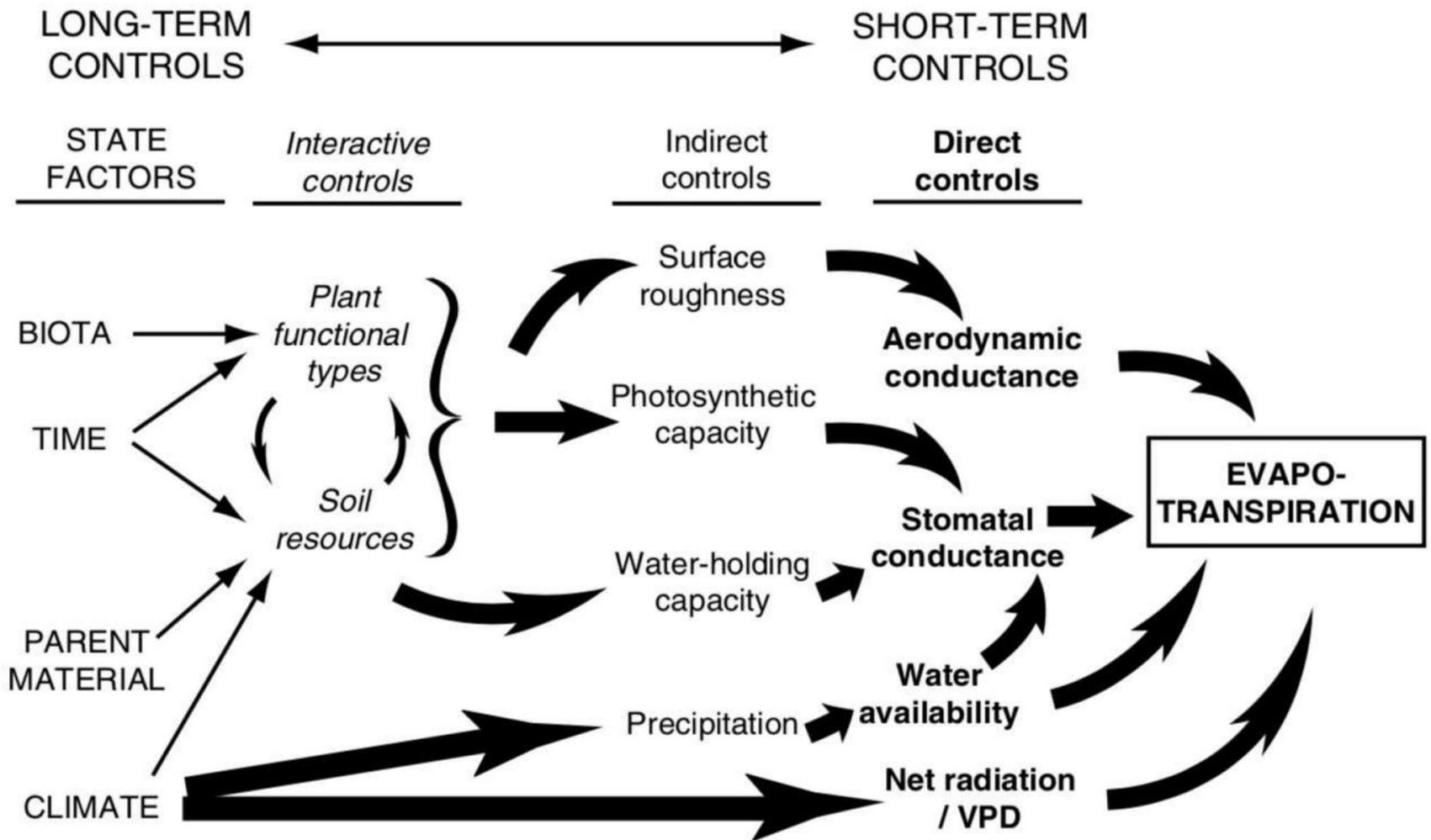


Modèle conceptuel simple d'un écosystème

Quels processus devrions-nous inclure ?
Comment le changement environnemental modifie-t-il ces processus ?







Précisions

Facteurs basés sur les processus vs. empiriques

Drivers vs. paramètres

États vs. Taux

Prédiction vs. Projection

Analyse comparative vs. Assimilation

Échelle du site vs. Grille

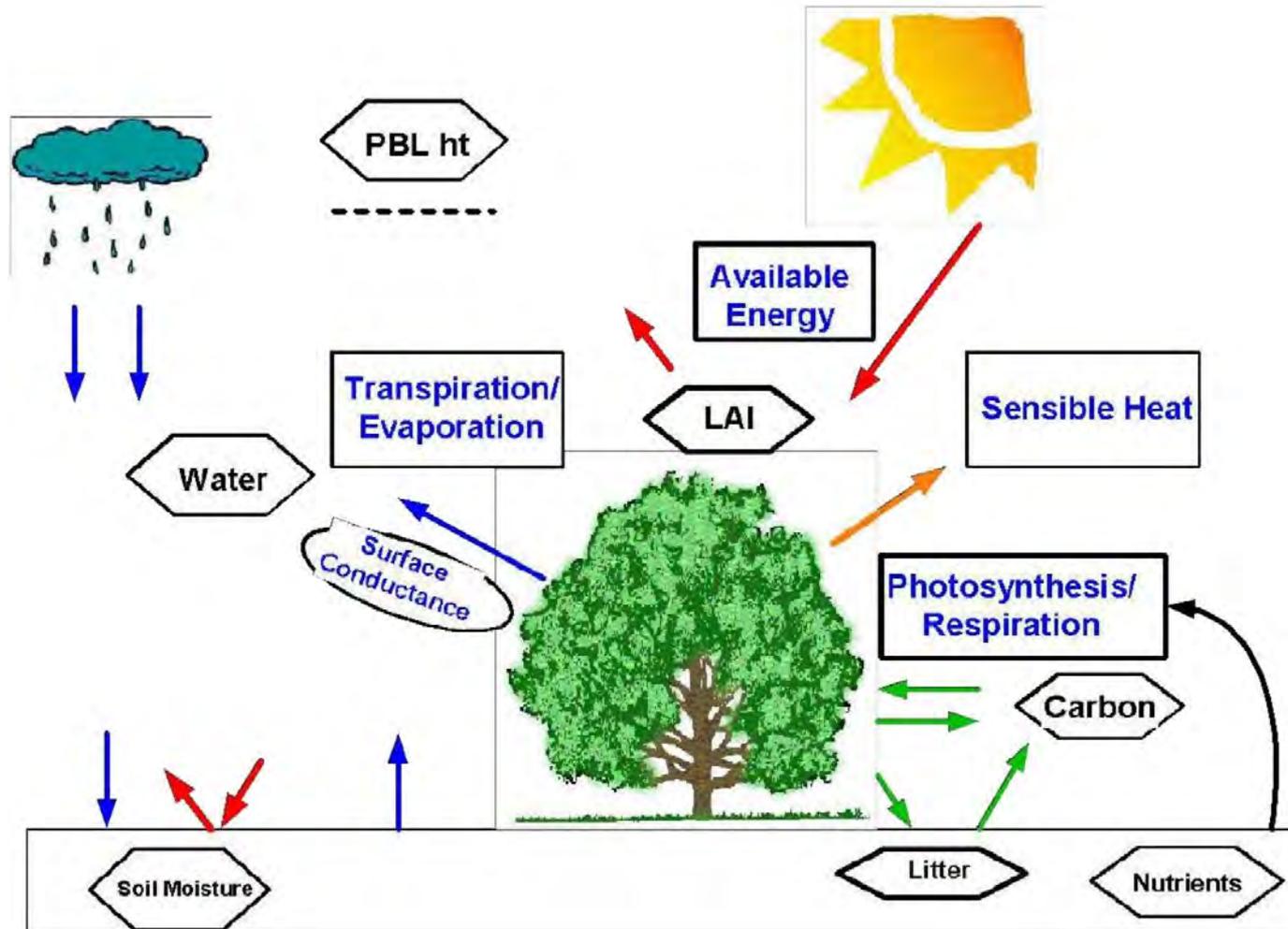
Abstraction vs. Réalité

Ensembles et MIPs

Caractéristiques fonctionnelles des plantes versus
types fonctionnels des plantes (versus espèces)



Complexité du système : Interconnexion des processus clés de l'écosystème



Processus typiques inclus dans les modèles d'écosystèmes

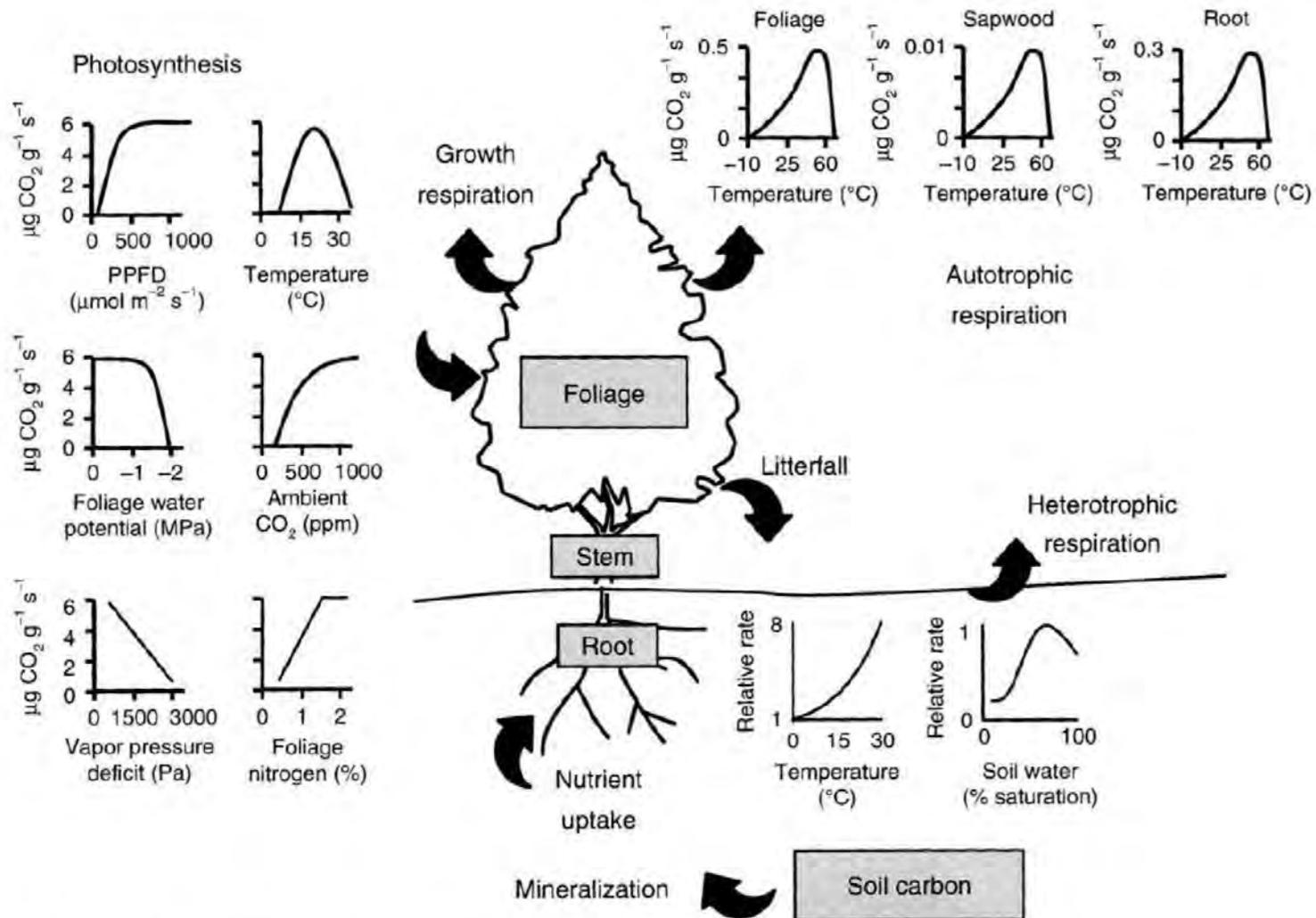
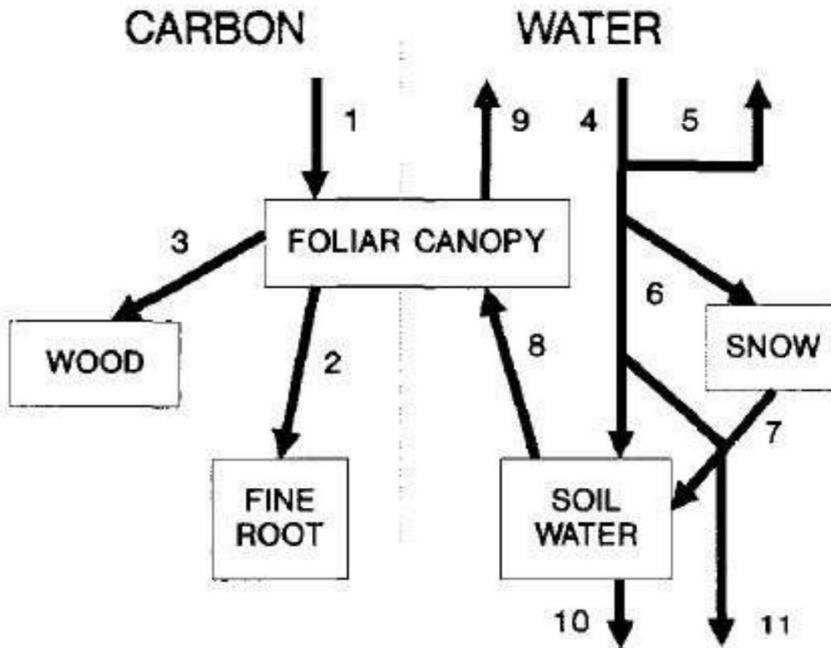


FIGURE 24.18. Processes typically included in ecosystem models. Shown are the ecosystem carbon balance, environmental controls of photosynthesis and respiration, and internal carbon and nutrient cycling.



- | | |
|-------------------------|--|
| 1. NET PHOTOSYNTHESIS | $f(\text{LIGHT, TEMP, WATER, N, LAI})$ |
| 2. FINE ROOT ALLOCATION | $f(\text{FOLIAGE PRODUCTION})$ |
| 3. WOODY ALLOCATION | BY DIFFERENCE |
| 4. PRECIPITATION | INPUT |
| 5. INTERCEPTION | CONSTANT FRACTION |
| 6. SNOW-RAIN DIVISION | $f(\text{TEMP})$ |
| 7. SNOW MELT | $f(\text{TEMP})$ |
| 8. UPTAKE | -EVAPOTRANSPIRATION |
| 9. EVAPOTRANSPIRATION | $f(\text{NET PHOTOSYNTHESIS, VPD})$ |
| 10. LEACHING | $f(\text{SOIL WATER, WHC})$ |
| 11. FAST FLOW | $f(\text{PRECIP, SNOWMELT})$ |

Fig. 1. Compartments, flow paths, and controlling variables within the PnET model

Lisez Aber et Federer
 1992 Oecologia (1992)
 92:463-474
 article sur PnET pour avoir une idée
 du fonctionnement d'un modèle
 d'écosystème simple

Il existe de nombreux modèles d'écosystèmes

Table 1
Acronyms, full names and references for the 16 models reviewed in this paper

Acronym	Full name	Reference
EXPECT-FORSOL	FORest SOIL module EXPLoring the Environmental Consequences for Tomorrow	Braat et al., 1991
FIWALD	FICHtenWALD (Spruce stand)	Schall, 1991
FORGRO	FORest GROwth model	Mohren, 1987
ForM-S	FORest Model Series	Arp and Oja, 1992
FORSUM	FORest SUccession Model	Kräuchi and Kienast, 1993
MAGIC	Model of Acidification of Groundwater In Catchments	Cosby et al., 1985
NAP	Nutrient Availability and Productivity	Van Oene, 1992
NICCCE	NITrogen Isotopes and Carbon Cycling in coniferous Ecosystems	Van Dam and Van Breemen, 1995
NUCSAM	NUtrient Cycling and Soil Acidification Model	Kros et al., 1993
PnET-CN-CHESS	Photosynthesis and EvapoTranspiration-Carbon and Nitrogen Interactions	Aber and Federer, 1992
PROFILE		Warfvinge et al., 1993
SOIL-SOILN	SOIL model	Jansson and Halldin, 1979
	SOIL Nitrogen model	Johnson et al., 1987
SOILVEG	SOIL VEGetation model	Berdowski et al., 1991
SWIF	Soil Water In Forested Ecosystems	Tiktak and Bouten, 1992
TREGRO	TREe GROwth model	Weinstein et al., 1991
WATERSTOF	WATER en STOF transport	Wesselink and Van Grinsven, 1991

- Unidimensionnel

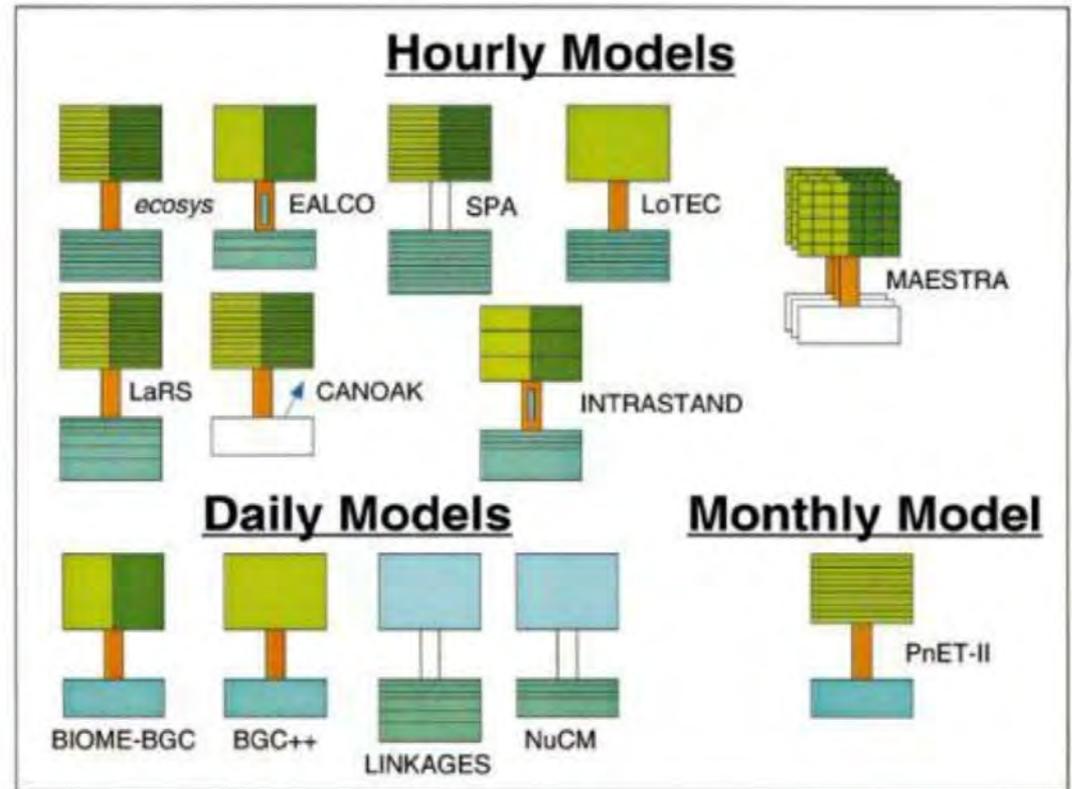
- À grandes feuilles
- Double source (soleil et ombre)
- 2 couches
- Végétation et sol
- Multicouches

- Bidimensionnel •

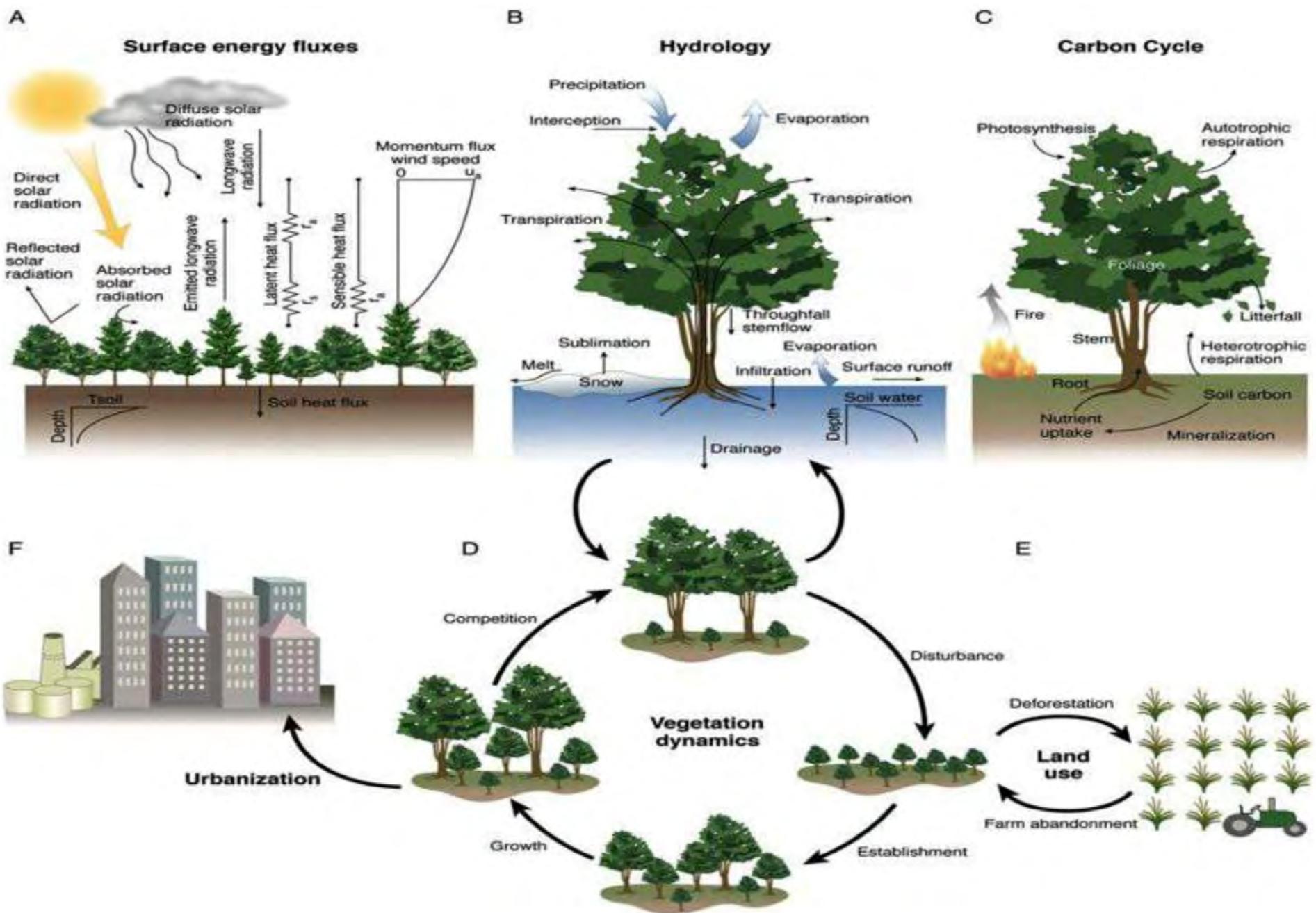
- Double source
- Ensoleillé ET ombragé
- Sol végétalisé et nu

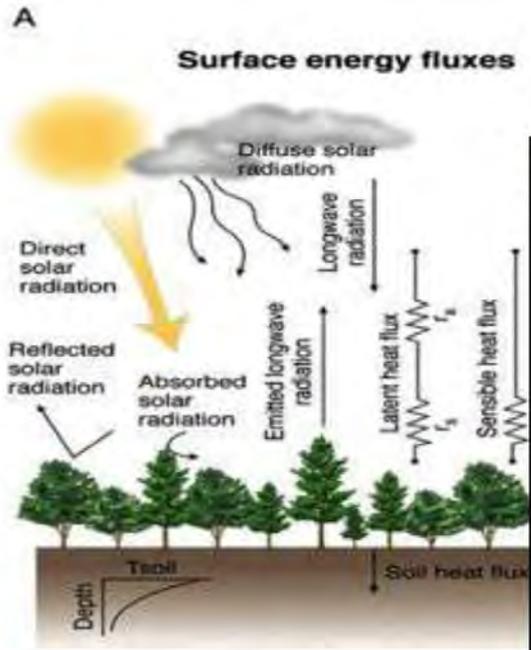
- Tridimensionnel •

- Plantes et arbres individuels



En général, plus un modèle est complexe, plus vous devez connaître de paramètres avant de l'exécuter.





B Hydrology

Precipitation

```

// calculate transpiration (cm H2O * day^-1)
// and dWater (factor between 0 and 1)
void moisture(double *trans, double *dWater, double potGrossPsn, double vpd, double soilWater) {
  double potTrans; // potential transpiration in the absence of plant water stress (cm H2O * day^-1)
  double removableWater;
  double wue; // water use efficiency, in mg CO2 fixed * g^-1 H2O transpired

  if (potGrossPsn < TINY) { // avoid divide by 0
    *trans = 0.0; // no photosynthesis -> no transpiration
    *dWater = 1; // dWater doesn't matter, since we don't have any photosynthesis
  }

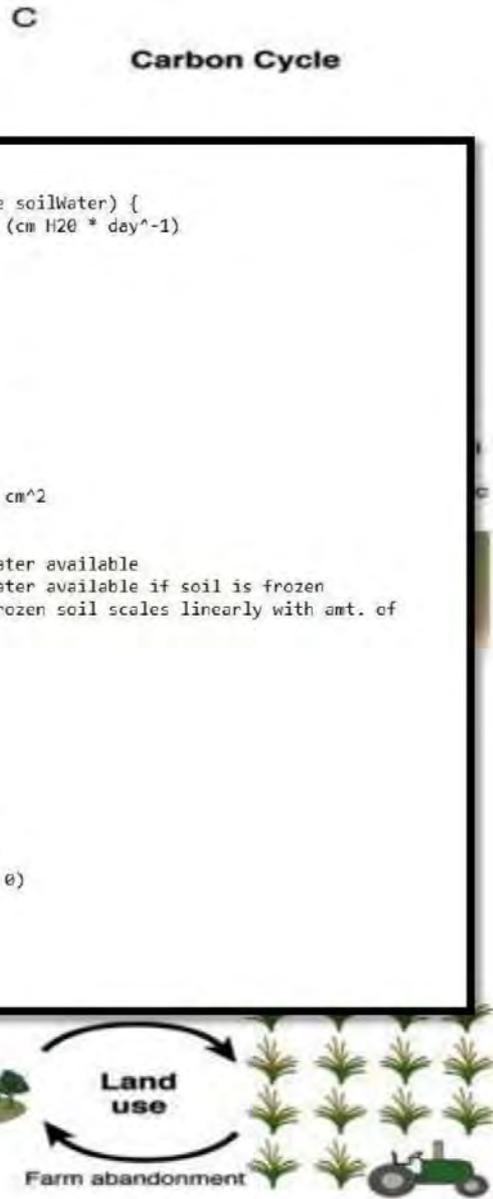
  else {
    wue = params.wueConst/vpd;
    potTrans = potGrossPsn/wue * 1000.0 * (44.0/12.0) * (1.0/10000.0);
    // 1000 converts g to mg; 44/12 converts g C to g CO2, 1/10000 converts m^2 to cm^2

    removableWater = soilWater * params.waterRemoveFrac;
    if (climate->tsoil < params.frozenSoilThreshold) // frozen soil - less or no water available
      removableWater *= params.frozenSoilEff; /* frozen soil effect: fraction of water available if soil is frozen
      (assume amt. of water avail. w/ frozen soil scales linearly with amt. of
      water avail. in thawed soil) */

    if (removableWater >= potTrans)
      *trans = potTrans;
    else
      *trans = removableWater;

    #if WATER_PSN // we're modeling water stress
      *dWater = *trans/potTrans; // from PnET: equivalent to setting DWATER_MAX = 1
    #else // WATER_PSN = 0
      if (climate->tsoil < params.frozenSoilThreshold && params.frozenSoilEff == 0)
        // (note: can't have partial shutdown of psn with frozen soil if WATER_PSN = 0)
        *dWater = 0; // still allow total shut down of psn. if soil is frozen
      else // either soil is thawed, or frozenSoilEff > 0
        *dWater = 1; // no water stress, even if *trans/potTrans < 1
    #endif // WATER_PSN
  }
}

```



Complexité et paramètres

Modèle Farquhar CanOAK

- Les modèles à l'échelle locale ont tendance à avoir des paramètres pour différentes espèces, couches de feuilles, compartiments du sol, etc.
- Les modèles à plus grande échelle traitent toutes les espèces d'un type fonctionnel exactement le même
 - o Par exemple, les arbres à feuilles caduques à feuilles larges, les arbres à feuilles caduques à feuilles d'aiguilles, arbres à feuilles larges persistantes, arbres à feuilles persistantes à feuilles caduques, arbustes, graminées C3, graminées C4, etc.

Produit MODIS GPP

Modèles de surface terrestre

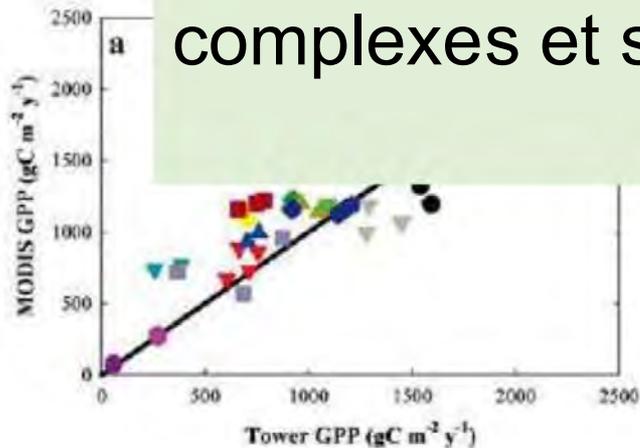
Produit GPP/PSN (conférence Quaife)

- Inherits errors from the LAI/fAPAR product
- Driven by climate data
- Uses a very simple model for efficiency
 - Linear ramps for VPD and temperature
- Driven by a generalised look-up table

Des modèles simples peuvent être utiles pour certaines questions

Produit MODIS GPP

– Il existe des utilisations pour les modèles complexes et simples

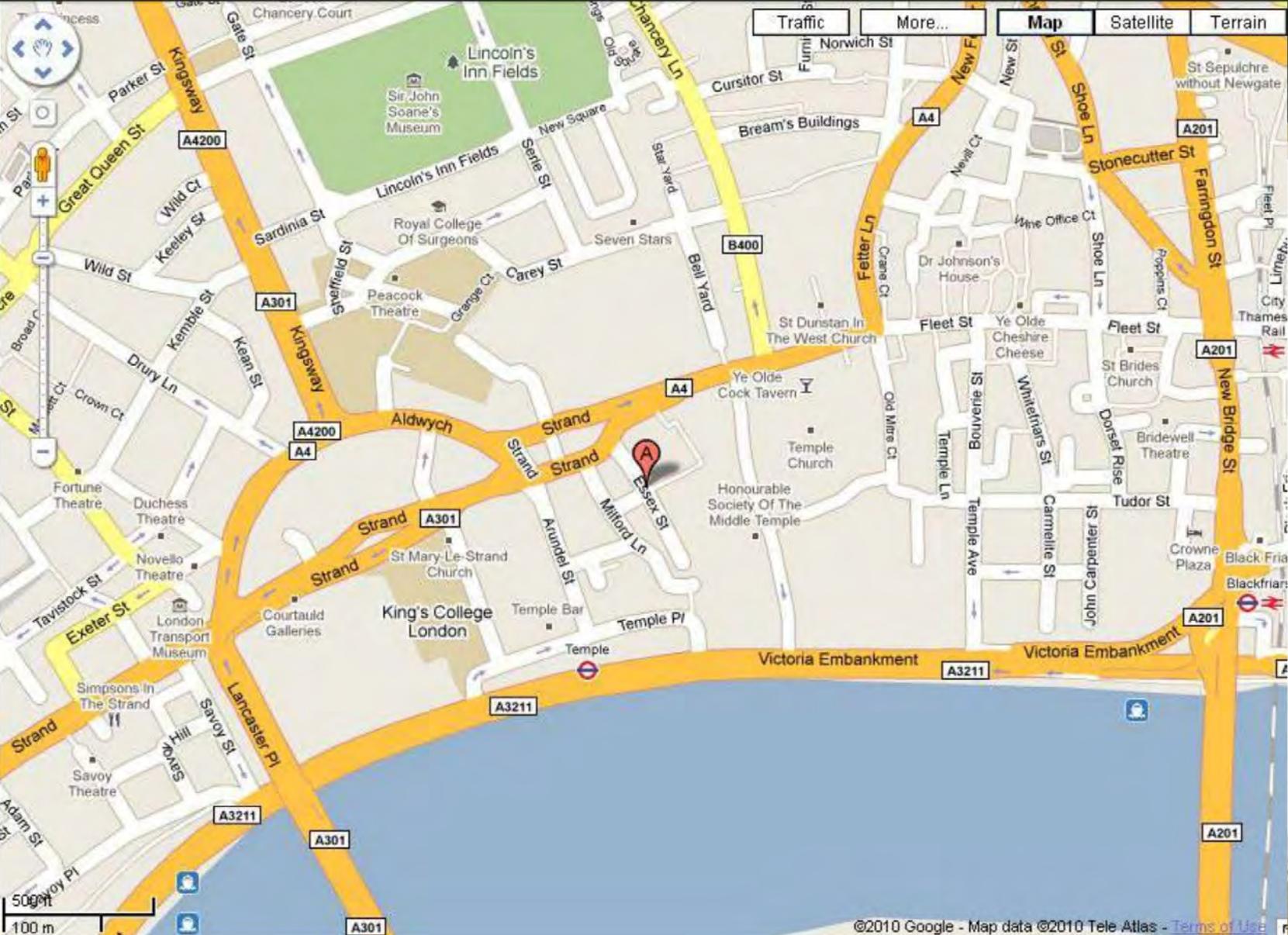


IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 44, NO. 7, JULY 2006

THE EDGAR WALLACE

Y3223





Trouvez votre chemin vers Édimbourg à l'aide de cette carte



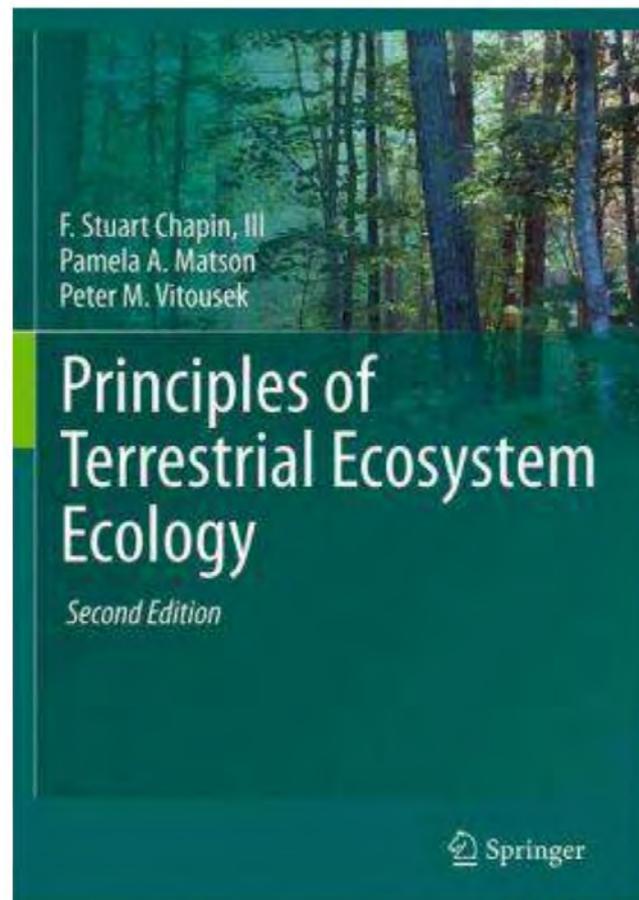
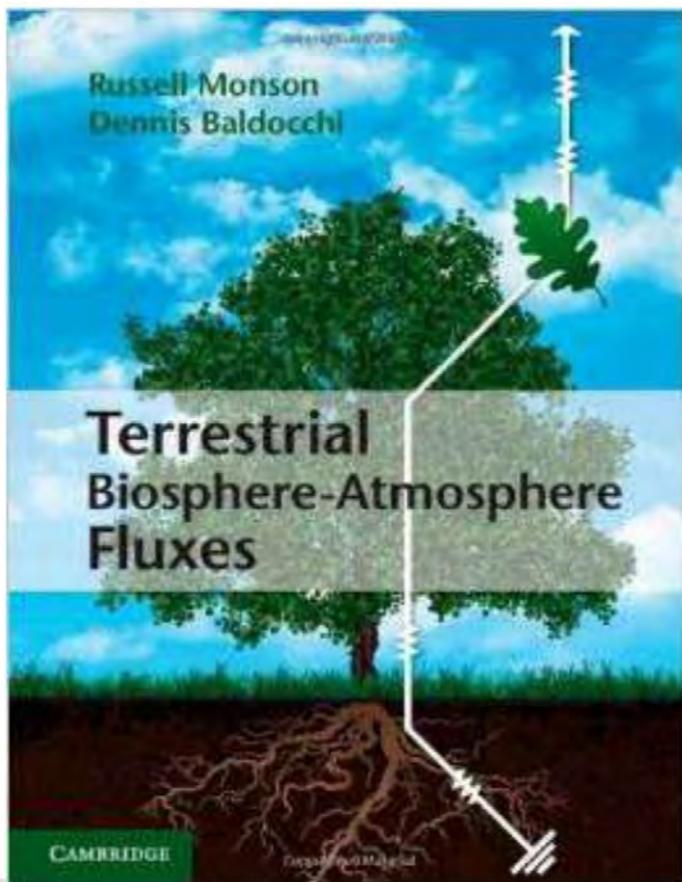
Modèles d'écosystèmes

Tous les modèles sont faux

(mais certains d'entre eux sont utiles)

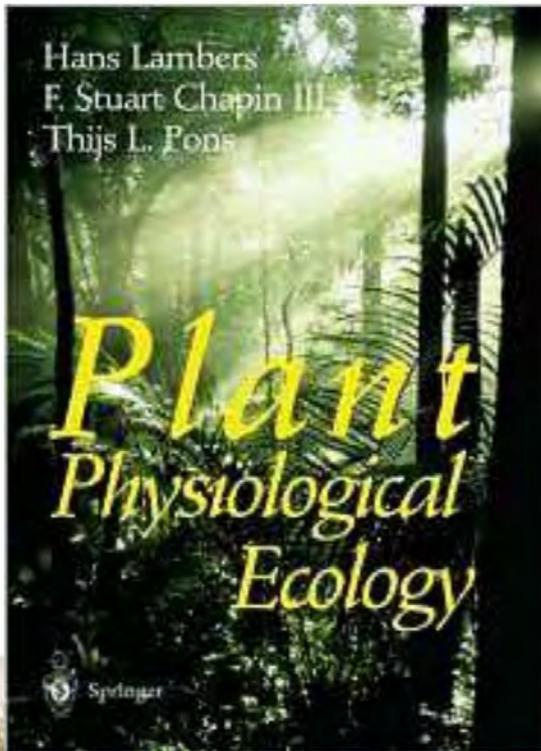


Matériel de lecture général : écologie et modélisation basée sur les processus

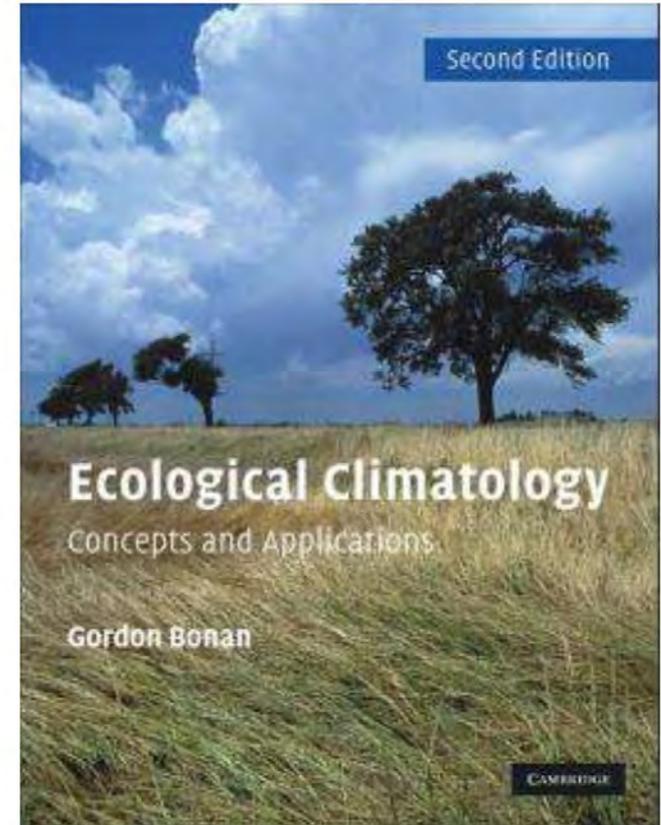


Matériel de lecture général : écologie et modélisation basée sur les processus

Bonan G. (2008) Climatologie écologique : concepts et applications. Cambridge University Press, ISBN-10: 0521693195



Lambers, H, Chapin FS, Pons, TL (1998) Écologie physiologique des plantes. Springer-Verlag New York. ISBN0387983260



Spaghetti Carbon-Era

