

Ecosystèmes :

De l'harmonie quasi-biblique

des années 1960s

au chaos

des concepts modernes

Charles F. Boudouresque
Professeur au Centre
d'Océanologie de Marseille



9^{èmes} rencontres entre professeurs des lycées et collèges et enseignants-chercheurs de l'Université

Vendredi 10 Avril 2009
Station Marine d'Endoume, Marseille

Conférence-débat



Le campus de Luminy. © Grand Luminy



La Station marine d'Endoume. © J.G. Harmelin

Citation :

Boudouresque C.F., 2009. *Ecosystèmes : de l'harmonie quasi-biblique des années 1960s au chaos des concepts modernes*. 9^{èmes} rencontres entre professeurs des lycées et collèges et enseignants-chercheurs de l'Université : 46 diapositives.

Charles F. Boudouresque : Centre d'Océanologie de Marseille, campus de Luminy, case 901, 13288 Marseille cedex 9. charles.boudouresque@univmed.fr

L'écosystème

La biocénose (les espèces)

+ L'habitat (= biotope)

+ La rétroaction de la biocénose sur l'habitat

+ Les interactions entre espèces

+ Les flux de matière

= l'écosystème

**Les mythes de l'écologie des
années 1950-1960**



**~~L'écosystème en
bonne santé est
équilibre, stabilité,
et harmonie~~**

En bonne santé ?

En équilibre ?

Stable ?

Harmonie ?

Harmonie ?

~~Pas de niche écologique
vacante !~~

Une niche écologique n'existe
que si elle est occupée

~~Une seule espèce par niche
écologique !
(l'exclusion compétitive de
Gause)~~

Cela n'existe que dans le monde
biblique des écologistes fixistes
et créationnistes

Une place pour chaque
chose et chaque chose
à sa place



Shhh ! Ils ne savent
pas qu'ils sont
créationnistes !



← [poubelle de
l'écologie]

1. La préhistoire de l'écologie

Harmonie ?

22 Octobre 4004 avant J.C. (selon
l'archevêque James Ursher)



**La lionne mange de l'herbe
Et que font les 'méchants' parasites ?**

**Creation Museum,
Petersburg, USA**

1. La préhistoire de l'écologie



**Que les écosystèmes seraient bien si
l'environnement était stable,
S'il n'y avait pas ces méchantes perturbations,
Si le climat ne changeait pas**

**Mais l'environnement fluctue à toutes les
échelles de temps et d'espace**

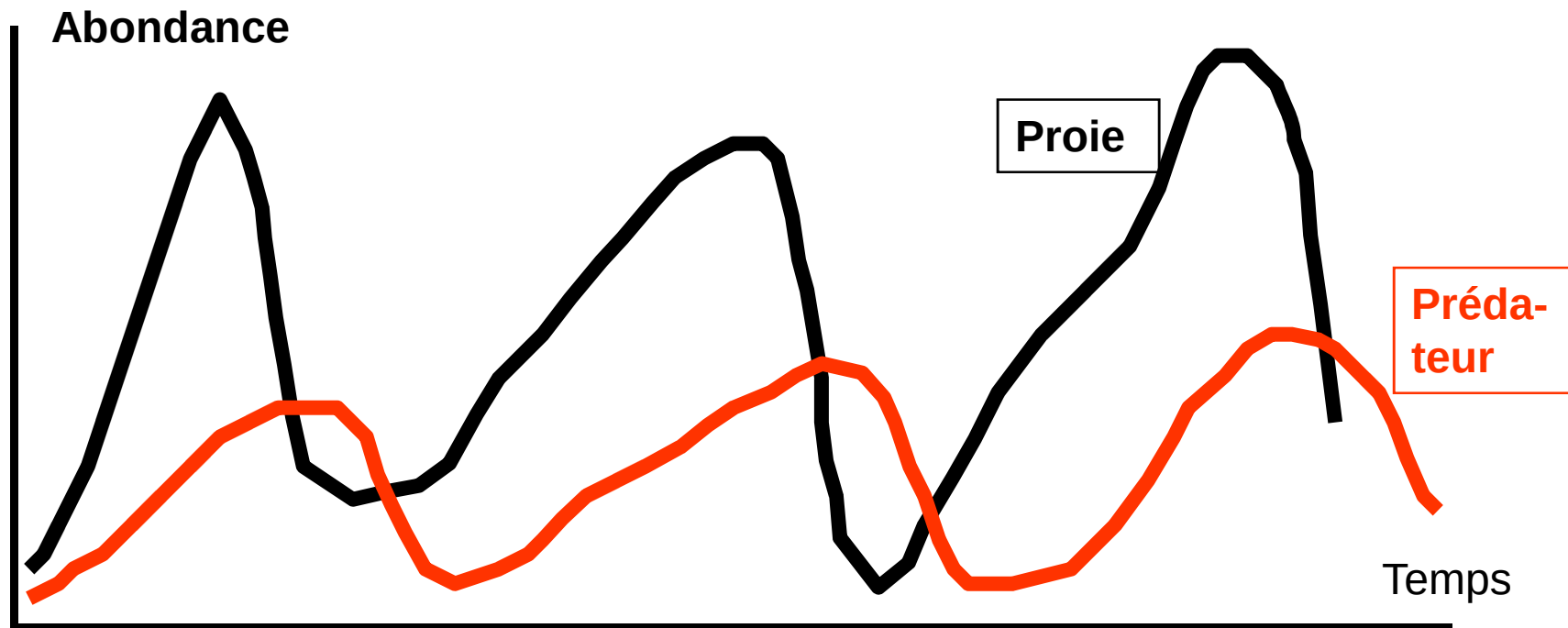
**Mais les perturbations font partie du
fonctionnement normal d'un écosystème**

Et le climat change plus vite que son ombre



L'écosystème : une machine à fabriquer de la variabilité endogène

← [même en l'absence de
tout forçage externe]

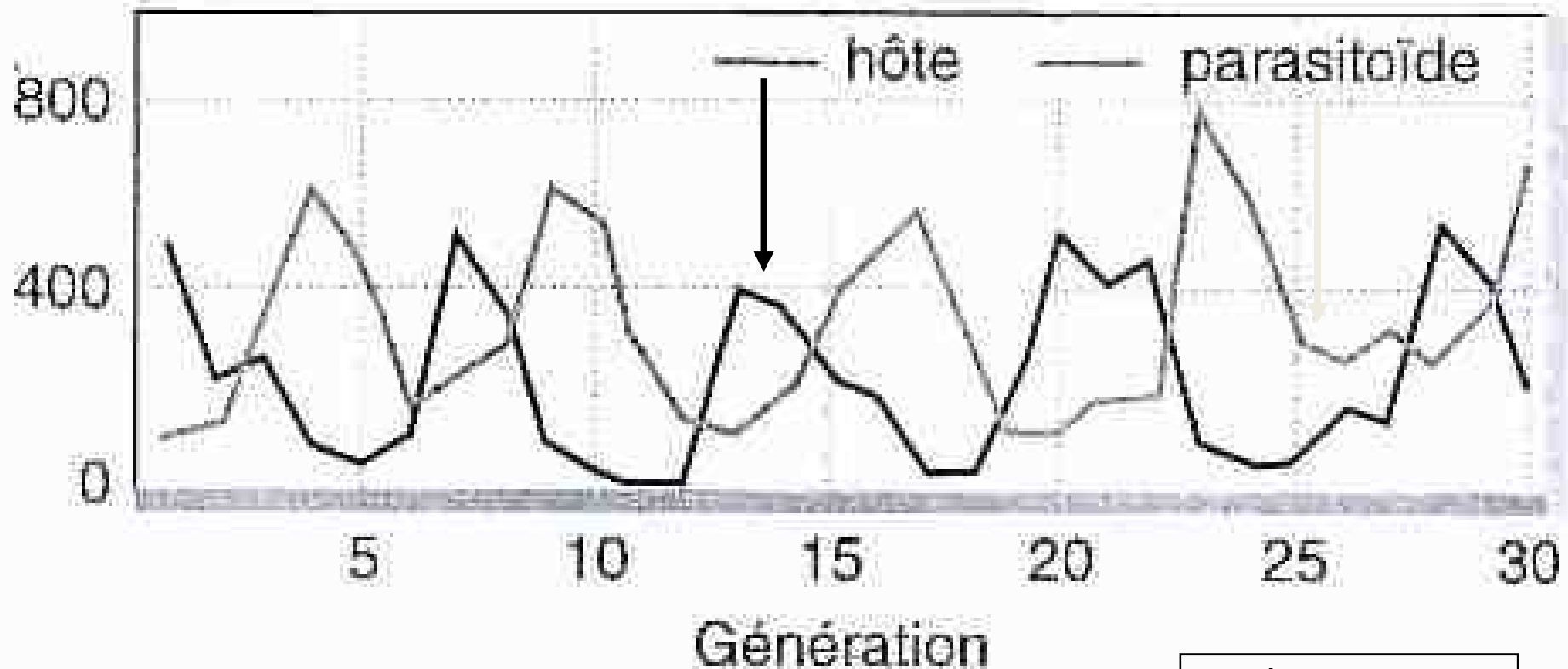


Sous certaines conditions, des cycles prédateur-proie

2. L'écosystème : une machine à fabriquer de la variabilité endogène

Le charançon *Callosobruchus chinensis* et son parasite (= parasitoïde) la guêpe *Heterospilus*

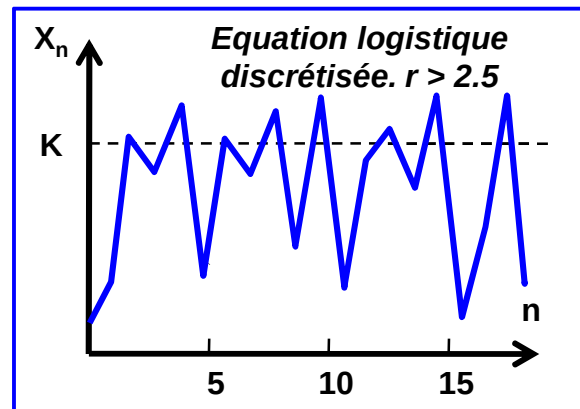
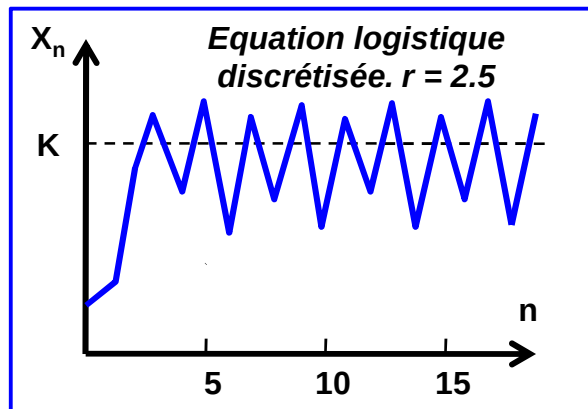
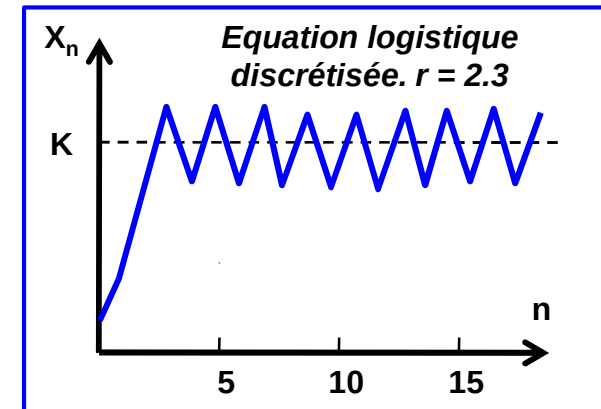
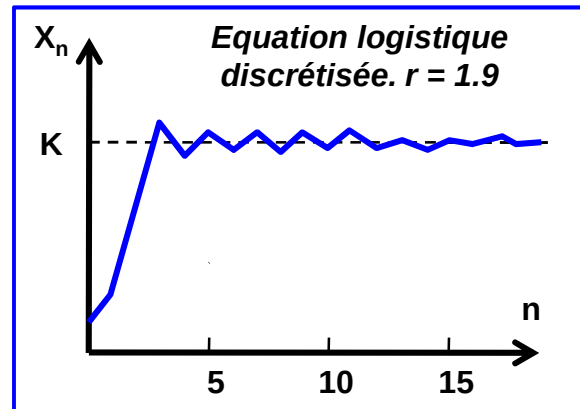
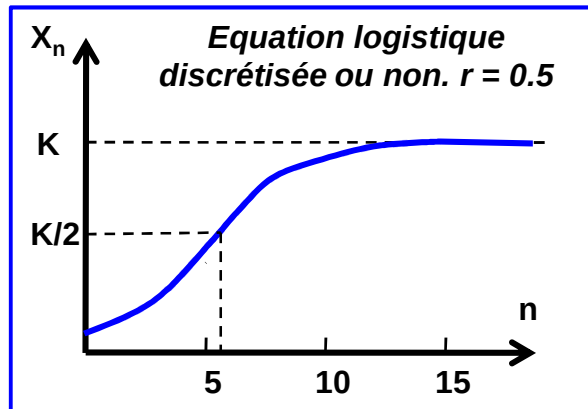
Nombre adultes



D'après Utida 1957 in
Ricklefs et Miller (2005)

Sous certaines conditions, des cycles parasite-hôte

La croissance dans le temps d'une population en fonction de r



- Oscillations qui s'amortissent
- Oscillations régulières
- Cycle sur 4 valeurs
- Variations chaotiques

D'après Coquillard et Hill, 1997. Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets. Masson publ., Paris: xx + 273 pp

Production des diaspores : la stratégie de saturation du prédateur

[Diaspore = tout élément de reproduction : œuf, graine, spore, conidie, larve, etc.]

Des diaspores riches en énergie (réserves) (cas des stratégies K) sont attractives pour les prédateurs

Si cette ressource était régulière et donc **prévisible**, leur population s'adapterait à cette ressource → exploitation totale

Il faut la rendre **imprévisible** et donc irrégulière



*Dendrocalamus
giganteus*



*Semibalanus
cariosus*

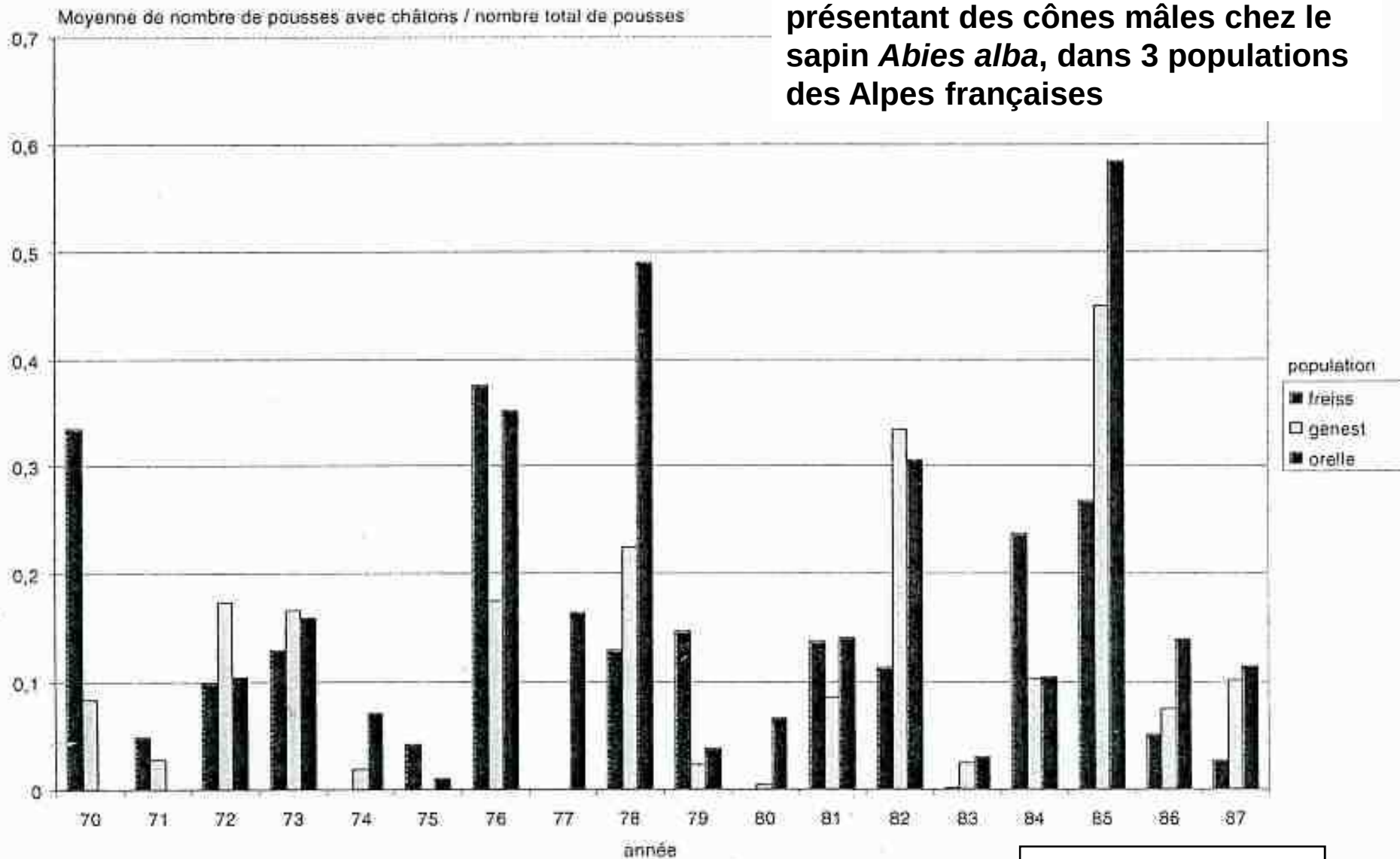


*Posidonia
oceanica*

**Be unpredictable,
be successful**

2. L'écosystème : une machine à fabriquer de la variabilité endogène

Proportion moyenne des pousses présentant des cônes mâles chez le sapin *Abies alba*, dans 3 populations des Alpes françaises



D'après Szabadi (2003)

**Emission simultanée des gamètes par
130 espèces de Scléractiniaires +
autres
'inver-
tébrés'**

Great Barrier
Reef,
Australie

De nuit,
quelques
jours après
la pleine
lune,
Novembre ou
Décembre

D'après
Patten *et al.*,
2008. *Aquatic
Microbial
Ecology*, 50
(3) : 209-220



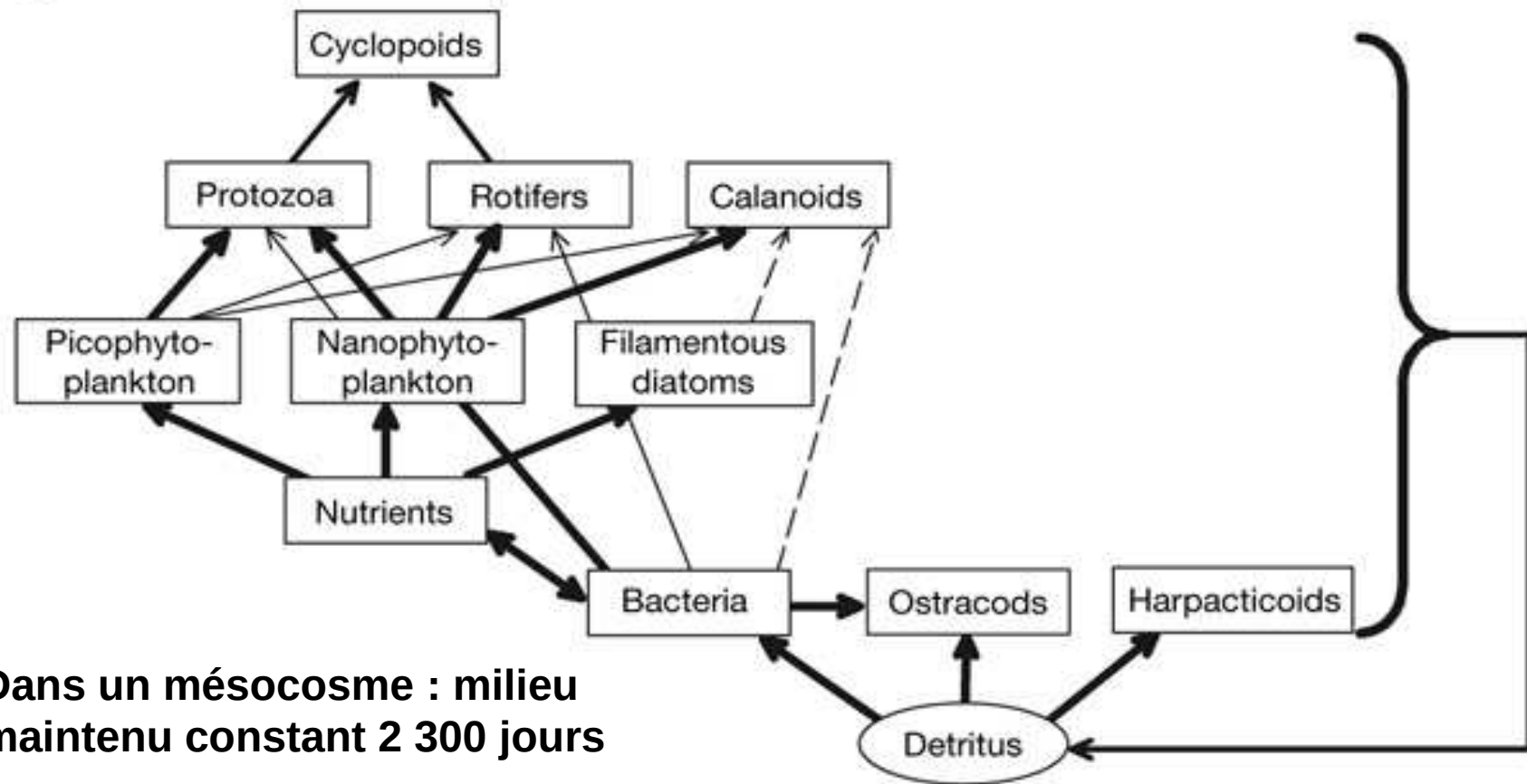
→ Amélioration rencontre des gamètes

→ Saturation des prédateurs

3. L'écosystème : une machine à fabriquer du chaos

Les modèles mathématiques montrent que les fluctuations au sein d'un écosystème peuvent être **chaotiques**

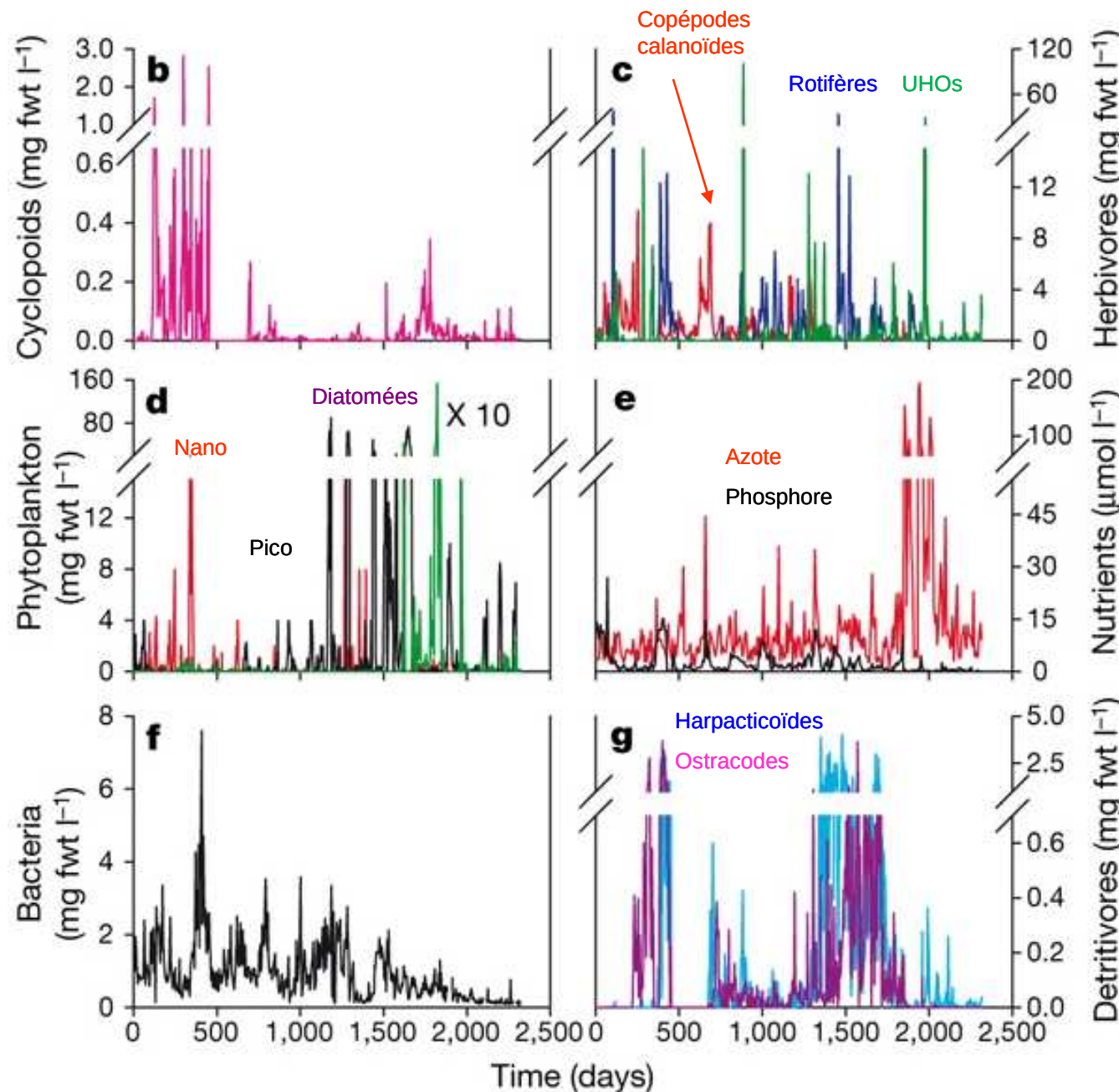
Démonstration expérimentale pour un écosystème planctonique



Dans un mésocosme : milieu
maintenu constant 2 300 jours

D'après Benincá *et al.*, 2008. *Nature*, 451 : 823-825

3. L'écosystème : une machine à fabriquer du chaos



**Fluctuations des
compartiments
fonctionnels**

Parfois cycliques

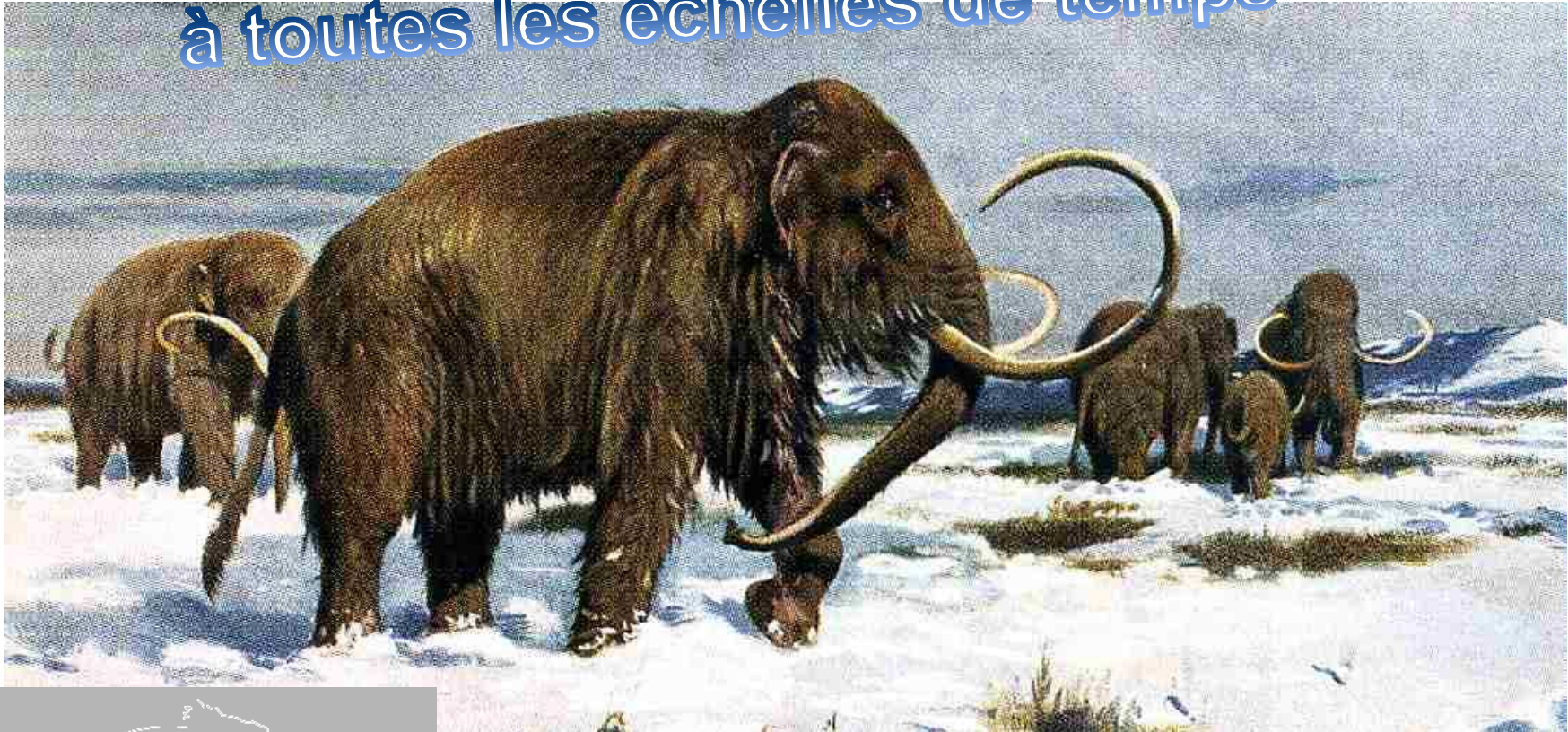
**Résultat
chaotique**

**Prédiction
maximale :**

**15-30 d (idem
météorologie)**

**Benincá et al.,
2008. *Nature*, 451 :
823-825**

Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps



***Mammuthus primigenius*. Disparition :**
→ il y a 10 000 ans (Europe, Amérique du Nord)
→ Il y a 4 000 ans (île de Wrangel, Sibérie)

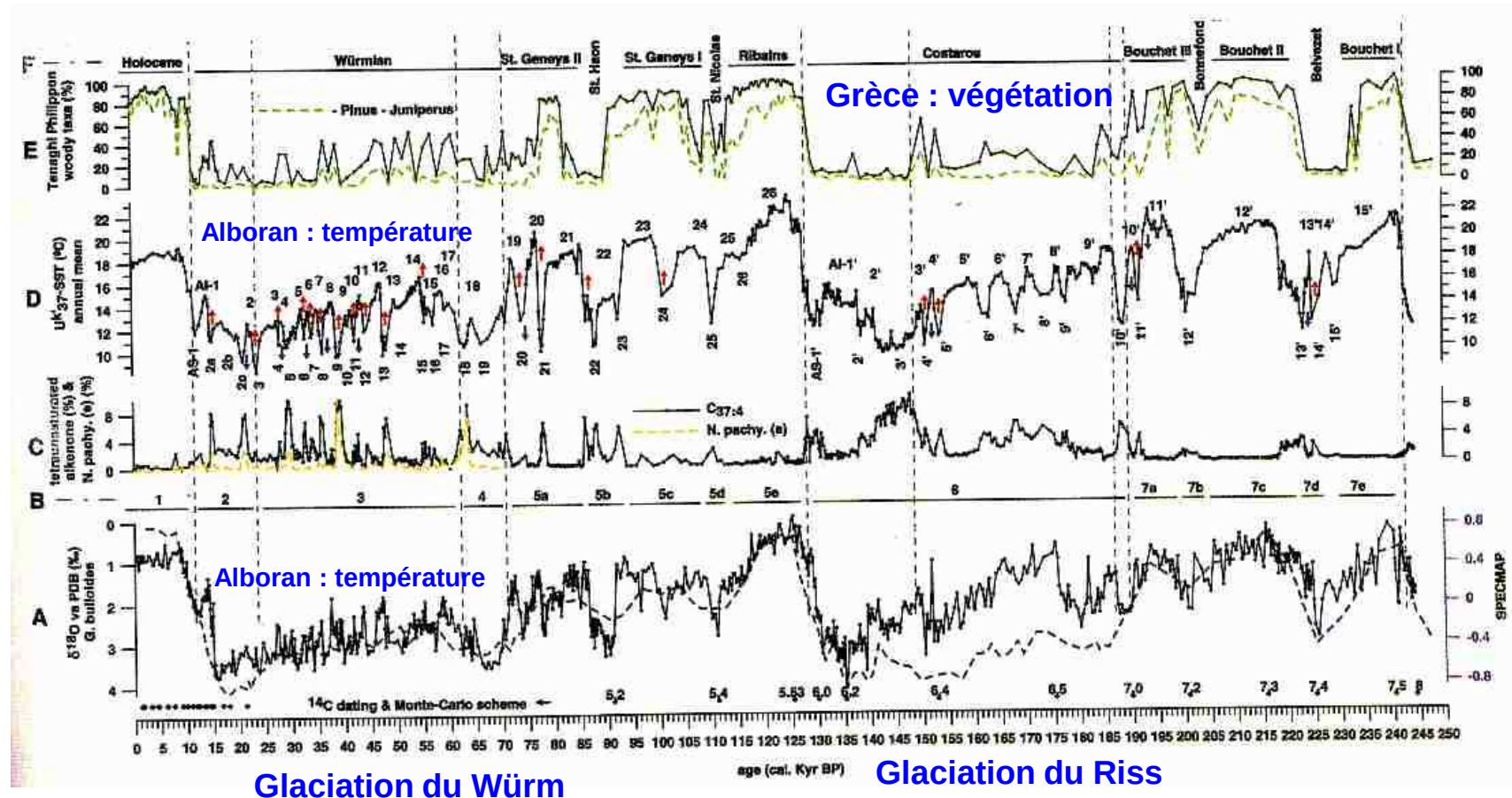
← Grotte des Eyzies (Dordogne)

4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps

Les cycles glaciaires : 100 000 ans

Les évènements de Heinrich : 7 500 ans

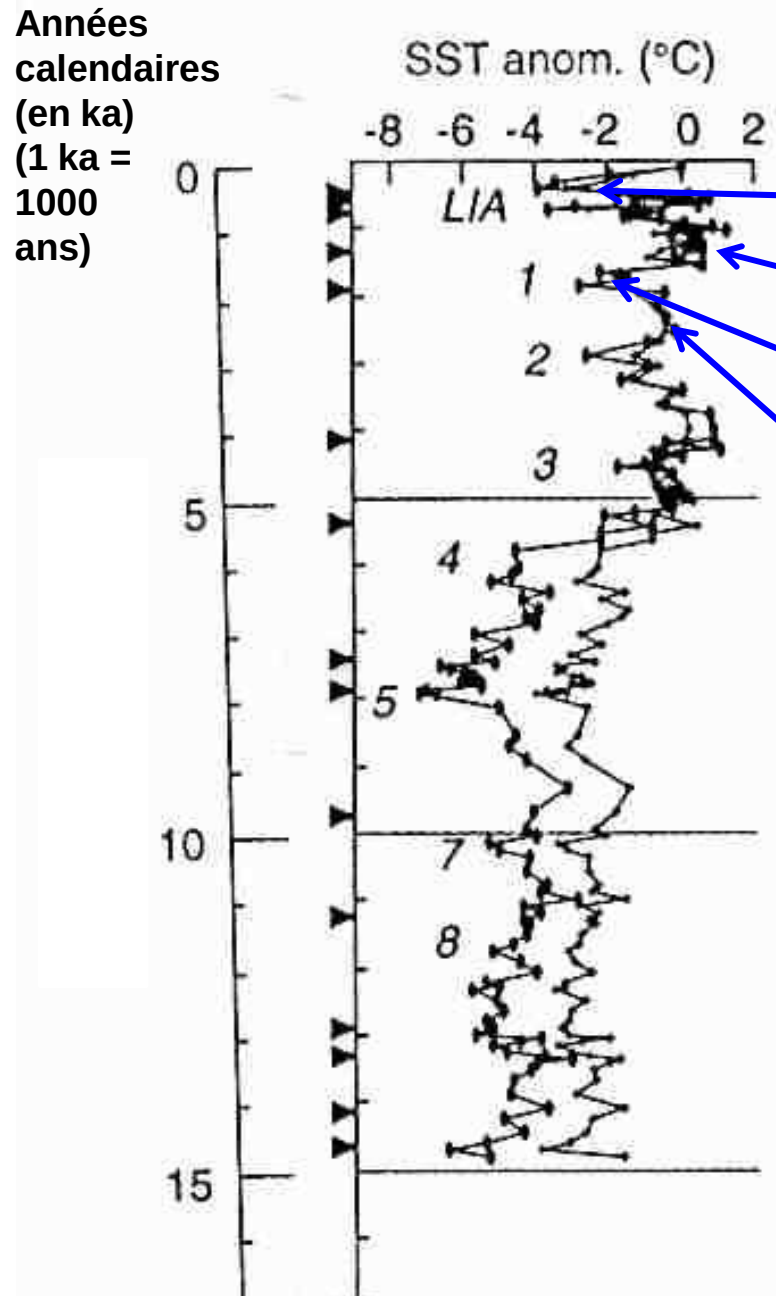
Les évènements de Dansgaard-Oeschger (DO) : 1 470 ans



D'après Martrat et al., 2004.
Science, 306 : 1762-1765

Une caractéristique générale des cycles climatiques :
refroidissement lent, réchauffement brutal

Les cycles de 1 470 ans



LIA : Little Ice Age (le
Petit âge glaciaire)

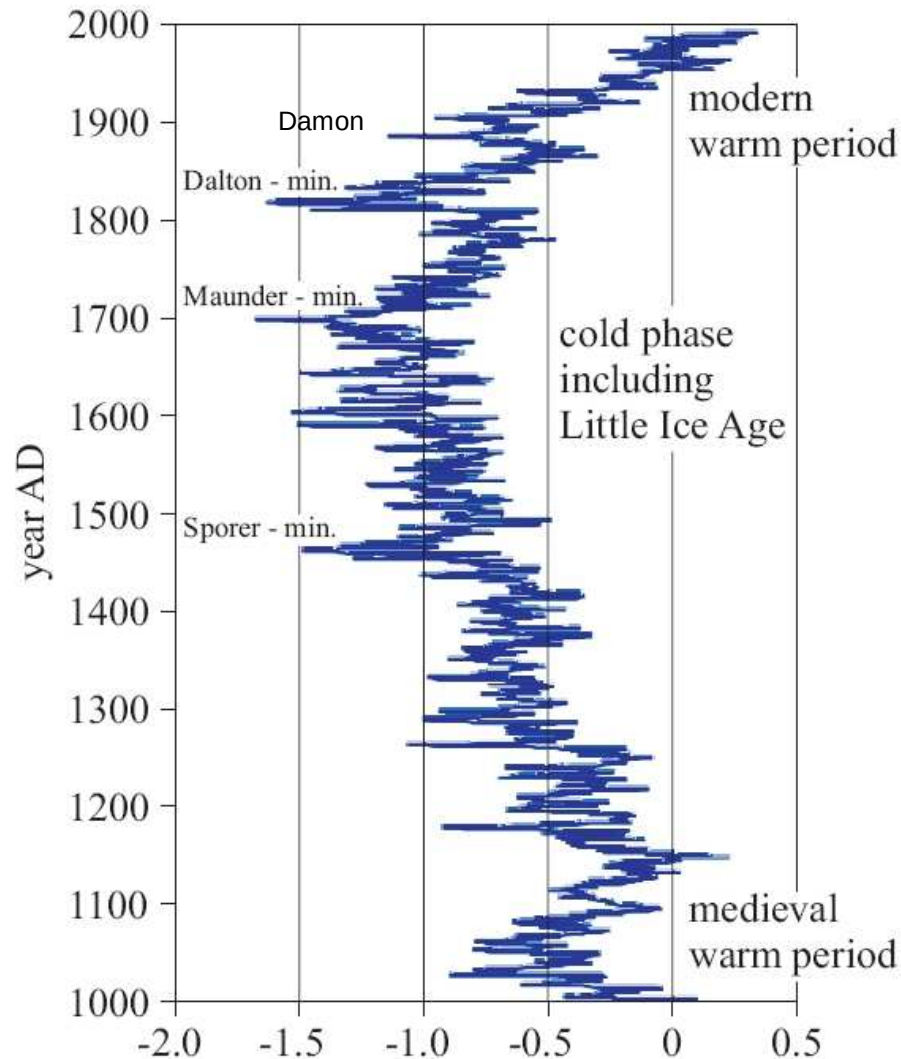
La **Période chaude
médiévale** (MWP :
Medieval Warm Period)

1. La **Période froide des
âges sombres** (DACP :
Dark Ages Cold Period)

La **Période chaude romaine**
(RWP : Roman Warm Period)

D'après DeMenocal et al., 2000.
Science, 288 : 2198-2202

Le LIA : trois pics (Sporer, Maunder et Dalton)



Déviation température hémisphère Nord (°C) par rapport à la moyenne 1900-1980

Vase noire laminée anoxique (halocline due à entrée eaux mer du Nord)

Vase gris clair homogène (mélange colonne d'eau)

Vase noire laminée anoxique (halocline due à entrée eaux mer du Nord)



D'après Leipe *et al.*, 2008. *Oceanologia*, 50 (1) : 23-41

Carotte sédiments mer Baltique

4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps



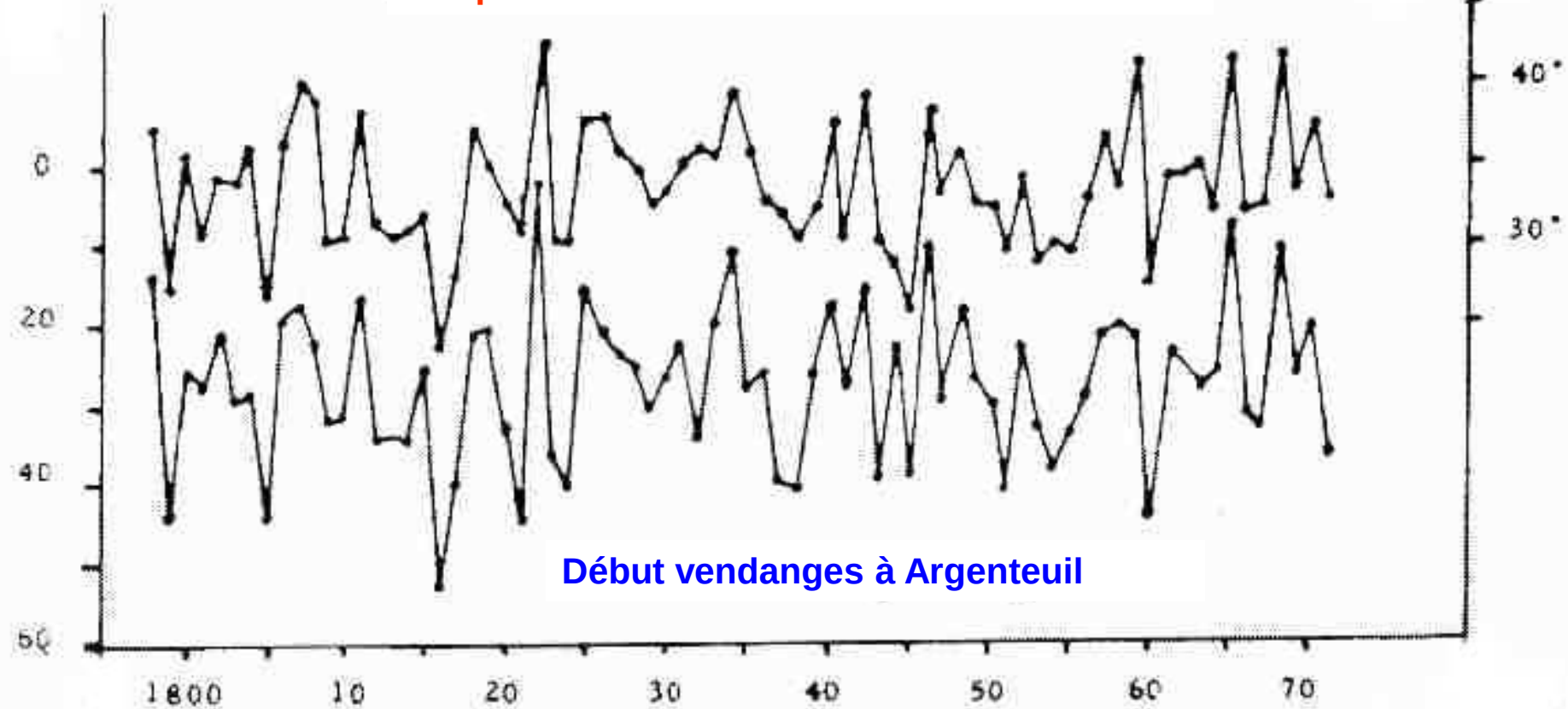
4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps

Le découverte du petit âge glaciaire (LIA) par Le Roy Ladurie : corrélation température – début des vendanges

Date début vendanges
(nombre de jours
après le 1^{er} septembre)

Température à l'observatoire de Paris

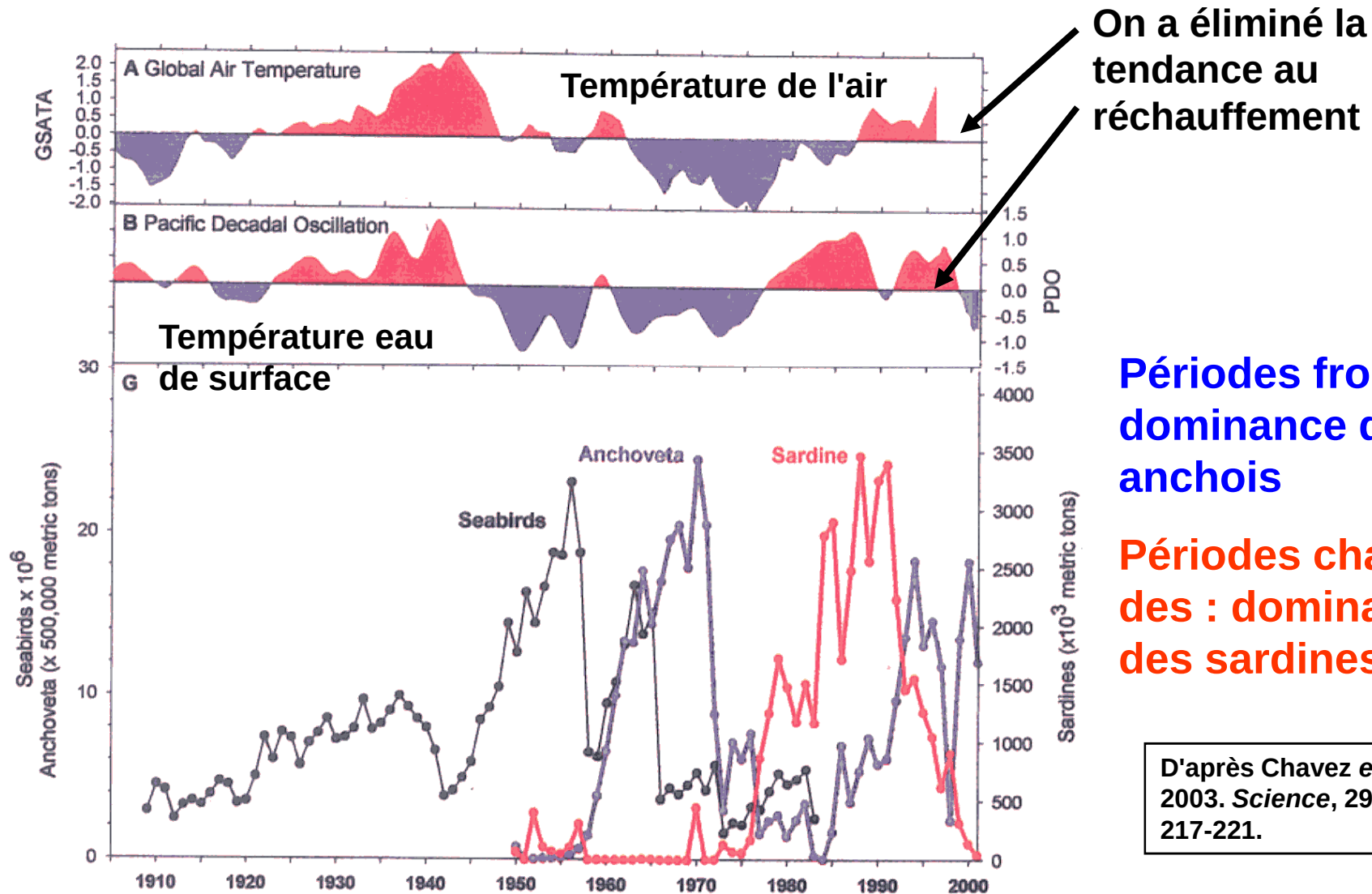
Indice de
température Mars
à Août



D'après Le Roy Ladurie (2005)

4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps

Les cycles de 50 ans dans le Pacifique : PDO (Pacific Decadal Oscillation).
Même chose dans l'Atlantique Nord (AMO)



Périodes froides :
dominance des
anchois

Périodes chau-
des : dominance
des sardines

D'après Chavez *et al.*,
2003. *Science*, 299 :
217-221.

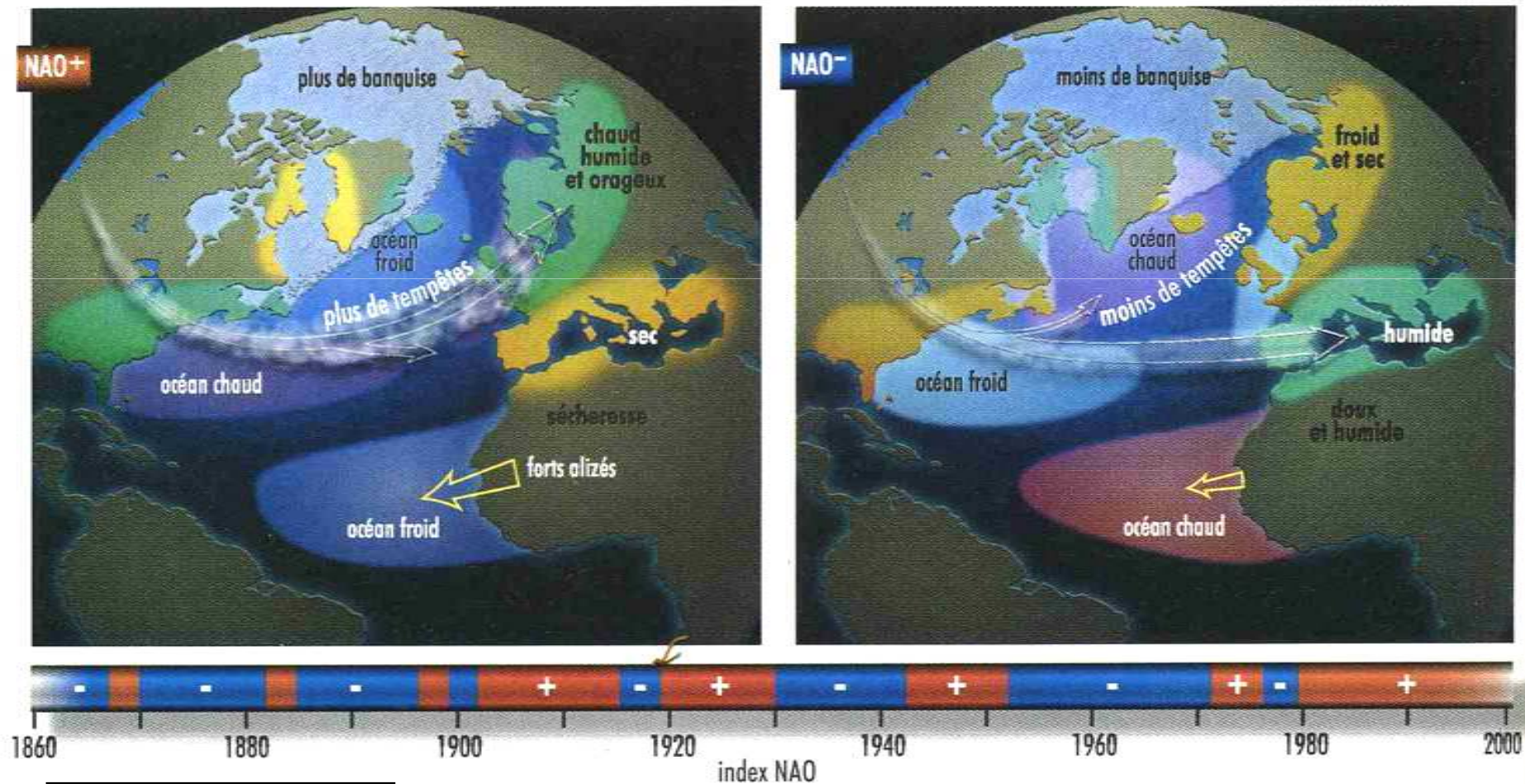
4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps

La **NAO** (North Atlantic Oscillation) contrôle le climat sur l'Atlantique Nord, l'Europe et la Méditerranée

[Gradient entre basses pressions sur l'**Islande** et l'Arctique et hautes pressions sur les **Açores**]

Gradient fort

Gradient faible



D'après Delecluse (2002)

4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps

L'extraordinaire variabilité du climat : les contemporains ne peuvent en percevoir les tendances



Froid exceptionnel en Californie : Janvier 2007

Hopkin, 2007

4. Des forçages exogènes : le climat fluctue à toutes les échelles de temps



**L'extraordinaire variabilité
du climat : les
contemporains ne peuvent
en percevoir les tendances**

Campus de Luminy, Janvier 2009

Des événements exogènes imprévisibles : les perturbations

Définition de la perturbation d'un écosystème :

Dans un **écosystème donné** : une perturbation
ne peut pas être définie dans l'absolu

Dans un **écosystème donné**, une perturbation est le résultat d'une déviation **imprédictible** et de **courte durée** d'un paramètre physico-chimique, éventuellement biologique, d'une amplitude telle qu'elle est supérieure à l'inertie d'une ou de plusieurs **espèces-clé**, ou d'une guildes, ou d'un compartiment fonctionnel

Imprédictible : imprédictible par l'organisme, la population ou l'écosystème. Ils ne lisent pas les bulletins météo et ne savent pas utiliser des modèles prédictifs

De **courte durée** : sinon, c'est un stress, une perturbation qui s'installe dans la durée

Espèce-clé : sinon, bien que cela puisse être une perturbation pour l'espèce concernée, ce n'est pas une perturbation pour l'écosystème

5. Des événements exogènes imprévisibles : les perturbations

Une même déviation d'un paramètre peut constituer une perturbation dans un écosystème, et pas dans un autre



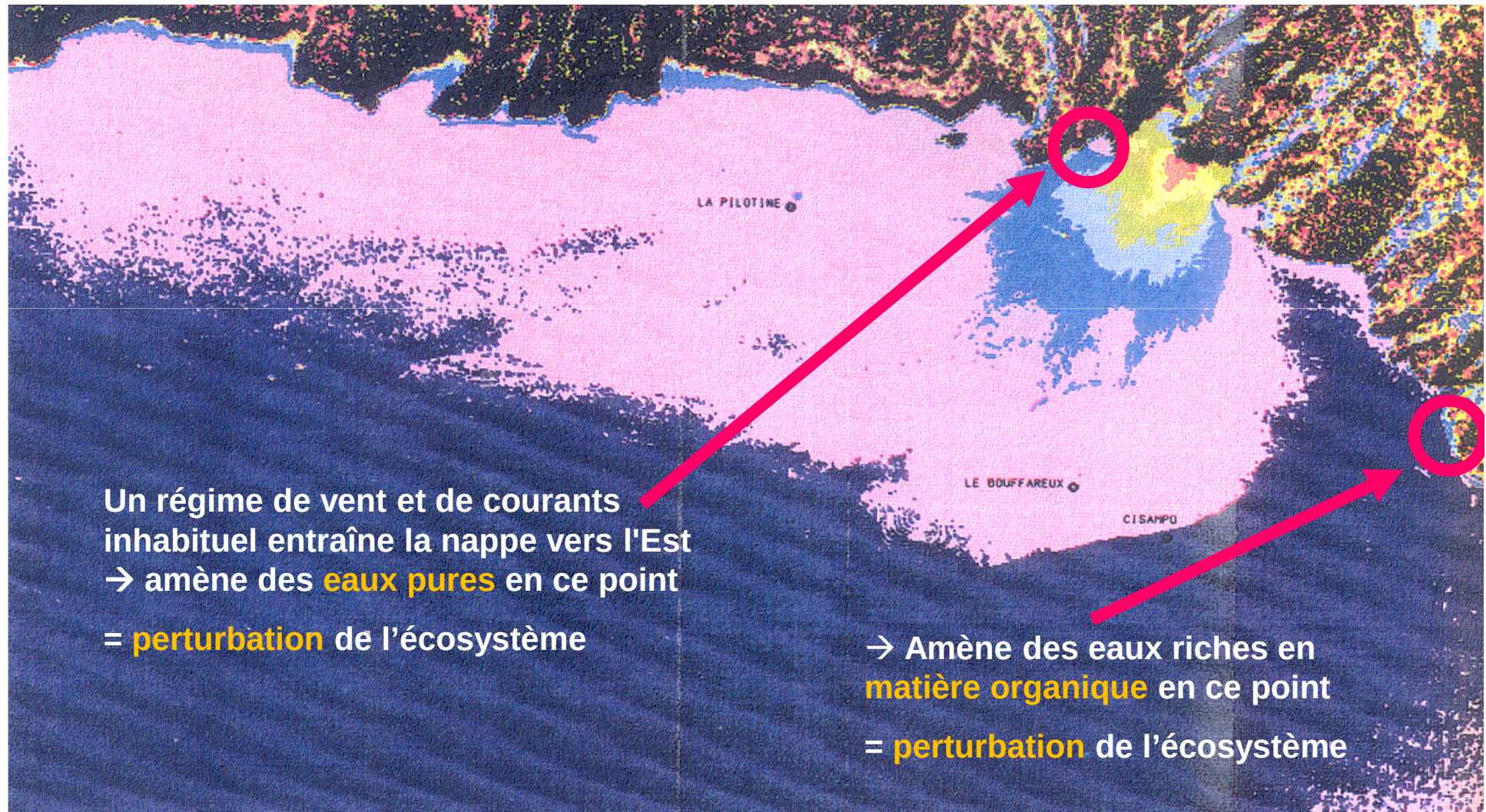
Dans l'écosystème **SGCF** (Sables Grossiers sous l'influence des Courants de Fond) de Méditerranée, **10 cm** de sédiment
= pas de perturbation

Dans l'écosystème **coralligène** de Méditerranée, un apport de **1 cm** de sédiment par an
= perturbation

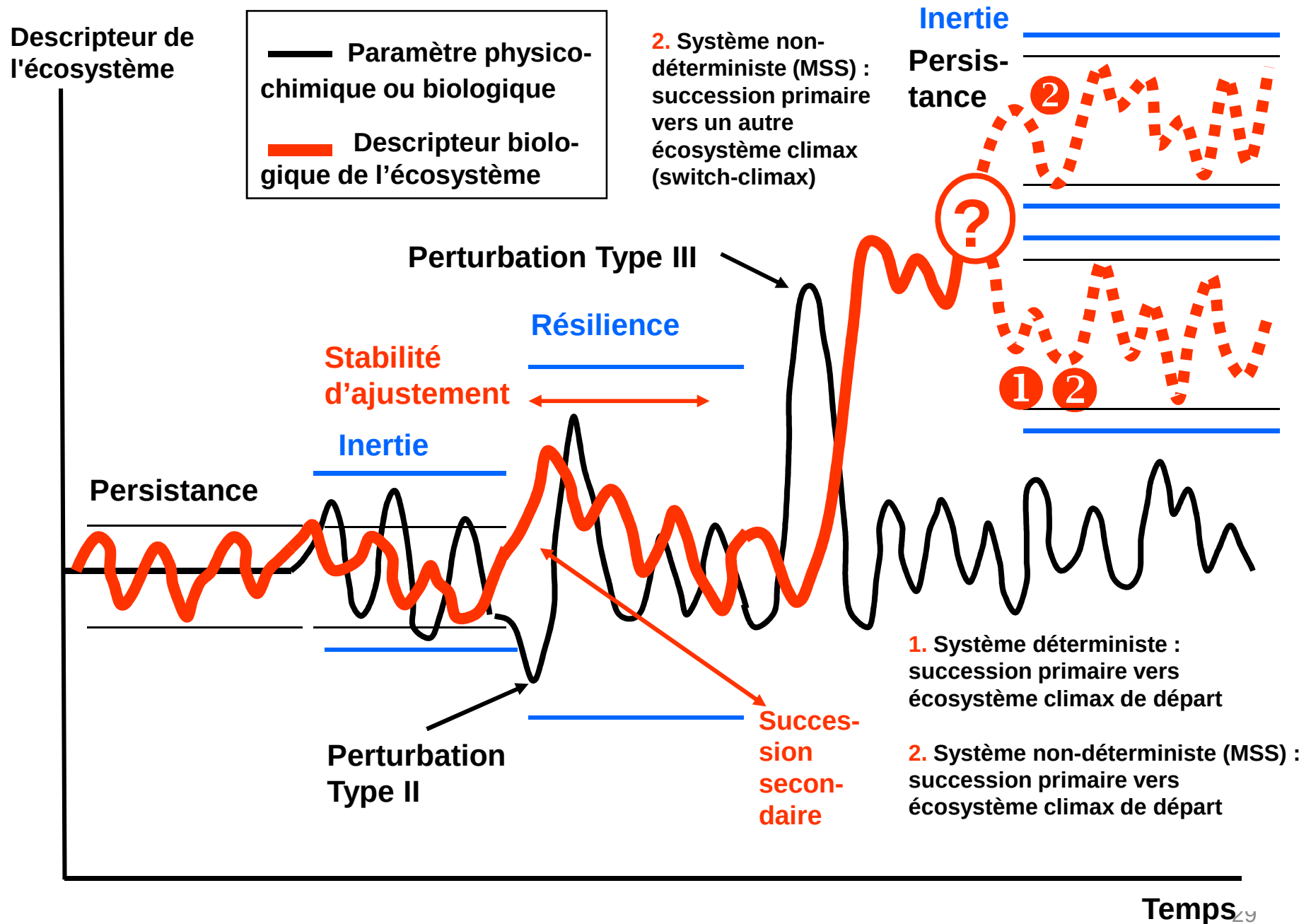
5. Des évènements exogènes imprévisibles : les perturbations

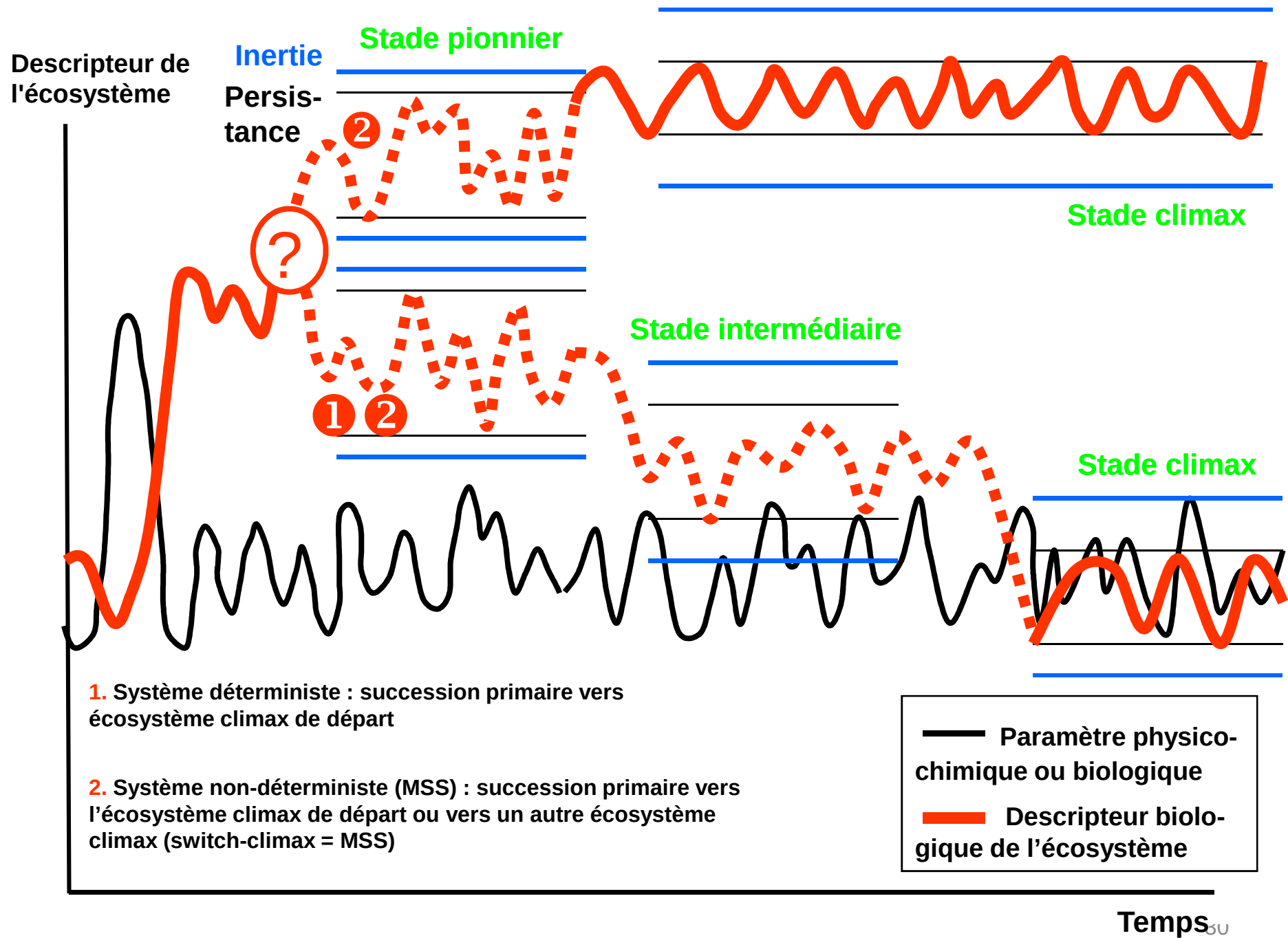
Rejet en mer des eaux usées de Marseille à Cortiou.

La nappe d'eaux très riches en matière organique est normalement entraînée vers l'Ouest



5. Des événements exogènes imprévisibles : les perturbations





5. Des évènements exogènes imprévisibles : les perturbations

Successions secondaires ?

Successions primaires ?

Climax ?

**Faux ou très
approximatif**



1. Les perturbations se télescopent

Souvent plus fréquentes que la durée d'une succession



Pin laricio : 500-1 000 ans



Cystoseira : 50-150 ans

2. Le climat change plus vite que la durée d'une succession

Espèces plus longévives que les fluctuations climatiques



Sequoia : 2 000 ans



Eléphant d'Afrique :
70 ans



Strongylo-
centrotus :
100-200 ans



Gerardia sp. : 2 742 ans

Le climax ? Un **état "stable"**
potentiel après lequel
courent les écosystèmes,
sans jamais le rattraper

Je veux être calife à
la place du calife !



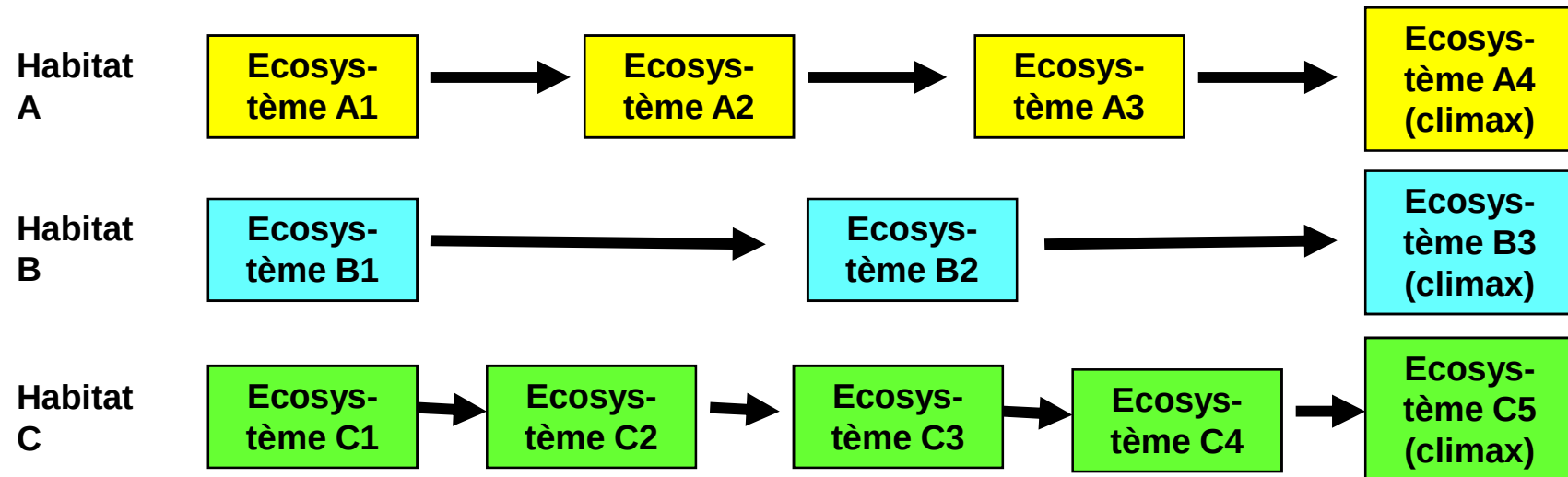
Quelle différence y a-t-il entre
les successions et Iznogoud ?

(Aucune : ils essayent ! Mais
n'y arriveront jamais)

Des successions non déterministes

L'approche déterministe des successions (approche classique) :

Dans un habitat et dans une région donnée, la succession aboutit à un climax prédéterminé (= qui peut être prédit)



C'est généralement le cas en milieu continental

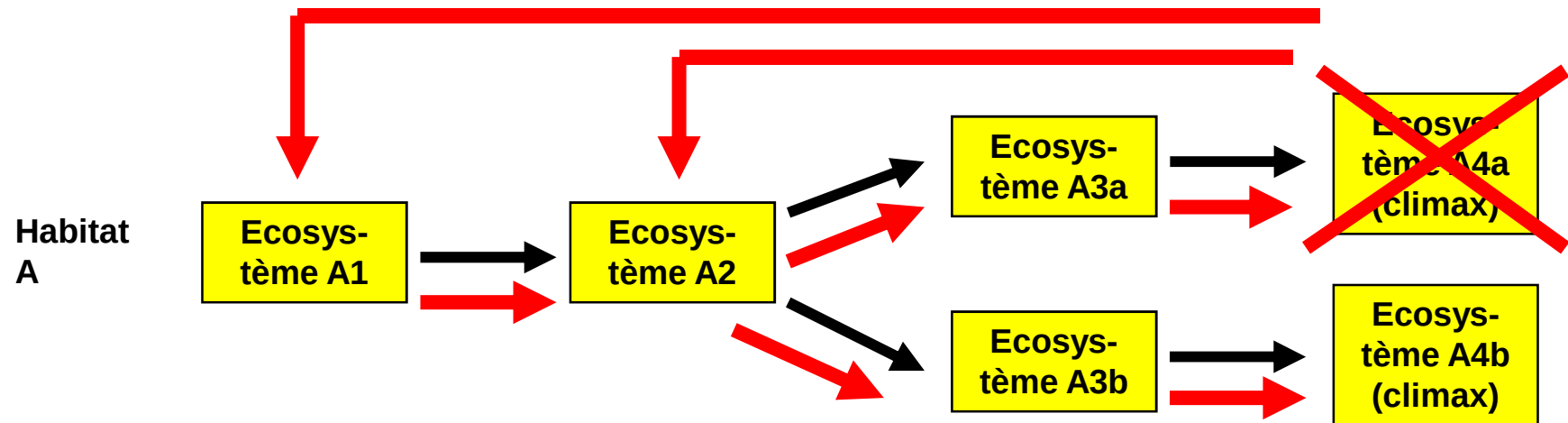
Artéfact lié à l'extinction de la grande faune (herbivores et grands prédateurs) ?

→ La dynamique des producteurs primaires et le contrôle bottom-up l'emportent sur les interactions trophiques

6. Des successions non déterministes

Mais il existe aussi des successions non-déterministes :

Dans un habitat d'une région donnée, la succession peut suivre des itinéraires différents et aboutir à un climax ou à un autre



On désigne sous le nom de **multiple "stable" states** (MSS) ou **switch-climax** ces climax différents dans un habitat donné

C'est une **perturbation** qui peut faire basculer un système MSS d'un climax à l'autre :

- Maladie d'une espèce-clé
- Surpêche d'une espèce-clé
- Evènement climatique exceptionnel (sécheresse), etc.

Des **interactions biotiques**, non prévisibles au départ, déterminent l'itinéraire suivi par la succession

6. Des successions non déterministes



Barren ground à *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinodermes, Métazoaires)

Exemple de succession non déterministe (= MSS) en milieu marin : en Nouvelle Ecosse (Atlantique, Canada)

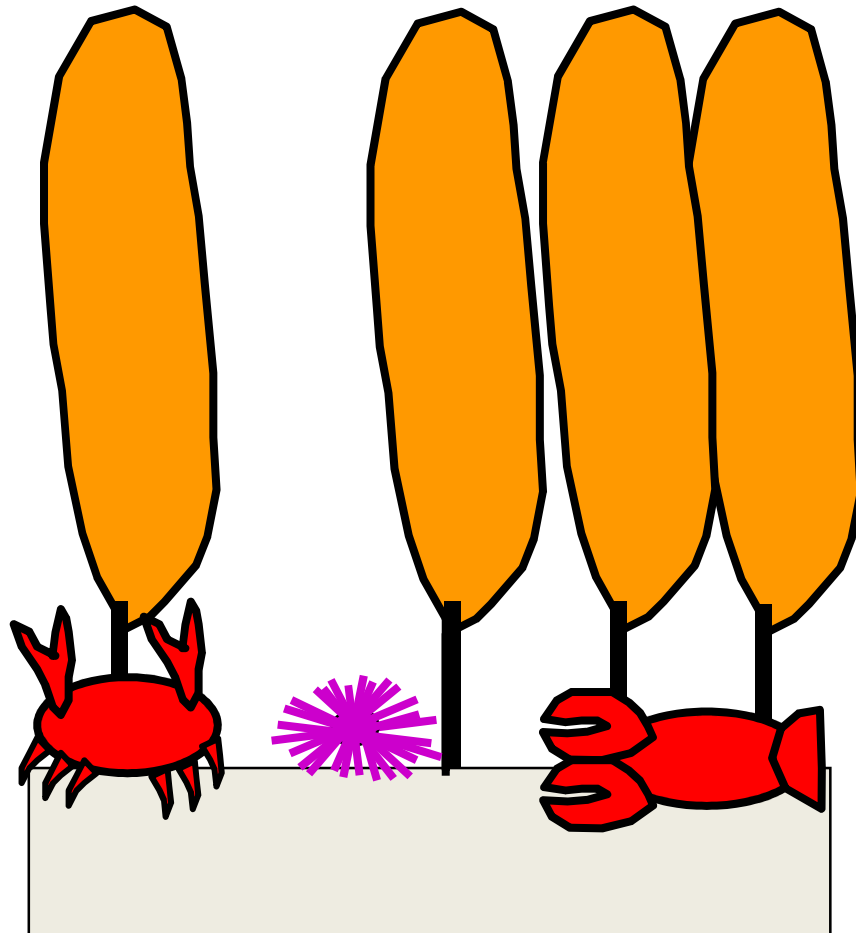
(extrêmement simplifié !)



Forêt à *Laminaria longicruris* (Chromobiontes, Straménopiles)

6. Des successions non déterministes

Climax 'Forêt à *Laminaria*'

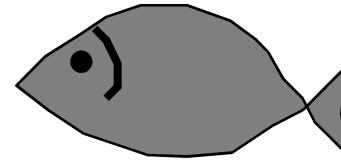


Crabe
Cancer
irroratus

Oursin
Strongylo-
centrotus

Homard
Hommarus
americanus

Climax 'Barren ground à oursins'



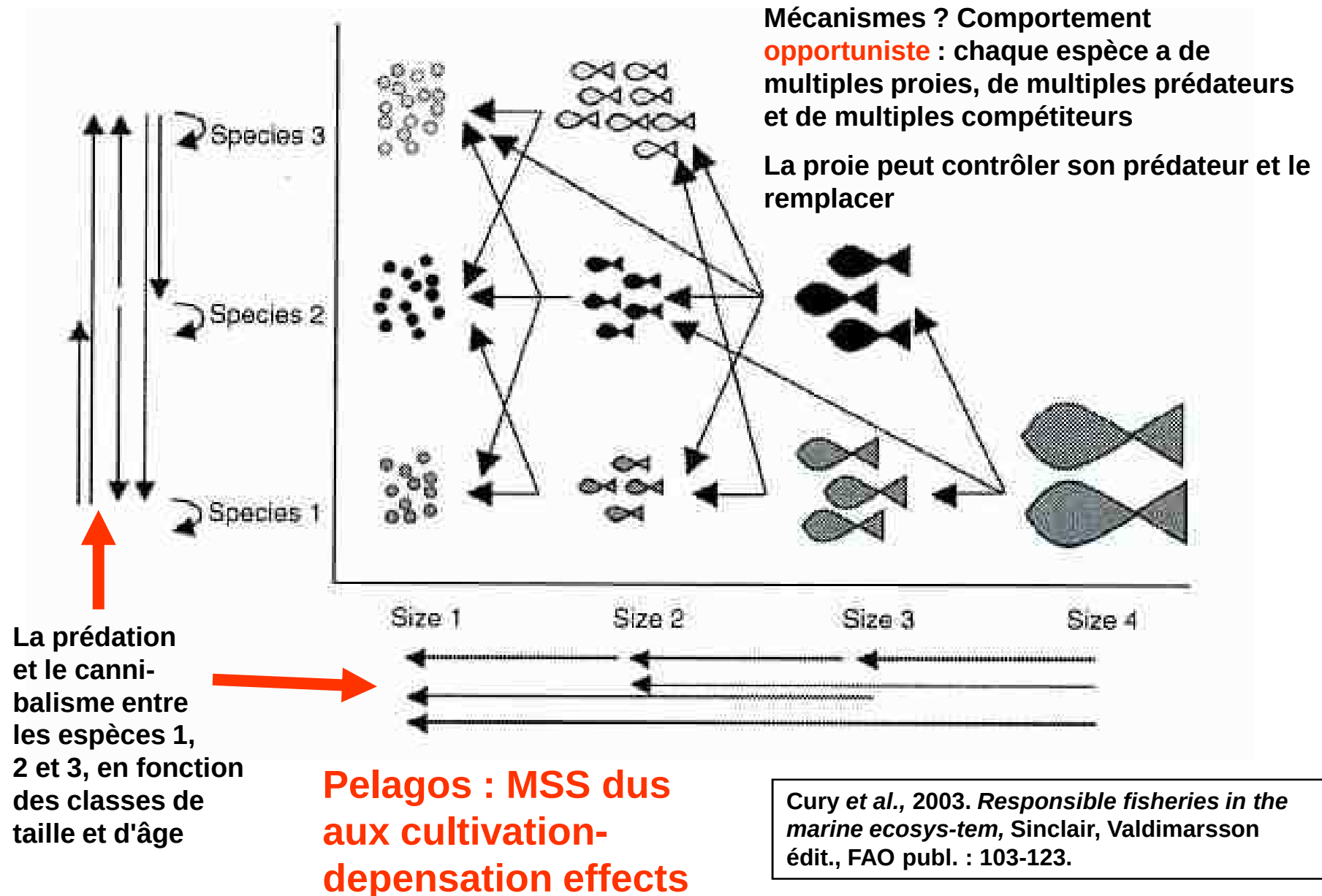
Téléostéen
prédateur de
crabes et de
homards



Corallinacées (Rhodobiontes)
encroûtantes

Exemple de MSS en milieu marin

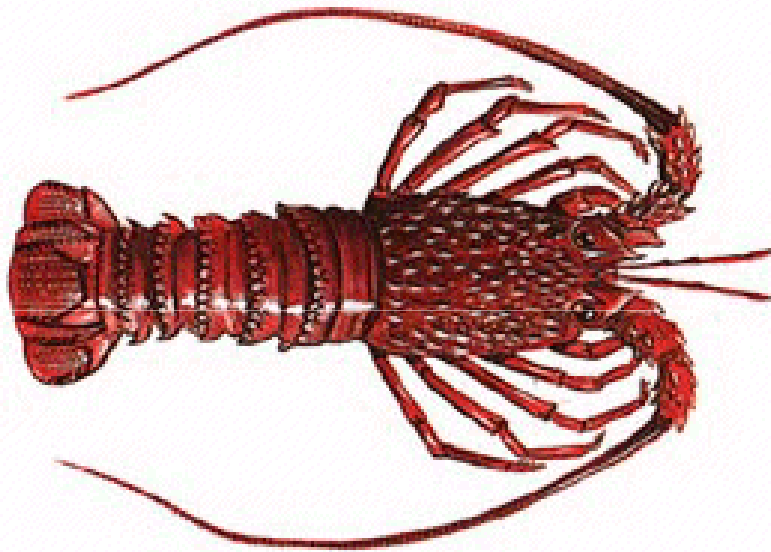
6. Des successions non déterministes



6. Des successions non déterministes

Autre mécanisme ? **Predator-prey role reversal**

Climax forêt de MPOs et
Jasus lalandii



Langouste prédateur de moules,
oursins
et, à forte densité, de buccins

Petratis et Dugeon, 2004. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 300 : 343-371.

Gray et al., 2005. *African J. mar. Sci.*, 27 (3) : 549-556

Climax moules *Aulacomya ater*, oursins
et buccins *Burnupena papyracea*

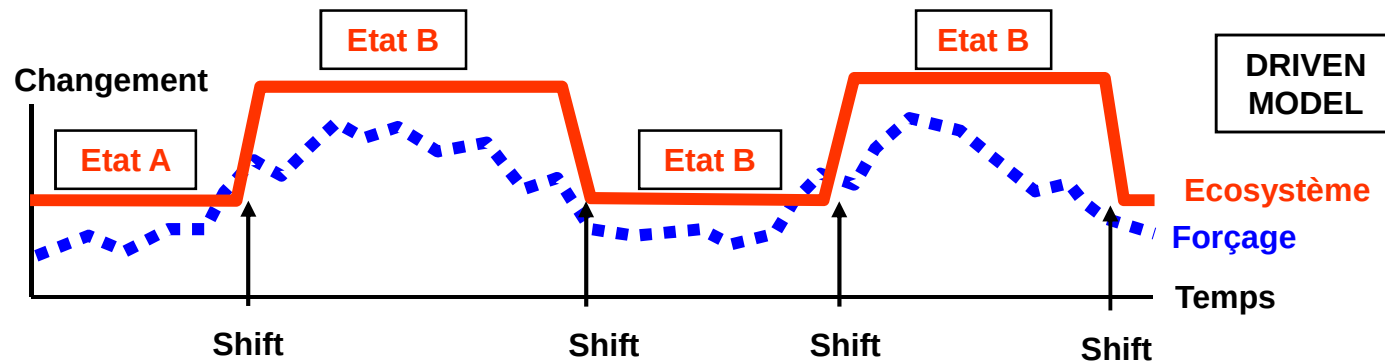


Buccin prédateur,
à forte densité, de
langoustes

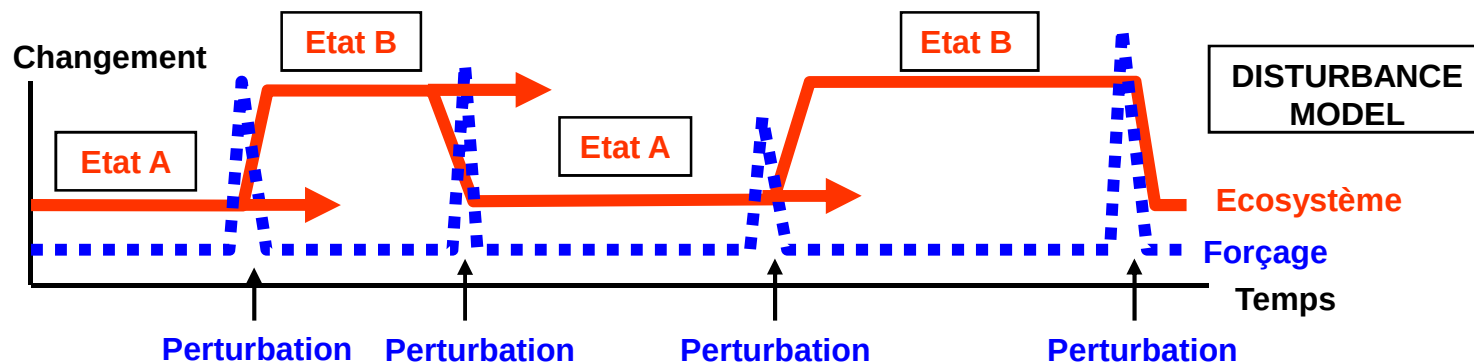


Regime shift : la théorie généralisée des MSS

Face à un changement **graduel** d'un paramètre physico-chimique ou biologique de l'environnement, la réponse de la population ou de l'écosystème peut ne pas être **graduelle**, mais par **sauts**

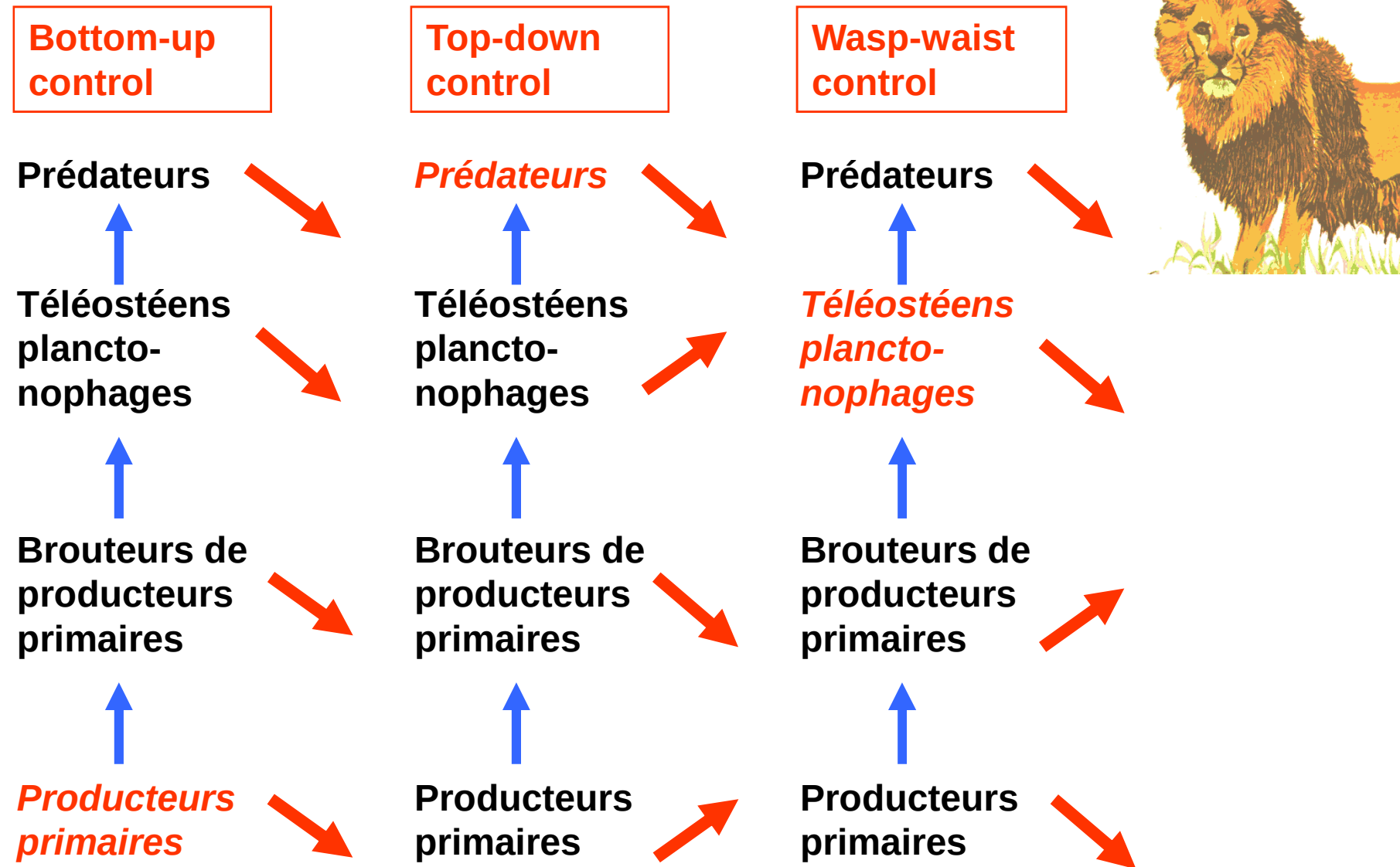


Rietkerk *et al.*,
2004 *Science*,
305 : 1926-1929



Boudouresque *et al.*, 2005. Large-scale disturbances (regime shifts) and recovery in aquatic ecosystems : challenges for management towards sustainability. Velikova V., Chipev N. (eds.), UNESCO publ. : 85-101

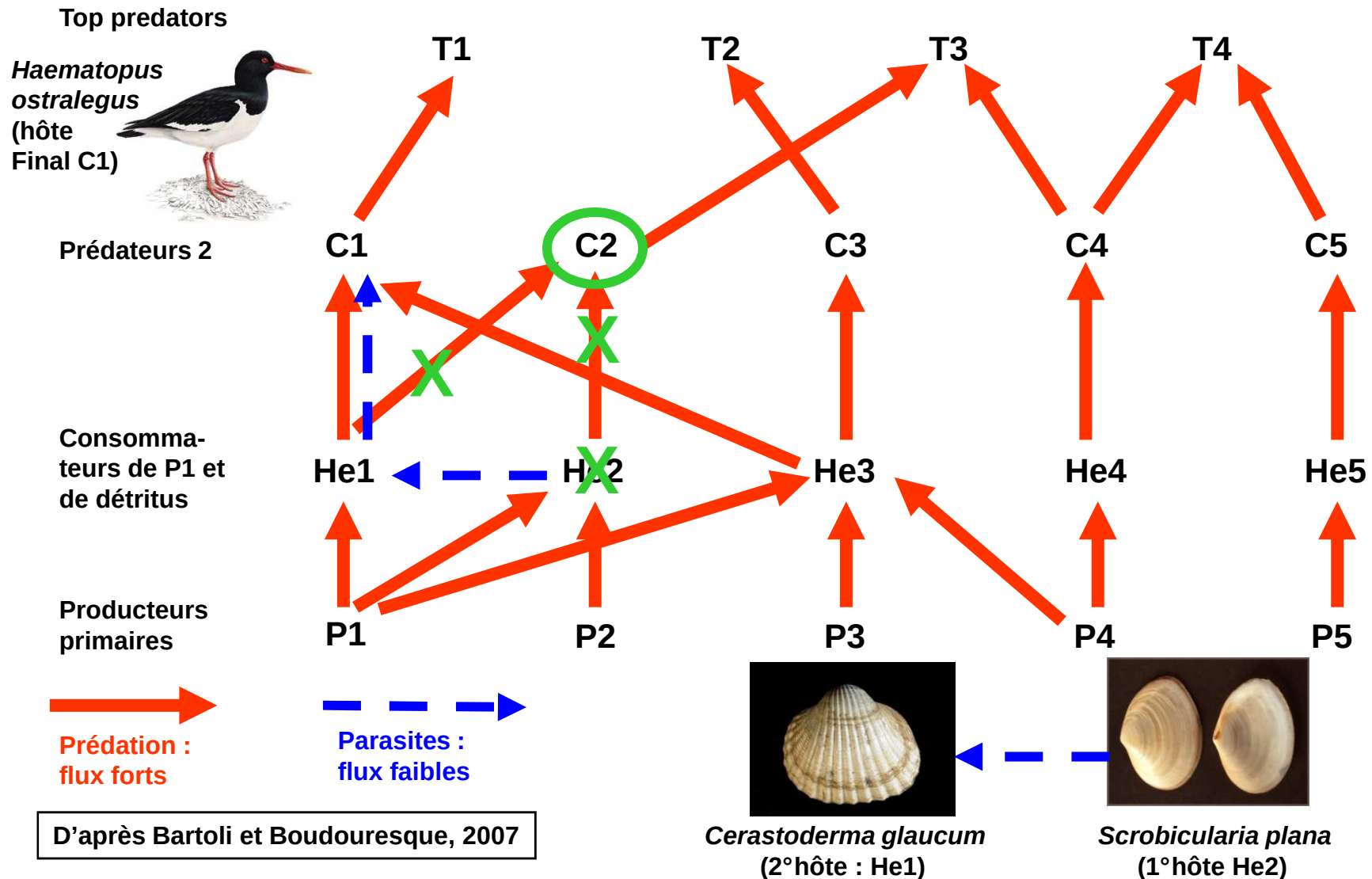
Le réseau trophique ?



7. Qui contrôle vraiment les écosystèmes ?

Le réseau parasitaire ?

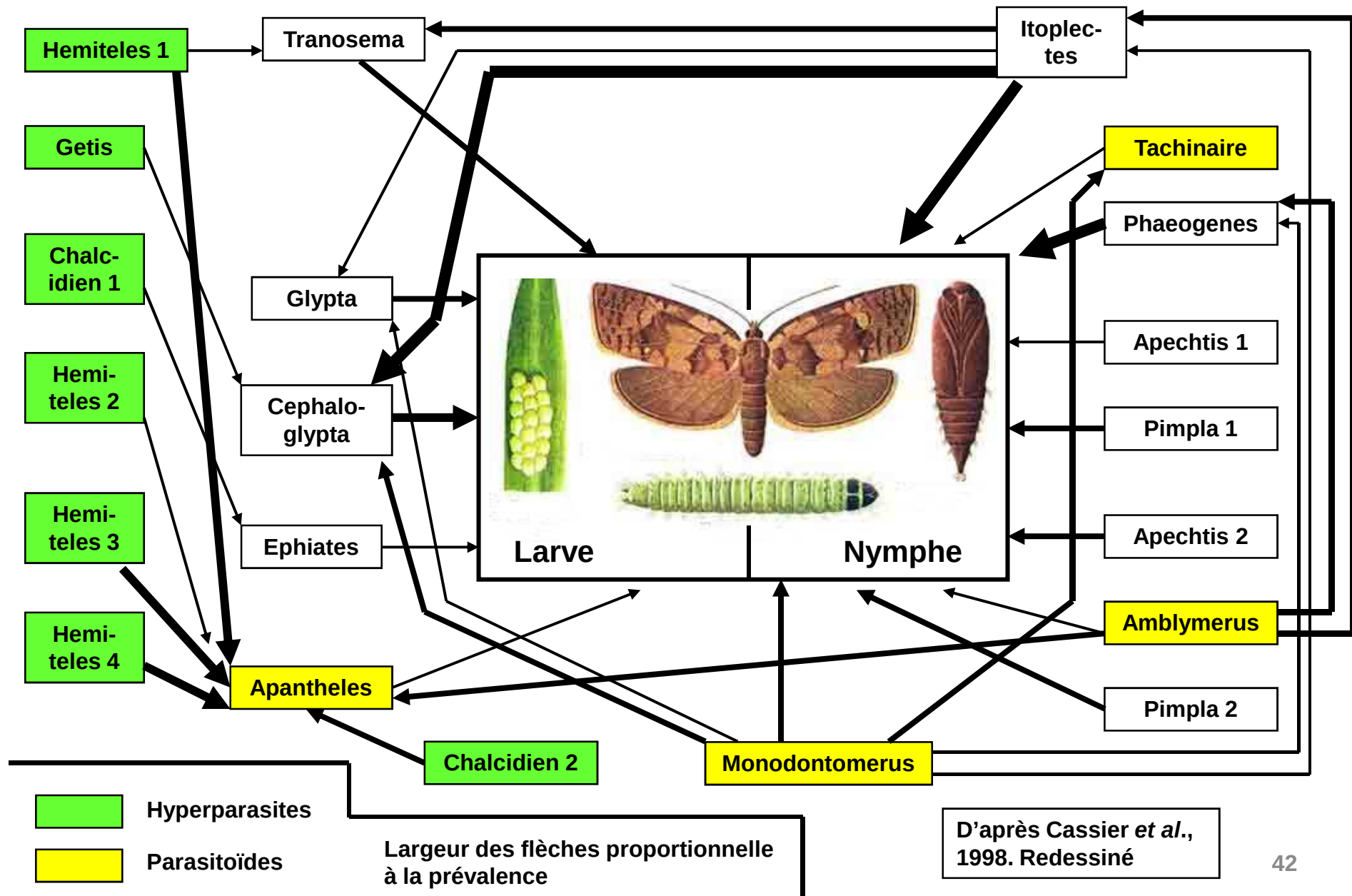
Le premier hôte He2 est tué par le parasite.
Le comportement du deuxième hôte He1 est manipulé pour qu'il soit consommé par l'hôte final C1.
Le prédateur C2 est donc privé de ressources alimentaires



D'après Bartoli et Boudouresque, 2007

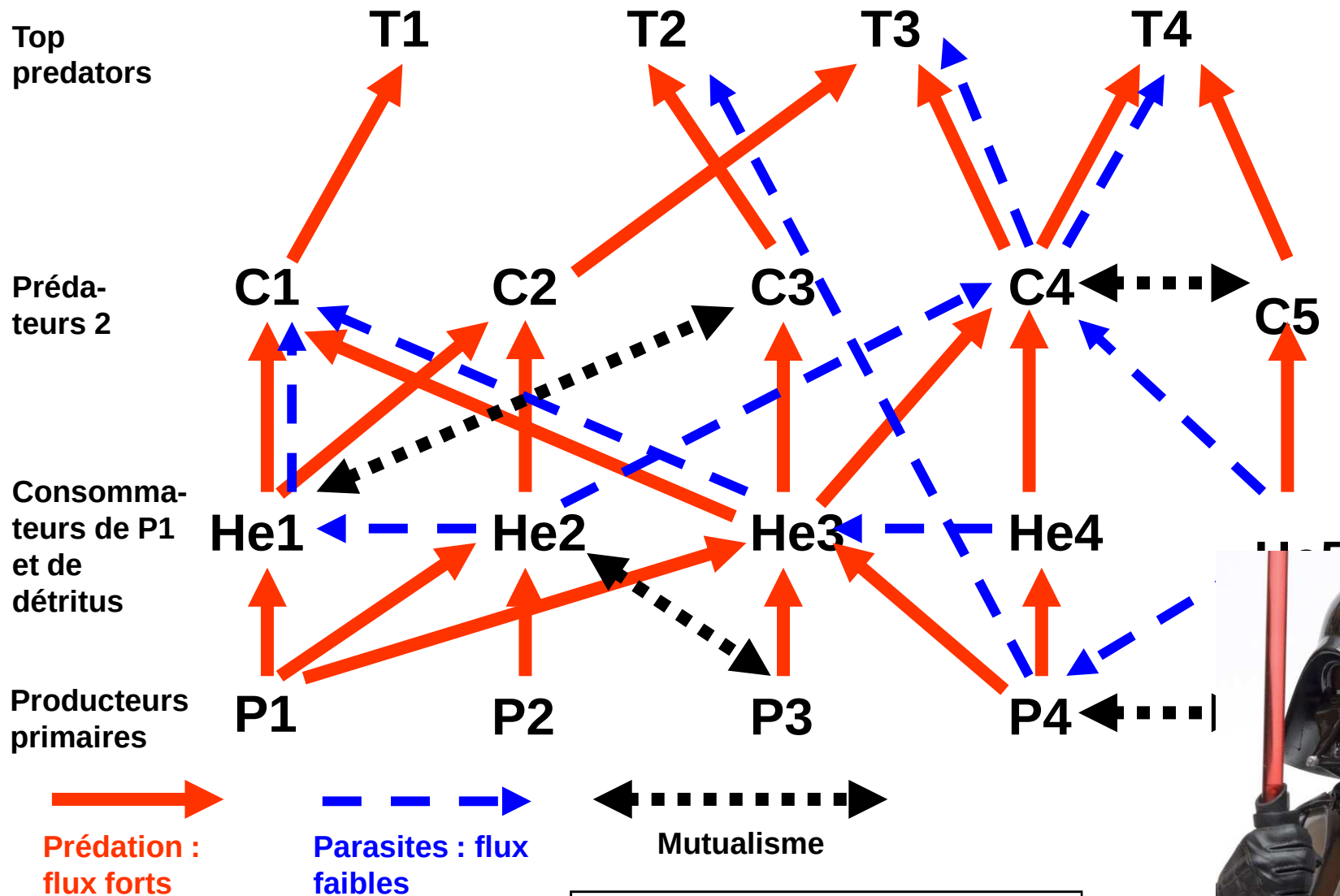
7. Qui contrôle vraiment les écosystèmes ?

Le réseau parasitaire a été très, très, très sous-estimé



7. Qui contrôle vraiment les écosystèmes ?

Réseau trophique + réseau parasitaire + interactions mutualistes !

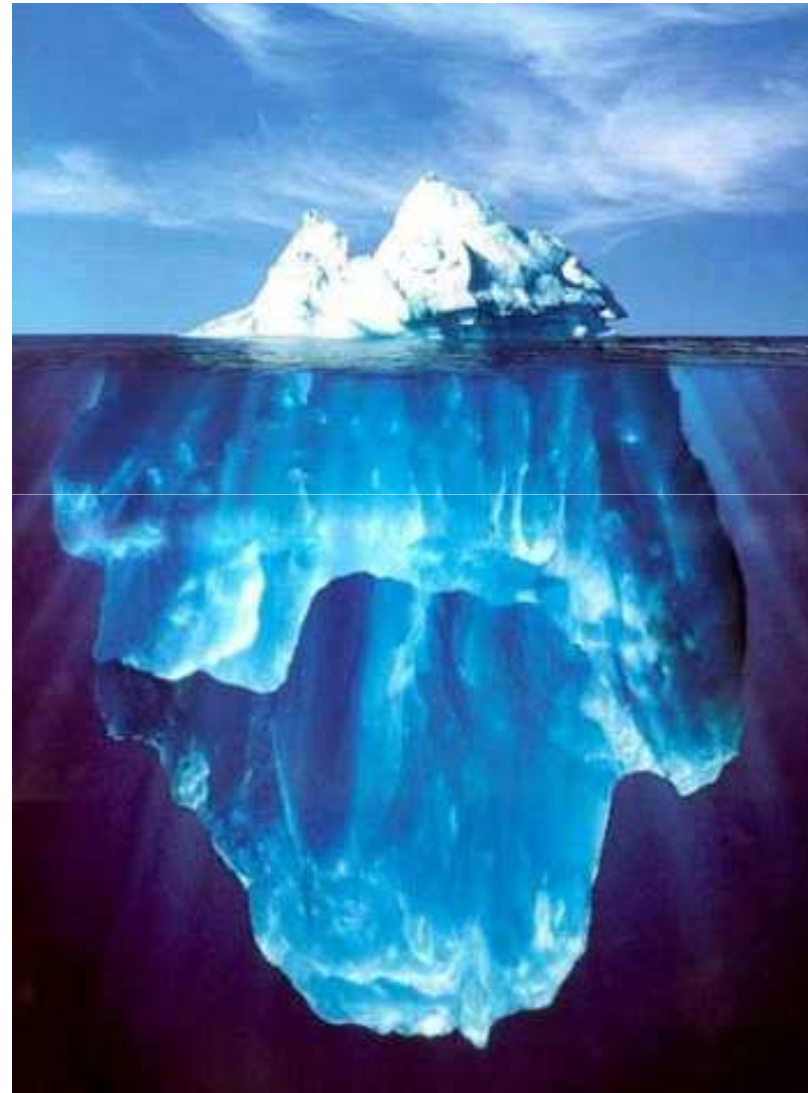


D'après Bartoli et Boudouresque, 2007



Les parasites : la partie immergée de l'iceberg ?

(peut-être plus importants que les interactions prédateurs-proies, qu'ils manipulent)





De la préhistoire de l'écologie

Les écosystèmes ne sont ni stables ni en équilibre

La fluctuation y est programmée (*'be unpredictable, be successful'*)

La course sans espoir des successions après le climax

Le climat fluctue plus vite que son ombre

Systèmes MSS et regime shift : il y a plusieurs options. Une perturbation n'est pas automatiquement réversible

La force obscure des parasites : les vrais Maîtres du fonctionnement des écosystèmes ?

L'exclusion compétitive, niches écologiques vacantes (chaque chose à sa place, etc.) : à la poubelle !

Aux concepts actuels



***Merci pour
votre attention !***



***Et on ne nous
dit pas tout !***



[Anne Roumanoff]