Thermodynamique et économie

François Roddier

Exposé du 12 avril 2018 à
l'École des mines de Paris

Nicholas Georgescu-Roegen

1971: « La *thermodynamique* et la *biologie* sont les flambeaux indispensables pour éclairer le *processus économique*. »

Nicholas Georgescu-Roegen
(1906-1994)

Le second principe de la thermodynamique

On ne peut durablement produire du travail mécanique que par des *cycles* de transformations extrayant de la chaleur d'une *source chaude* pour en rendre une partie à une *source froide*.

Le rendement est maximal lorsque les transformations sont réversibles.

Sadi Carnot
(1796-1832)

Les structures dissipatives

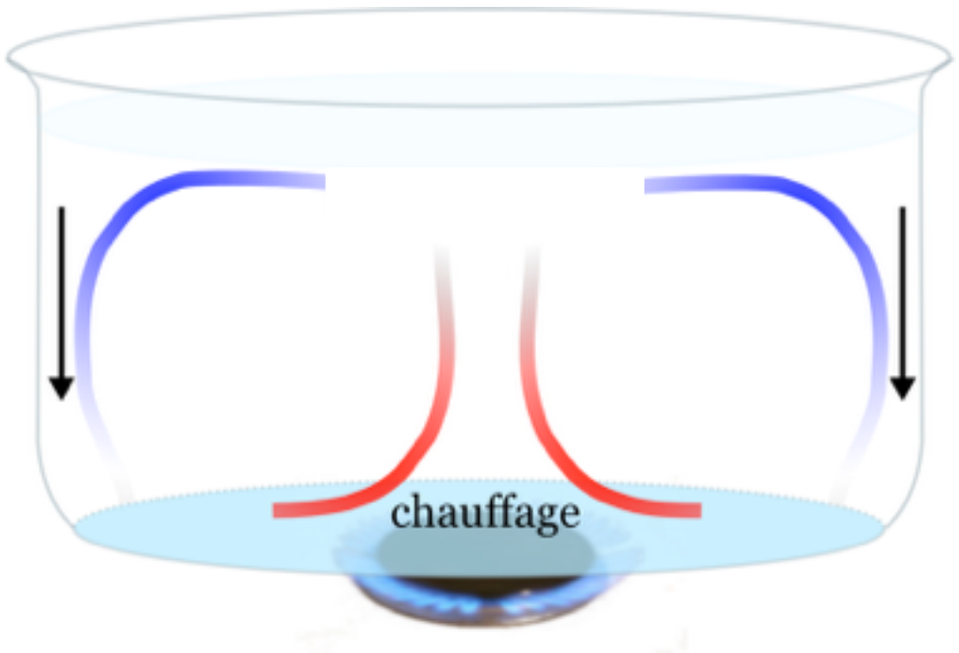
Elles s'*auto-organisent*
pour dissiper l'énergie
en produisant du travail
mécanique. Exemples:

- Cyclones.
- Êtres vivants
- Sociétés humaines

Ilya Prigogine
(1917-2003)

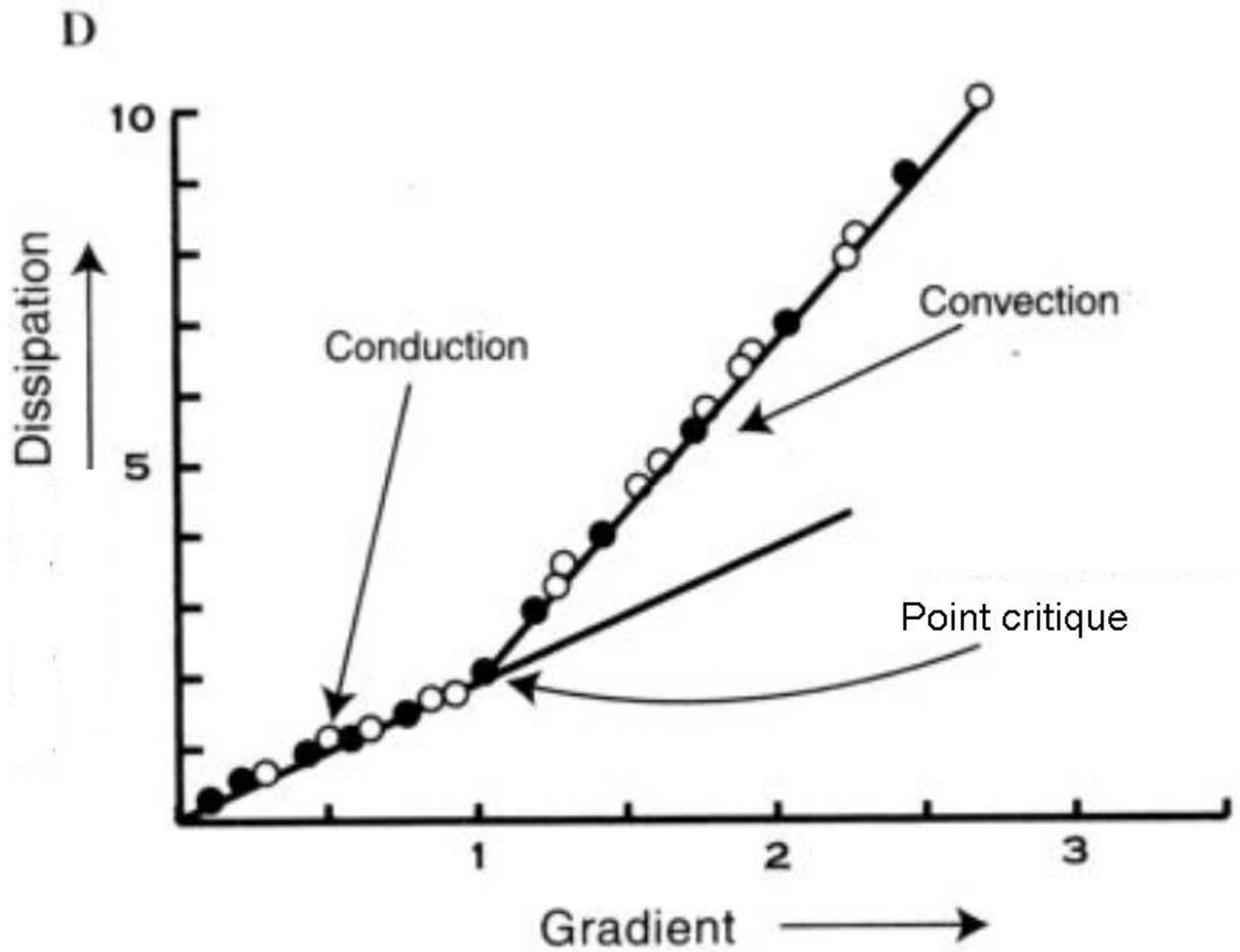
Une structure dissipative élémentaire: la convection

Source froide



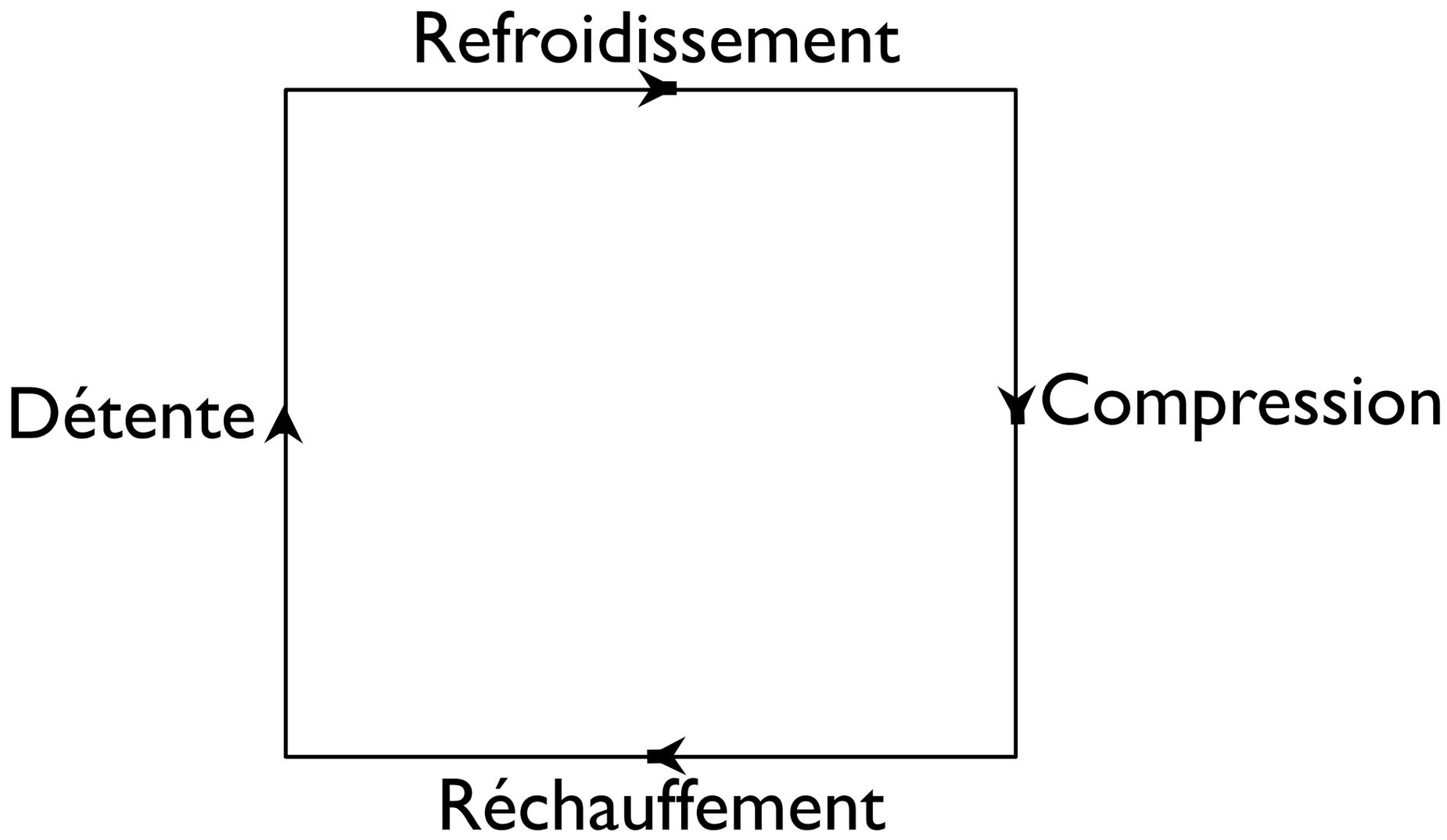
Source chaude

Point critique



Conduction: domaine linéaire d'Onsager

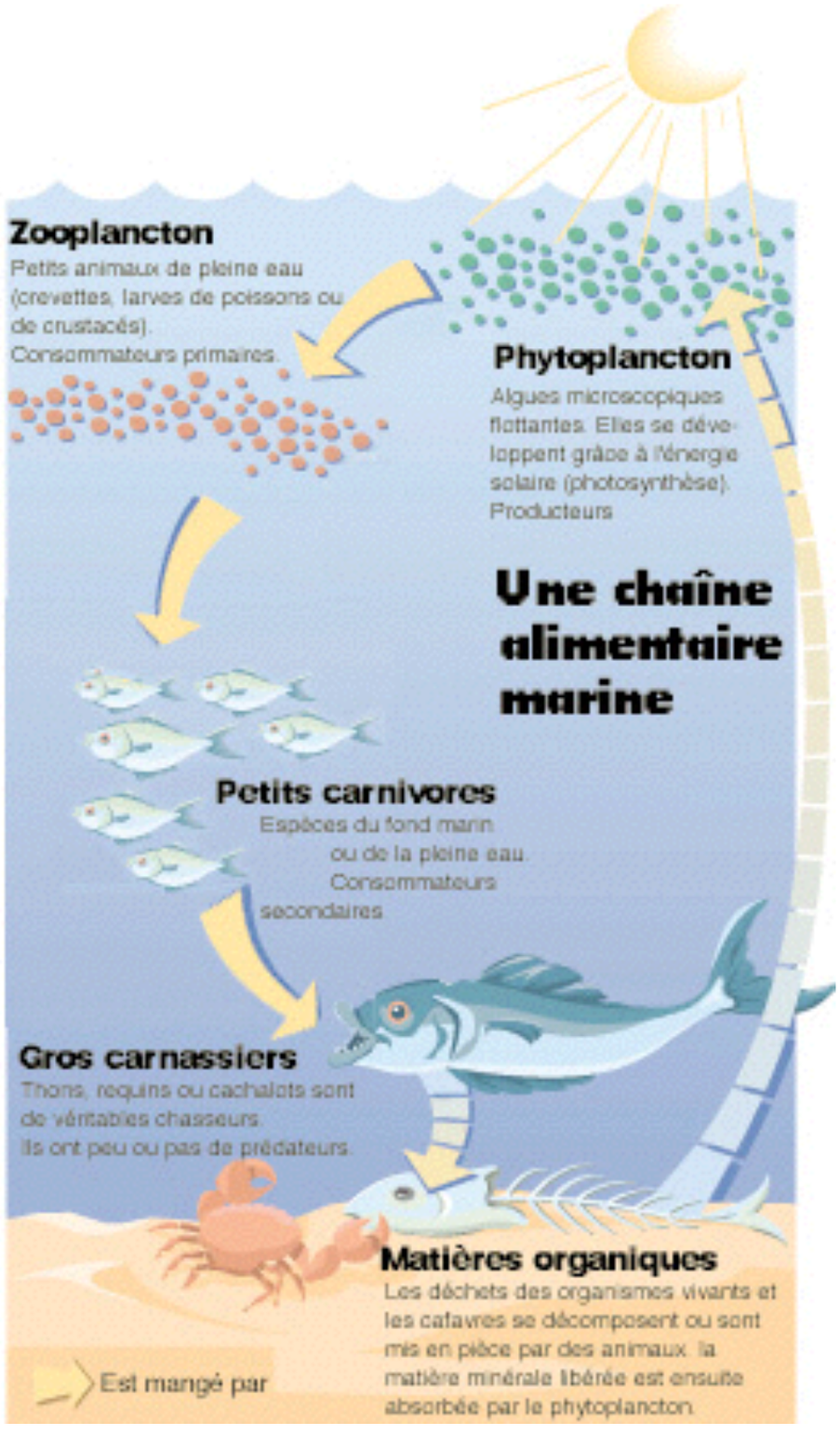
Cycle convectif = cycle de Carnot



Les structures dissipatives vivantes

Source froide
(ciel nocturne)

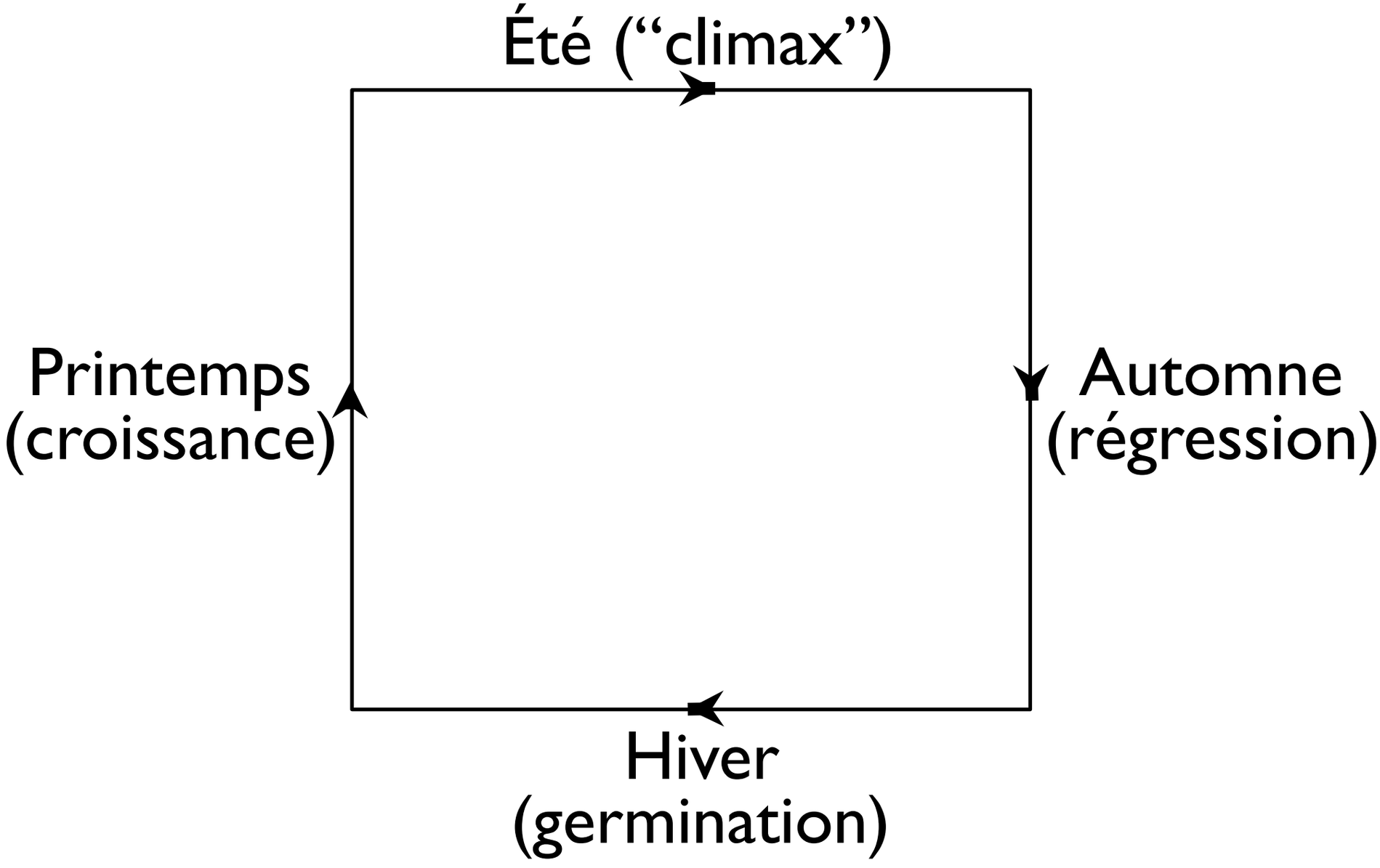
Source chaude
(6.000° K)



Bel exemple
d'*économie*
circulaire…

avec recyclage
des déchets.

Synchronisation des écosystèmes sur les saisons



Les réseaux neuronaux

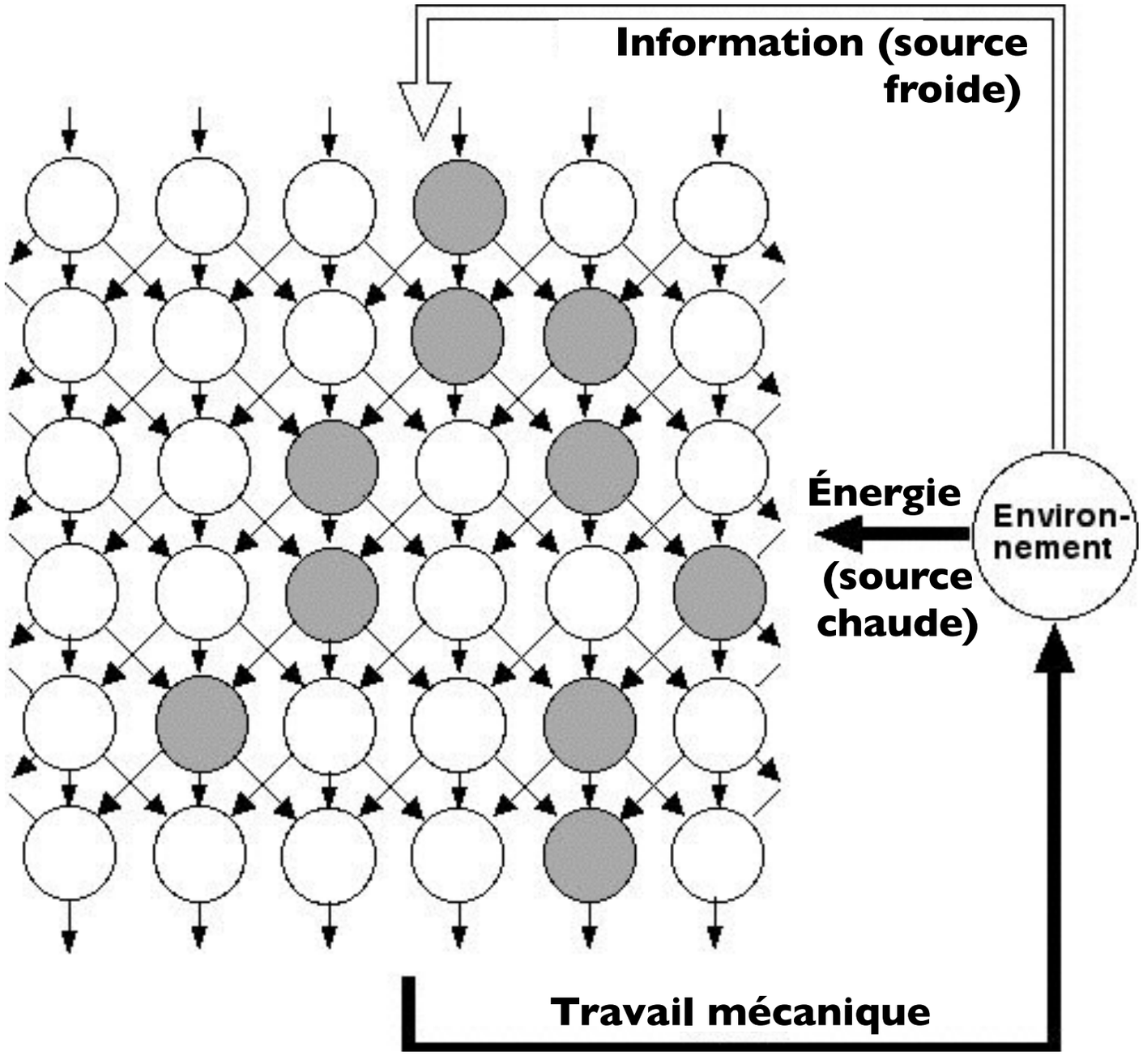
Flux d'énergie	***Agents***	***Information***	***Structure***
Chaleur	*Molécules*	*M^{ts} cinétiques*	*Convective*
Chaleur	Molécules	M^{ts} électriques	État condensé
Chimique	Molécules	Électrons	Chimique
Chimique	Molécules	Enzymes	Biochimique
Chimique	Bactéries	Plasmides	Colonie
Chimique	Insectes	Phéromones	Essaim
Chimique	*Êtres vivants*	*Trophique*	*Écosystème*
Chimique	Organes	Hormones	Être vivant
Multiple	*Êtres humains*	*Monnaie*	*Économie*
Multiple	Êtres humains	Langage	Sociologie

Application aux réseaux neuronaux

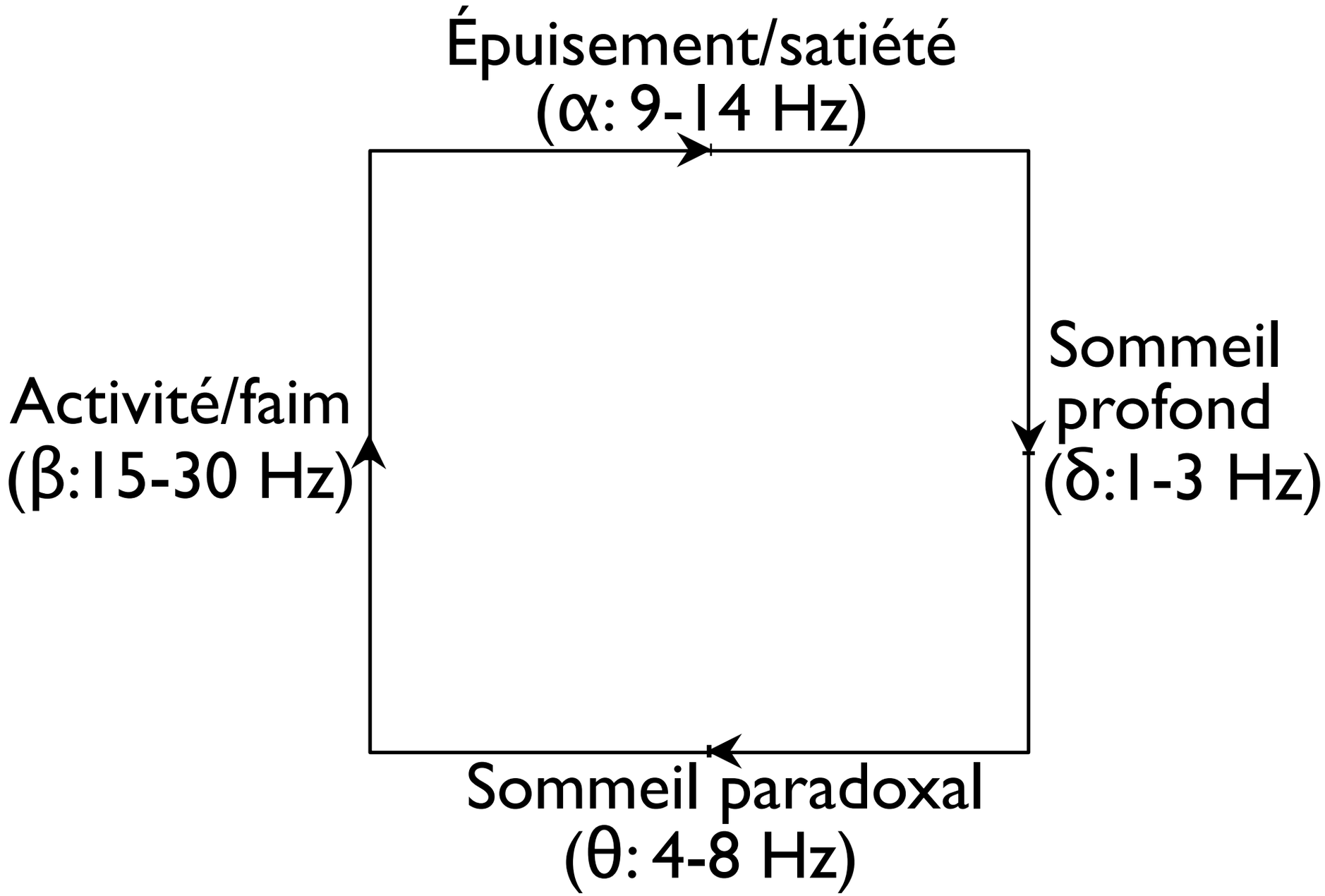
Dimitris Stassinopoulos and Per Bak (1995): Democratic reinforcement: A principle for brain function.

S'applique à un réseau neuronal *quelconque* (irrégulier).

En gris: neurones excités.



Cycle diurne du cerveau



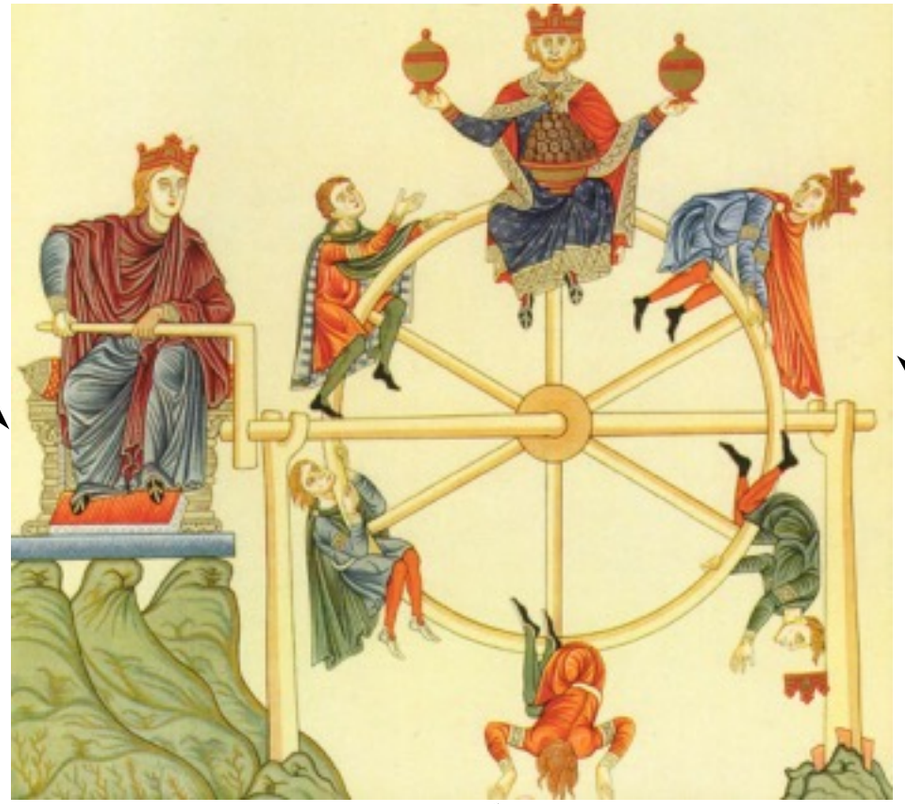
Synchronisation possible sur les saisons (hibernation)

Cycles historiques séculaires

(Turchin & Nefedov)

Stagflation

Expansion



Crises

Dépression

Période: 2 à 3 siècles

Cycles économiques

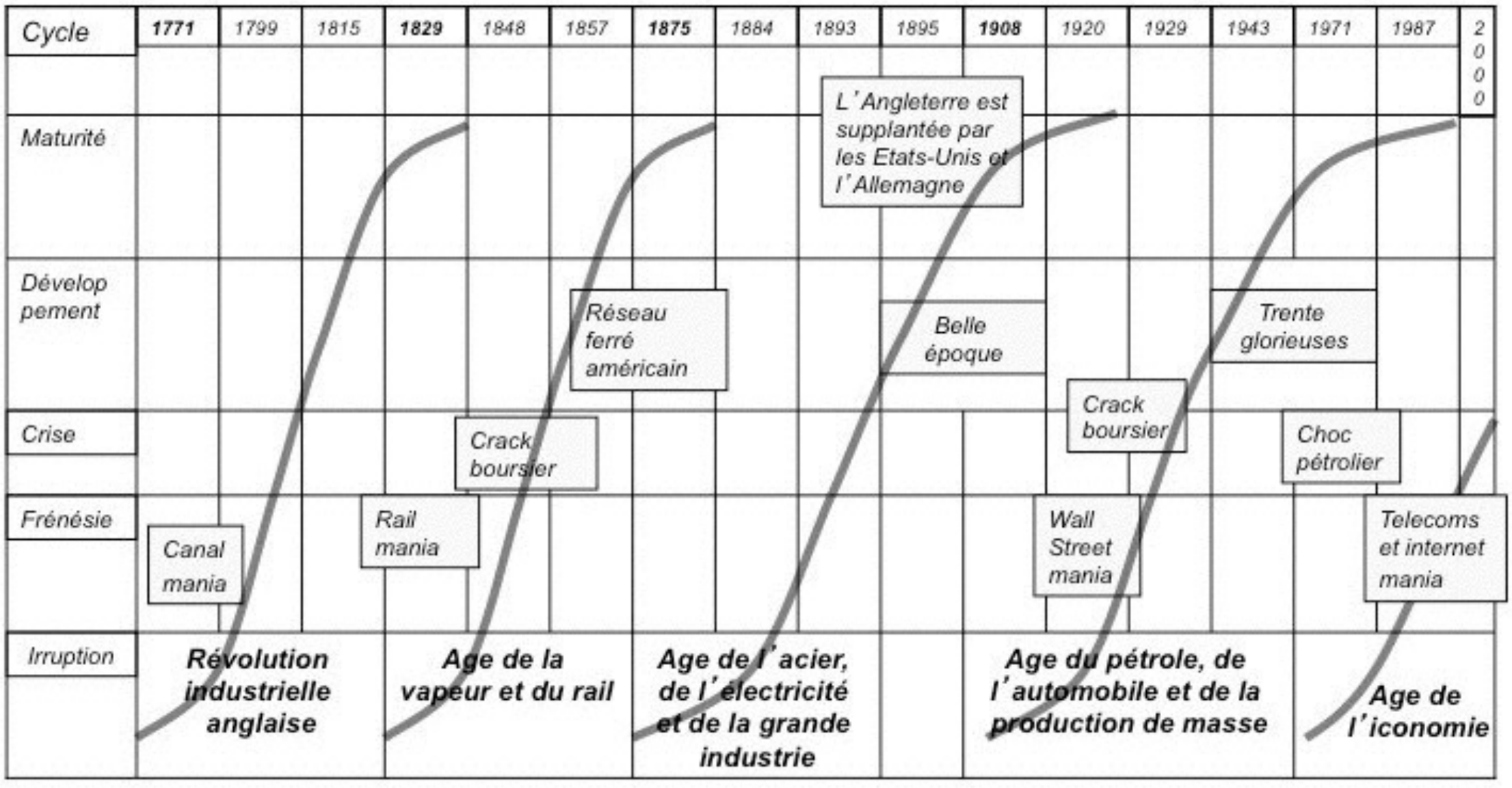
Cycles de Kitchin……3 à 5 ans

Cycles de Juglar……...7 à 11ans

Cycles de Kuznets…...15 à 25 ans

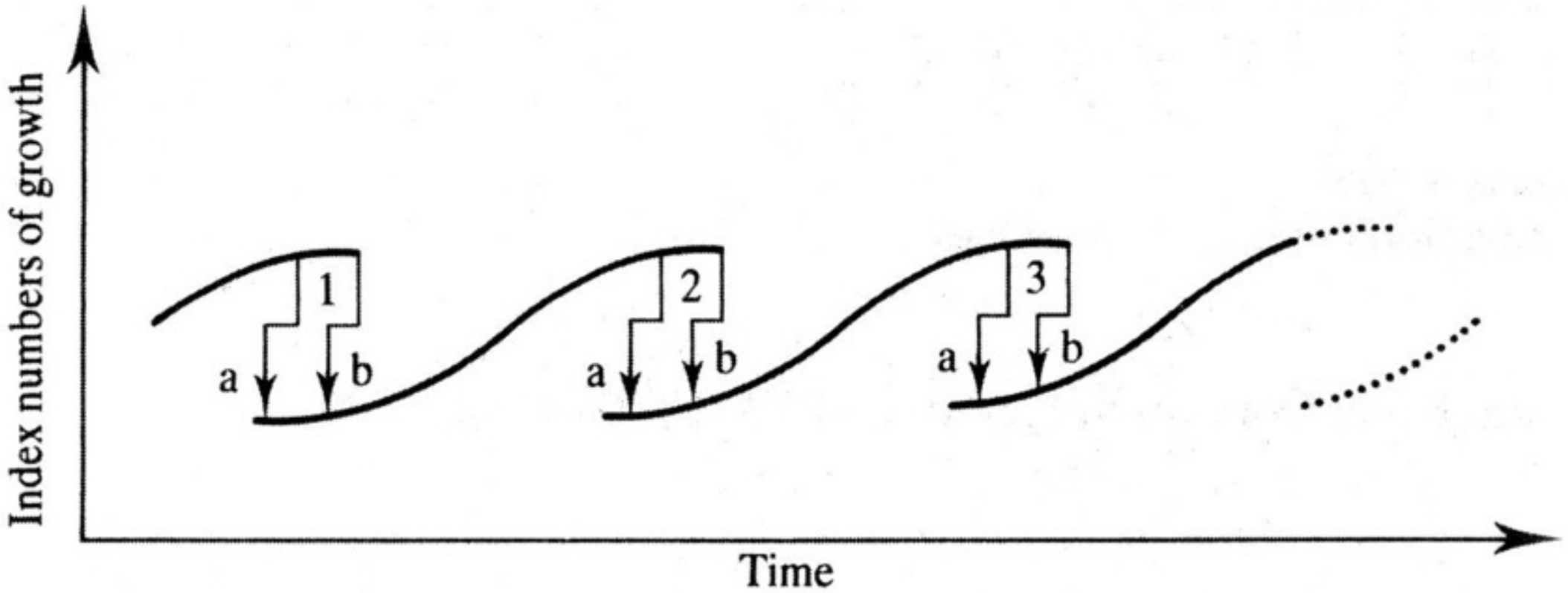
Cycles de Kondratiev.. 45 à 60 ans

Exemples de cycles économiques



Source: *site de Claude Rochet*

“Metamorphosis model” de Gerhard Mensch



Source: Mensch (1979: 73).

La zone de recouvrement (entre a et b) est une zone de *transition économique*. Elle correspond à des *transitions abruptes* en physique.

La criticalité auto-organisée

Les structures dissipatives s'auto-organisent comme des transitions de phase autour d'un point critique.

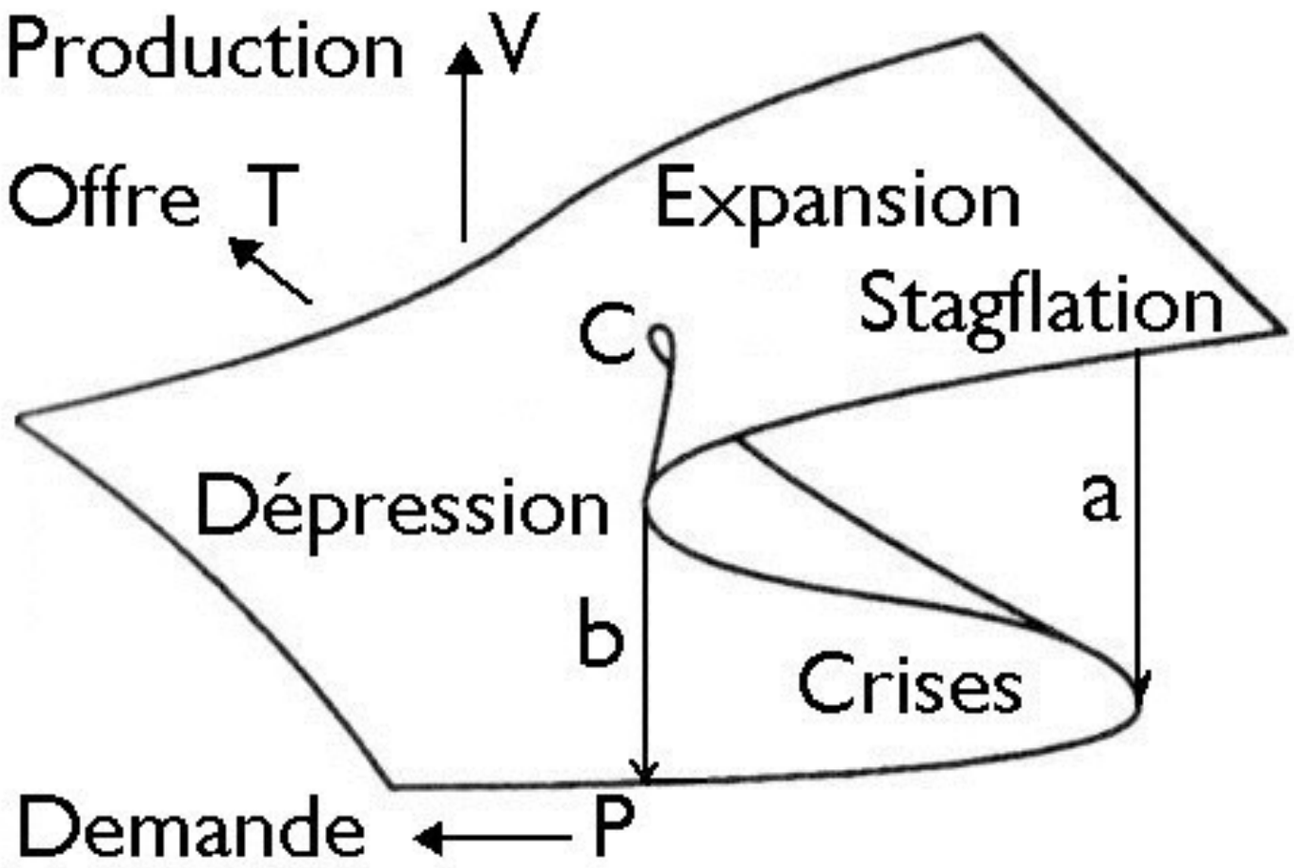
Per Bak

Surface de van der Waals en économie

Symbole	Fluide	Économie
V	Volume	Volume de la production
P	Pression	Demande (pression sociale)
T	Température	Offre (température économique)
S	Entropie	- Monnaie

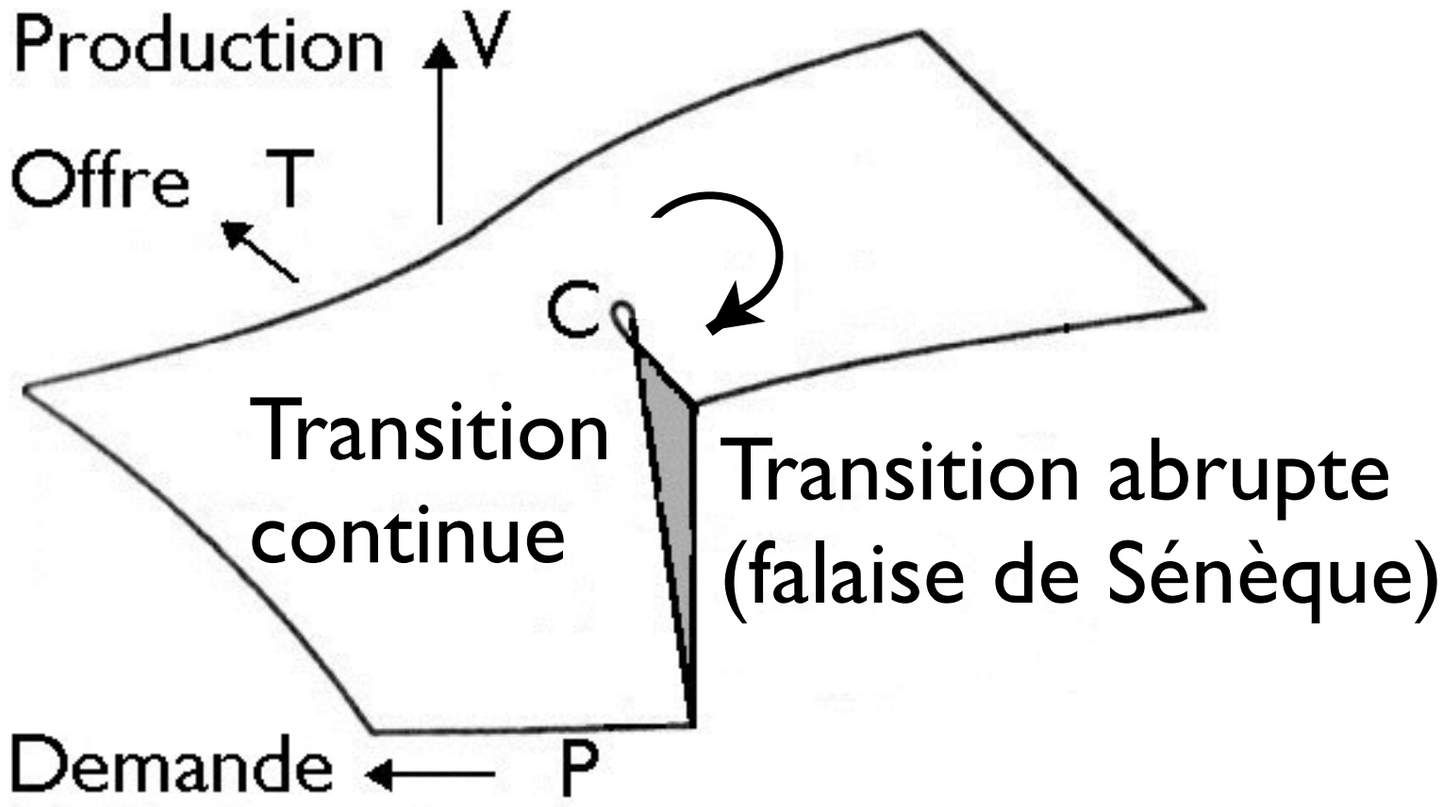
T = 1/coût de l'énergie

Surface de van der Waals en économie



Catastrophe de type fronce
(selon la terminologie de René Thom)

La construction de Maxwell



Il y a alternance entre une transition de phase continue et une transition de phase abrupte autour du point critique C (macro- et micro-évolution d'Erich Jantsh).

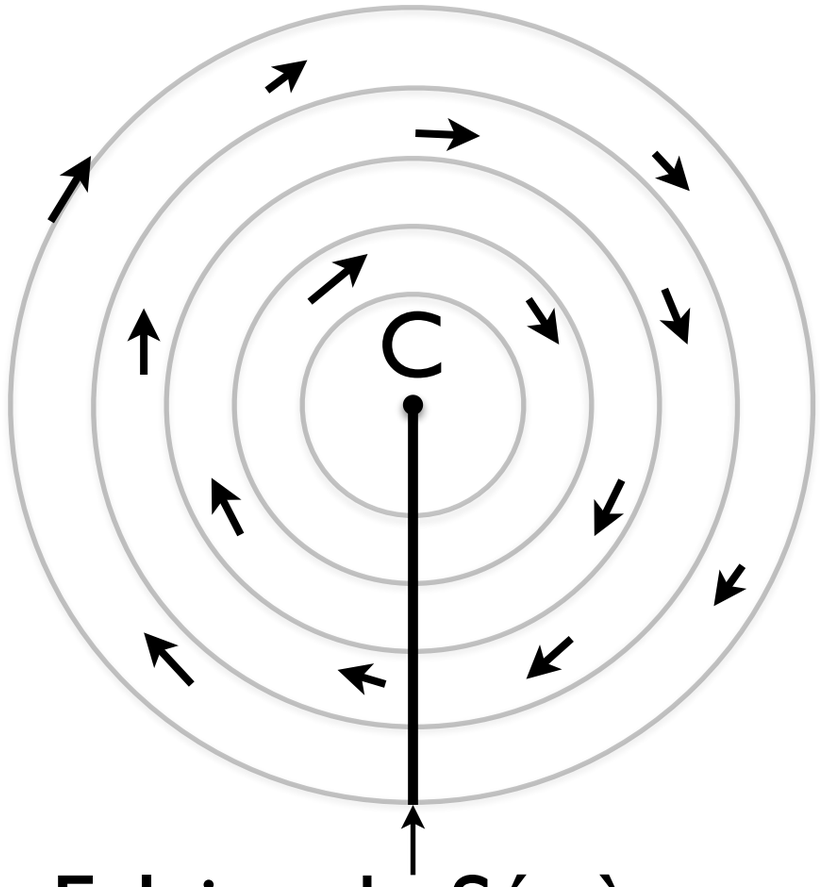
Les cycles économiques

L'économie décrit des cycles autour du point critique entre Tmax (source chaude) et Tmin (source froide).

Liée au flux d'énergie, la vitesse linéaire de rotation (de composantes dP/dt et dT/dt) ne dépend pas de la distance au centre, d'où une hauteur de la falaise de Sénèque d'autant plus grande que la fréquence des effondrements est plus faible (loi en 1/f).

Plus la zone économique est étendue, plus le rayon de giration est grand, plus la période du cycle est longue, plus la différence de température est grande, et plus le rendement de Carnot est élevé, d'où la tendance à la *mondialisation*.

La tornade de Schumpeter

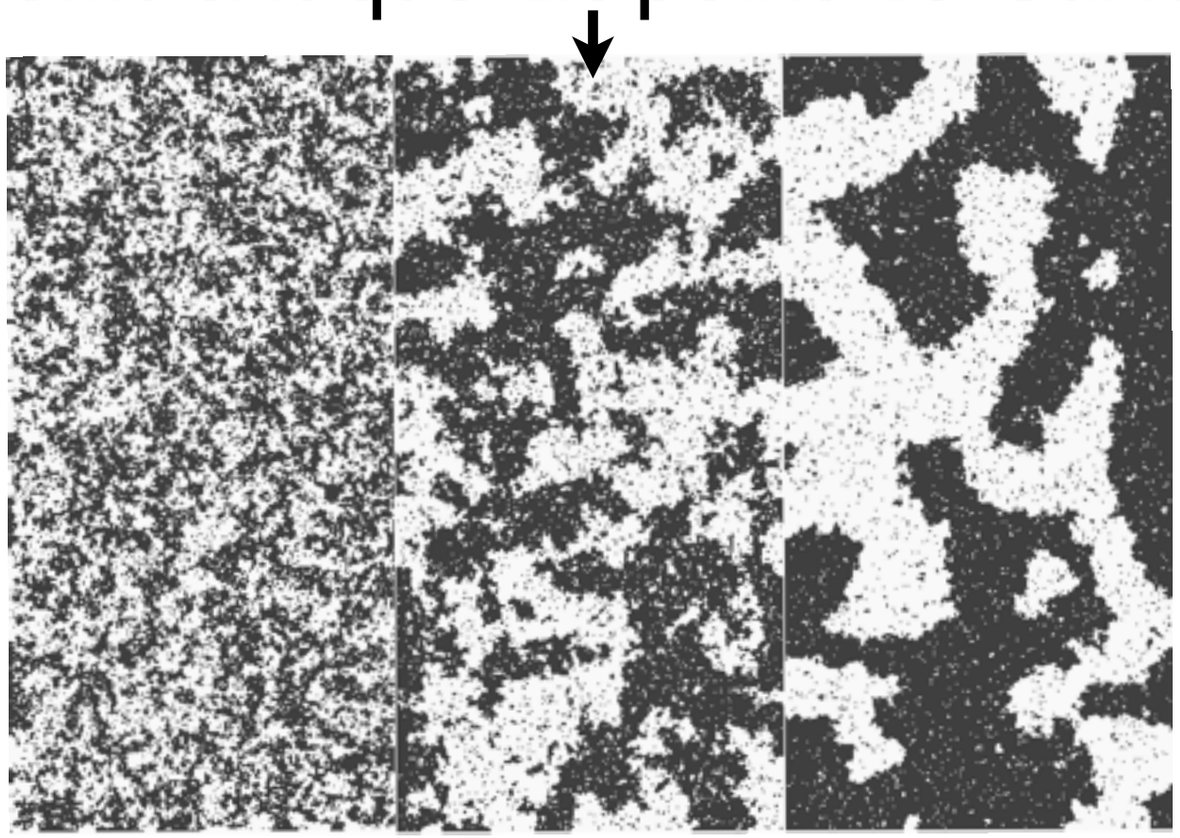


Falaise de Sénèque

La *phase de crise* est d'autant plus importante que les productions sont *interconnectées* (tornade excentrée). Voir les travaux de Robert Ulanowicz (en biologie) et Bernard Lietaer (en économie). Gerhard Mensch note que les innovations ne sont pas uniformément réparties.

Modèle d'Ising de transitions continues

Point critique dit point de Curie



Paramagnétisme ⟶ Ferromagnétisme

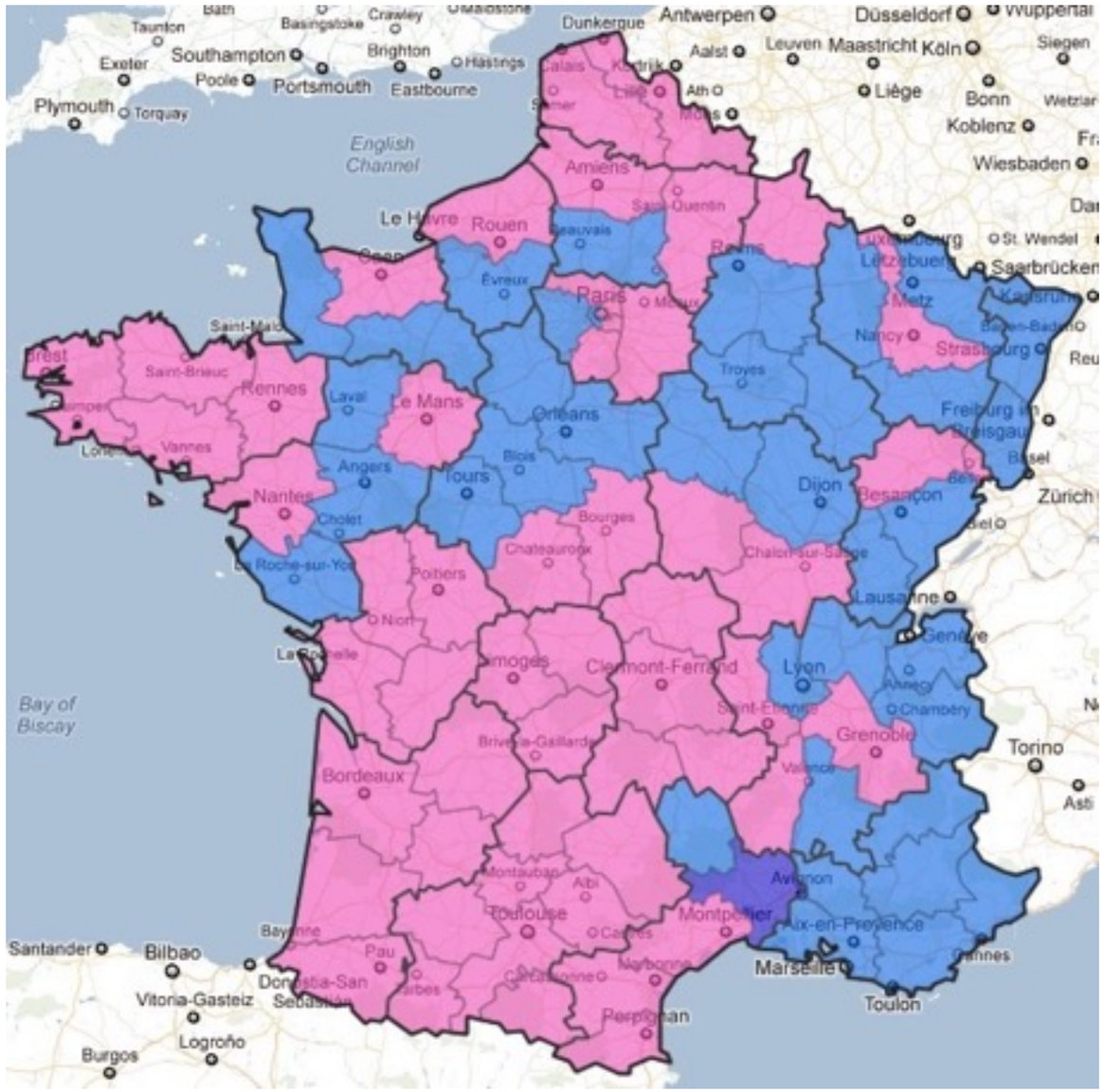
Il y a formation de macro-domaines (*transition continue*)
entrecoupée d'effondrements (*transitions abruptes*)

Exemples de domaines d'Ising

Discipline	**Caractère**	**Entité**
Physique	Spin	Domaine d'Ising
Biologie	Gènes	Espèce
Sociologie	Culture	Nation

Le modèle d'Ising s'applique à la propagation des croyances (politiques, religieuses, etc…)

Exemple en sciences sociales



Élections présidentielles de 2012

Applications

<u>En biologie</u>:

Développement d'un nombre réduit d'espèces bien adaptées (sélection K) entrecoupé de disparitions suivies par le développement de nombreuses espèces plus adaptables (sélection r): *équilibres ponctués de Stephan Jay Gould.*

<u>En sociologie</u>:

Tendance à la formation de grands domaines d'Ising (*mondialisation*) entrecoupée d'effondrements (*démondialisation*) tels que celui :

- de l'empire romain
- des empires coloniaux
- du bloc soviétique

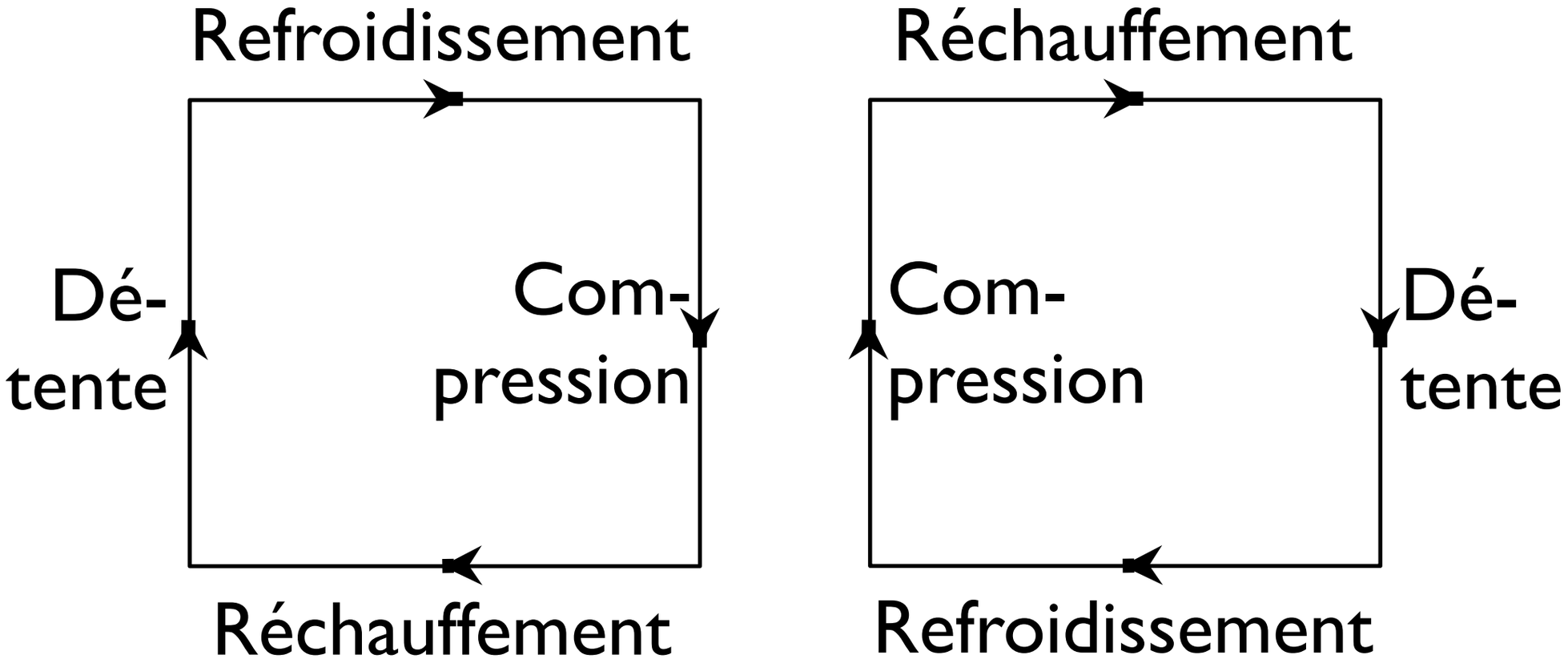
L'homéostasie

Les biologistes ont remarqué que les organismes évolués échappent au processus de criticalité auto-organisée:
leur taille se stabilise et
ils ont une durée de vie caractéristique bien définie.

Cela est dû à un mécanisme auto-régulateur qui compense les effondrements en 1/f (falaise de Sénèque).

L'ago-antagonisme

(moteur à 2 cylindres 2CV Citroën)



La détente dans un cylindre facilite
la compression dans l'autre cylindre.

Exemple de système ago-antagoniste en biologie

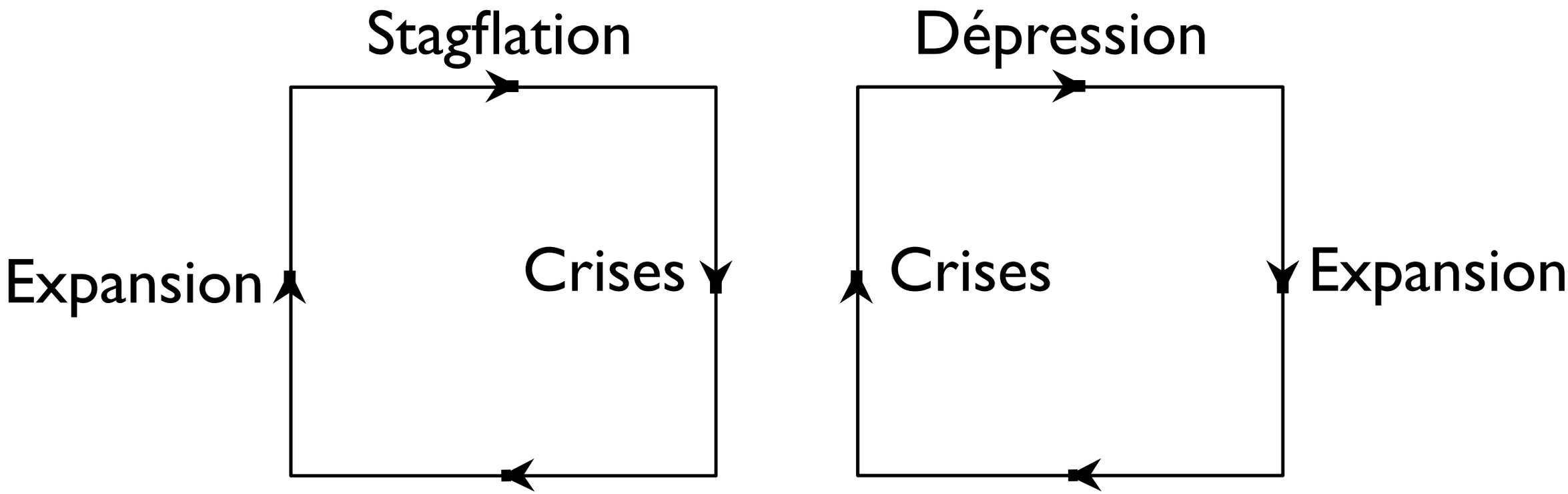
L'énergie est stockée sous forme de graisses puis utilisée sous forme de glucose. L'excès de glucose affecte les vaisseaux sanguins (diabète). D'où la nécessité de réguler le taux de glucose.

- En période d'éveil, la nourriture peut provoquer un <u>excès</u> de glucose qui est remédié par l'*insuline*.
- En période de sommeil, l'absence de nourriture peut provoquer un <u>manque</u> de glucose (nécessaire aux organes vitaux). Ce défaut est remédié par le *glucagon*.

Application à l'économie

Aujourd'hui, l'énergie est principalement fournie par le pétrole. L'excès de pétrole affecte l'environnement (*réchauffement climatique*) et entraîne sa *pénurie*. D'où la nécessité de réguler l'utilisation de l'énergie. Ceci est possible grâce à des économies *ago-antagonistes*.

Économies ago-antagonistes



Économie de production

Économie de services

Économie de production

Production: L'économie de production est liée aux *innovations techniques* notamment dans les *transports*: matières premières et produits manufacturés:

- navigation à voile en haute mer (17ème siècle)
- hâlage des péniches sur les canaux (18ème siècle)
- développement des chemins de fer (19ème siècle)
- développement des autoroutes et de l'aviation (20ème siècle)

Périodiquement, les innovations s'arrêtent et la production stagne.
Voir: G. Mensch, Stalemate in Technology, 1979.

Économie de services

Services: aide à la personne *sans* fourniture de biens matériels.
Exemples: enseignants, médecins, banques, assurances, agences immobilières, coiffeurs, restaurateurs, artistes, gendarmes, transports en commun, location de voitures, taxis.

L'économie de service se développe lorsque la production est en crise: covoiturage, autopartage, vélib, économie de fonctionnalité, économie collaborative, sociale et solidaire, etc…

L'économie de services est en *phase d'expansion* grâce à l'*informatique*: le transport de l'information supplante le transport de la matière.

Nécessité de deux monnaies

Tout cycle de Carnot requiert deux températures différentes.

Température économique = 1/coût de l'énergie

Tout cycle économique nécessite deux économies à des "températures" différentes (rôle des colonies).

L'analogue économique des catalyseurs chimiques est la *monnaie:* de même que les systèmes biologiques ago-antagonistes nécessitent *deux hormones* (insuline et glucagon), de même les systèmes économiques ago-antagonistes nécessitent *deux monnaies*: une monnaie pour la production et une monnaie pour les services (salaires, impôts, taxes).

Sélection de parentèle

En biologie, le degré de coopération entre individus est proportionnel au nombre de gènes communs.

En sociologie, le degré de coopération entre individus est proportionnel au degré de culture (histoire, langue) commune.

Les services étant échangés entre individus ayant une culture commune, la monnaie pour les services doit être de préférence nationale.

Résumé

Les lois de la thermodynamique et la biologie conduisent au concept d'économies *ago-antagonistes* associées à des monnaies distinctes:

- Une économie de production de type *libérale*, liée à une monnaie générale (ex.: l'euro) et à la *mondialisation*. Elle correspond biologiquement au système *orthosympathique*.
- Une économie de services de type *nationale*, liée à une monnaie propre et à la *démondialisation*. Elle correspond biologiquement au système *parasympathique*.

Comparaison avec les économies existantes

La Chine développe une économie ago-antagoniste de type Yin-Yang. Elle a conservé son économie dirigée (de type yin) pour les services tout en développant une économie de production libéralisée (de type Yang), mais n'a qu'une seule monnaie.

Sur les couples de monnaies Yin-Yang voir: Bernard Lietaer "Au cœur de la monnaie" (Yves Michel)

L'économie Suisse se porte bien, avec plusieurs monnaies (euro, franc-suisse, wir). La revalorisation récente du franc-suisse a permis de revigoriser son économie.

L'europe pourrait développer une économie ago-antagoniste fondée sur le couple France-Allemagne à condition de réintroduire le franc.

Fin

Pour la partie biologie, je remercie:
Jacques de Gerlache, *biochimiste*.
Jean Sirmai, *médecin*.