

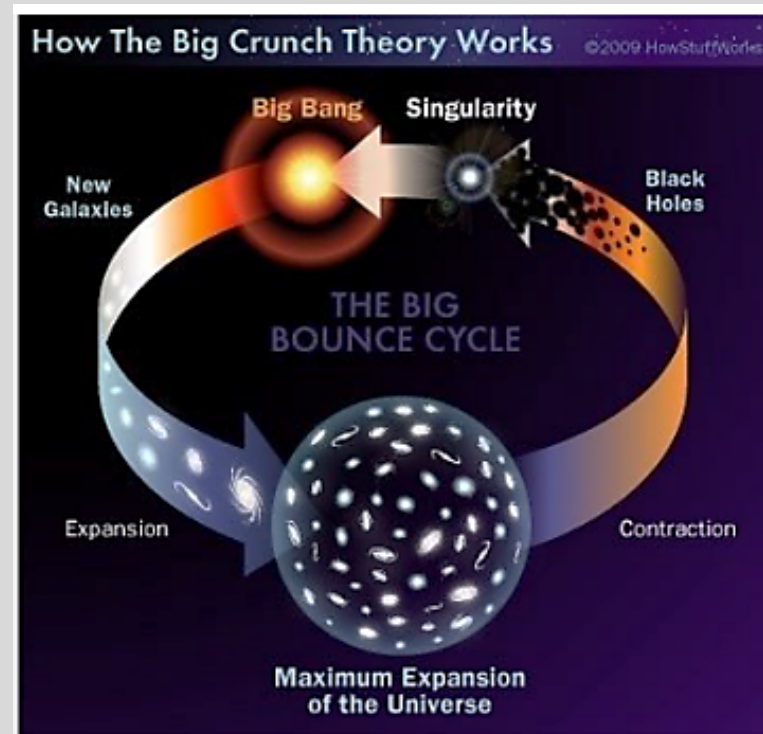
# Diagramme causal et boucles de rétroaction

Dynamique des systèmes en France

Conférence du 23/4/2024

SVP

Passer en mode Diaporama



Didier Cumenal

Conf. téléchargeable :  
<https://www.dynamiquesystemes.com/>

# INTENTIONS

- Expliquez l'intérêt du diagramme causal pour analyser une situation complexe et faire **émerger** des **contradictions**, des effets **contre-intuitifs**. **Détricoter** la complexité ?
- Pallier les approches traditionnellement **stéréotypées et routinières** de la résolution de problèmes en préconisant un travail de **créativité en groupe**
- Montrer l'intérêt de représenter **graphiquement** les relations entre variables et de visu, **faire vivre** graphiquement le système si le système n'est pas complexe (postuler des évolutions selon la dominance des boucles de rétroaction)



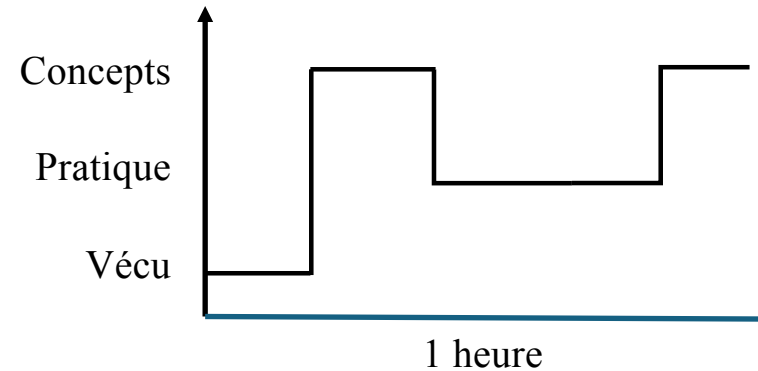
- **S'abstraire** dans un premier temps du langage mathématique pouvant être perçu comme une **langue étrangère** !

Cependant **gardons à l'esprit** que :

- Les diagrammes de boucles causales sont des représentations **statiques** de la **structure** d'un système (bien que l'on puisse la modifier avant toute simulation)
- Les diagrammes n'intègrent pas la **quantification** ni les **relations mathématiques** précises entre les variables, ce qui rend difficile la quantification des effets. Mais cela fera l'objet d'un autre exposé ;-)

# Introduction au langage des boucles (diagramme causal)

Une approche progressive par la découverte



De l'analyse cartésienne à l'approche systémique par le diagramme causal

Un « COPIL » mouvementé !

Conf. téléchargeable :  
<https://www.dynamiquesystemes.com/>



# Une situation d'affaires pas si irréaliste que cela !

Le **DG** organise en urgence un « **COPIL** » (Comité de Pilotage) en présence de ses directeurs fonctionnels et opérationnels).

**Le DG** : « Nos ventes continuent à baisser malgré notre réorganisation, donnez-moi les **raisons** qui expliquent ces mauvais résultats ? »

**Le Directeur commercial** : « nos vendeurs ne sont pas assez nombreux, ils ne sont pas assez formés et on leur demande toujours plus. La production ne respecte pas les délais et puis on exige des rapports de plus en plus nombreux sur le reporting de nos ventes »

**La Directrice du MKT** : « la Direction commerciale ne nous fait pas suffisamment remonter la réalité du terrain, les besoins des clients »

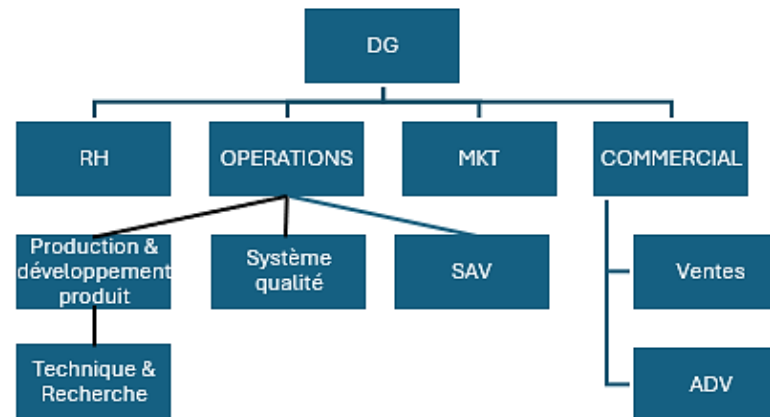
**Le Directeur de la production** : « le commercial accepte toutes les commandes et on produit de plus en plus de petites séries. De plus nos produits deviennent de plus en plus obsolètes. Ils ont dépassé le stade de maturité. Où est l'innovation tant attendue ? »

**La Directrice des RH** : « l'ambiance de travail est mauvaise à cause de la chute de nos ventes. Le turn-over s'accroît. Les employés confirmés s'en vont et avec eux le savoir-faire. Il faut sans cesse recruter et former ».

**Le Responsable du SAV** : « Il y a de plus en plus de problèmes de qualité (rebut et retour des clients pour non-conformité) »

**La Responsable technique et de la recherche** : « On privilégie le chiffre d'affaires à court terme au détriment de la recherche de produits et de procédés nouveaux et de l'amélioration de notre portefeuille de compétences »

Face à ces tergiversations et l'absence de décisions, le DG fait appel au **cabinet conseil** : « Pragma100 Business », cabinet spécialisé dans le diagnostic de **la stratégie commerciale**.



Pragma100 Business

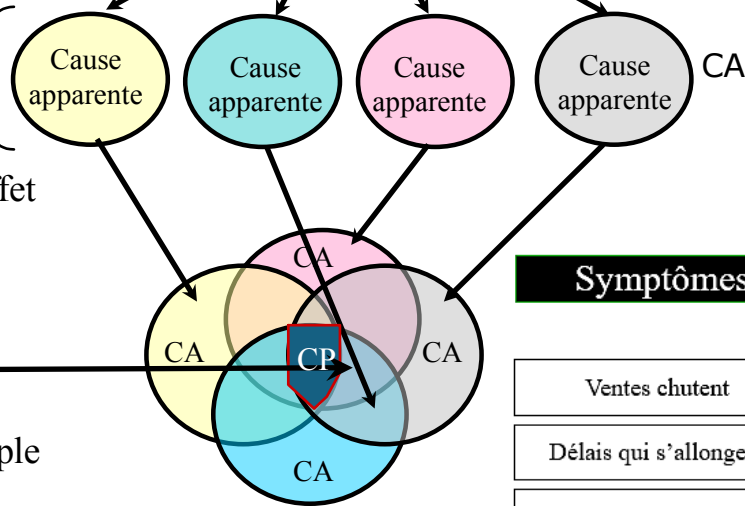


Symptômes de dysfonctionnement

« Si le seul outil que vous avez est un marteau, vous tendez à voir tout problème comme un clou » (Abraham Maslow)  
 Pragma100 Business, un cabinet conseil typé « commercial »

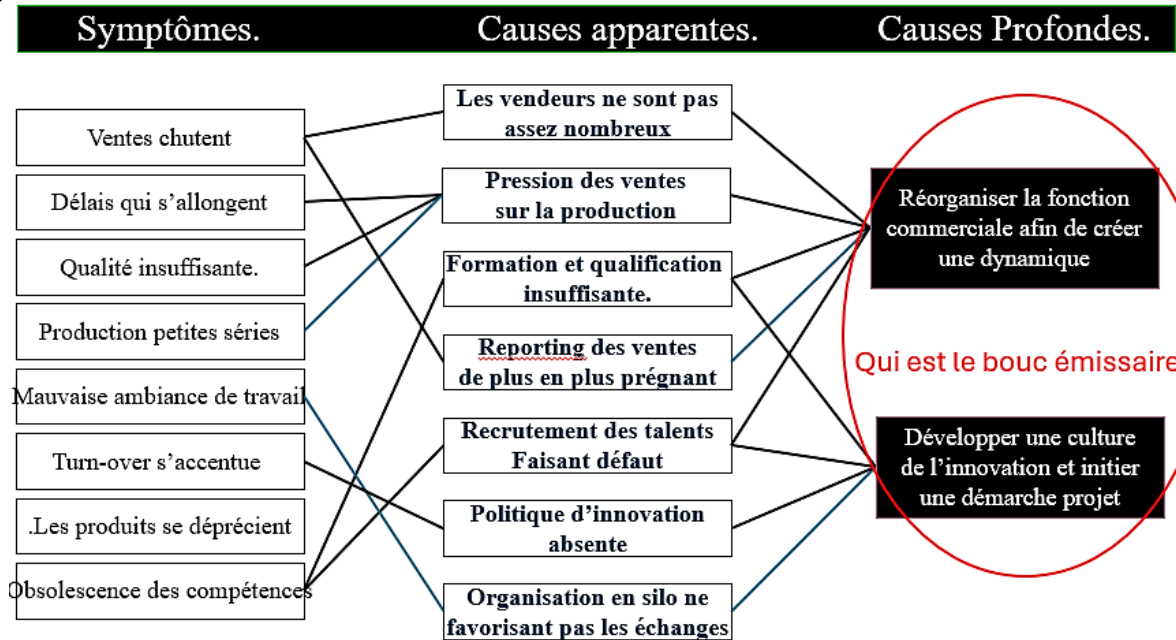
Des points de vue et des représentations différentes

CP => CA => Symptômes  
 Causes → Cheminement → Effet



**Cause Profonde : CP**  
 Recherche du PPCM :  
 le Plus Petit Commun Multiple

**UN DIAGNOSTIC CARTESIEN**



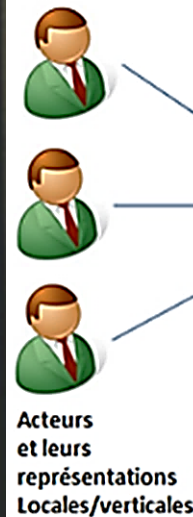
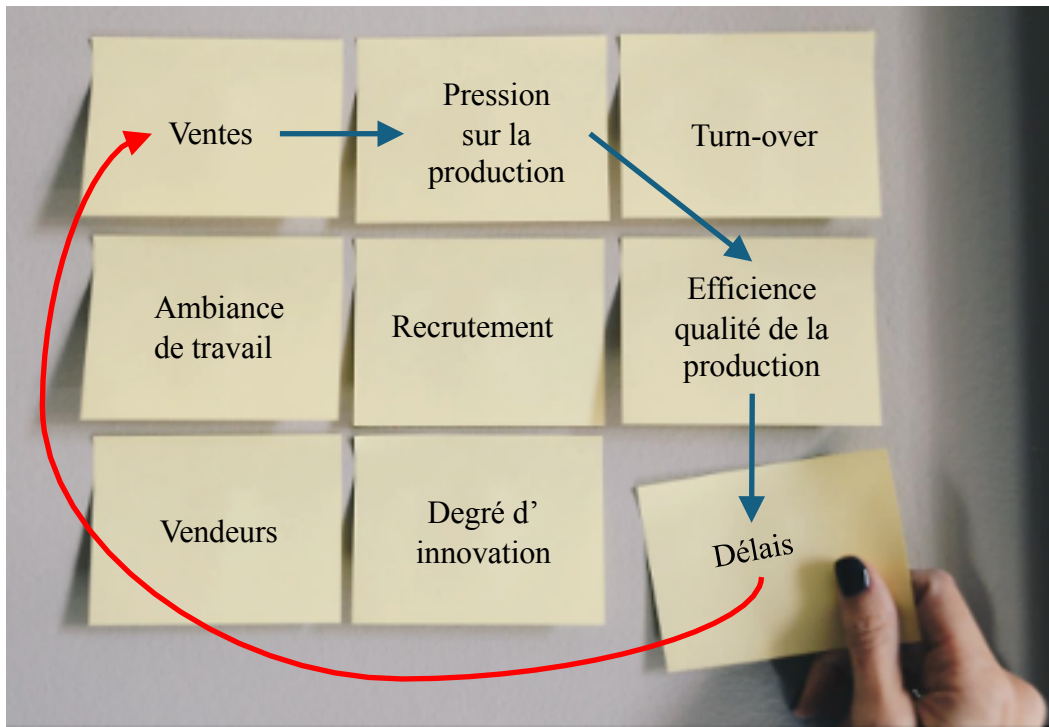
Si l'optimum local (fonction commerciale) est l'optimum global, alors il faut transformer toute l'entreprise en une société de ventes sur Internet et sous-traiter la production après avoir licencié une bonne partie de son personnel ! Est-ce la solution ?

# Travail collaboratif pour construire un schéma système

Exemple :

En utilisant des « Post-It »

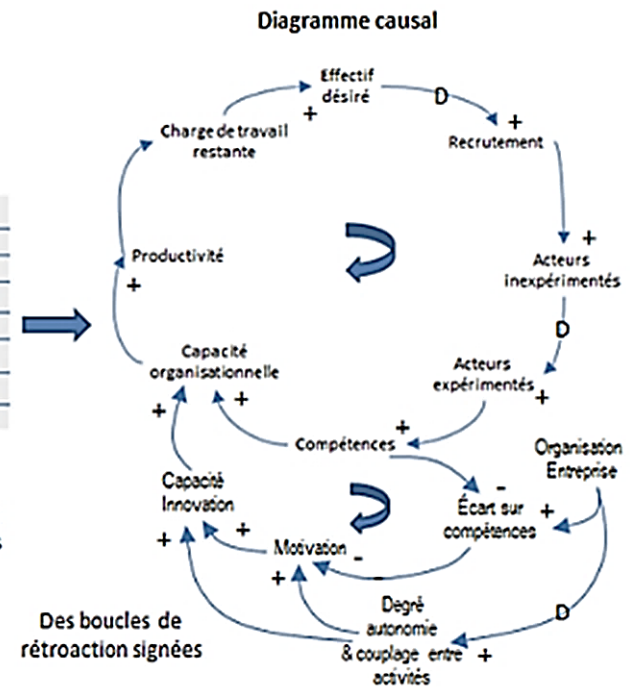
Les variables sélectionnées sont des variables essentielles ou d'état et d'action. Elles doivent être **neutres** cad pas d'idée de mouvement (accroissement, diminution, etc.). Puis définir les **relations** et les **polarités** de chaque relation (signes). Si  $A \rightarrow B$  (A augmente alors B s'accroît ou diminue ?)



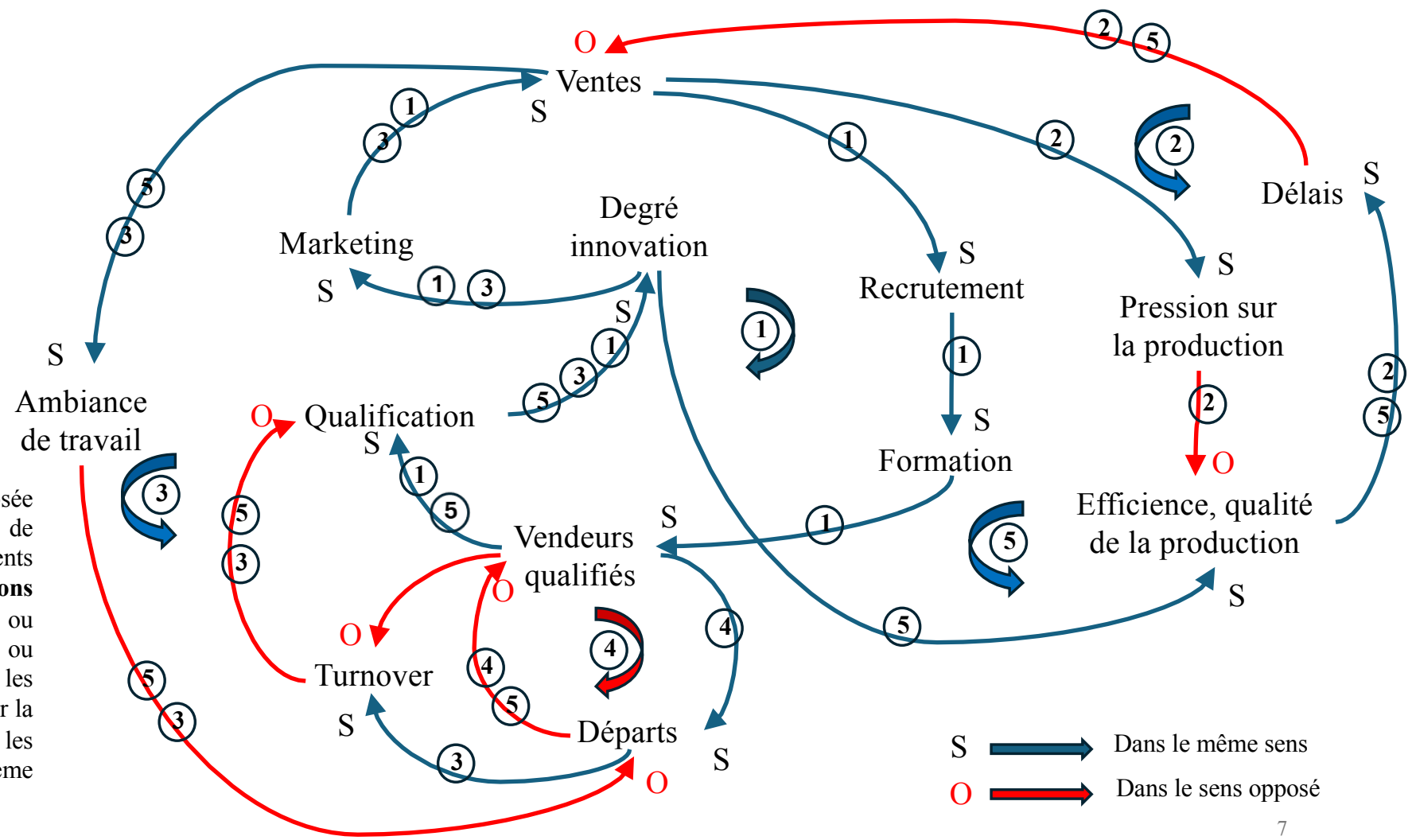
Un exemple entre 6 variables :

	a	b	c	d	e	f
a		3				1
b			5			
c				3	2	
d			1			
e	4				2	
f	1			3		4

Matrice d'incidence permettant d'élaborer une carte cognitive avec le degré d'influences des idées (ici de 1 à 5)



**Par convention, soit tout le système (et chaque variable) évolue soit à la hausse soit à la baisse.  
 Pour chaque variable on repart du même signe correspondant à la convention d'évolution du système**

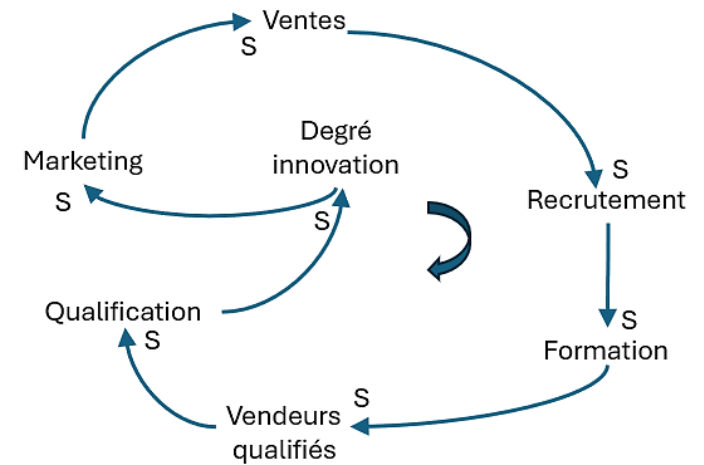


**Diagramme causal :**

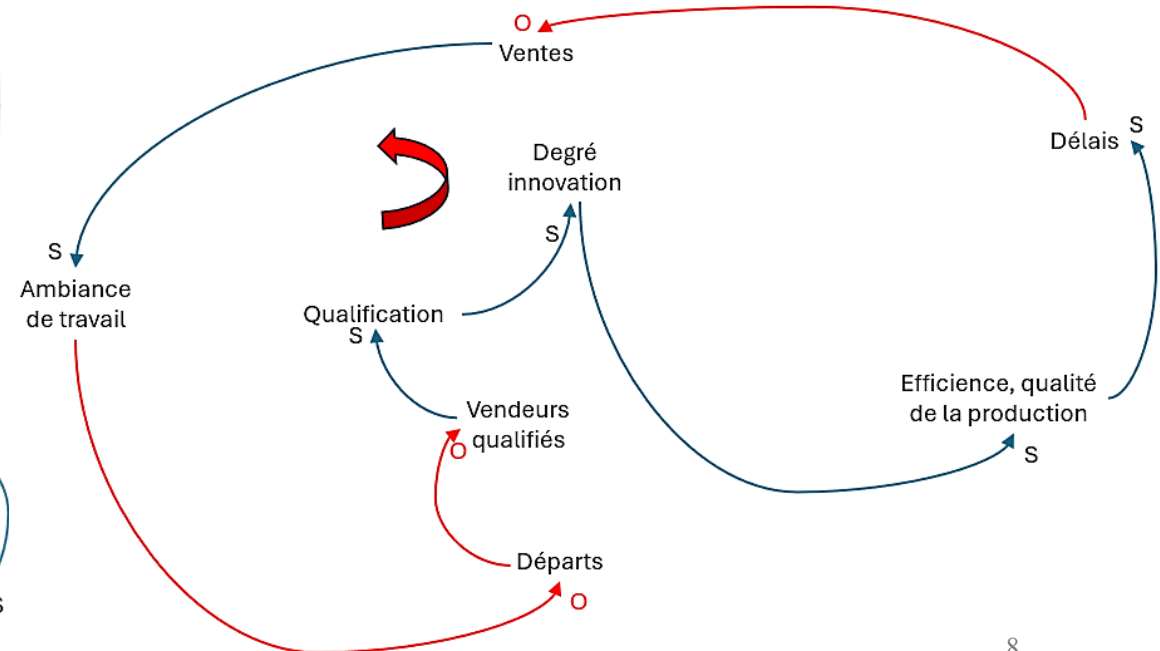
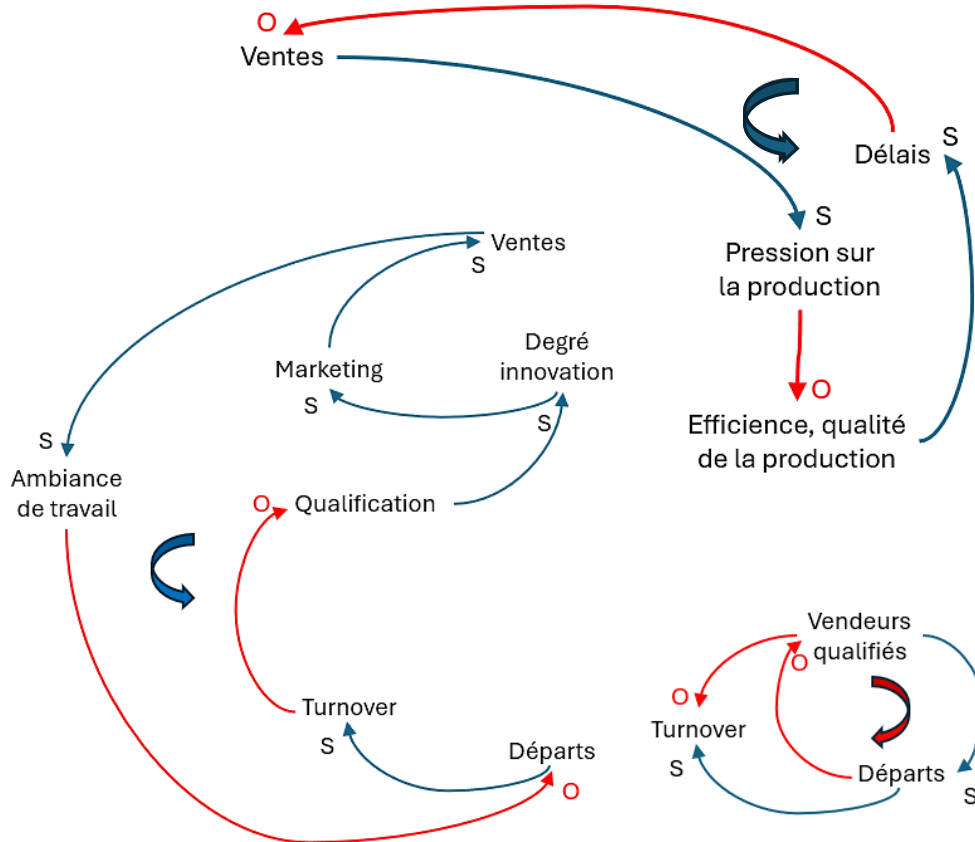
c'est une **structure** composée d'un ensemble **invariant** de **relations** entre des éléments déterminant des **rétroactions amplifiantes** (hausse ou diminution) et compensatrice ou de **régulation**. Il supporte les **processus** qui sont activés par la simulation qui génère les changements d'état du système à travers le temps.

Tout d'abord et pour rappel, **la somme des optimums locaux n'est pas l'optimum du système global** (E. Goldratt). C'est la **simulation** de la DS qui nous permettra d'**optimiser** tout le système.

Identifier les **boucles de rétroaction (ici X5)** avec leur **polarité** (amplification inertie ou résistance)



*Boucles: Recherche de circuits (algorithme : sommets ayant à la fois des arcs incidents & aboutissant)*

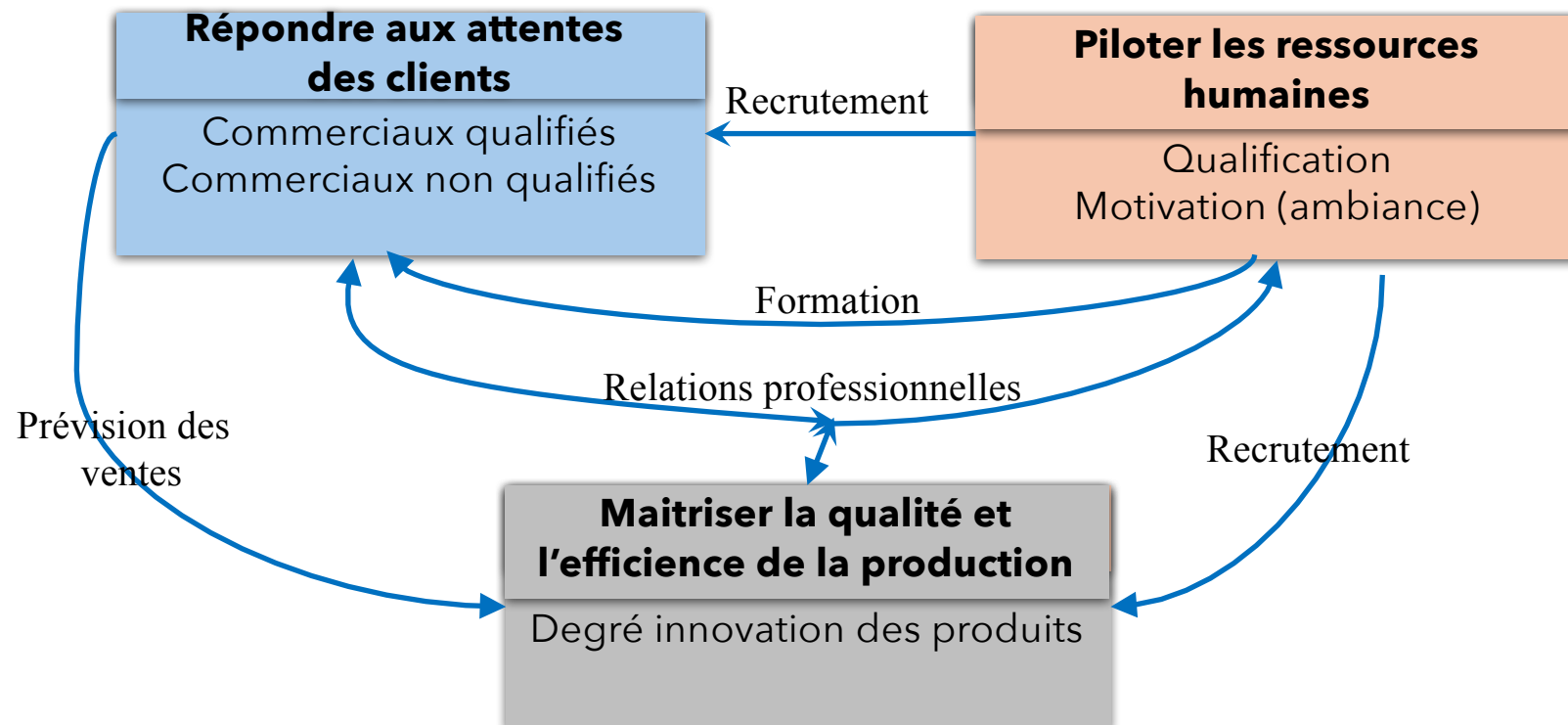




# L'ANALYSE : DECOUPAGE EN SOUS SYSTEMES

**Sous-système** : unité représentée par une fonction (cohérence des variables autour de la fonction)

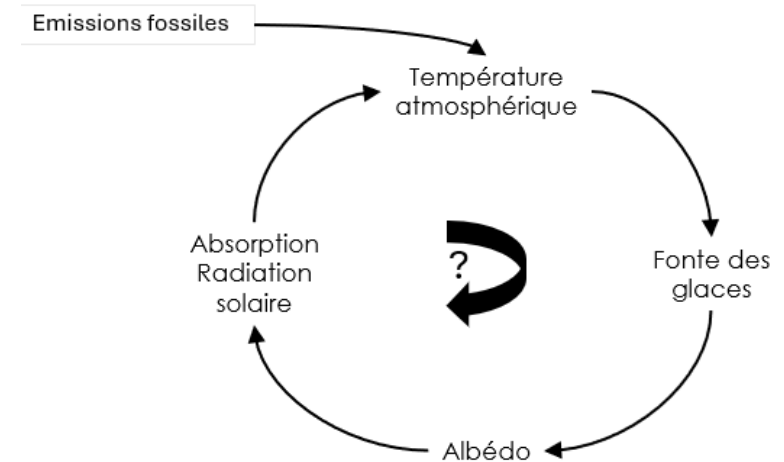
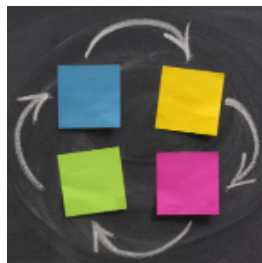
3 grandes **fonctions**. A l'intérieur de chaque sous-système on représente les **variables essentielles (variables d'état)**. Les **flux** ou variables de **liaison** entre ces sous-systèmes.



*Décomposition du diagramme causal général en composantes fortement connexes (voir l'algorithme de Malgrange)*

# Les avantages d'un diagramme causal

- Montrer les relations et l'intensité des influences entre les variables
- Mettre en évidence les boucles de rétroaction (circuits orientés dans un graphe)
- Penser la causalité systémique c'est-à-dire porter son attention sur ces boucles de comportement (polarité positive = amplification, négative = régulation, inertie)
- Penser le changement : visualiser les dominances de boucles dans le temps
- Coconstruire le diagramme causal : le dialogue, la dialectique, la médiation  
**(avec des Post-It)**



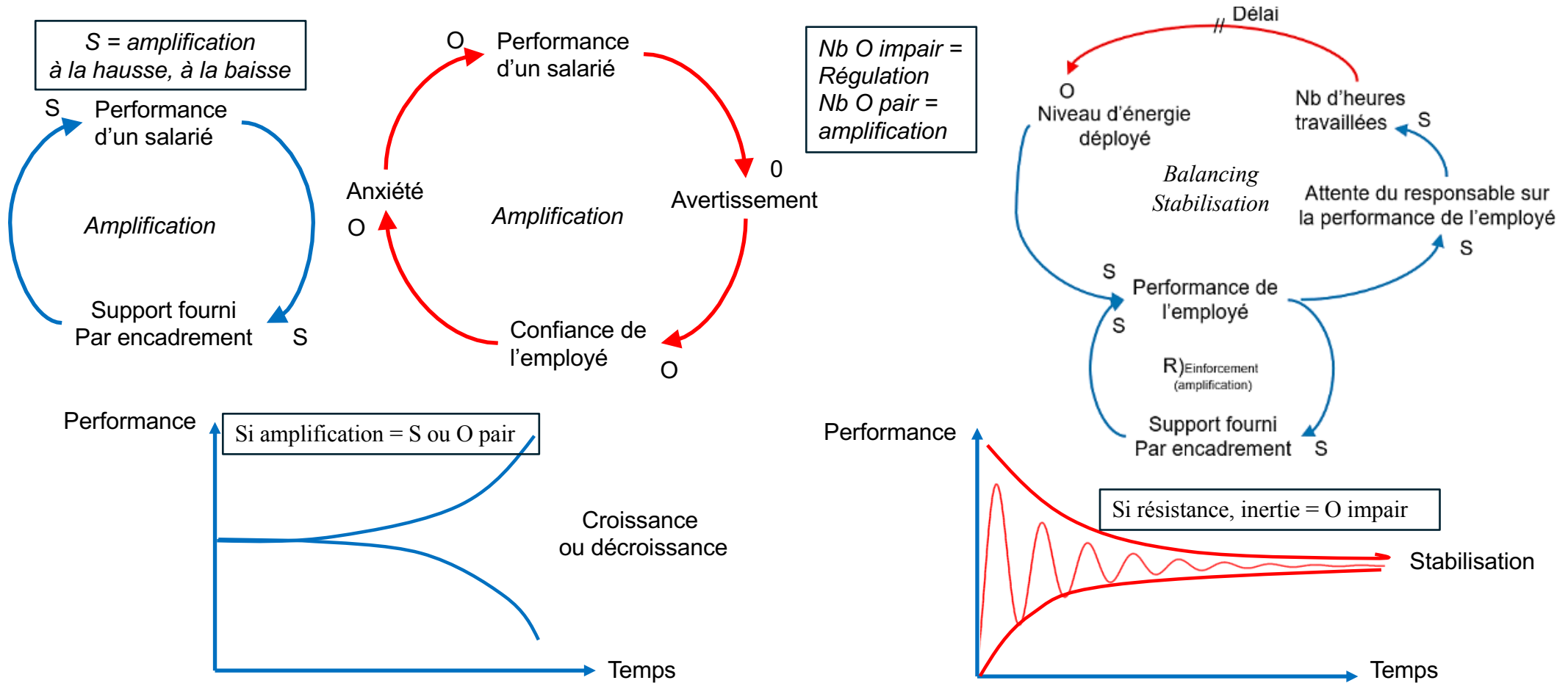
# Le langage des boucles & relations d'influence

## Le formalisme du diagramme causal



# Le langage des boucles & relations d'influence

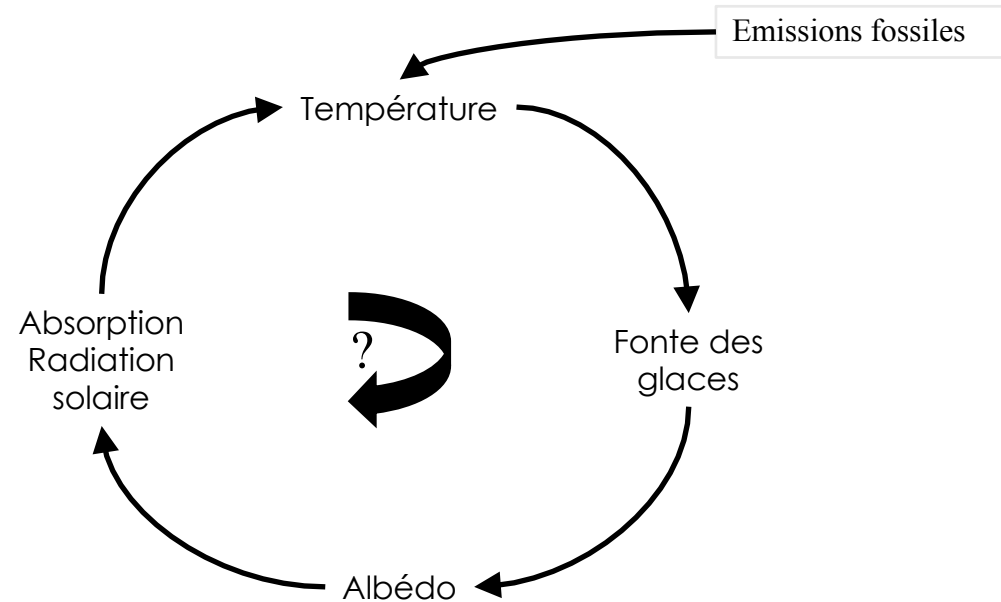
Par hypothèse, il faut considérer **que tout le système croît ou décroît** (on repart avec le signe de chaque variable correspondant au comportement global d'évolution choisi : croissance par exemple ou alors décroissance)



# Le langage des boucles & relations d'influence

Ex : mini modèle climatique

Pouvez vous signer l'arrivée de chaque flèche (**S = dans le même sens ou + pour amplification** et **O = opposition ou – pour diminution**). Quelle est la polarité de la boucle centrale ?



Par convention, on imagine que c'est tout le système qui évolue à la hausse ou à la baisse  
Ainsi à chaque relation causale on repart d'une hausse (si tout le système croit par hypothèse) ou décroît si le système dans sa globalité décline)

# Le langage des boucles & relations d'influence

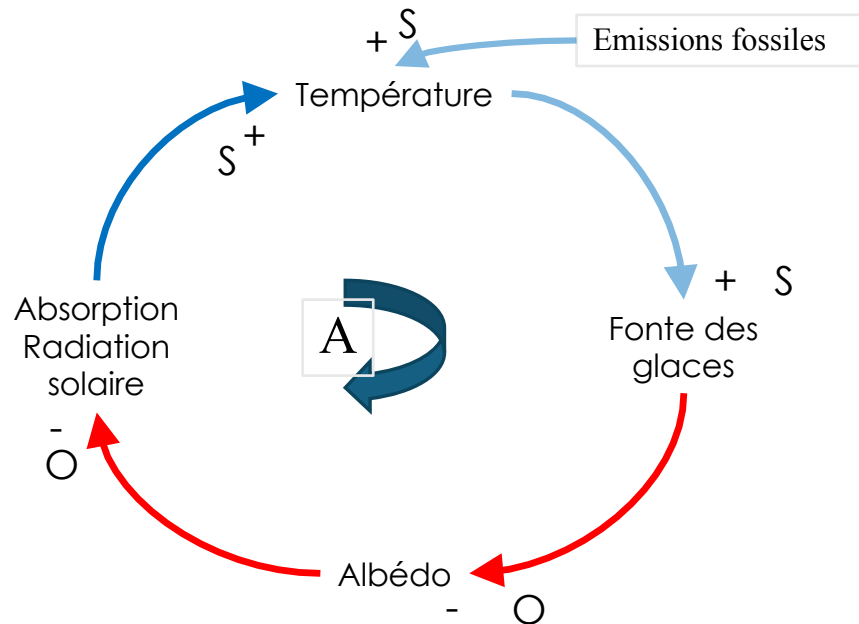
Ex : mini modèle climatique

## REPONSE

Par convention, on imagine que c'est tout le système qui évolue à la hausse ou à la baisse  
Ainsi à chaque relation causale on repart d'une hausse (si tout le système croit par hypothèse) ou décroît si le système dans sa globalité décline)

**A** : pour amplification  
ou **R** : (Reinforcing)

-(o) par -(o) = + (A)  
Regarder les polarités  
pair ou impair



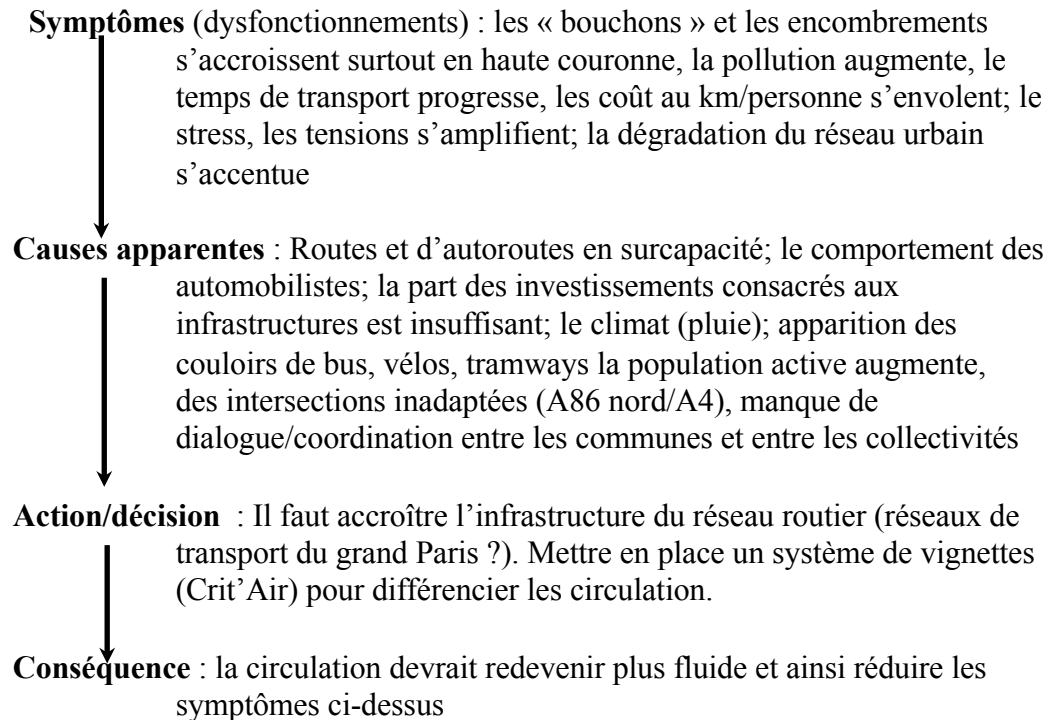
Énergie absorbée par la surface : La surface terrestre absorbe environ 50% de l'énergie solaire incidente

# Analyse systémique par les interactions entre variables

## Ex : fluidifier la circulation urbaine

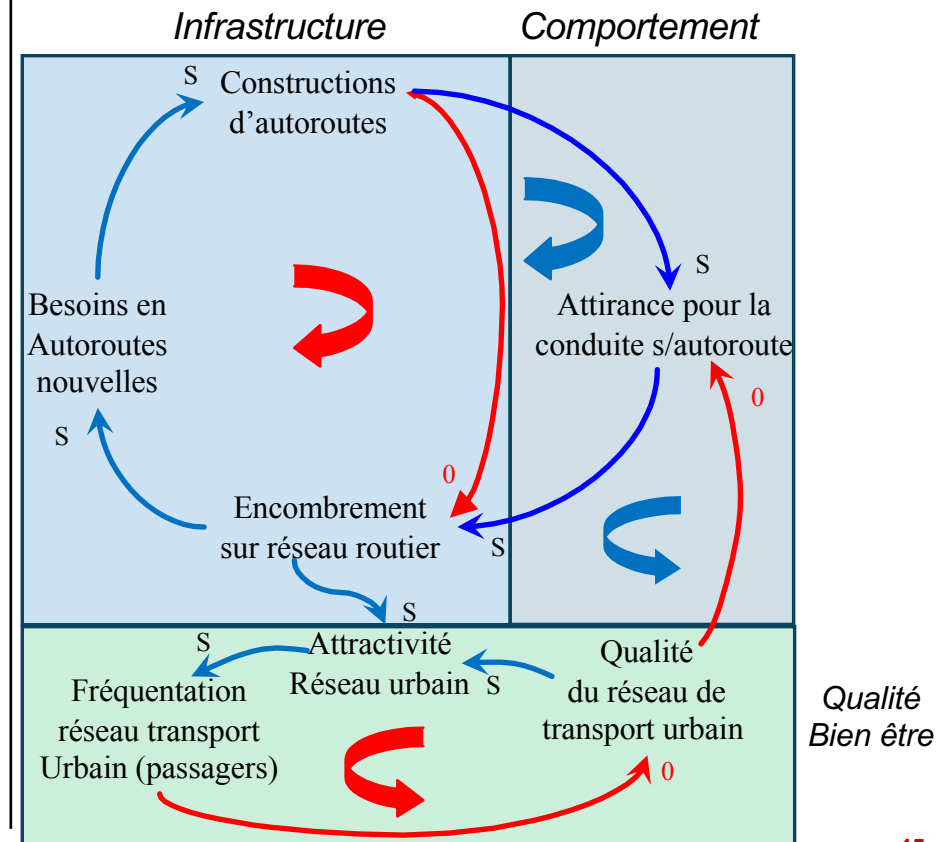
### L'APPROCHE LINEAIRE, CARTESIENNE

Les embouteillages et les bouchons s'accroissent dans la ville. Le réseau routier est insuffisant. Il n'y pas assez de débit. Il faut alors construire de nouvelles routes et autoroutes autour. Mais éloignement domicile- lieu de travail, durée, etc. ? Il n'y a qu'à faire : LE YA KA !



### L'APPROCHE SYSTEMIQUE

Il y a des interactions entre sous-systèmes qui provoquent des réactions contre intuitives entre le CT et le MT/LT



# Retournement des causes (effets pervers, contre-intuitifs)

En 1989, le gouvernement du Mexique lance un programme antipollution dans l'une des plus grandes villes polluées du monde : Mexico. Il s'agissait de lutter contre les émissions de gaz d'échappement des voitures et des camions. Chaque voiture à tour de rôle devait rester au garage un jour par semaine selon certaines plaques d'immatriculation. La logique était claire : moins de voitures dans la ville devaient entraîner moins de pollution dans l'air.



Selon vous, que s'est-il passé ?

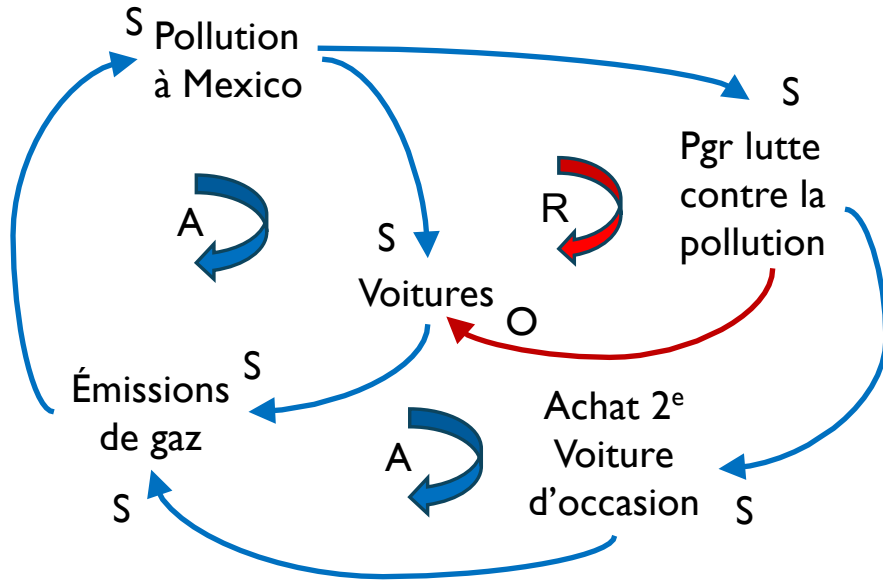
Du mécontentement bien sûr, mais surtout, les spécialistes n'ont pas anticipé la réaction des citoyens concernés . Chaque famille qui en avait les moyens s'est offert une 2<sup>e</sup> voiture (d'occasion et ancienne). Ainsi ils pouvaient rouler n'importe quel jour. Mais ces secondes voitures plus polluantes n'ont fait que **détériorer la qualité de l'air** et accessoirement ont augmenté la consommation globale de carburant ! **Voici comment le système s'est verrouillé !**



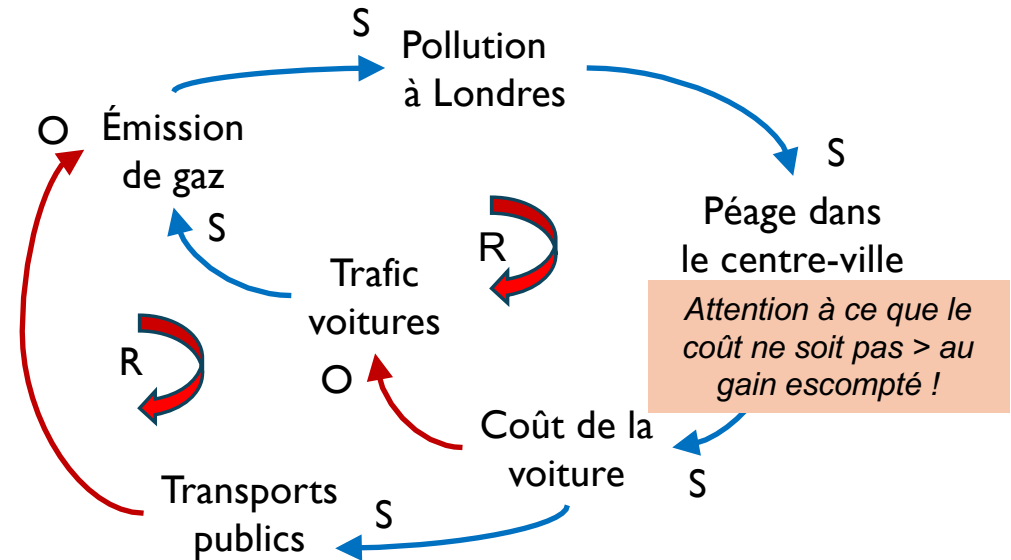


# Retournement des causes (effets pervers, contre-intuitifs)

La pollution à Mexico représenté par la DS



Une bonne politique utilise les incitations pour diriger les comportements anticipés vers un état prévisible (Londres)



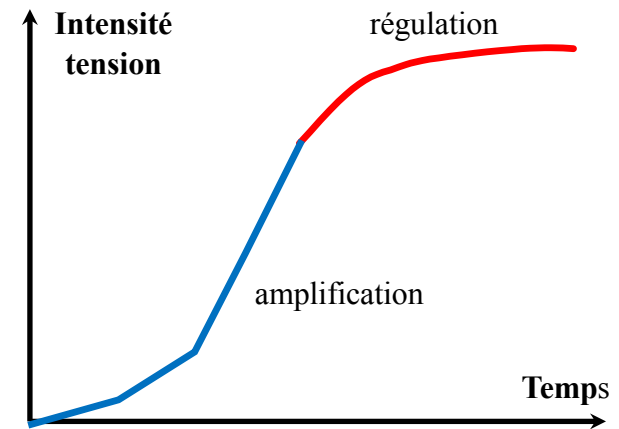
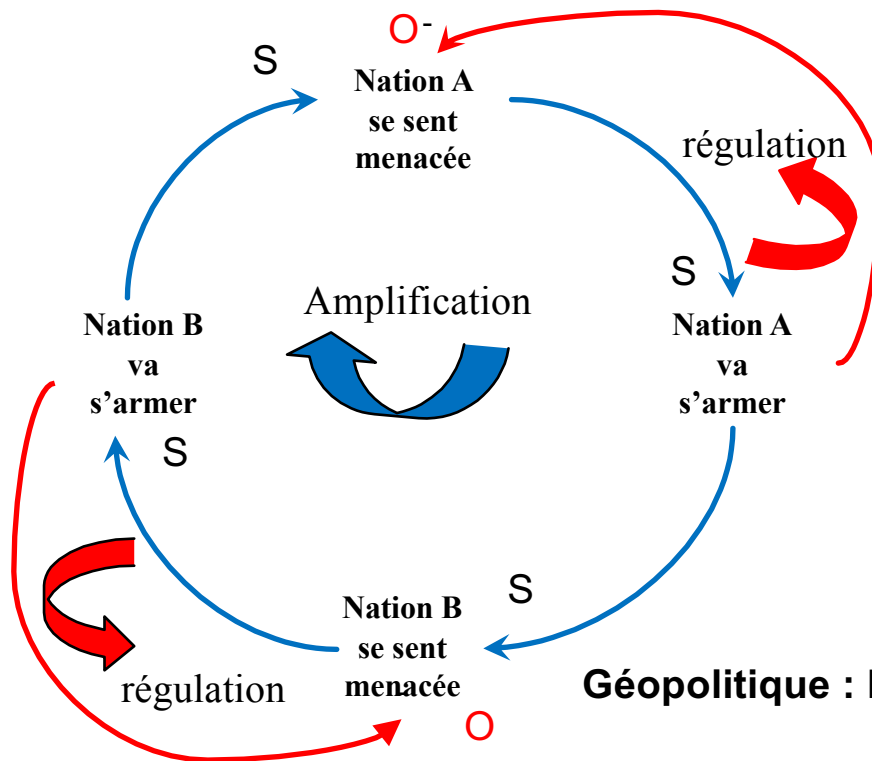
A priori, le pgr de lutte a un bon impact à **court terme** sur le nombre de véhicules (Boucle de régulation) 1) **Pollution** → **Pgr** → **voitures** → **émissions** → **pollution**. Mais à **moyen terme** deux boucles d'amplification dominant : 2) **Pollution** → **voitures** → **émissions** → **pollution**.; 3) **Pollution** → **pgr** → **achat 2<sup>e</sup> voiture** → **émissions** → **pollution**. Interprétez le schéma de droite ...

On utilise le nombre de relations **impaires et paires** pour déterminer la polarité : Pair (S ou O) : amplification ou « Reinforcing ». Impair (0) : régulation ou « Balancing » et si (S) impair : amplification ou « Reinforcing ».

# Le langage des boucles & relations d'influence

**LES ARCHETYPES** : schéma d'interactions générant des classes de comportements type (sorte de squelette du système)

**Ex : L'escalade puis l'équilibre par la peur**

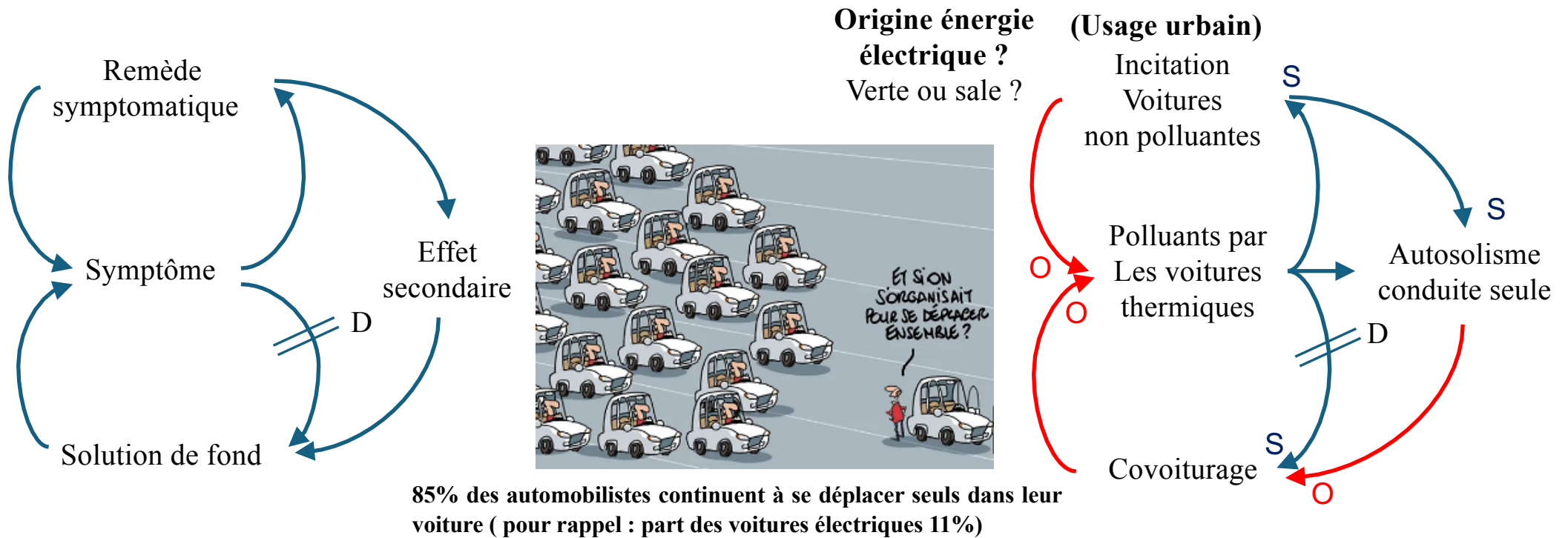


**Géopolitique : La course aux armements et son équilibre ?**

# Le langage des boucles & relations d'influence

**LES ARCHETYPES** : schéma d'interactions générant des classes de comportements type (sorte de squelette du système)

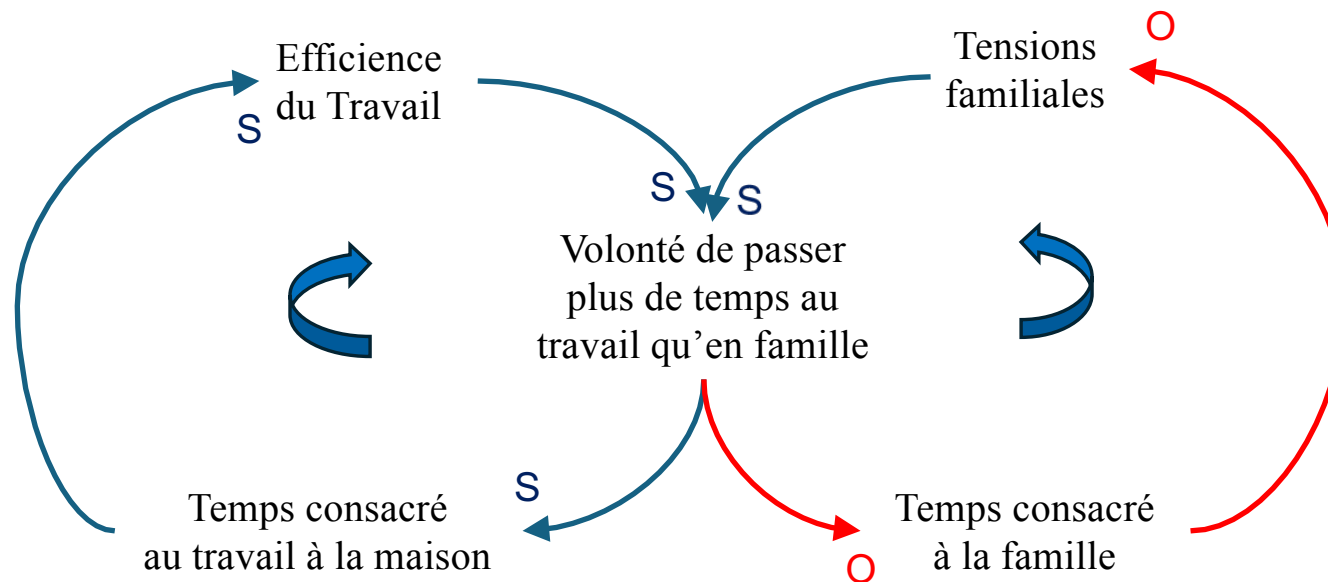
Ex : Les effets de bord (effets secondaires non désirés)



# Le langage des boucles & relations d'influence

**LES ARCHETYPES** : schéma d'interactions générant des classes de comportements type (sorte de squelette du système)

**Ex : Le succès appelle le succès et inversement l'échec amène l'échec (effet de spirale)**



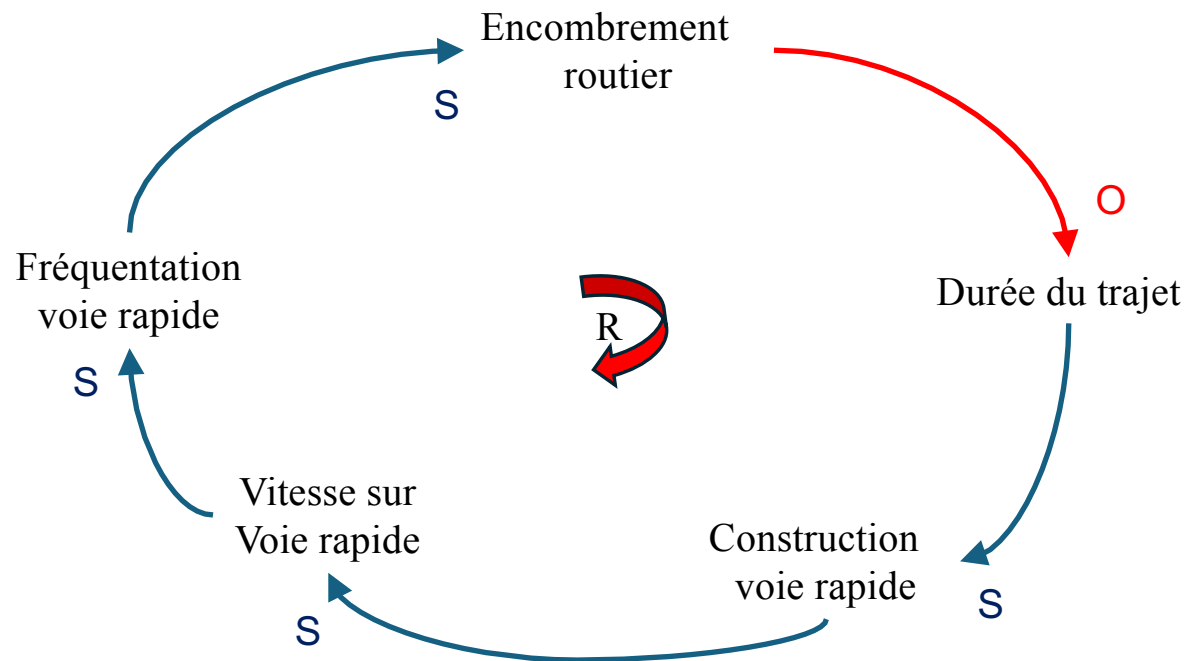
« Toutes choses égales par ailleurs ! »

# Le langage des boucles & relations d'influence

**LES ARCHETYPES** : schéma d'interactions générant des classes de comportements type (sorte de squelette du système)

**Ex : La tragédie des biens communs** (Garrett J. Hardin)

Elle montre la **surexploitation** qui résulte de l'accès à une ressource limitée publique et pour finir qui ne profite plus à personne du fait de son épuisement ou sa saturation (voir l'exemple classique des prés communaux)



# Le langage des boucles & relations d'influence

**LES ARCHETYPES** : schéma d'interactions générant des classes de comportements type (sorte de squelette du système)

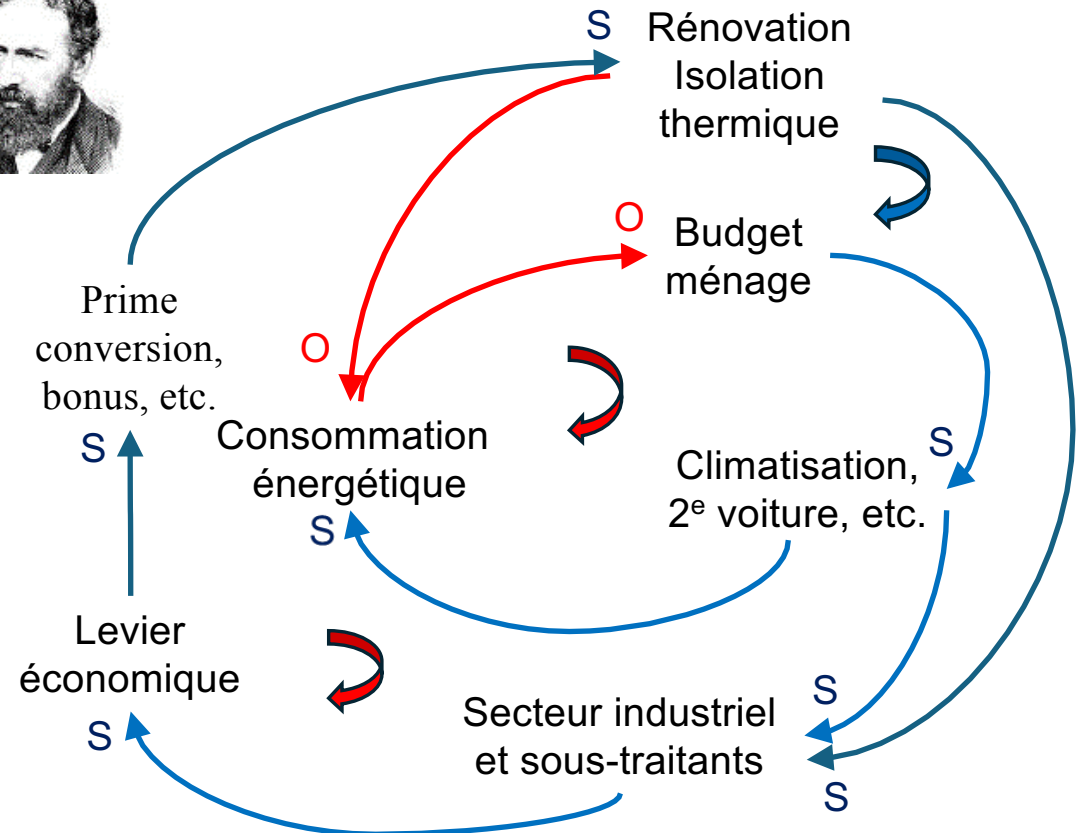
**Ex : l'effet rebond**

## Paradoxe de S. Jevons (1865)

Les économies d'énergie ou de ressources prévues par l'usage d'une nouvelle technologie sont partiellement ou complètement neutralisées à la suite d'une adaptation du comportement de la société.

Ex : l'isolation thermique des bâtiments. Les consommations en KW/h/m<sup>2</sup>/an par foyer diminuent. Le surcroît de ressources dégagées est alors utilisé pour investir dans un autre bien (installer la climatisation) ou pour l'achat d'autres produits (une seconde voiture (thermique, etc.).

Ces effets rebonds sont-ils suffisamment pris en compte dans les modèles énergétiques et climatiques mondiaux (difficile à chiffrer ?)



# Le langage des boucles & relations d'influence

Ex : mini modèle climatique



Source : les cahiers du développement durable

## Suite aux activités humaines...

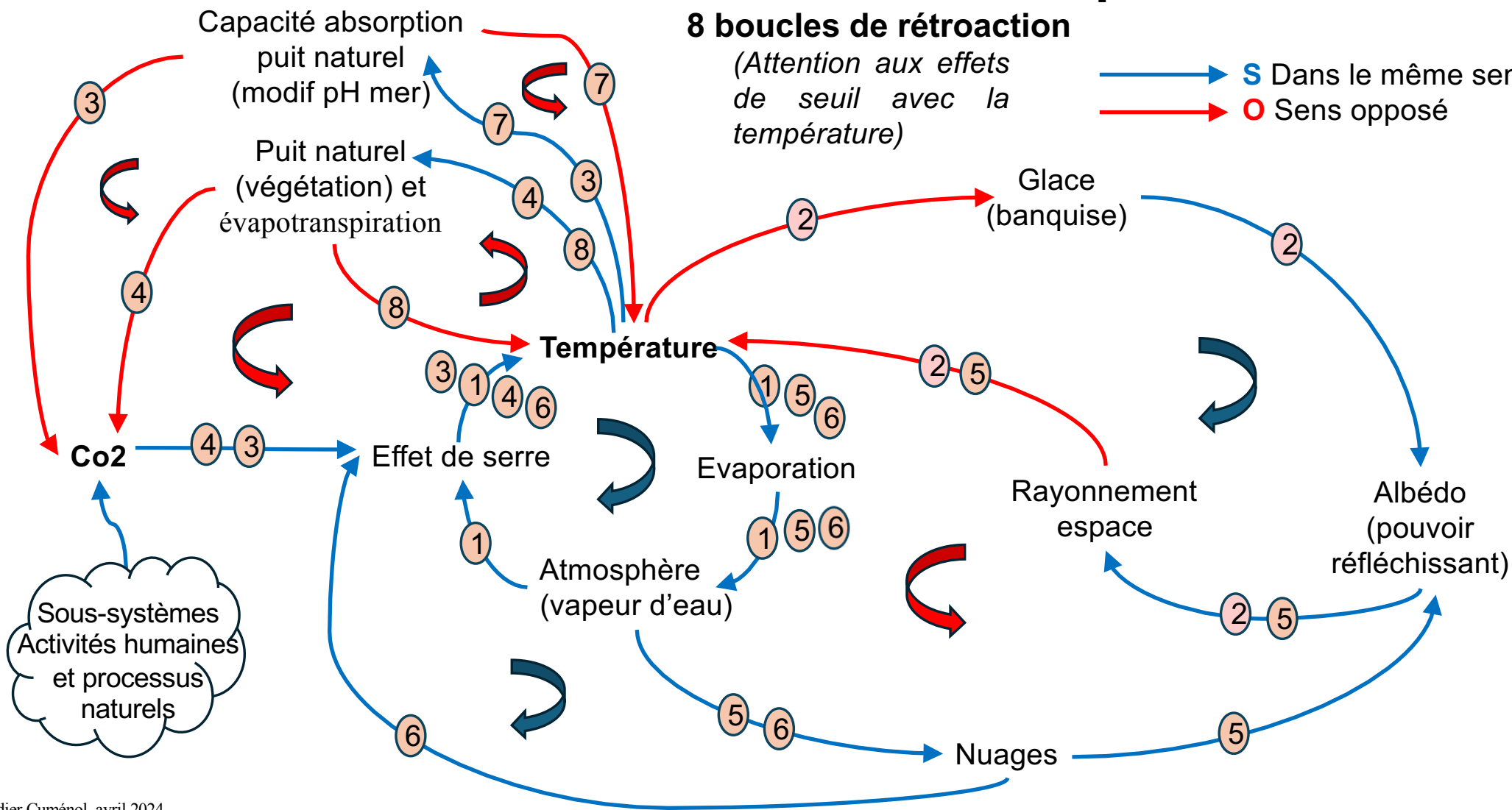
Les gaz à effet de serre sont produits massivement par l'activité humaine et par des phénomènes naturels. Le déboisement et le réchauffement de la mer, par exemple, ne permettront plus d'absorber ces émissions. Le surplus se retrouve dans l'atmosphère et renforce l'effet de serre. La température moyenne augmente et le climat se dérègle.

# Mini modèle climatique

## 8 boucles de rétroaction

(Attention aux effets de seuil avec la température)

— S Dans le même sens  
— O Sens opposé



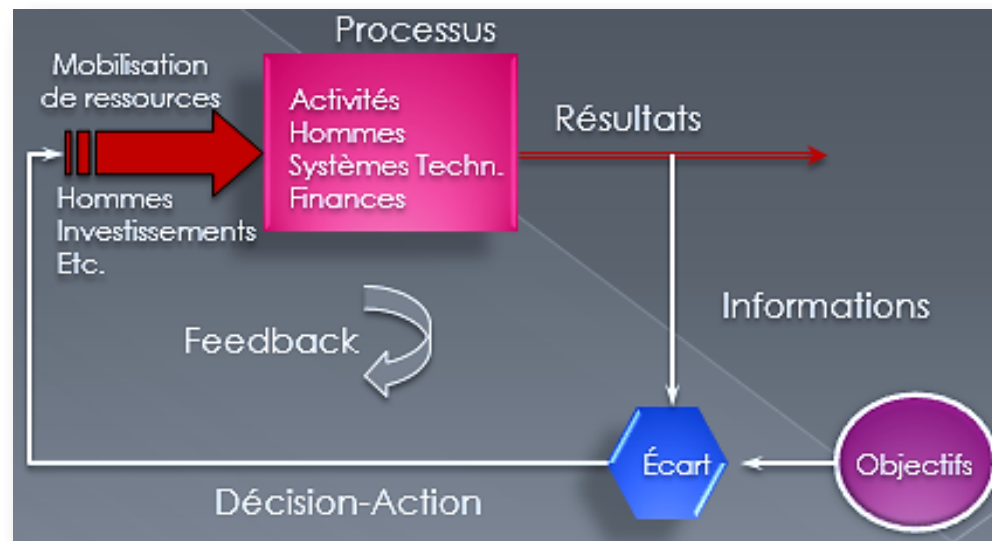


# MODELE GENERIQUE

Citons Claude Bernard : « les systèmes ne sont pas dans la nature mais dans **l'esprit des hommes** »

Un **modèle générique** peut être défini comme un modèle de langage de **description de modèles**. Un métamodèle sert ainsi à exprimer les **concepts communs** à l'ensemble des modèles d'un même domaine. Sorte de **généricité** dont on peut **dérivée** des modèles (instances ou occurrences d'une classe dans les langages « objet »)

Ex : modèles à but (stock/approv, personnel/recrutement, etc.)



**Le modèle « IDAR » :**  
(source M. Karsky)

- Information
- Décision
- Action
- Résultats

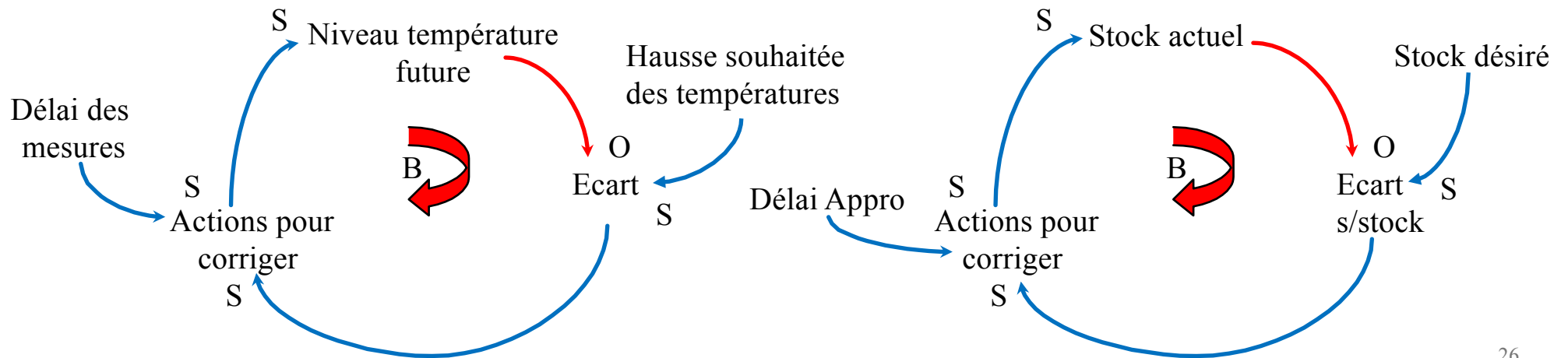
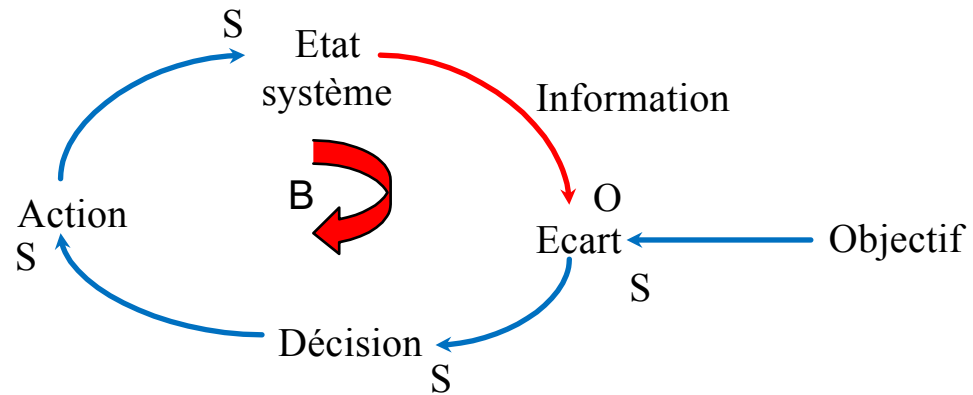
**Remarque : faut-il toujours un objectif ?**

Les populations prédatrices-proies tendent à montrer un comportement de **régulation** qui obéit en fait à des lois déterministes basées uniquement sur la **relation** entre une population et sa source de nourriture illustrée par l'équation de Lotka-Volterra.

# Un modèle générique : le modèle IDAR

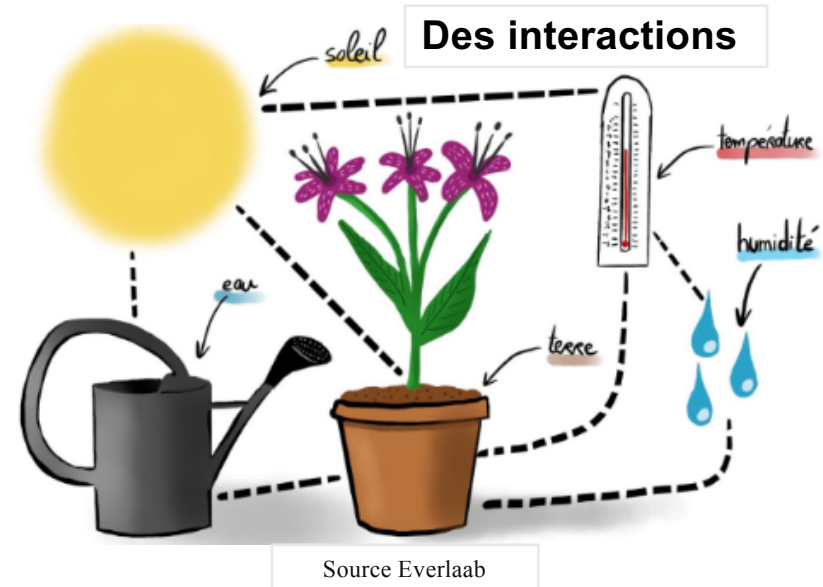
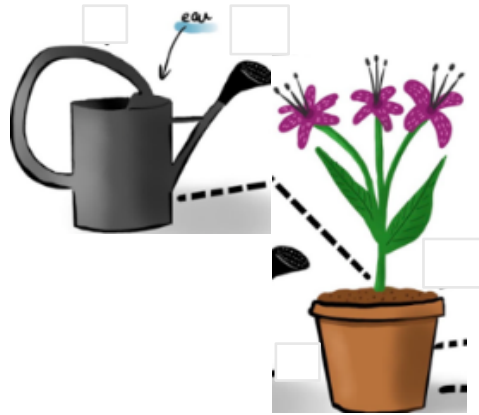
IDAR : information-décision- Action- Résultat

**Diagramme causal  
avec une boucle de rétroaction  
ou « feedback »**



# Périmètre d'un système, limites

« On se focalise bien trop sur les éléments, les arbres cachent la forêt » Donella Meadows



**Représentation linéaire** : j'arrose mon pot de fleur dans un local fermé. Au bout de quelques jours les fleurs tombent !

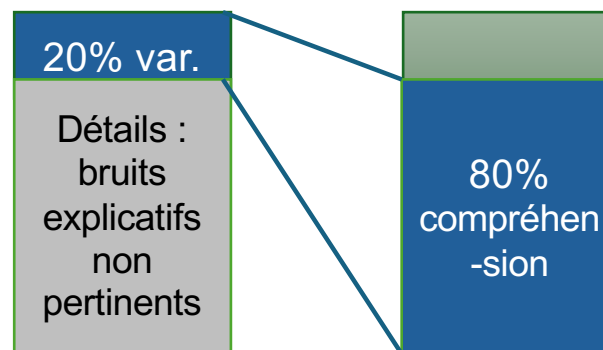
**Représentation systémique** : La plante fait partie d'un écosystème. L'eau, le soleil, la chaleur, l'humidité, le terreau sont en interaction sans compter la période : la saison. Ces propriétés locales forment **un tout indissociable**. Mais il faut délimiter le **périmètre**. Jusqu'où intégrer les paramètres et les variables ? Oh !, on a **oublié le jardinier**, le compost, etc. !

Système = **structure et processus (dynamique)**. Le système est **ouvert thermodynamiquement** mais **clos informationnellement** (les régulations sont des informations pour maintenir le système)

# Périmètre d'un système, limites

Quand peut-on parler **des limites** d'un système (périmètre et complexité) ?

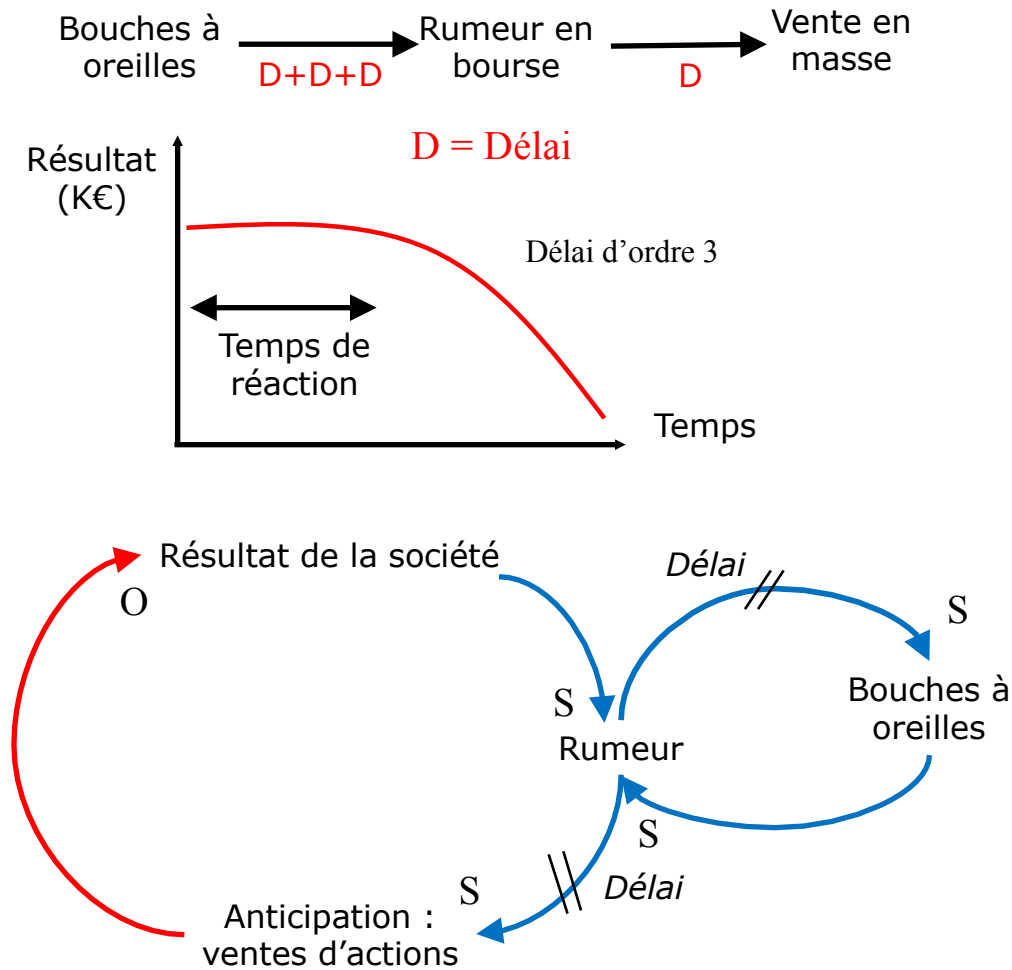
- Le couplage du système avec son environnement est **beaucoup plus faible que son couplage en interne** (prix du carburant pour un parc de loisirs comme Thoiry, situé à 50 km d'un lieu de transport (toutefois jusqu'à un certain seuil !). Par contre la démographie a un couplage plus fort (enfants prescripteurs !).
- Le couplage du système avec son environnement, n'est pas **fonctionnellement pertinent** (ex : les fonctions biologiques d'un insecte peuvent être étudiées isolément, mais pas les fonctions sociales d'une population locale comme une banlieue, un village à proximité d'une grande ville.
- Les flux d'entrée en provenance de l'environnement **n'affectent pas en retour celui-ci**. Ex : radiation solaire, chute de météores. Ce sont des paramètres exogènes.
- La sur-information n'apporte rien de plus et ne dicte pas la décision !



**Loi des 20/80 : 20% des variables et paramètres** du modèle permettent d'expliquer et de comprendre **80% des résultats**

Négliger les détails améliore la compréhension des systèmes. Plus c'est détaillé, plus c'est opaque !

# Prise en compte du temps : les délais



Les ventes d'actions sont déterminées par la rumeur, elle-même accumule le « bouche à oreille ». Au bout d'un certain temps, un effet de seuil se produit et la rumeur se répand alors rapidement.

Il y a un temps de latence ou de réaction entre les premières rumeurs et la vente en masse des actions? Puis le résultat chute

Ce type de délai est appelé un délai inertiel ou délai de 3<sup>ème</sup> ordre (réaction avec une forte inertie dans un 1<sup>er</sup> temps)

- Quelques exercices

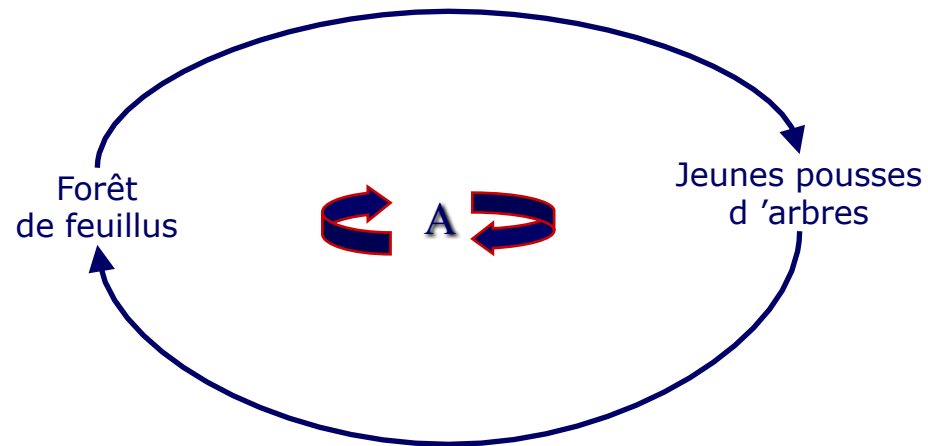
# Exercices diagrammes causaux

## Un système écologique simplifié

La **canopée** est la partie de la forêt correspondant à la cime des arbres les plus hauts d'un peuplement forestier



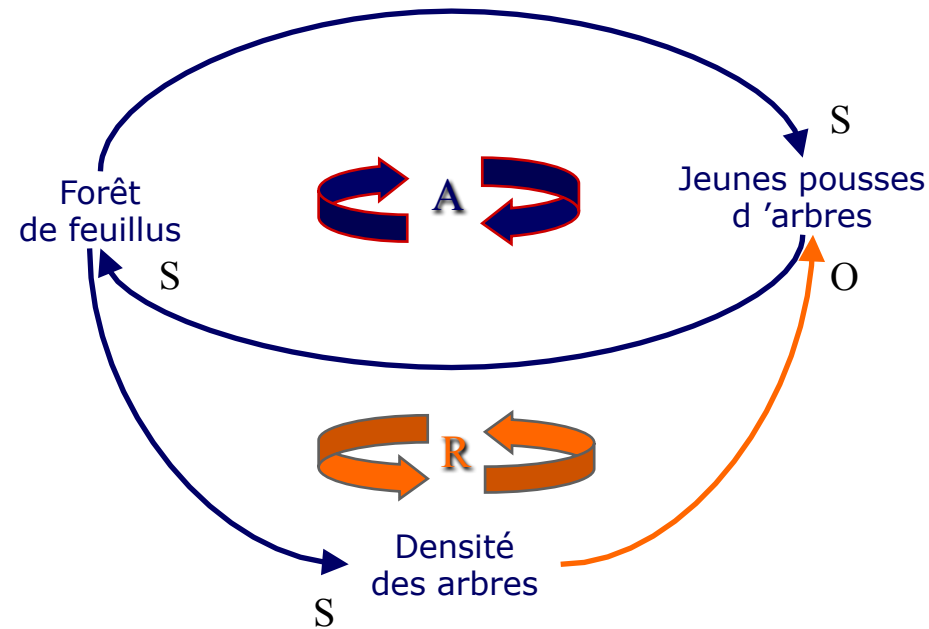
Soit le diagramme causal suivant :



Compléter celle-ci par une boucle négative qui exprime pourquoi d'un point de vue écologique le développement exponentiel de la forêt se trouve à un certain moment limité ? (il suffit de rajouter une variable supplémentaire)

RÉPONSE 1

La **canopée** est la partie de la forêt correspondant à la cime des arbres les plus hauts d'un peuplement forestier



a) La boucle est positive car:

Plus il y a de feuillus, plus il y a de graines qui tombent au sol qui se transforment en jeunes pousses d'arbres.

Plus il y a de jeunes pousses, plus la forêt s'intensifie.

b) Mais plus la forêt devient dense, moins il sera possible aux jeunes pousses de grandir du fait d'un manque de luminosité et d'un manque de place au sol. Ainsi ce phénomène d'autorégulation empêche une croissance exponentielle de la forêt.



# Exercices diagrammes causaux

## Un système économique simplifié

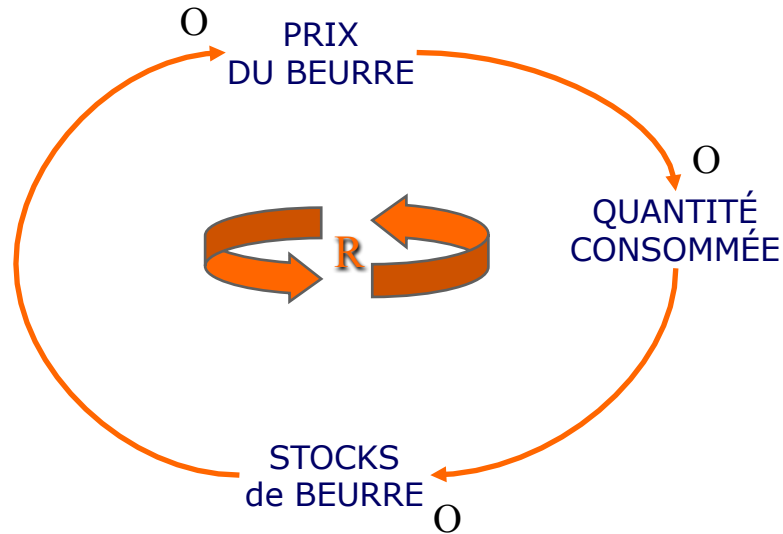
- ▶ A partir des éléments d'un système économique volontairement simplifié évoquant les fluctuations du prix du beurre dans l'ordre indifférent : prix du beurre, stock de beurre entreposé dans les entrepôts, la quantité de beurre consommée

- ▶ Tracer le diagramme causal
- ▶ Signer la boucle
- ▶ Expliquer le comportement du modèle



## RÉPONSE 2

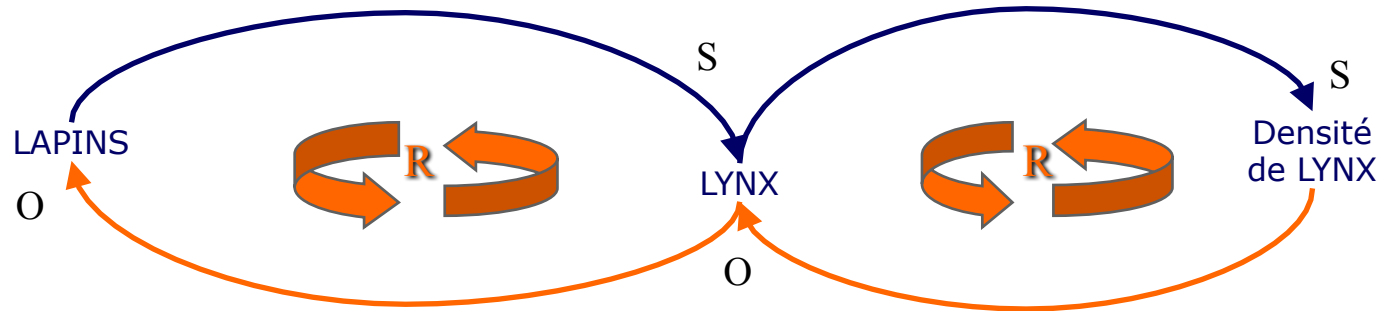
# Systeme économique simplifié



- Une boucle négative relie les 3 variables
  - il y a 3 relations de sens opposé (nbre impair)
- Les 3 variables peuvent se comporter de façon sinusoïdale en tenant compte des délais
  - Cela traduit l'instabilité du marché en cas de variation de prix

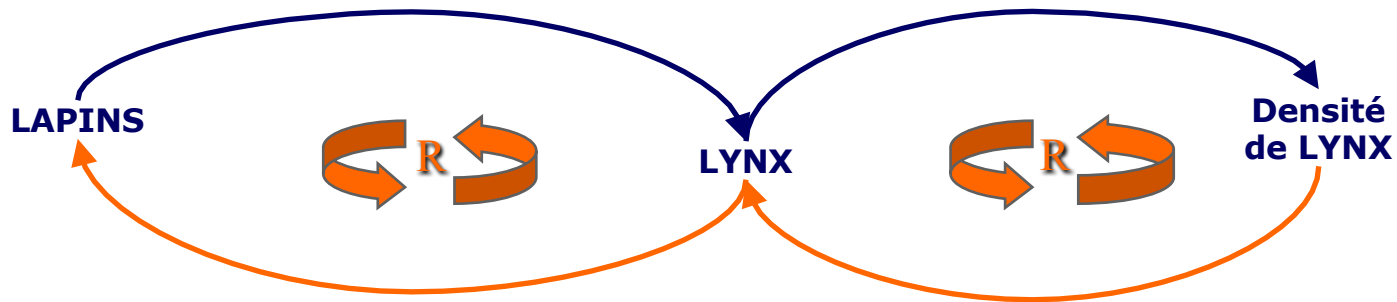
# Exercices diagrammes causaux

Un système écologique simplifié

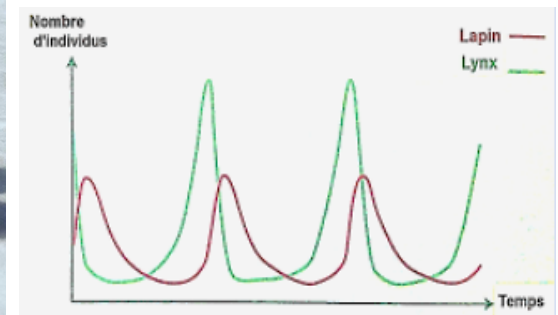
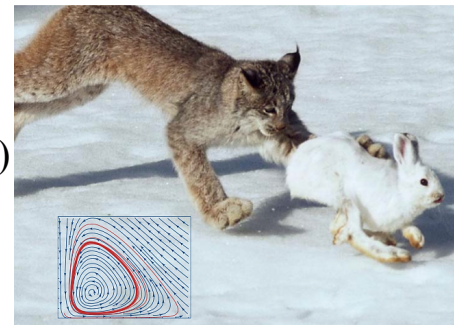


Plus de lapins (natalité) => plus de lynx  
Plus de lynx => moins de lapins (mortalité) et plus de lynx au Km<sup>2</sup>  
Plus de lynx au Km<sup>2</sup> => moins de lynx (natalité en chute)  
**Pouvez vous postuler le comportement graphique des 2 populations ?**





- Accroissement des lapins (natalité)
  - Accroissement des lynx qui se nourrissent de lapins
- Accroissement des lynx
  - Diminution des lapins (mangés)
  - Accroissement de la densité des lynx (nbr de lynx / km<sup>2</sup>)
- Accroissement de la densité des lynx
  - Diminution des lynx (natalité en chute)
- Diminution des lynx
  - Accroissement des lapins (moins chassés)
- etc.....



# Exercices diagrammes causaux

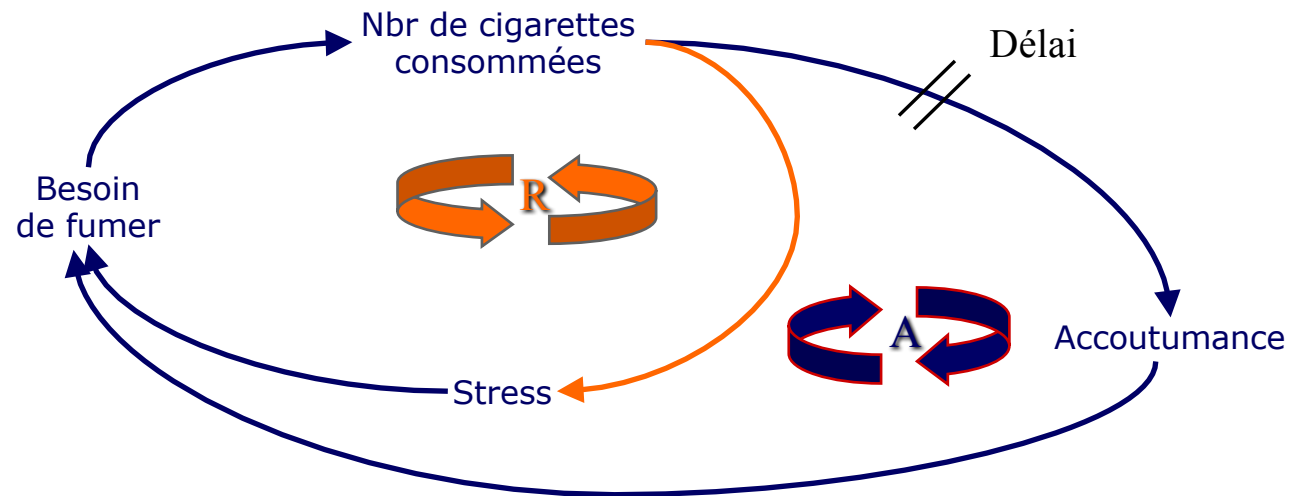
## Un système social simplifié

- Sur la base des variables ci-dessous (et seulement elles),

Tracer le diagramme causal qui explique la dynamique de la dépendance au tabac avec les variables ci-dessous :

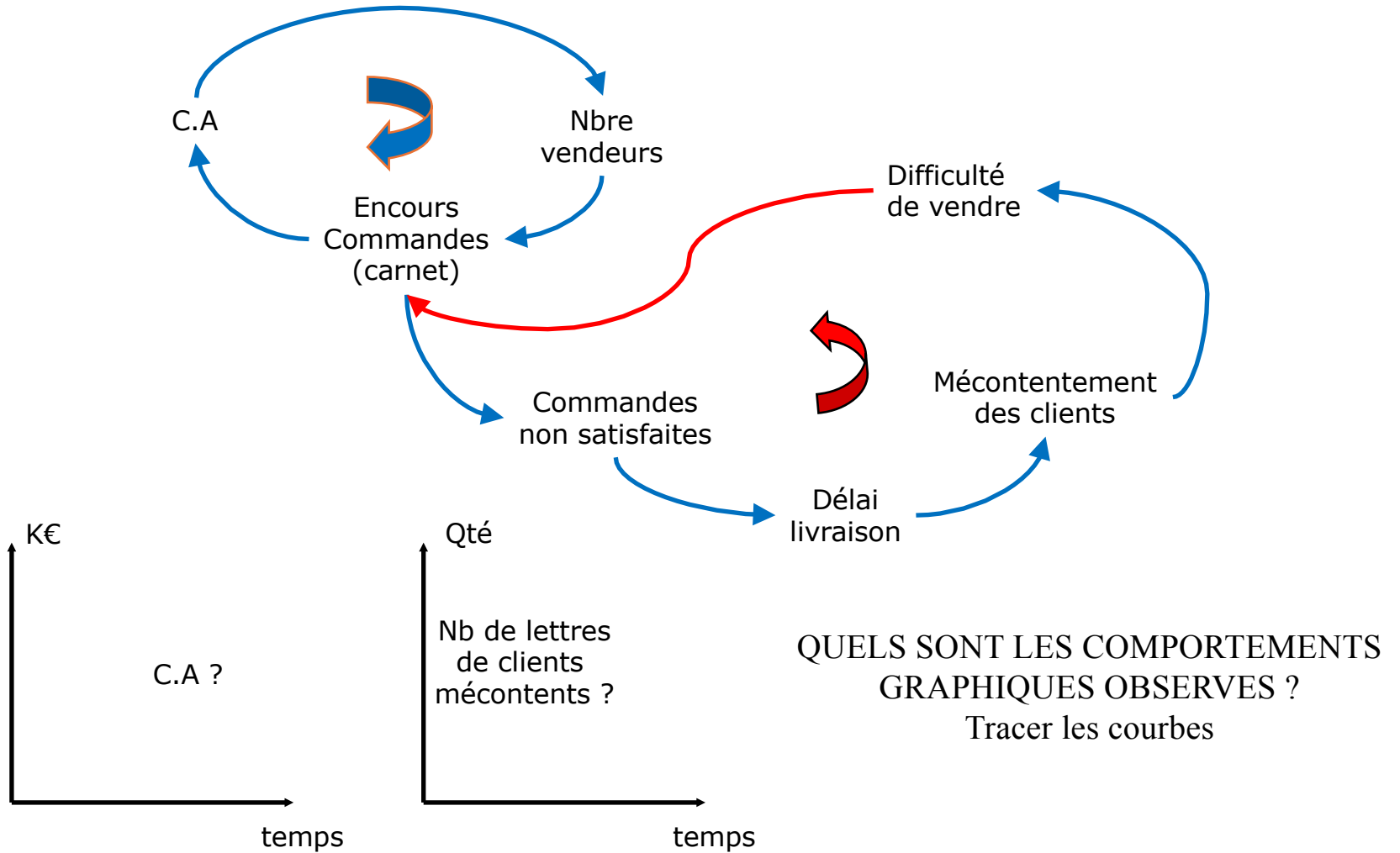
- Nbr de cigarettes consommées
- Stress
- Besoin en cigarettes
- Accoutumance



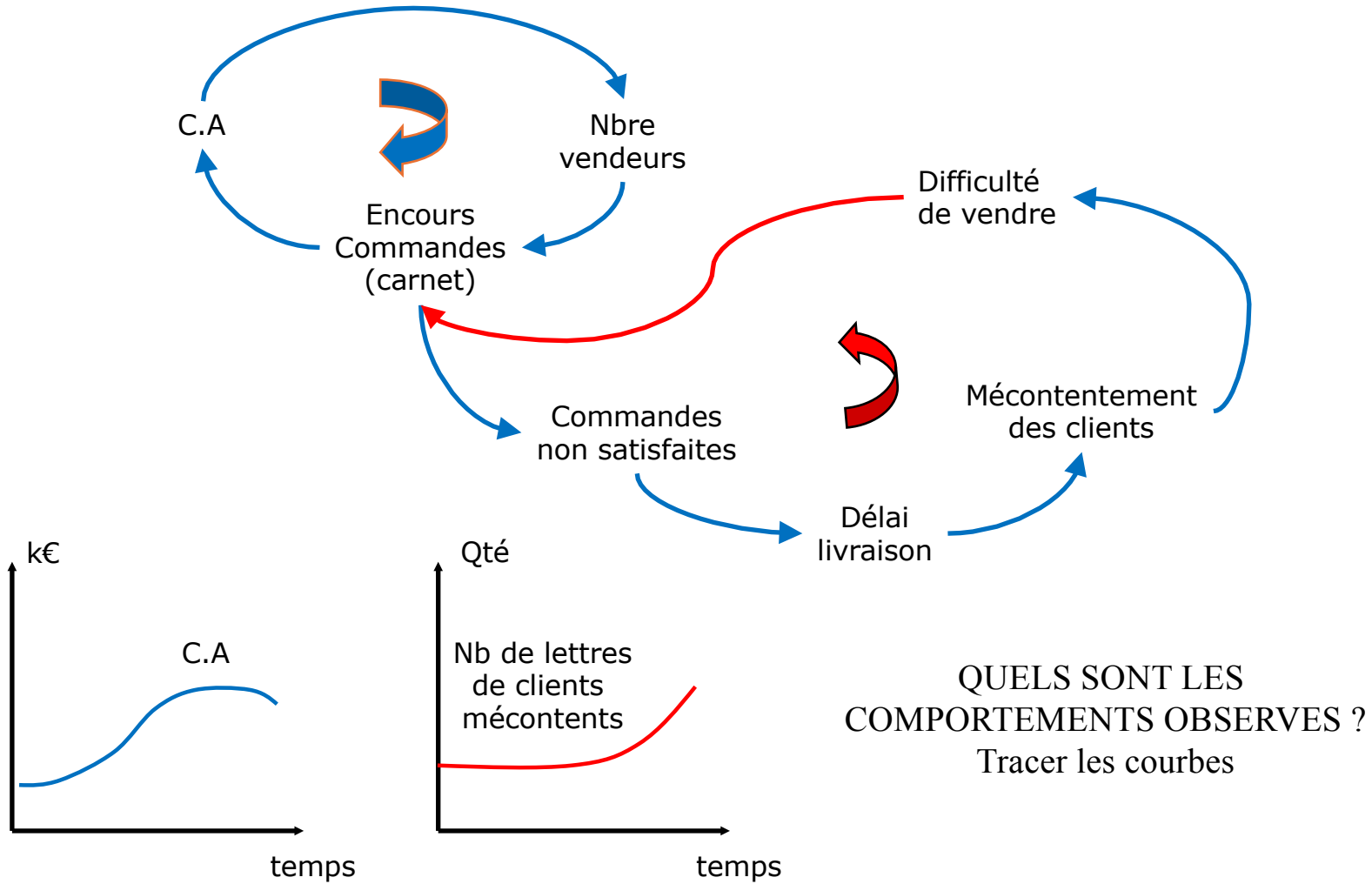


- Comportement à court terme = Boucle de régulation ( $<0$ )
  - L'augmentation du stress accroît le besoin de fumer,
  - le besoin de fumer accroît la consommation de tabac
  - Le stress diminue sous l'effet du tabac
  - Moins de stress donc moins de consommation de tabac
  - La baisse de consommation de tabac augmente le stress
- Comportement à long terme = Boucle d'amplification ( $>0$ ) dominante
  - la consommation de tabac accroît l'accoutumance avec effet retard
  - l'accoutumance accroît le besoin de fumer

# Exercices diagrammes causaux



# Exercices diagrammes causaux





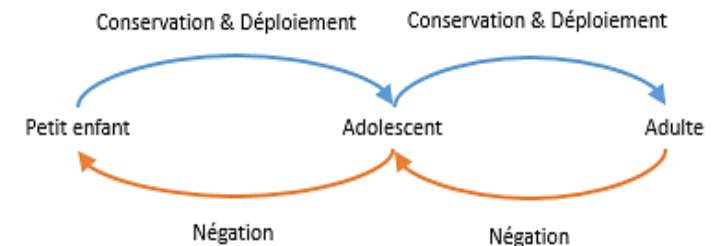
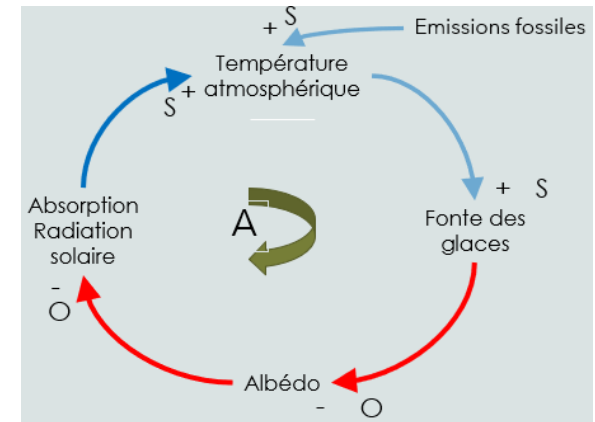
- Concepts

# Systeme complexe

La recherche de la cause isole souvent un élément, une partie d'un tout, **mais n'explique pas le comportement global d'un système.**

## Les 5 caractéristiques d'un système :

- Principe systémique : le monde ne peut pas être compris sans explorer **ses interconnections**, interactions qui expliquent mieux son fonctionnement.
- Principe synergétique : justement les interactions, les rétroactions entre plusieurs facteurs créent un « **output** » qui est **plus grand ou moins grand** que l'addition des outputs de ces facteurs pris séparément (deux équipes qui travaillent ensemble dans le cadre d'un projet peuvent produire plus de valeur que la somme de leurs effets individuels ( $1 + 1 = 3$  !)).
- Principe dialectique et dynamique : Dans l'évolution : les moments dialectiques se succèdent (processus d'amplification et processus d'inertie). Le mouvement, le devenir sont **inscrits** dans les choses elles-mêmes (Exemple d'un système vivant : naissance, maturité, mort).
- Le principe d'homéostasie (régulation) : tout système tend à réduire les variations qu'il connaît et à les maintenir entre des limites acceptables.
- Principe de causalité différée : les effets ne suivent pas **instantanément** les causes (retard, délai 3<sup>e</sup> ordre).



# La causalité

Ce qui provoque un **effet** sur un objet est un autre objet antérieur et contigu qui placé dans une relation d'**ordre** et de **contiguïté** est en **conjonction** avec le second. Cette dernière est produite par le raisonnement, par l'habitude mais peut être aussi par la répétition ou la **régularité** d'événements observées antérieurement (voir David Hume). A → B. Le feu passe au vert, je démarre instinctivement



Pour démontrer qu'un élément d'un système est bien en **dépendance** avec un autre, il suffit de se demander si le premier n'avait pas **existé**, alors est-ce que le second aurait aussi existé ? C'est l'analyse **contrefactuelle** de David Lewis.

Un exemple : Je me trouve devant le portillon du RER et après avoir inspecté mes poches, je me souviens que j'ai laissé mon « pass Navigo » chez moi. Je fais demi-tour et je retourne à mon domicile où je suppose que mon « pass » s'y trouve.

Si je ne m'étais pas souvenu que mon « pass Navigo » était resté sur le meuble d'entrée, alors je n'aurais pas fait demi-tour. Ainsi « la différence que fait cette cause dans son effet doit être aussi une différence de ce qui serait arrivé sans elle » (analyse contrefactuelle de David Lewis).

**La structure** d'un système peut être elle-même prise pour une **cause**. Elle exerce une **action** sur ses propres éléments ou composants.

Mettre en évidence une explication structurale des comportements du système transcende les causes liant chaque variable à une autre et permet d'éviter le processus récursif (il y a des causes qui causent à leur tour des causes, etc.). Voir à ce sujet Lévi-Strauss sur l'analyse structurale des systèmes de parenté.

# Le diagramme causal et la linguistique cognitive

Wittgenstein « *La langue déguise la pensée...* »

Le **langage verbal** et l'écrit ne possèdent pas les mêmes propriétés cognitives qu'un schéma systémique, un diagramme causal. Les mots prononcés, écrits rythment la pensée apportent des discontinuités et une linéarité dans l'expression de celle-ci.

La structure de la langue française nous amène à établir des **liens binaires**, élémentaires, entre un seul effet et une seule cause.

Exemple : M. xxxxxxx n'est pas *motivé*, ses *résultats* professionnels ne sont pas à la *hauteur* ! (mais mis en relation avec les compétences requises, la définition des missions, la fonction (dépendance hiérarchique), le travail en équipe, etc.) le constat peut être différent. Derrière les mots élémentaires des intérêts, des sous-entendus !

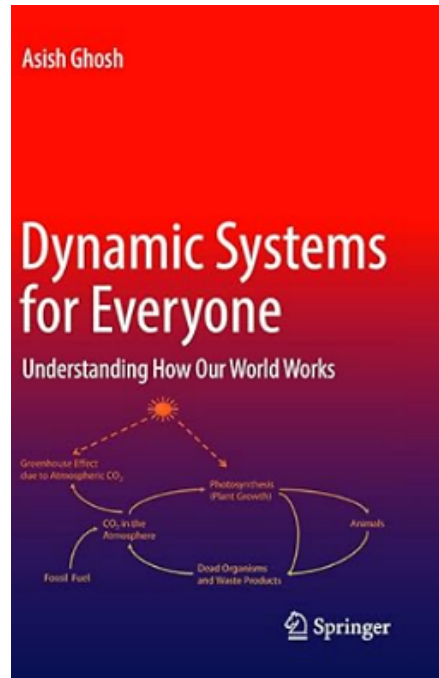
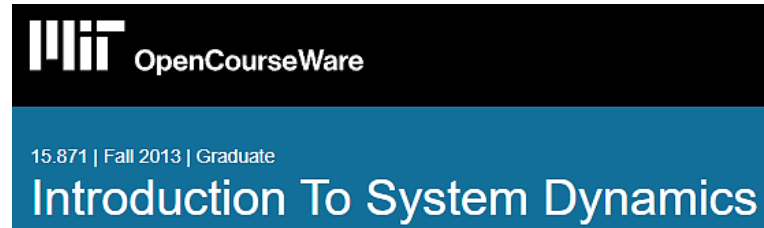
Le langage n'est que la traduction souvent imparfaite d'idées et de représentations mentales sous-jacentes qui le précèdent. Il repose sur des schémas cognitifs qui précèdent les mots. Einstein pensait à l'aide d'images mentales ( **Il imagine rattraper et chevaucher un rayon de lumière**). Les mathématiciens de la géométrie (topologie) pensent aussi à l'aide de représentations visuelles.

Un schéma et plus particulièrement un **diagramme causal** est le symbole de l'expérience, des représentations, des perceptions mentales alors que les mots écrits sont les symboles des mots parlés. L'œil est capable d'englober toutes les relations dans un seul coup d'œil.



# Biblio

Cliquez →



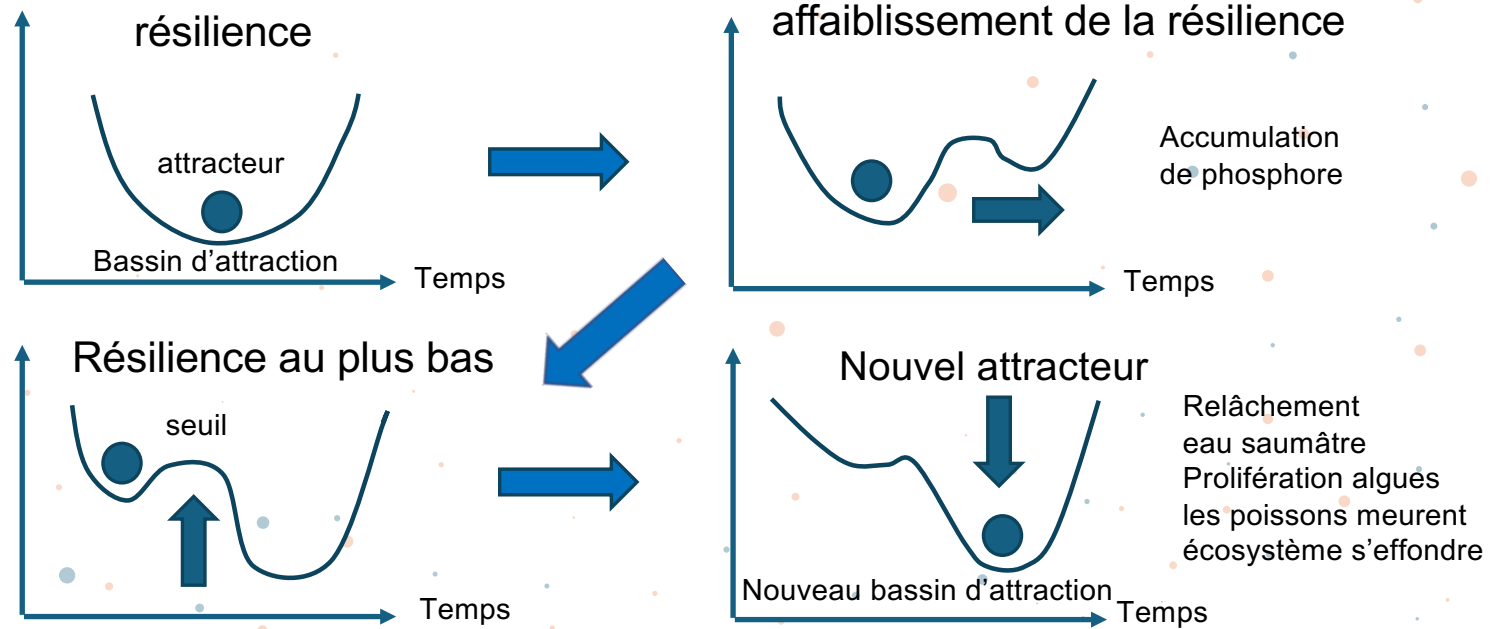
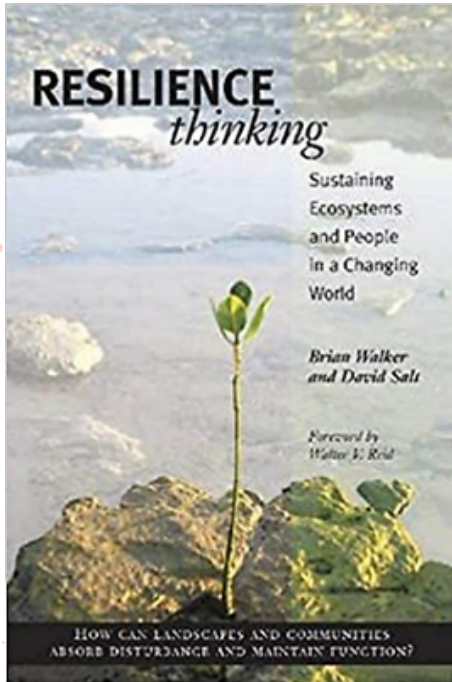
- Annexe

# Le point de bascule ou « tipping point » d'un système

**Changement soudain imprévisible**, irréversible. Ex : point de basculement de la forêt amazonienne : taux de destruction 20 à 25%); fonte des glaces (Groenland); acidité des océans; le pergélisol; la circulation thermohaline (circulation océanique profonde : transfert de chaleur entre les pôles et l'équateur) qui réchauffe le Gulf Stream.

Ex : **DECISION** : des engrais pour accroître le rendement

**CONSEQUENCES** : le lac reçoit des produits phosphorés des rivières : Algues ↗ et O<sub>2</sub> ↘

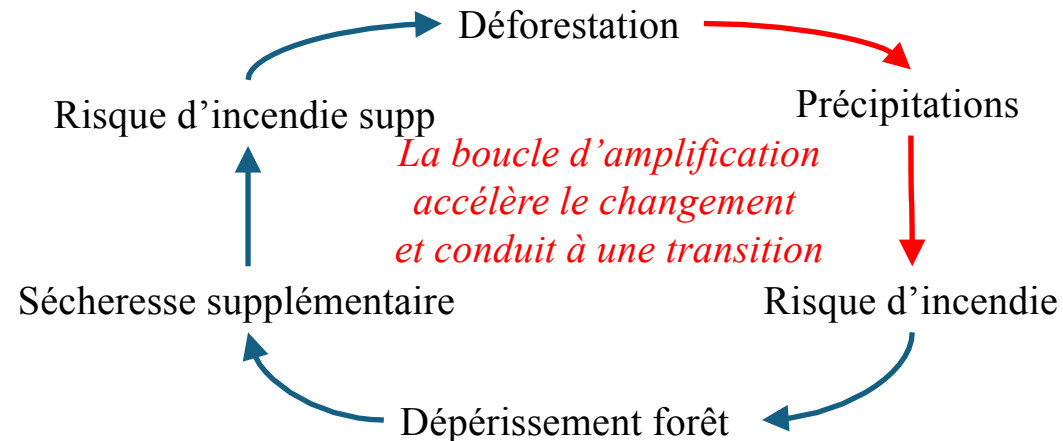
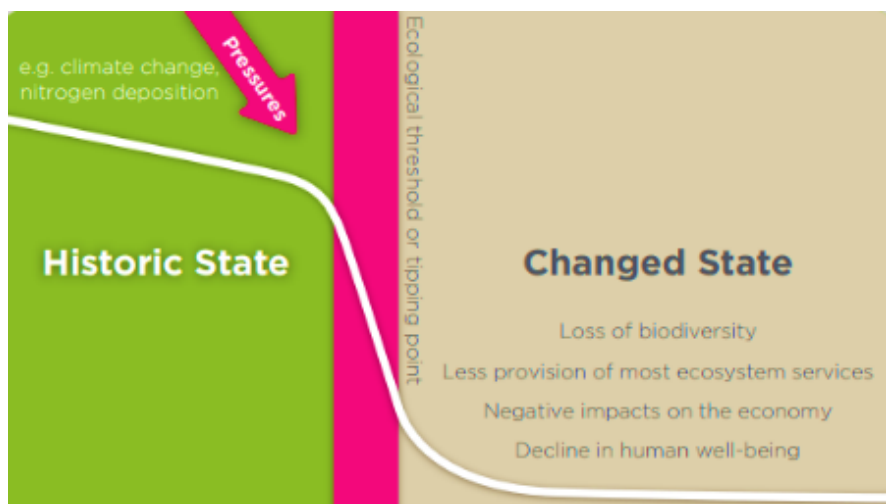


# Le point de bascule ou « tipping point » d'un système

Dans son livre L'équation du nénuphar, Albert **Jacquard** raconte l'histoire du nénuphar que l'on plante dans un lac, qui a la propriété héréditaire de produire chaque jour un autre nénuphar. Au bout de 30 jours, la totalité du lac est recouverte par les descendants de ce nénuphar et **l'espèce meurt étouffée**, privée d'espace.

Au-delà de la fameuse question « au bout de combien de jours les nénuphars couvriront-ils la moitié du lac », nous pouvons très facilement faire le parallèle avec les citoyens et le climat : à partir de quel % de la population allons-nous atteindre le point de bascule sur le plan alimentaire ?

Un « **tipping point** », qu'on peut traduire par **point de bascule**, se définit comme un point dans un système biologique, physique, social, économique où un petit changement quantitatif/qualitatif peut déclencher des **changements rapides** et **non linéaires**. Le concept de point de bascule est appliqué à un vaste éventail de processus de changement, allant de la dynamique des calottes glaciaires aux transformations sociétales.

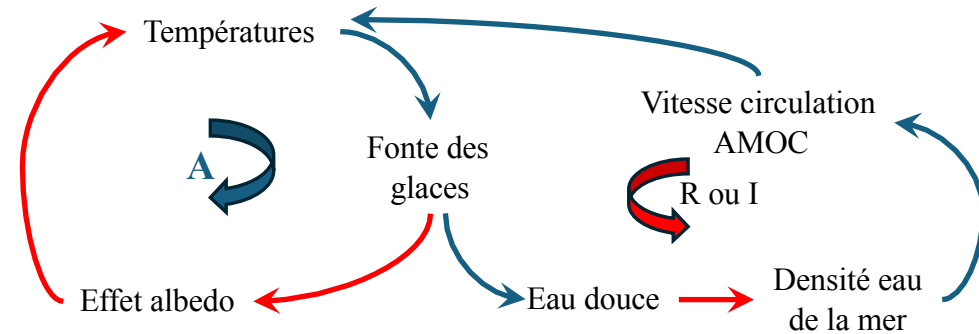


Le bassin du Congo pourrait connaître une baisse de 10 % de ses pluies d'ici à la fin du siècle, si le rythme de déforestation continue.

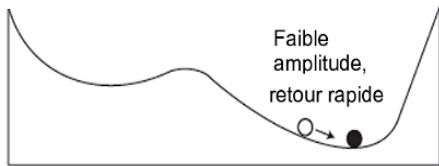


# Le point de bascule ou « tipping point » d'un système

**Point de basculement ou « tipping point »** : Seuil critique au-delà duquel une (petite) perturbation peut modifier qualitativement l'état d'un système  
 Les instabilités viennent de l'exemple de non-linéarité et de rétroactions positive

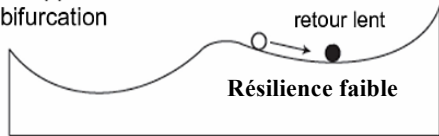


Loin d'une bifurcation



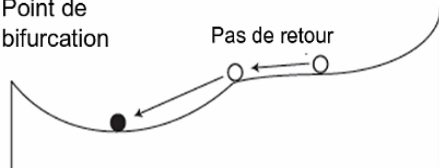
Faible amplitude, retour rapide

A l'approche de la bifurcation



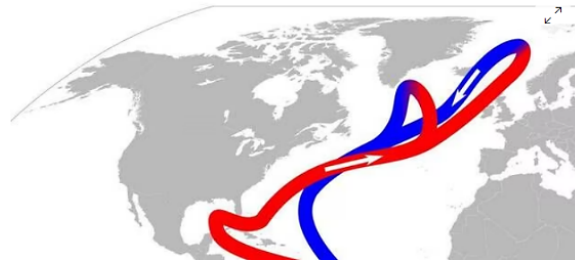
Large amplitude, retour lent  
 Résilience faible

Point de bifurcation



Pas de retour

Par exemple la circulation méridienne de retournement atlantique pourrait avoir lieu selon la prédiction de deux scientifiques de l'université de Copenhague auteurs d'une étude dans Nature Communications, mais celle-ci n'est pas partagée par la communauté scientifique. Ainsi l'effondrement de la circulation méridienne de retournement atlantique (**AMOC**) pourrait se produire entre 2025 et 2095 (**point de basculement**). Le GIEC, groupe d'experts international sur le climat, l'a toutefois envisagé dans ses rapports. Les hivers deviendraient plus froids sur une partie de la planète, soumettant les populations à des conditions météorologiques ardues.

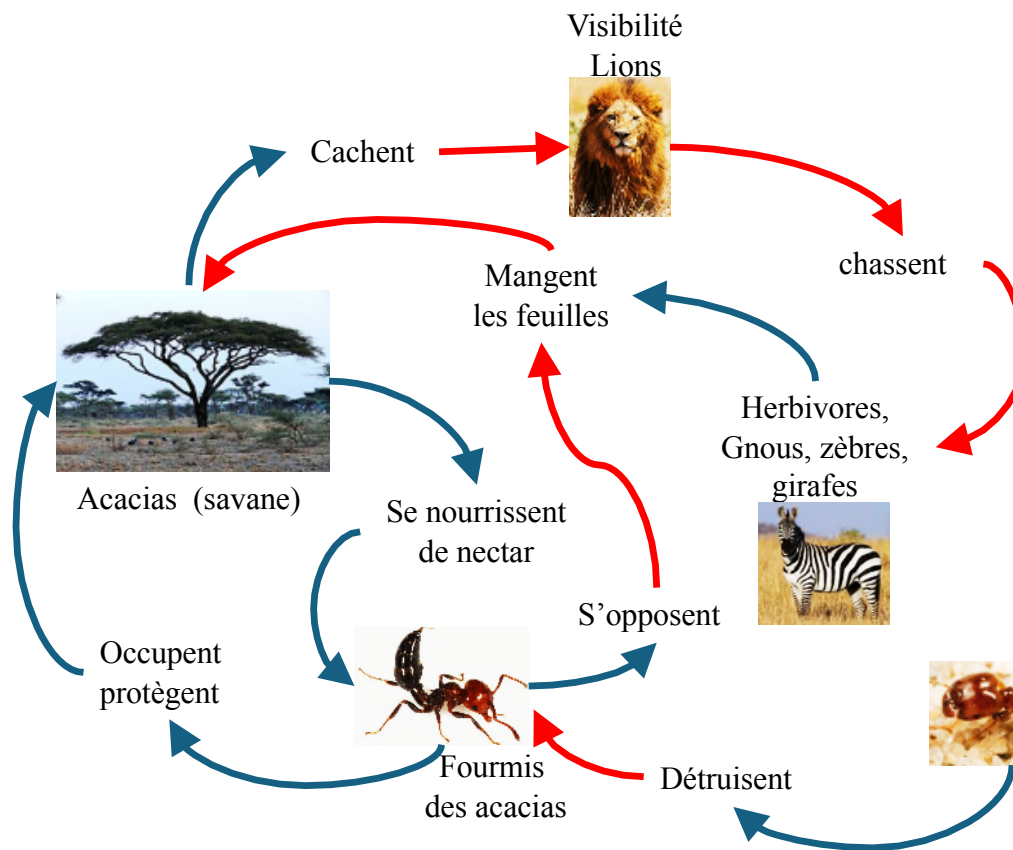


C'est comme un système central de chauffage : il existe un transport d'eau chaude vers le nord, une perte de chaleur vers l'atmosphère aux hautes latitudes, et un retour d'eau froide vers le sud. Il réchauffe le climat en Europe du Nord. S'il s'inversait il pourrait y avoir un **refroidissement** mais les avis **divergent** dans la communauté scientifique !

**EN PREAMBULE**  
Un bel ex de mutualisme



**Comment les fourmis ont mis les lions au régime !**  
Source « Pour la science », mars 2024  
Douglas Kamaru



**Une chaîne trophique**  
**Micro ↔ Macro**

*Chaîne trophique : ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent*  
*Dans les zones envahies par les fourmis à grosse tête, de fait, le nombre de zèbres tués a été divisé par 2,87*  
*Population des lions en plusieurs années de 100.000 à 2.000 individus*