

# Neuropsychiatrie des systèmes complexes adaptatifs 2.0

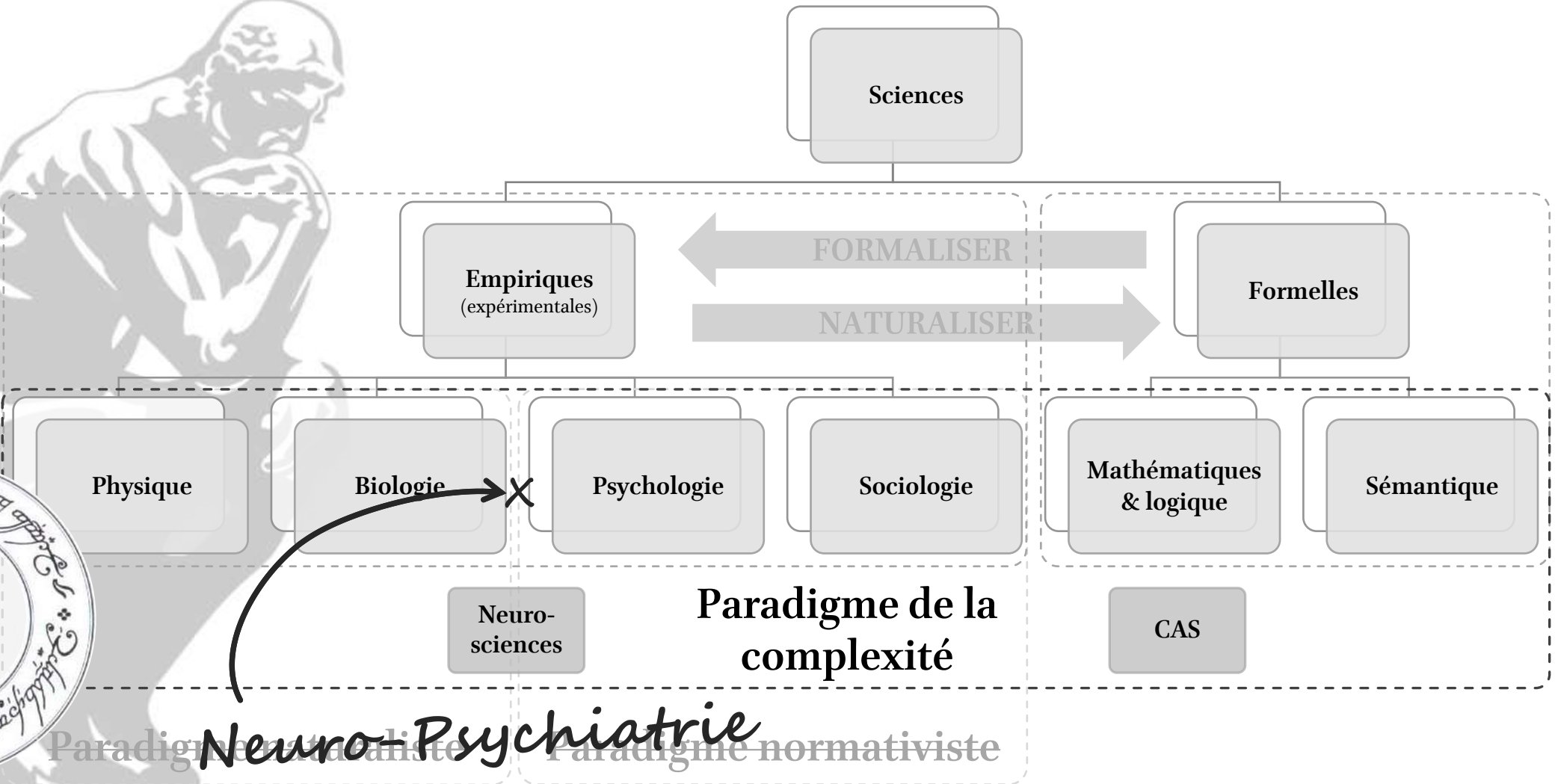
## Prologue

Première présentation d'une série visant à introduire le projet de 'neuropsychiatrie des systèmes (complexes adaptatifs) 2.0' ou  $C_xSNP2.0$  (*complex adaptive systems neuropsychiatry*).

La  $C_xSNP2.0$  consiste à reformuler la neuropsychiatrie d'origine (1.0) en utilisant le formalisme et la méthodologie développés dans ce qui commence à ressembler à ce que Warren Weaver avait anticipé sous l'appellation du 'paradigme de la complexité organisée'. Ce dernier permet non seulement d'aborder la question de l'émergence des symptômes, mais aussi de proposer un cadre unifié aux concepts naturalistes et normativistes dans lequel ils ne sont plus opposés, mais complémentaires.

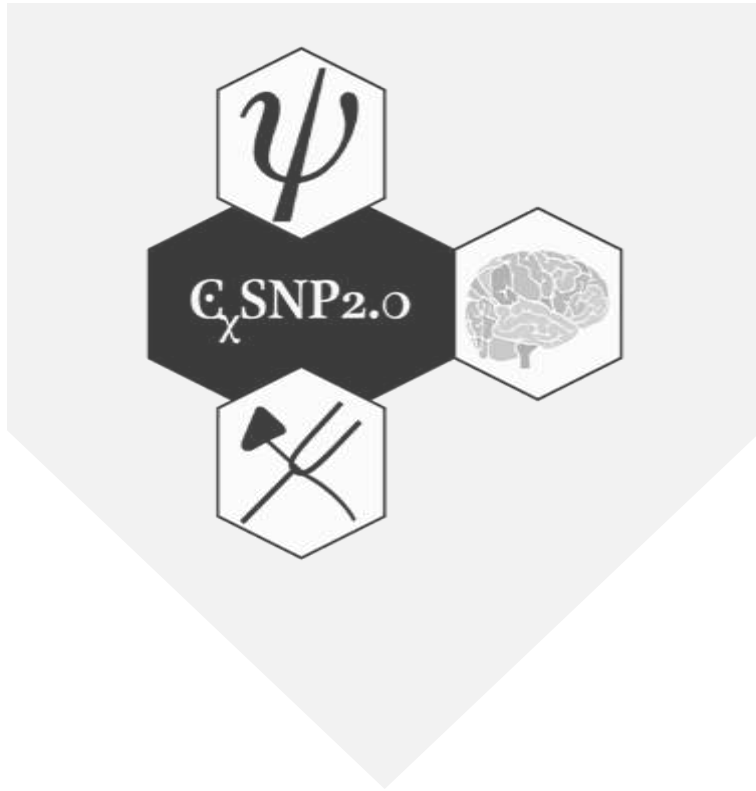


# Un anneau pour les réunir tous ?





# Idée générale – plan pour aujourd'hui



**1.0 → 2.0**

**Reformuler la neuropsychiatrie  
en utilisant le formalisme des  
sciences de la complexité**

- › Questions et credo (métathéories)
- › Du paradigme de la simplicité à celui de complexité organisée
- › Au cœur du système : le processus génératif
- › Déterminisme et prédictibilité – le chaos
- › Rendre l'existence possible : stationnarité et attracteur
- › La probabilité de l'existent : étrangeté, robustesse et adaptation
- › Modélisation et testabilité

# Crédo

Réalisme critique



# Hypothèse réaliste

*Credo*

Les maladies existent  
Elle sont une entité morbide  
naturelle au même titre que le  
chien est une espèce vivante  
naturelle



Roy Bhaskar (1944 – 2014)

## $\mathcal{H}_0$

**Il existe une réalité (extérieure à moi )**

Du latin *existere* :

- Composé de '*ex*' + '*sistere*' : « être debout / stable »
- « **En dehors** » (de mon esprit)
- « Se manifester / se montrer / sortir de »





# Si le réel existe quelle est sa nature ?

$\mathcal{H}_0$

Il existe une réalité (extérieure à moi)

Quelle est la nature et comment représenter ou modéliser les différentes maladies neuropsychiatrique



C'est quoi la nature de la catégorie 'chiens' ?

Si ce chien existe, quelle est sa nature ? Physique ?

Est-ce que c'est aussi un chien ?





# Si le réel existe quelle est sa nature ?

Même maladie  
=  
même dysfonction  
systémique ?



Roy Bhaskar (1944 – 2014)

$\mathcal{H}_0$

Il existe une réalité (extérieure à moi)

$\mathcal{H}_1$

Ce que nous percevons comme des  
catégories d'objets sont des systèmes  
similaires



Systèmes non identiques  
mais similaires



# Doute épistémique – catégories : fiction ou réalité ?

Si la représentation que j'ai des chiens n'est pas identique à la réalité, comment être sûr qu'elle lui correspond (image) ?

Maladie : fiction ou réalité ?  
Représentation adaptée ?



Le consensus intersubjectif permet-il d'assurer que la catégorie 'chien' est adéquate ?  
(objectivité positiviste)

$\mathcal{H}_0$

Il existe une réalité (extérieure à moi)

$\mathcal{H}_1$

Ce que nous percevons comme des catégories d'objets sont des systèmes similaires

$\mathcal{H}_2$

La réalité du monde nous est inaccessible nous ne pouvons qu'en avoir une représentation déformée (modèle)

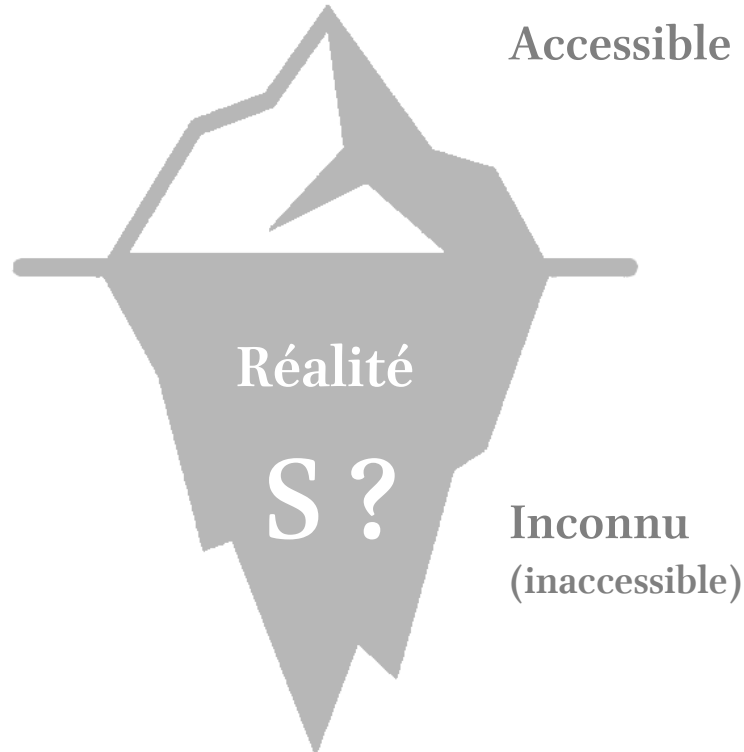




# Faillibilisme et optimisation (réalisme critique)

Phénomène observable  $\Phi$   
Concept / représentation  $\mathcal{R}(S|\Phi)$

Quand, comment  
l'optimiser, l'adapter,  
ou le changer ?



$\mathcal{H}_0$

Il existe une réalité (extérieure à moi)

$\mathcal{H}_1$

Ce que nous percevons comme des  
catégories d'objets sont des systèmes  
similaires

$\mathcal{H}_2$

La réalité du monde nous est inaccessible  
nous ne pouvons qu'en avoir une  
représentation déformée (modèle)

Mais il est possible  
de s'en rapprocher  
(optimisation)



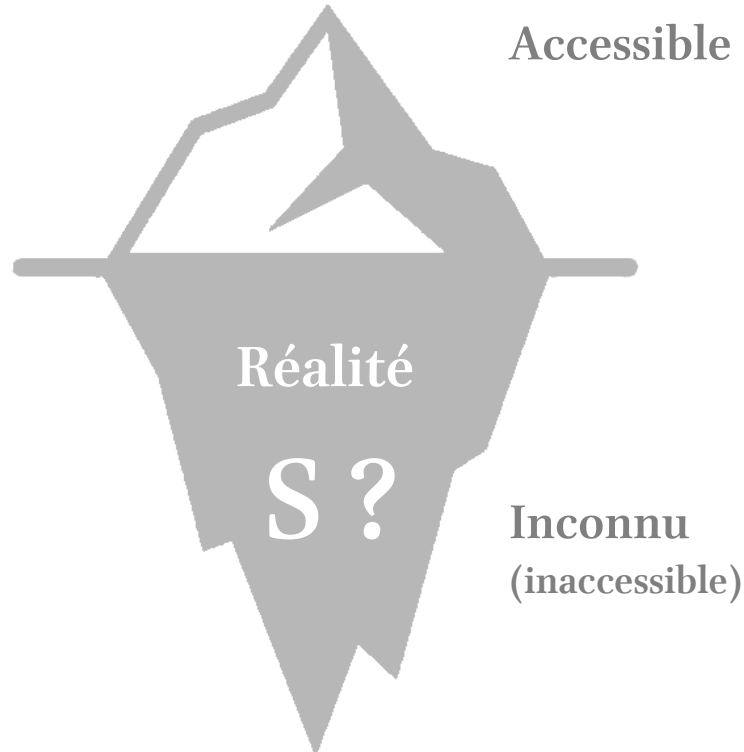
$$\mathcal{R}(S|\Phi) \neq S$$



# Comment représenter S et tester son modèle ?

Phénomène observable  $\Phi$   
 Concept / représentation  $\mathcal{R}(S|\Phi)$

Quand, comment  
 l'optimiser, l'adapter,  
 ou le changer ?



$\mathcal{H}_0$

Il existe une réalité (extérieure à moi)

$\mathcal{H}_1$

Ce que nous percevons comme des  
catégories d'objets sont des systèmes  
similaires

$\mathcal{H}_2$

La réalité du monde nous est inaccessible  
nous ne pouvons qu'en avoir une  
représentation déformée (modèle)

Formalisme et  
méthodologie

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathcal{R}(S|\Phi) \doteq S$$

# SCIENCE AND COMPLEXITY

By WARREN WEAVER

Rockefeller Foundation, New York City

## Changer de paradigme

De la simplicité  
à complexité organisée

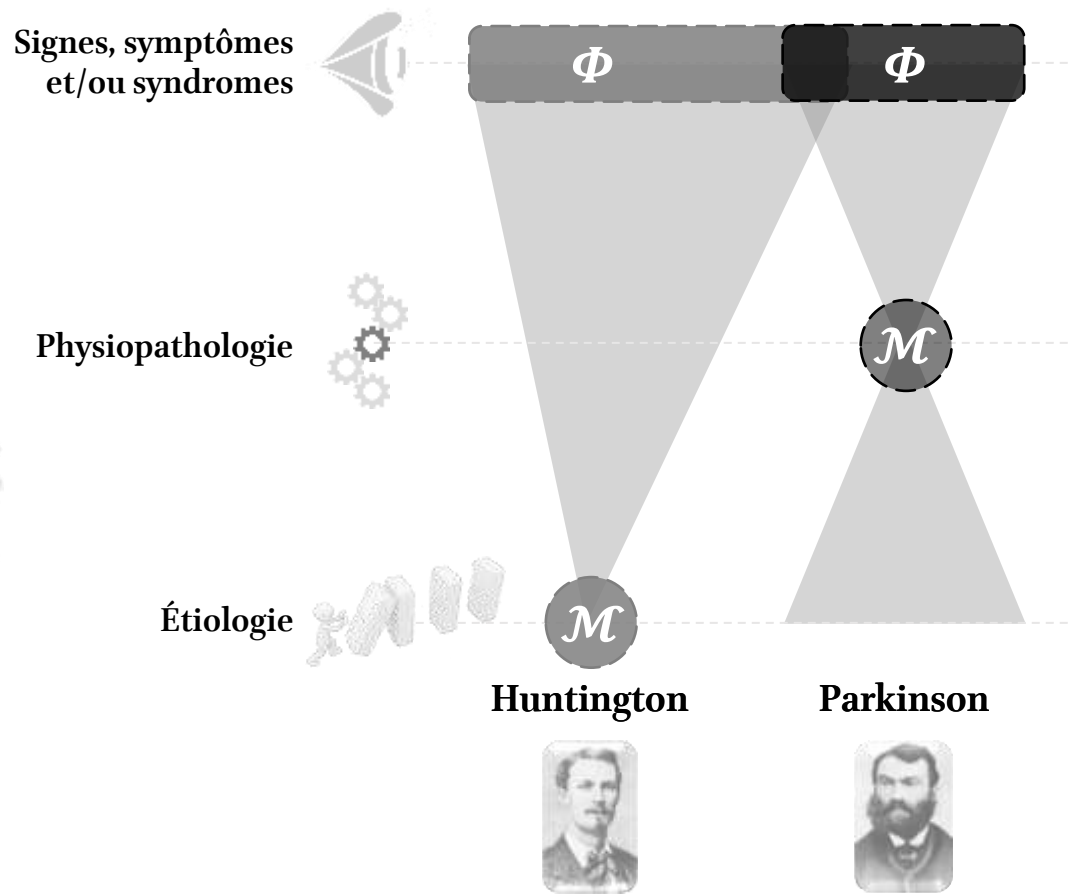
Do complex protein molecules “know how” to reduplicate their pattern, and is this an essential clue to the problem of reproduction of living creatures? All these are certainly complex problems, but they are not problems of disorganized complexity, to which statistical methods hold the key. They are all problems which involve dealing simultaneously with a *sizable number of factors which are interrelated into an organic whole*. They are all, in the language here proposed, problems of *organized complexity*.





# Paradigme de la simplicité

Maladies simples



Paradigme biomédical  $\subset$  paradigme de la simplicité  
→ Maladie (simple) subsumée à son modèle causal

→ Modèles explicatifs réductionnistes

« Toutes choses étant égales par ailleurs »

« Ceteris paribus sic stantibus »

① Corrélation entre 1 cause et 1 observable (Biomarqueur)

$$\mathcal{M} \propto \Phi$$

Modèle causal

Phénomène observable

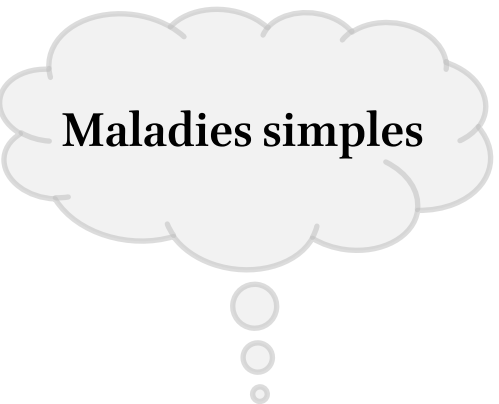
② Intervention sur la cause modifie l'observable (Traitement)

$$\mathcal{M} \rightarrow \Phi$$

Causalité efficiente (effets ascendants)



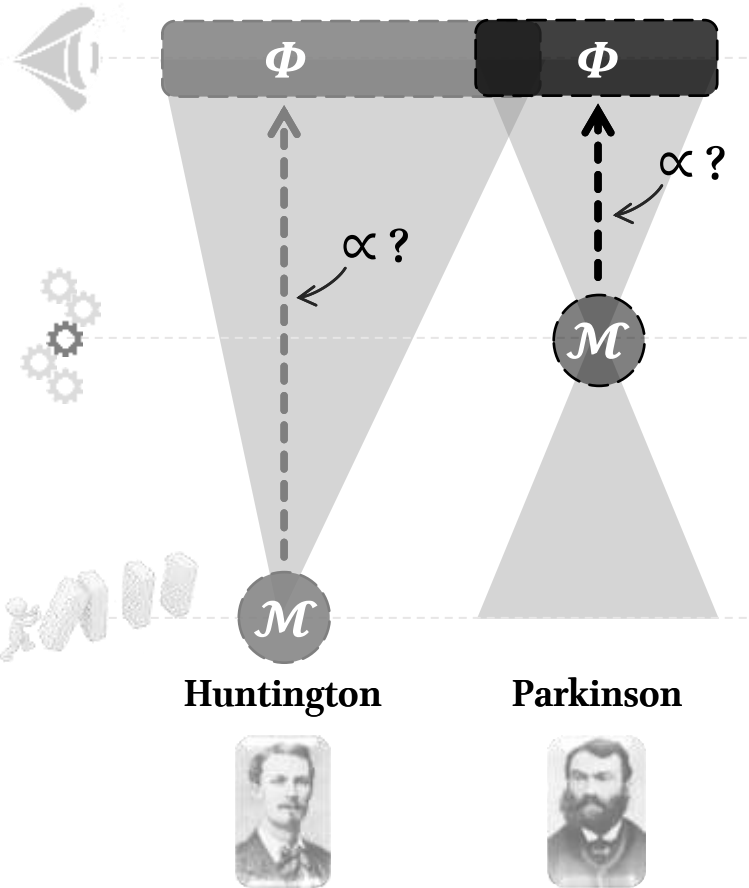
# Au-delà du paradigme de la simplicité ?



Signes, symptômes  
et/ou syndromes

Physiopathologie

Étiologie



Huntington

Parkinson

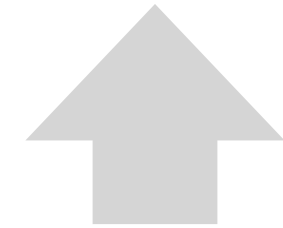


Paradigme biomédical  $\subset$  paradigme de la simplicité  
→ Maladie (simple) subsumée à son modèle causal

→ Modèles explicatifs réductionnistes

*« Toutes choses étant égales par ailleurs »*

$\mathcal{M}$  ----->  $\Phi$



Modèles explicatifs  
holistiques

*« Le tout est plus que la  
sommés des parties »*

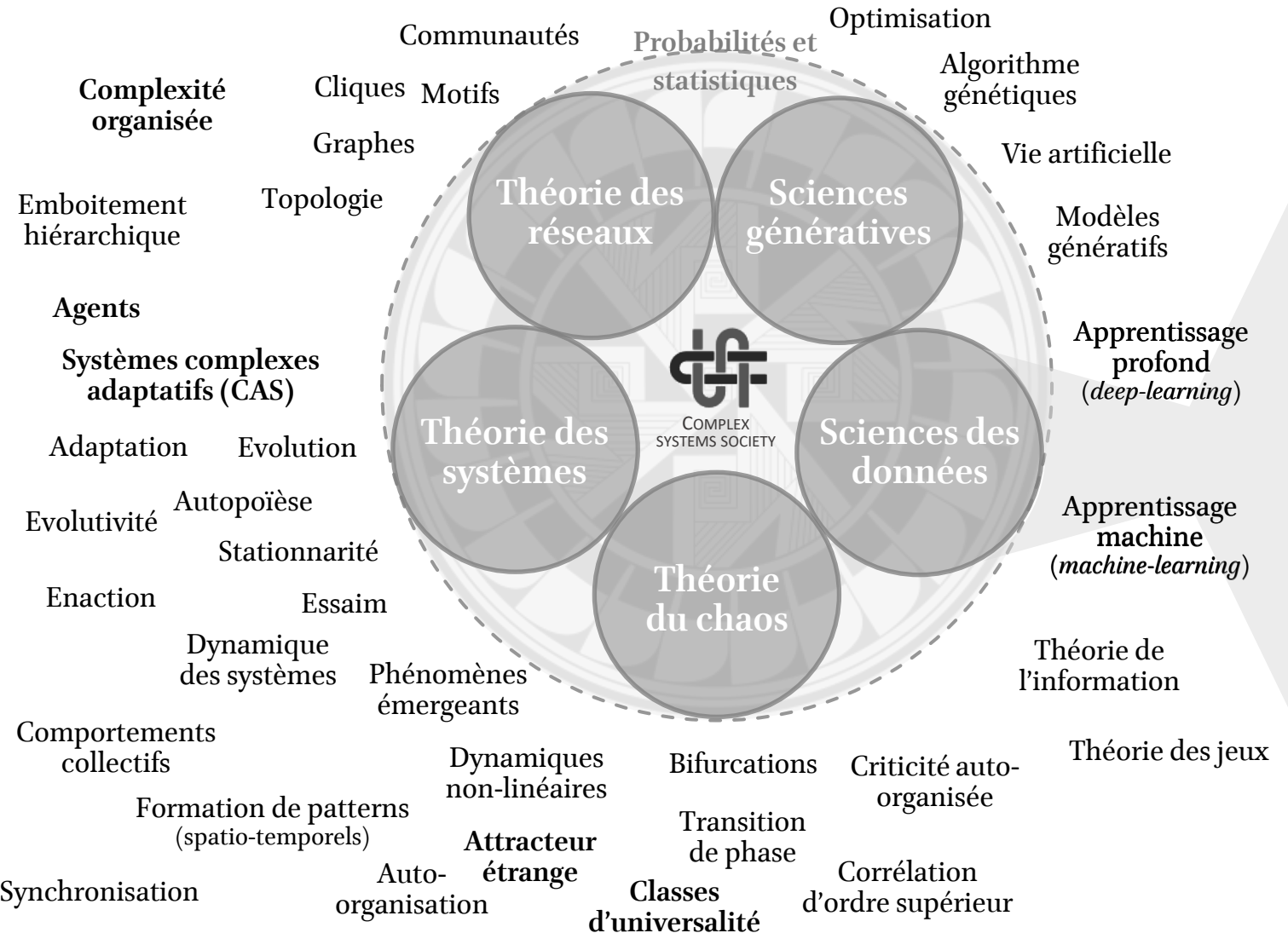
Paradigme de  
la complexité  
(organisée)



# Paradigme de la complexité organisée

*Domaine formel*

*Domaine empirique*



## Sciences de la découverte

**Omics** (biologie)

**Big data** (sociologie)



Génomique  
Méta-génomique  
Epigénomique



Environnement



Transcriptomique



Comportements (interpersonnel, sociaux...)



Protéomique



Bases de données



Métabolomique



Connectomique  
Brain-omics



Phénomique

Capturer tout un niveau de complexité

Distribution de toute la population (pas d'échantillonnage)



# Paradigme de la complexité organisée

Conférence de Daniel Grucker sur la physique quantique (en 2022)

Transitions de phase continue : paramètres de S suit une loi de puissance fonction des conditions externes

$$\tau = T - T_c \quad \text{Température réduite (} -t^\circ \text{ de Curie)}$$

Capacité calorifique	$C \propto  \tau ^{-\alpha}$	Exposants critiques (6 au total)
Magnétisation (aimantation)	$M \propto  \tau ^\beta$	
Susceptibilité mag.	$\chi \propto  \tau ^{-\gamma}$	

- 6 exposants critiques liés par relations d'échelle
- Communs à nbr atomes / molécules ≠ → même classe d'universalité (H2O et CO2 p.ex)
- Seules 10 classes d'universalité connues

Domaines en configuration M↑ ou M↓ en baissant progressivement la t°

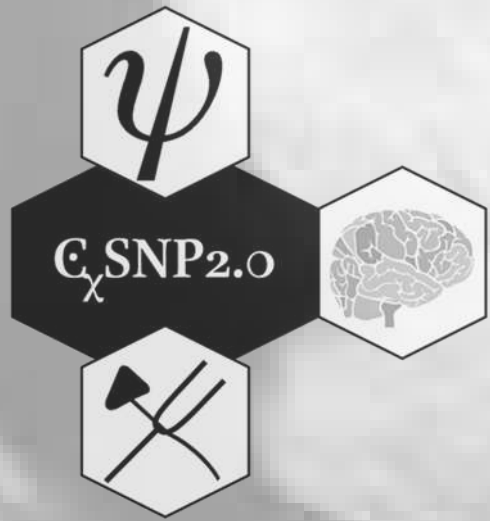


## Importance de la structure

Propriétés émergentes largement indépendantes des propriétés élémentaires dès lors qu'elles convergent vers la même organisation



Classes d'universalité



# Comment modéliser un système ?

Modélisation du holisme

*Le réductionnisme implique une attention à un niveau inférieur, tandis que l'holistique implique une attention à un niveau supérieur. Les deux sont imbriqués dans toute description satisfaisante : et chacun implique une certaine perte par rapport à nos préférences cognitives, ainsi que certains gains... il n'y a pas de système complet sans interconnexion de ses parties et il n'y a pas de système complet sans environnement.*





# C'est quoi un système ?



Un système est un ensemble d'éléments interagissant entre eux selon certains principes ou règles.

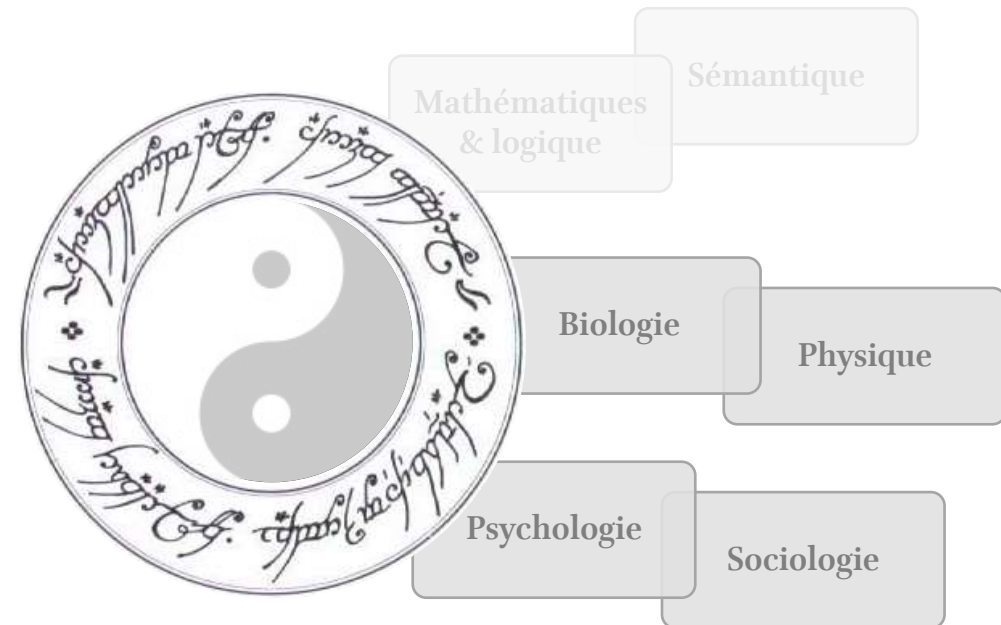
W

## Tous les systèmes sont-ils physiques ?

- Non**
- Nature conceptuelle : système logique, système formel
  - Nature concrète : écosystème, système climatique, système nerveux
  - Nature relationnelle, sociale et culturelle



Étienne Bonnot de Condillac  
(1714 – 1780)





# Comment percevons-nous les systèmes ?

Exemple du vol  
en essaim

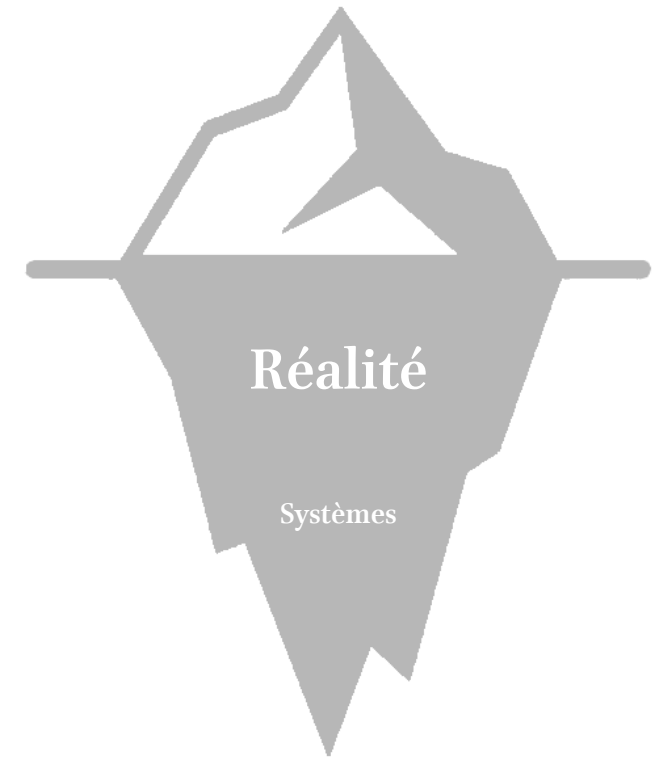
Comment percevez-vous cette nuée d'étourneaux ( $\Phi$ )

→ Comme  $> 10.000$  S individuels

→ Comme un tout = 1 S



$\Phi$  = Nuées d'étourneaux





# Formuler une hypothèse explicative ?

Exemple du vol  
en essaim

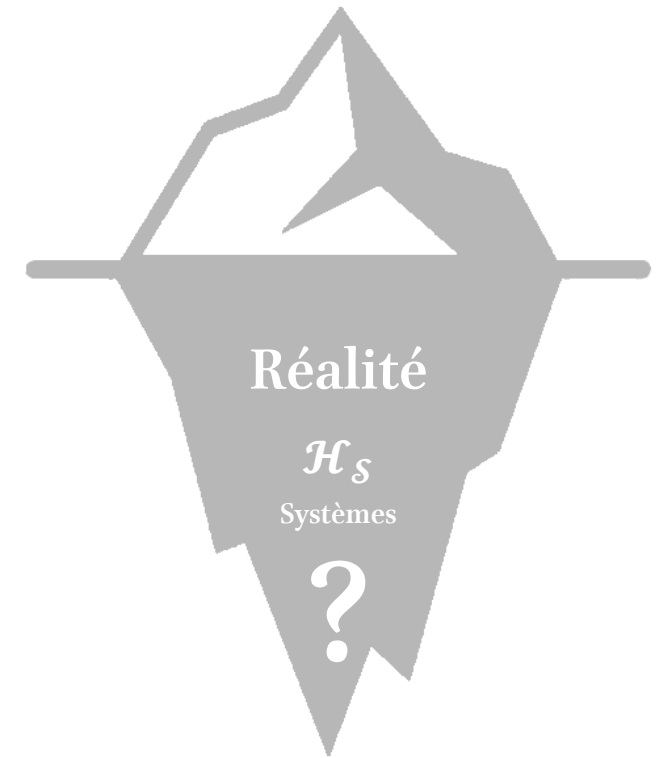
→ Le phénomène n'est pas le système ( $\Phi \neq S$ )

→  $S >$  somme des individus ( $\Phi \neq S$ )

Hypothèse explicative holistique ?



$\Phi =$  Nuées d'étourneaux

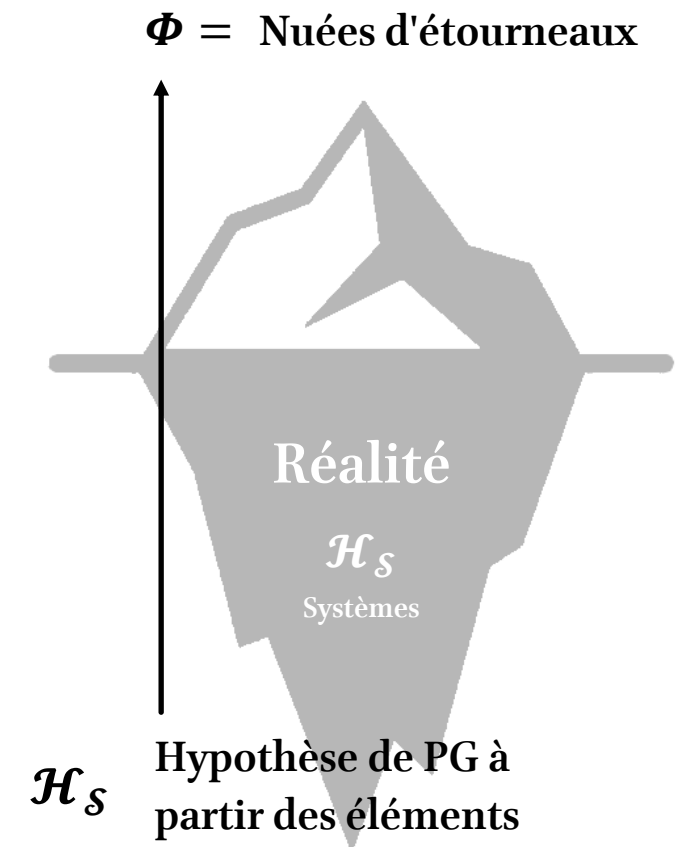




# S est décrit par ce qui génère un observable

Exemple du vol  
en essaim

→ Son processus/modèle génératif (PG) hypothétique (explication holistique)



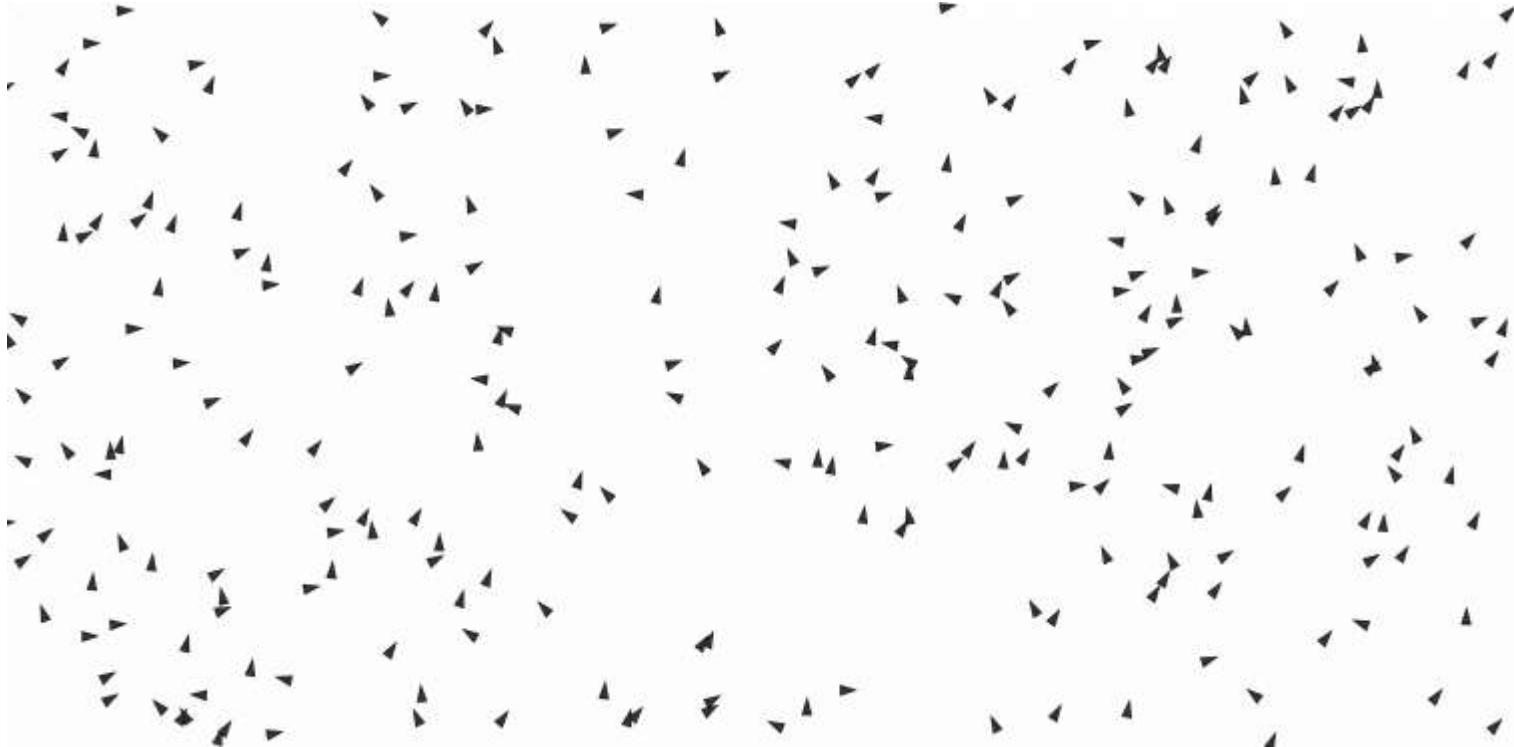


# S est décrit par ce qui génère un observable

Exemple du vol  
en essaim

→ Son processus/modèle génératif (PG)

~ Modèle holistique



Ici les éléments s'auto-organisent car  
ils partagent le même comportement

→ le vol synchronisé

**PG = algorithme élémentaire**

1. Éviter les collisions avec ses voisins
2. Faire correspondre sa vitesse à celle de ses voisins
3. Rester proche de ses voisins

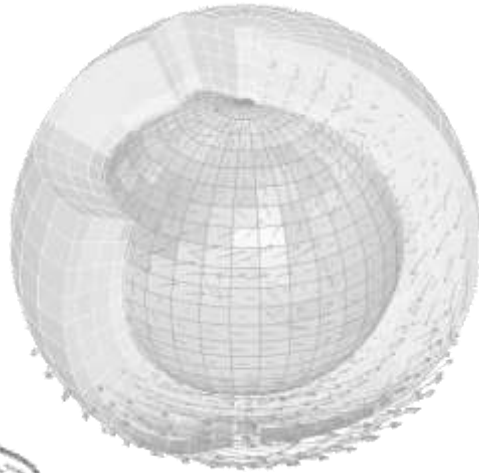
# **Théorie du chaos**

Dynamiques non-linéaires



# PG, déterminisme et prédiction... le cas Lorenz

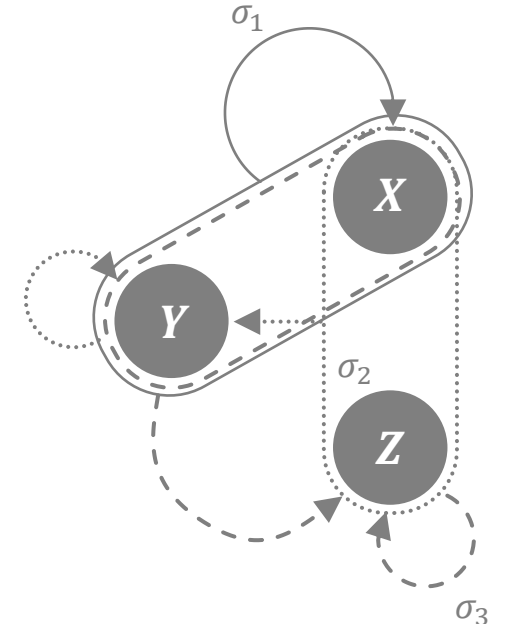
## Processus génératif (PG) Plus intégré et organisé



L'évolution de **S** est sous-tendue  
par un **PG** (ou un modèle génératif)

- Etats du système à un temps  $t$   
= état de ses éléments  $x(t), y(t), z(t)$
- PG = algorithme (continu / discret)
  - Interactions (non-linéarité)
  - Structure (réseau – hypergraphe)

## Modèle génératif de Lorenz



—  $dx/dt = \sigma_1 \cdot (y - x)$

.....  $dy/dt = x \cdot (\sigma_2 - z) - y$

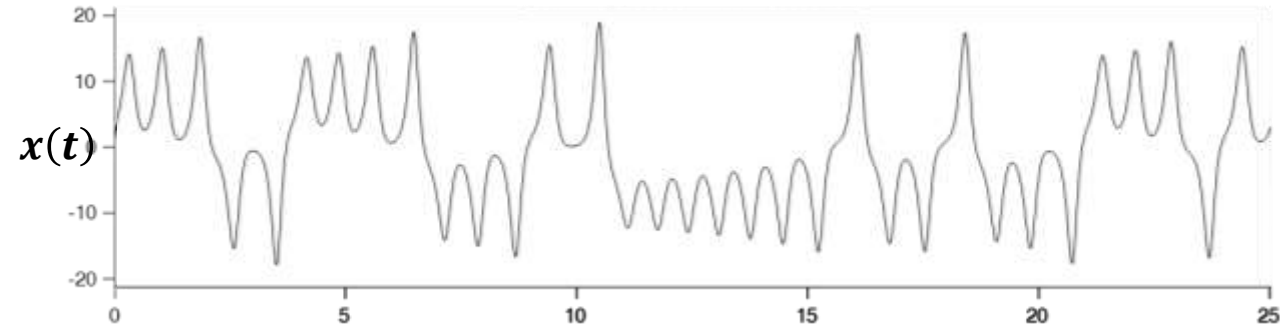
- - -  $dz/dt = x \cdot y - \sigma_3 \cdot z$



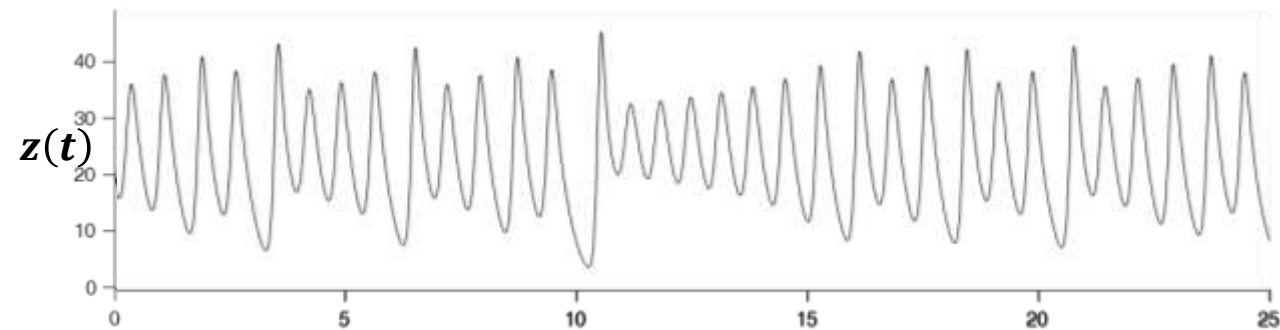
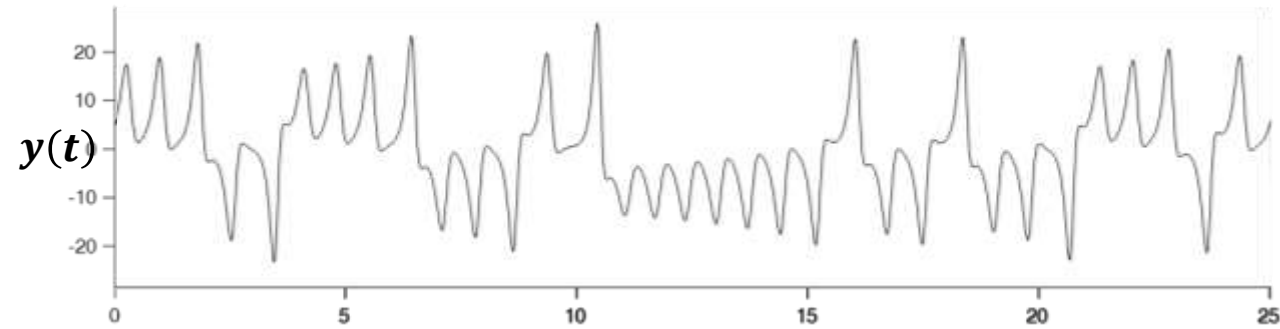
Edward Lorenz  
(1917 – 2008)



# Un PG peut-il être déterministe ?

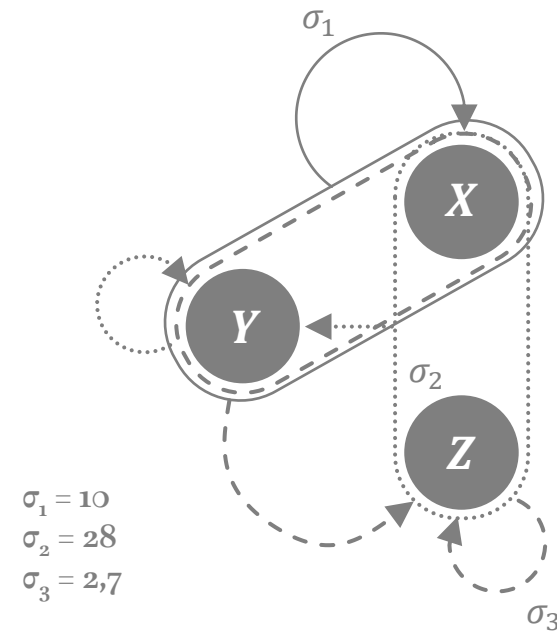


$x_0 = 2$   
 $y_0 = 5$   
 $z_0 = 20$



Oui (hypothèse la plus fréquente)

Mais possible de le décrire de façon probabiliste



$\sigma_1 = 10$   
 $\sigma_2 = 28$   
 $\sigma_3 = 2,7$

—  $dx/dt = \sigma_1 \cdot (y - x)$

.....  $dy/dt = x \cdot (\sigma_2 - z) - y$

- - -  $dz/dt = x \cdot y - \sigma_3 \cdot z$

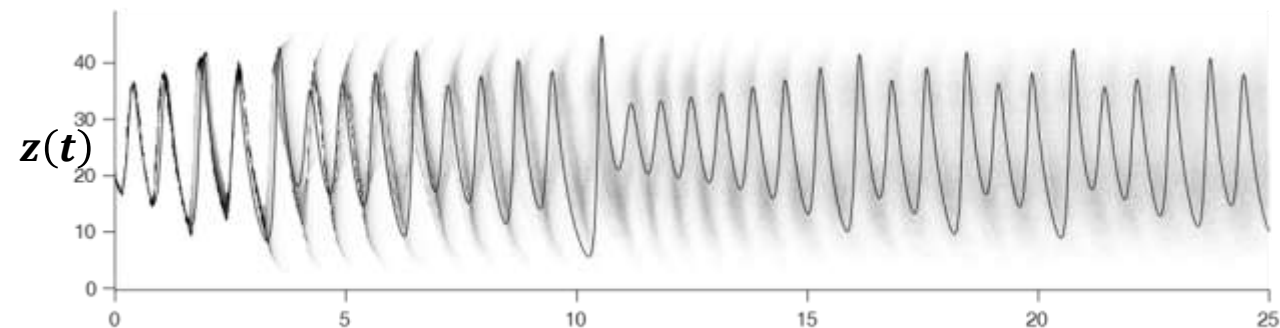
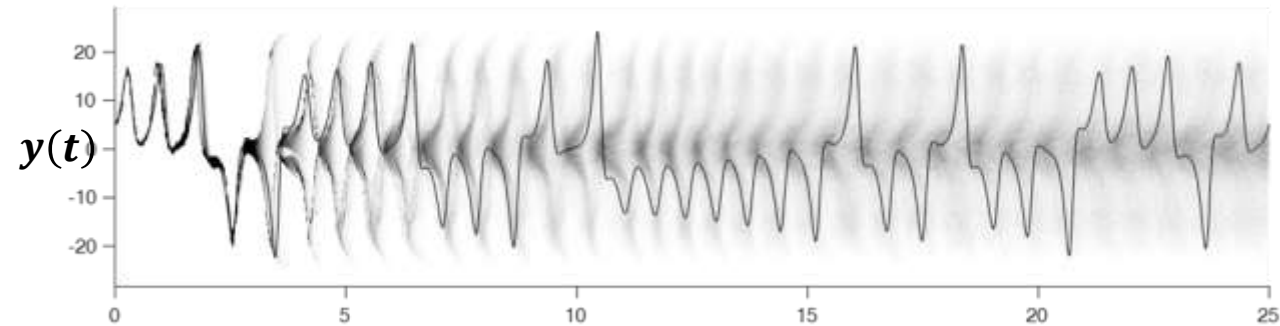
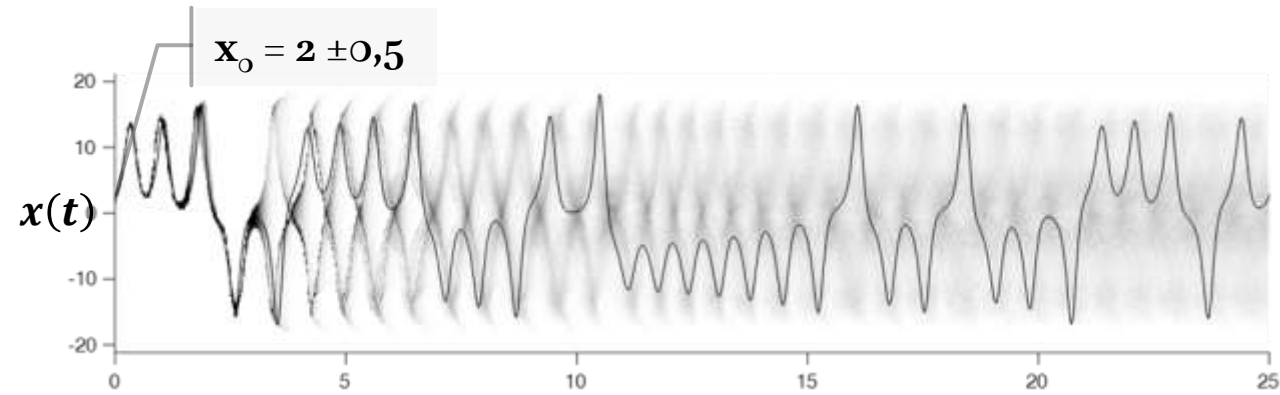
Edward Lorenz  
 (1917 - 2008)







# Déterminisme et imprédictibilité



Introduction d'un iota de  $\pm 0,5$  sur la valeur de  $x_0$  (le reste état identique)

**Sensibilité aux conditions initiales**

+ à la précision du calcul

+ moindre petite perturbation...

*A butterfly flapping its wings in Brazil can produce a tornado in Texas*

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 10 \\ \sigma_2 &= 28 \\ \sigma_3 &= 2,7 \end{aligned}$$

$$\frac{dx}{dt} = \sigma_1 \cdot (y - x)$$

$$\frac{dy}{dt} = x \cdot (\sigma_2 - z) - y$$

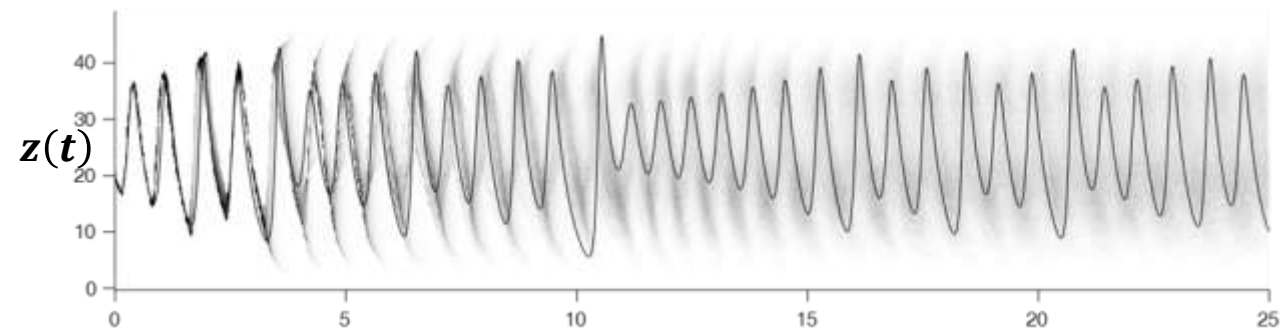
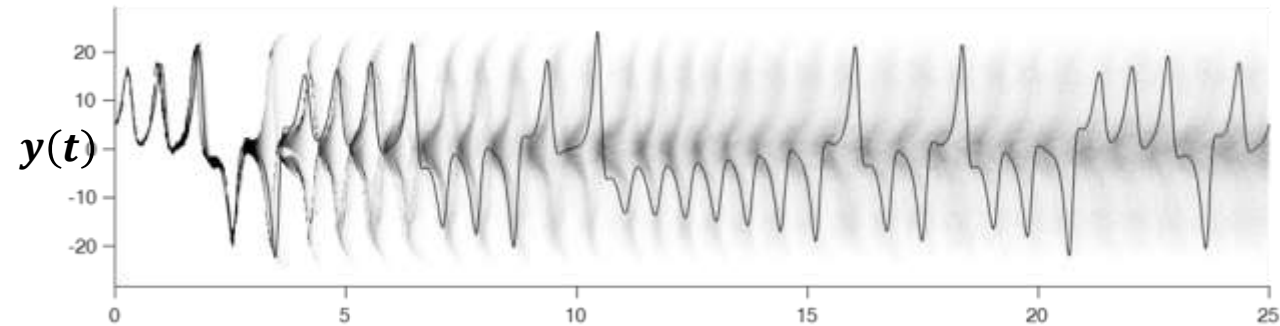
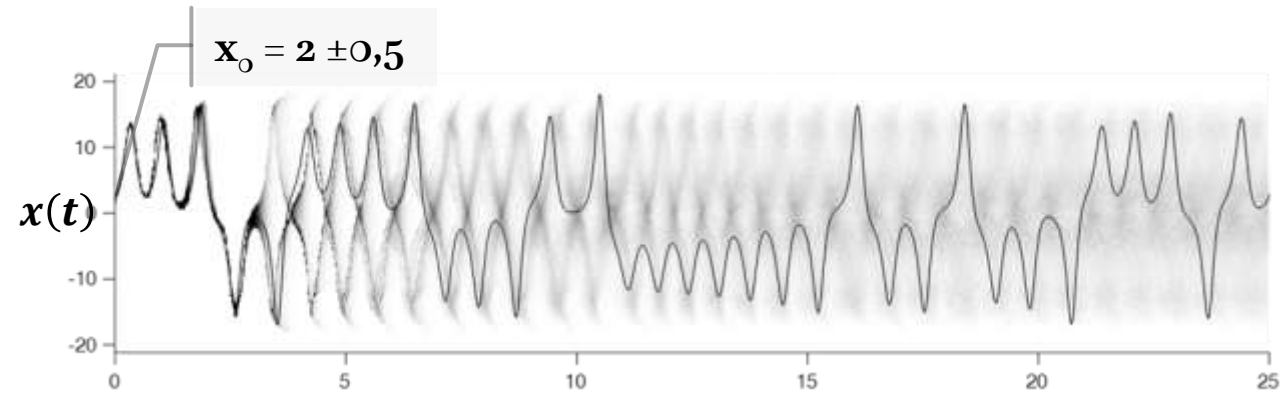
$$\frac{dz}{dt} = x \cdot y - \sigma_3 \cdot z$$

Edward Lorenz  
(1917 - 2008)





# PG non-linéaires imprévisibles (chaos)



**Sensibilité aux conditions initiales**

→ Imprédictibles

→ Comportement apparence chaotique

**Lié à la non-linéarité**

Conséquences non proportionnelles aux différences de départ

$$\sigma_1 = 10$$

$$\sigma_2 = 28$$

$$\sigma_3 = 2,7$$

$$\frac{dx}{dt} = \sigma_1 \cdot (y - x)$$

$$\frac{dy}{dt} = x \cdot (\sigma_2 - z) - y$$

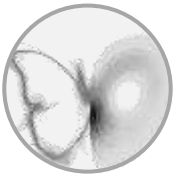
$$\frac{dz}{dt} = x \cdot y - \sigma_3 \cdot z$$

Edward Lorenz  
(1917 – 2008)



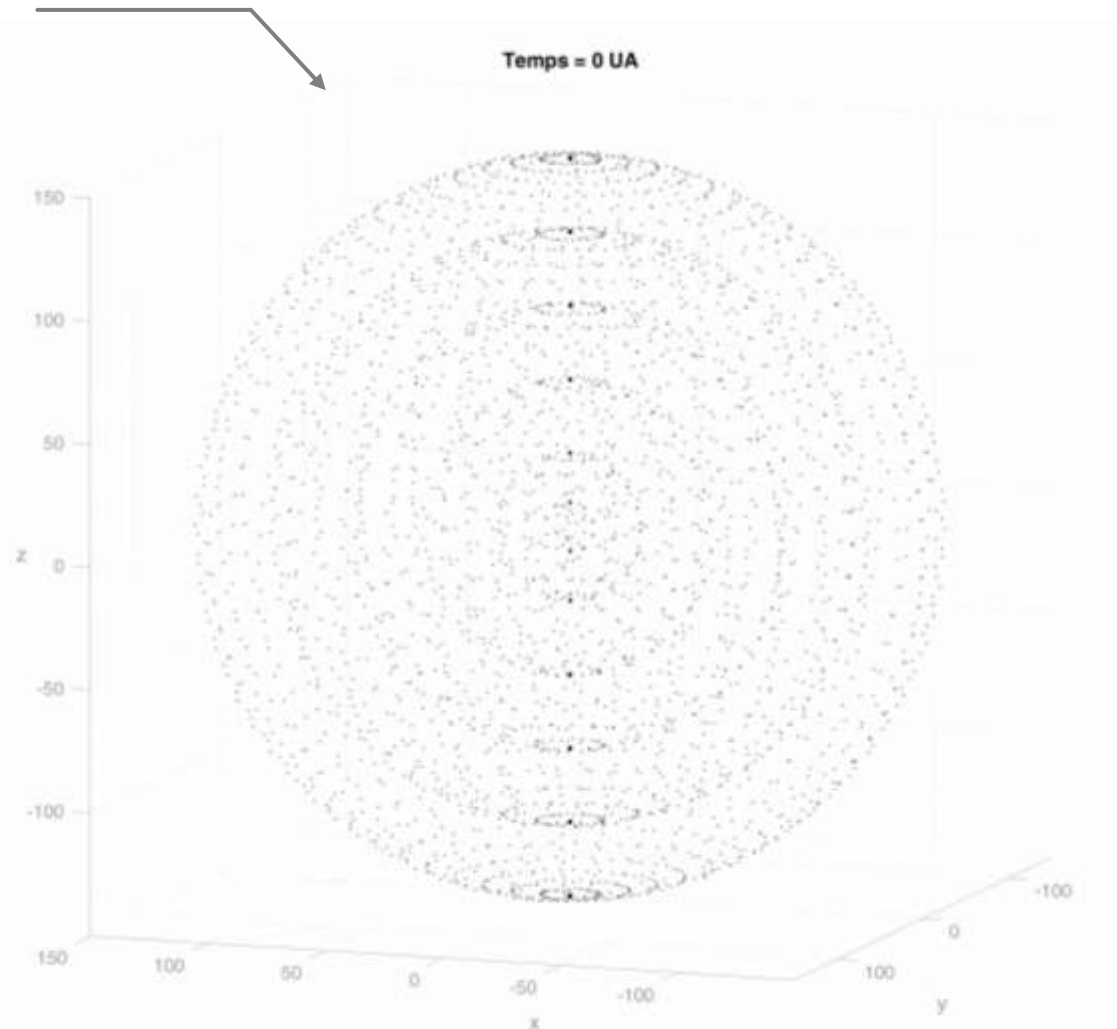
# Tous les PG sont-ils possibles ?

Et si non, quelles sont les conditions à l'existence d'un système ?



# Dynamique d'ensemble → attracteur

~ 6.000 états de départ différents



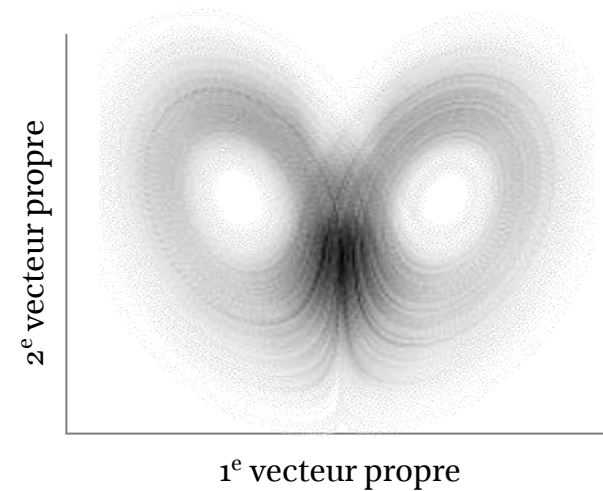
Tous convergent vers une toute petite région des espaces d'état possibles.

Comme aspiré ou attiré vers une trajectoire prototypique

→ **Attracteur**

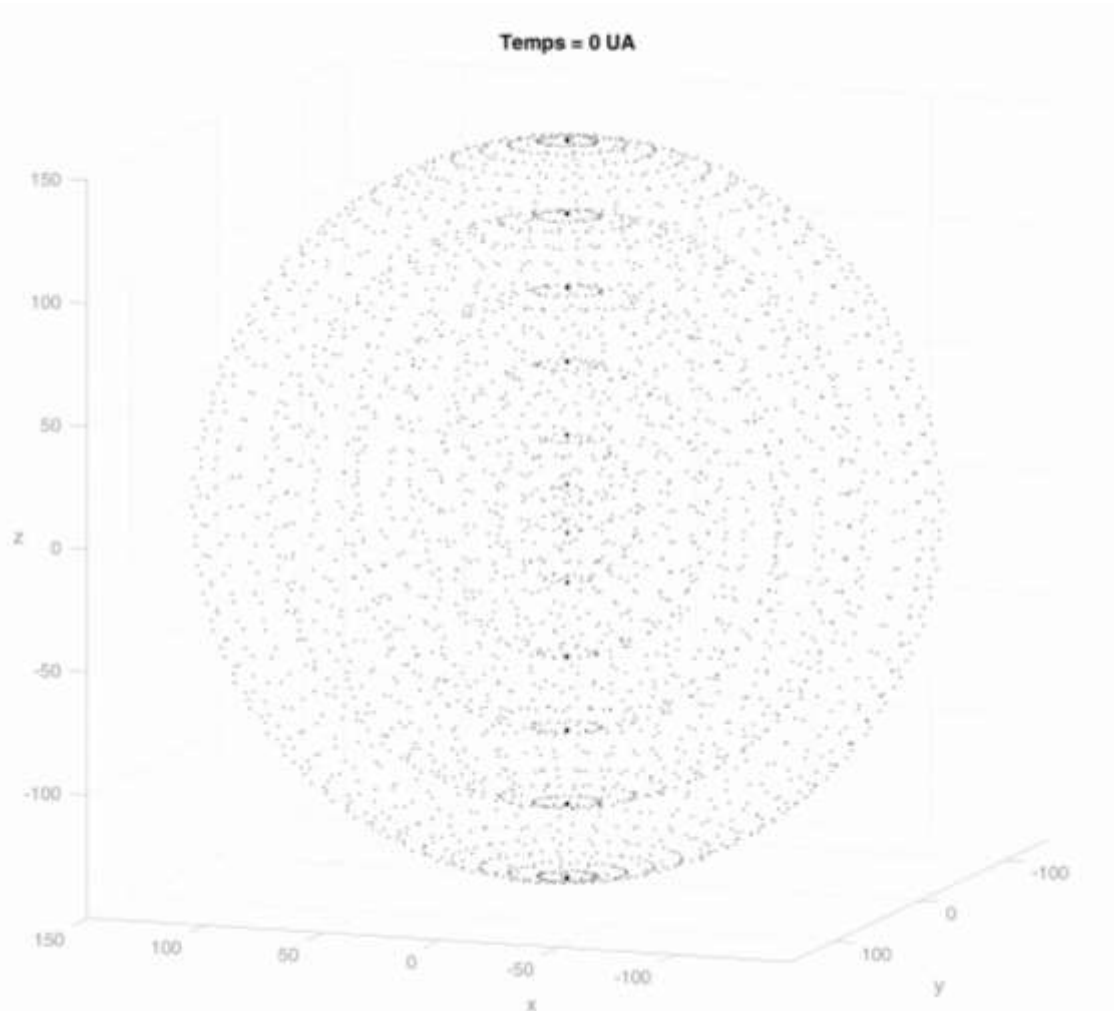
→ **Le PG s'auto-entretient**

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= 10 \\ \sigma_2 &= 28 \\ \sigma_3 &= 2,7\end{aligned}$$





# Attracteur → PG stationnaire



Stabilité dans le changement → stationnarité

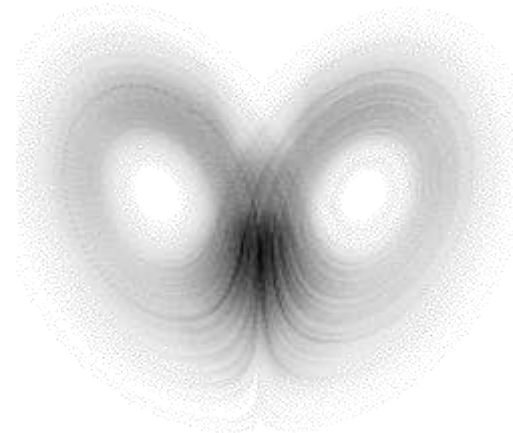
Un système existe (dure suffisamment longtemps)  
→ Son PG s'auto-entretient = (régime) **stationnaire**

Du latin *existere* :

→ Composé de 'ex' + 'sistere' : « être debout / stable »

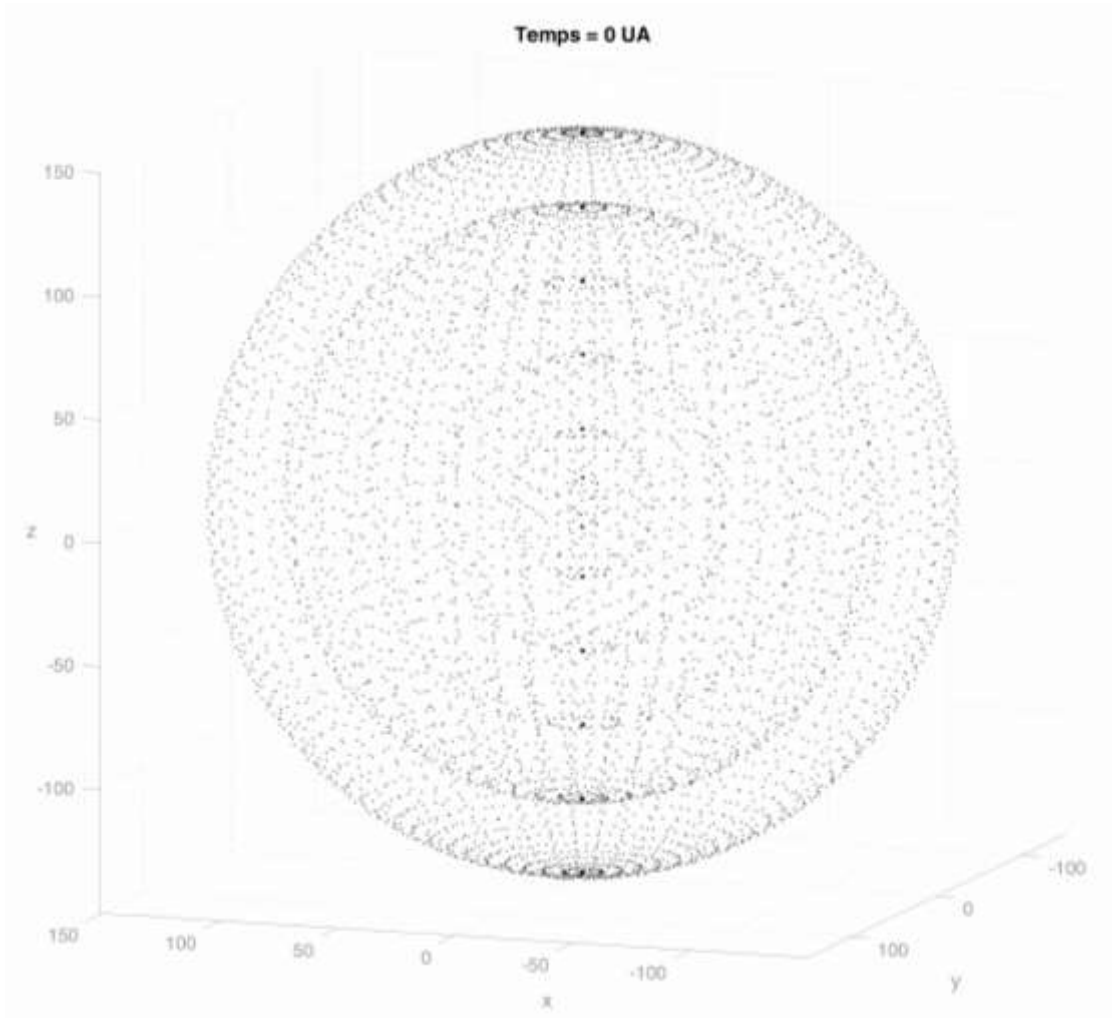
→ « En dehors » (de mon esprit)

→ « Se manifester / se montrer / sortir de »





# PG stationnaires < PG théoriques

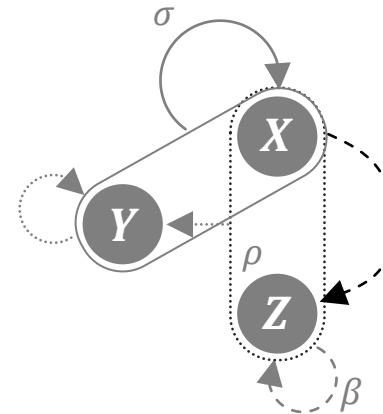


Tous les PG ne convergent pas vers un attracteur

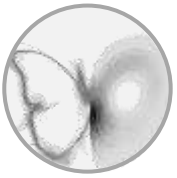
- Instabilité intrinsèque
- Liées aux conditions initiales / aux perturbations par son environnement (contexte)

PG divergents :

- Pas de comportement récurrent
- Pas de système (ou système meurt)



—  $dx/dt = \sigma \cdot (y - x)$   
.....  $dy/dt = x \cdot (\rho - z) - y$   
- - -  $dz/dt = x - \beta \cdot z$   
          ↑  
          *x × y avant*



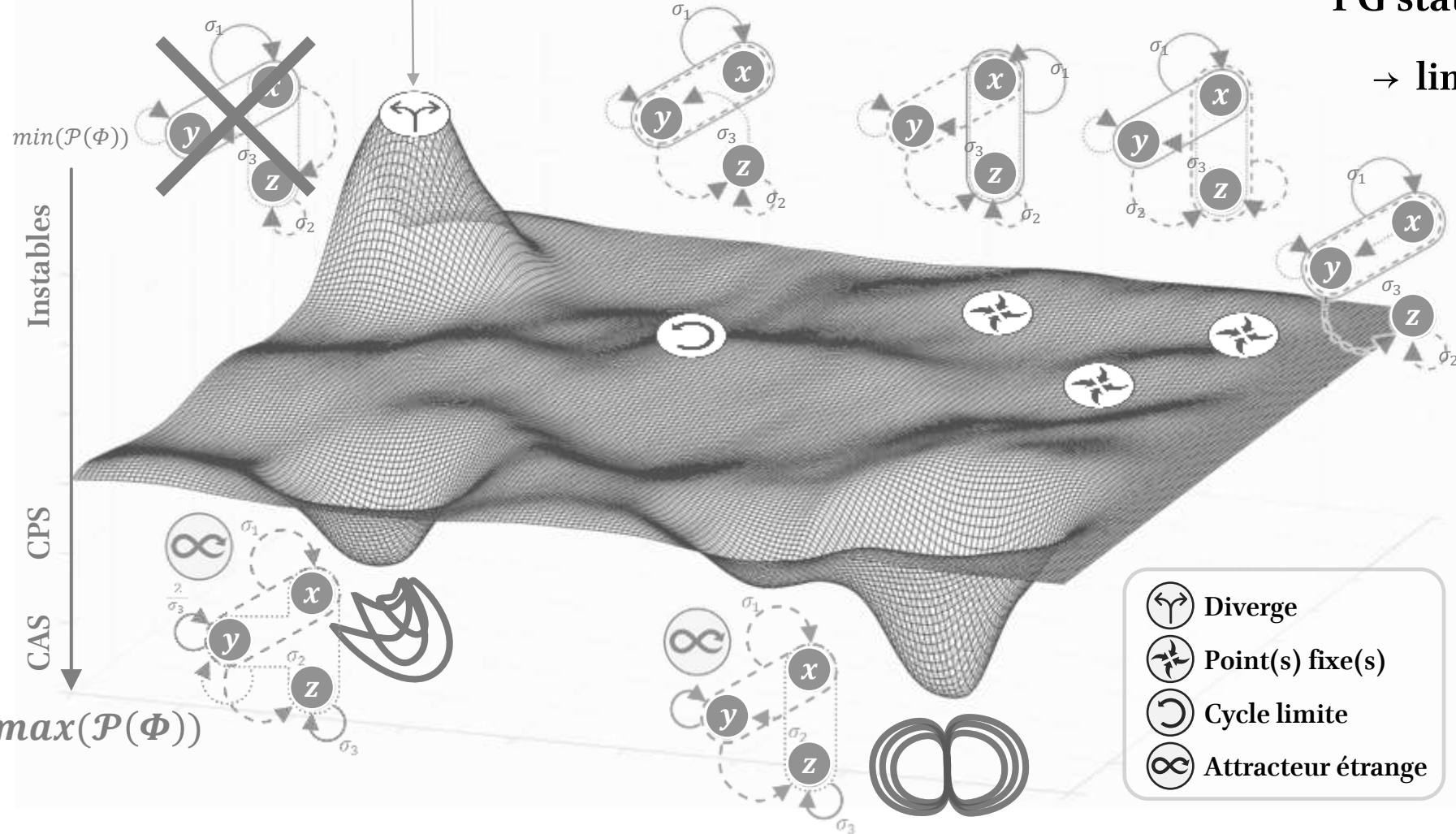
# Stationnarité ponctuée – PG/S possibles

Processus transitoire

PG non stationnaire  
= Pas phénomènes S ( $\Phi$ )

Fonction de la base subvenante  
PG stationnaires < PG théoriques

→ limite le Nbr de systèmes possibles



PG / S possibles forment

- Des agrégats / classes (PG stationnaires)
- Et pas des continuums

**Tous les PG sont-ils également probables ?**

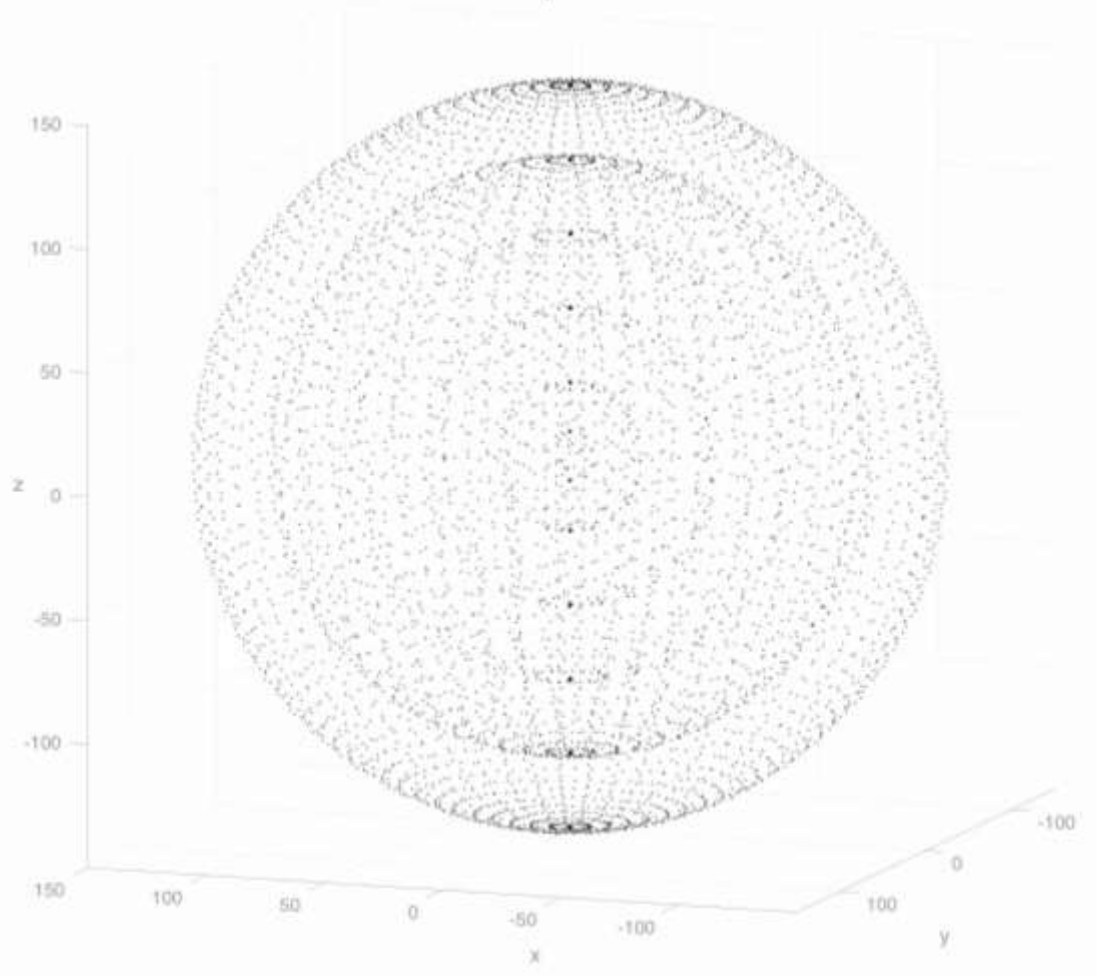
Et si non, qu'est-ce qui détermine les probabilités d'observation d'un S ?





# Attracteur étrange $\neq$ cycle limite

Temps = 0 UA

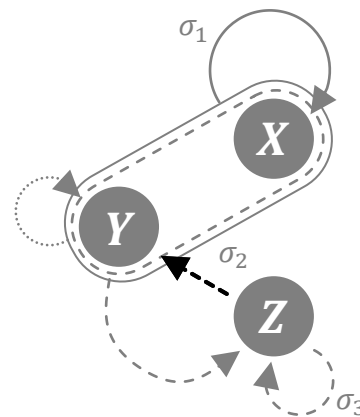


**Stationnarité** (stabilité dans le changement)

Classique (S fermés) connaissait 2 attracteurs :

→ Point fixe (stabilité) : pendule amorti p.ex.

→ Cycle limite (oscillateurs) : toujours la même trajectoire  
comme l'orbite d'une planète

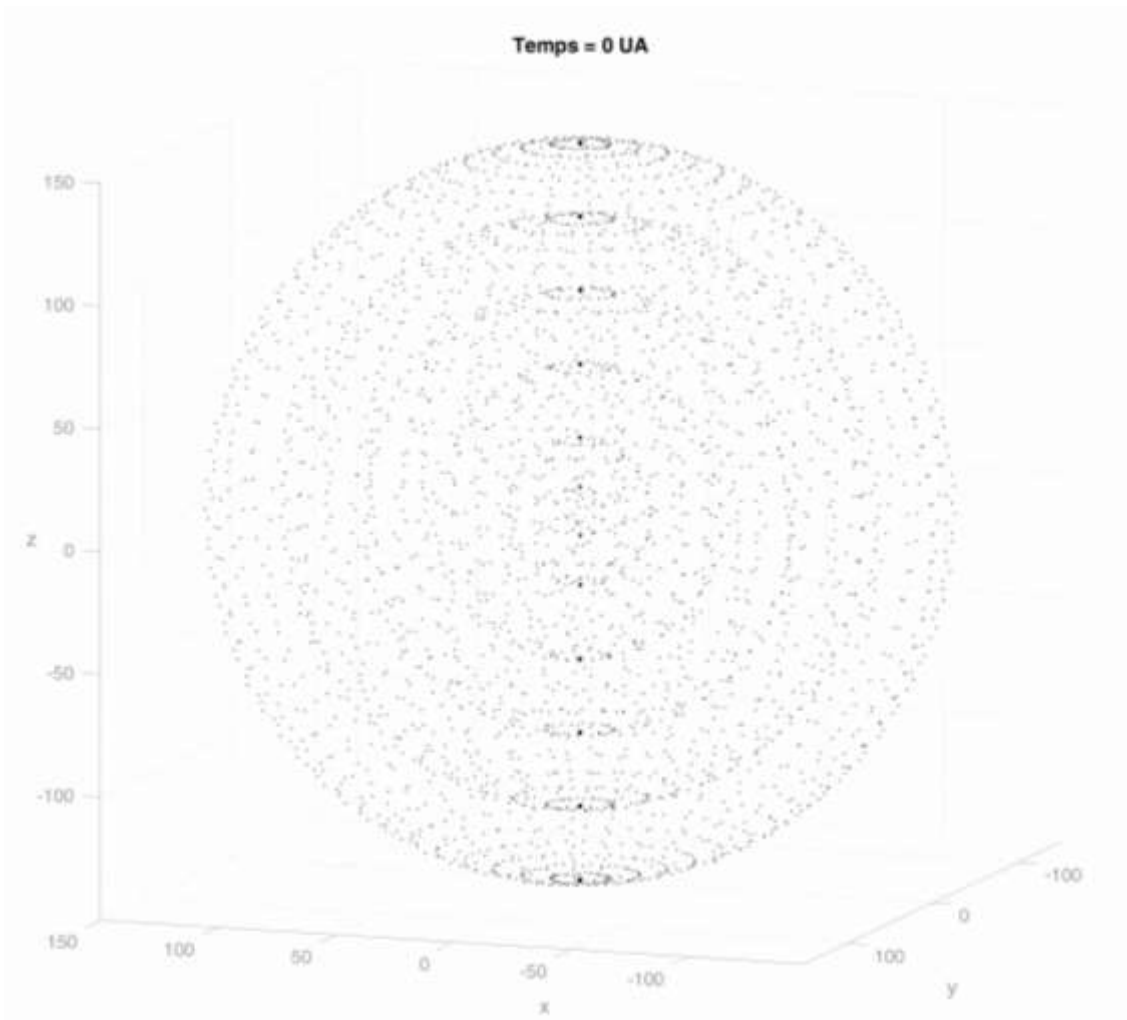


$$\begin{aligned} \text{---} & \quad dx/dt = \sigma_1 \cdot (y - x) \\ \text{.....} & \quad dy/dt = (\sigma_2 - z) \cdot y \\ \text{---} & \quad dz/dt = x \cdot y - \sigma_3 \cdot z \end{aligned}$$

$x \cdot (\sigma_2 - z) - y$



# Attracteur étrange



**Stationnarité** (stabilité dans le changement)

Classique (S fermés) connaissait 2 attracteurs :

- Point fixe (stabilité) : pendule amorti p.ex.
- Cycle limite (oscillateurs) : toujours la même trajectoire  
comme l'orbite d'une planète

**Etrange**

- S n'est pas stable (évolue en permanence)
- N'occupe qu'une fraction des états possibles
- Trajectoires se ressemblent mais jamais exactement la même : similaires mais pas identiques (comme cycle limite)

**Attracteur étrange**

- S reste le même sans être identique

→ **Nature d'un S n'est pas physique**

Renouvellement atomes et cellules du corps humain

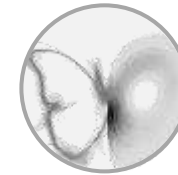
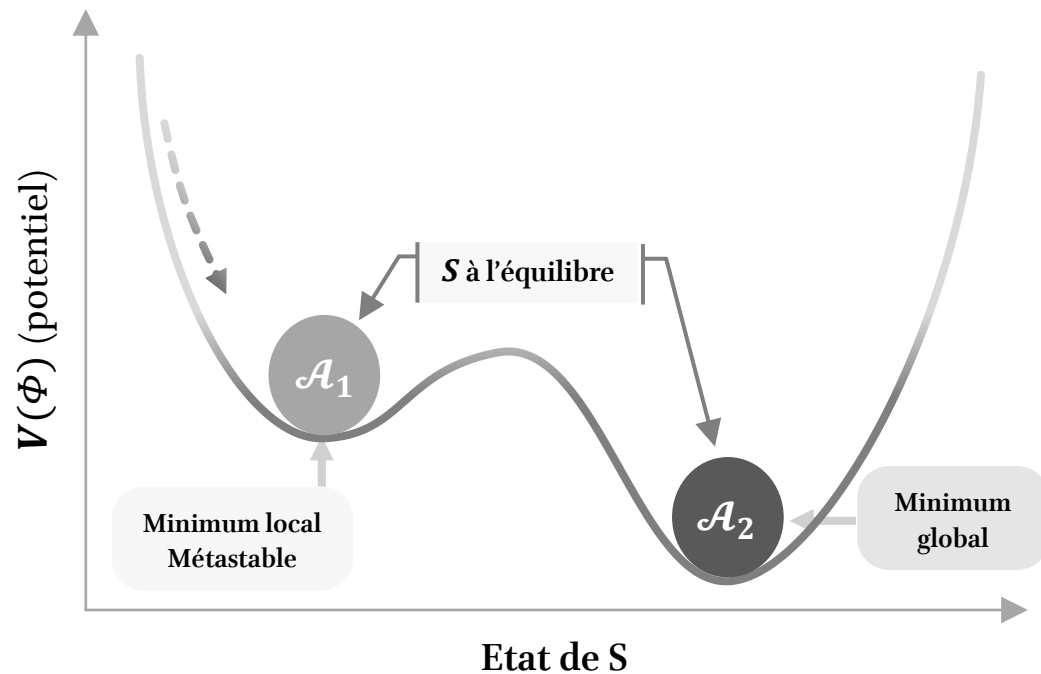


# Attracteurs étranges : robustesse



Attracteurs > 1 pt fixe et cycle limite

Ne convergent pas vers le même point fixe ou le même cycle en fonction des conditions initiales



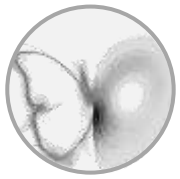
Attracteurs étranges

Même attracteur quelques soit les conditions initiales

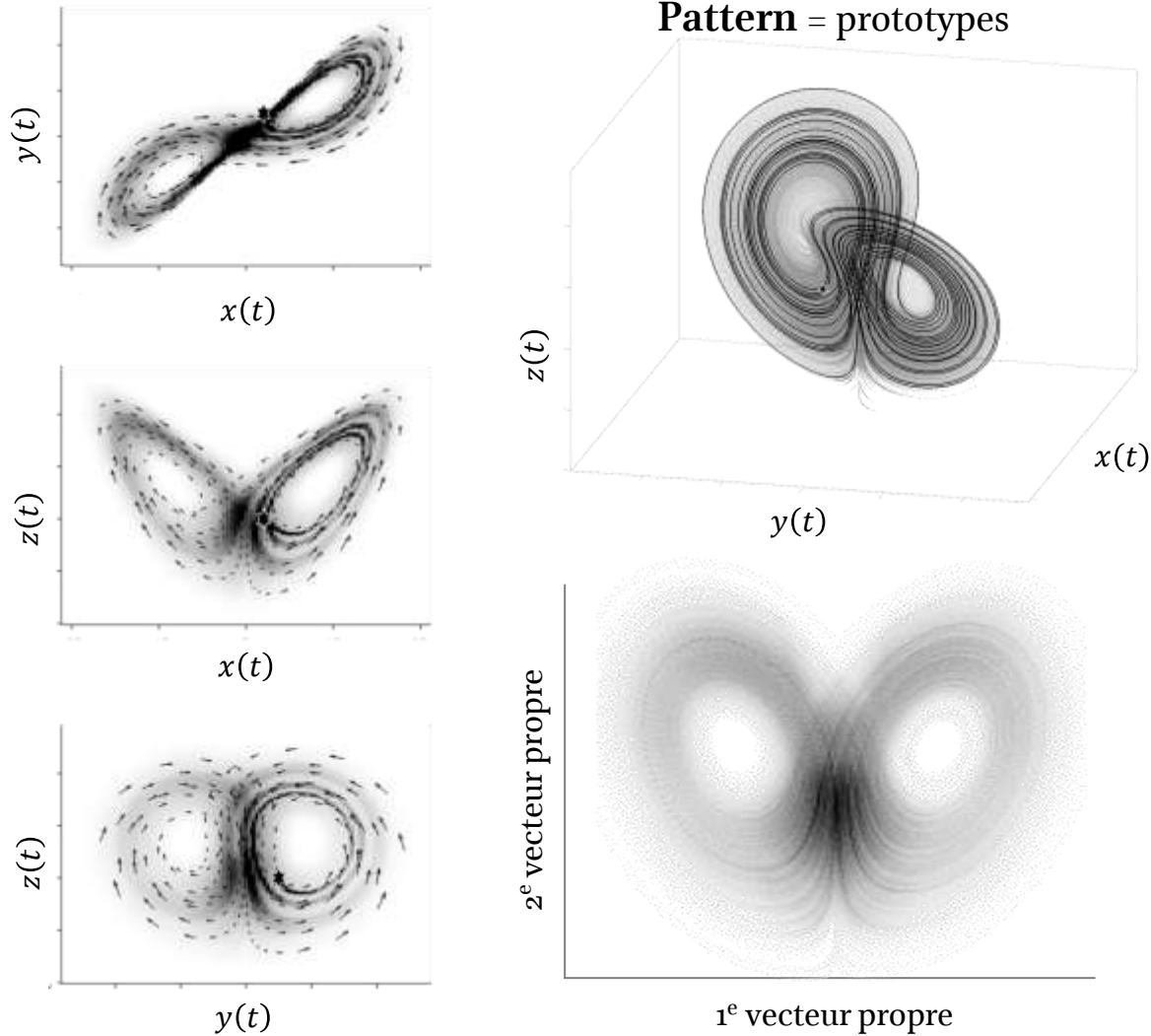


Résiste aux perturbations / changements de son environnement

→ Robustesse du PG



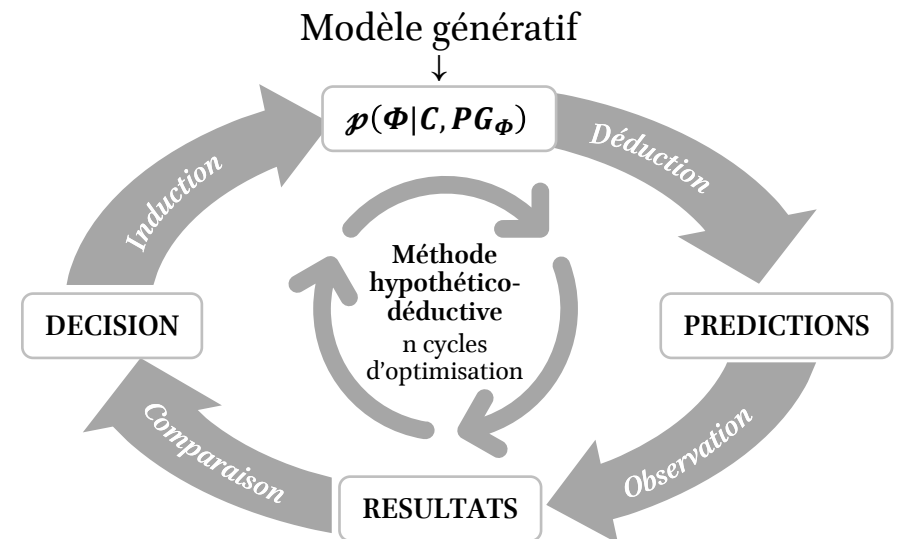
# Attracteur étrange : prédictibilité probabiliste



Sciences  
généralives

Pas prédictible de façon exacte  
**Mais de façon probabiliste**

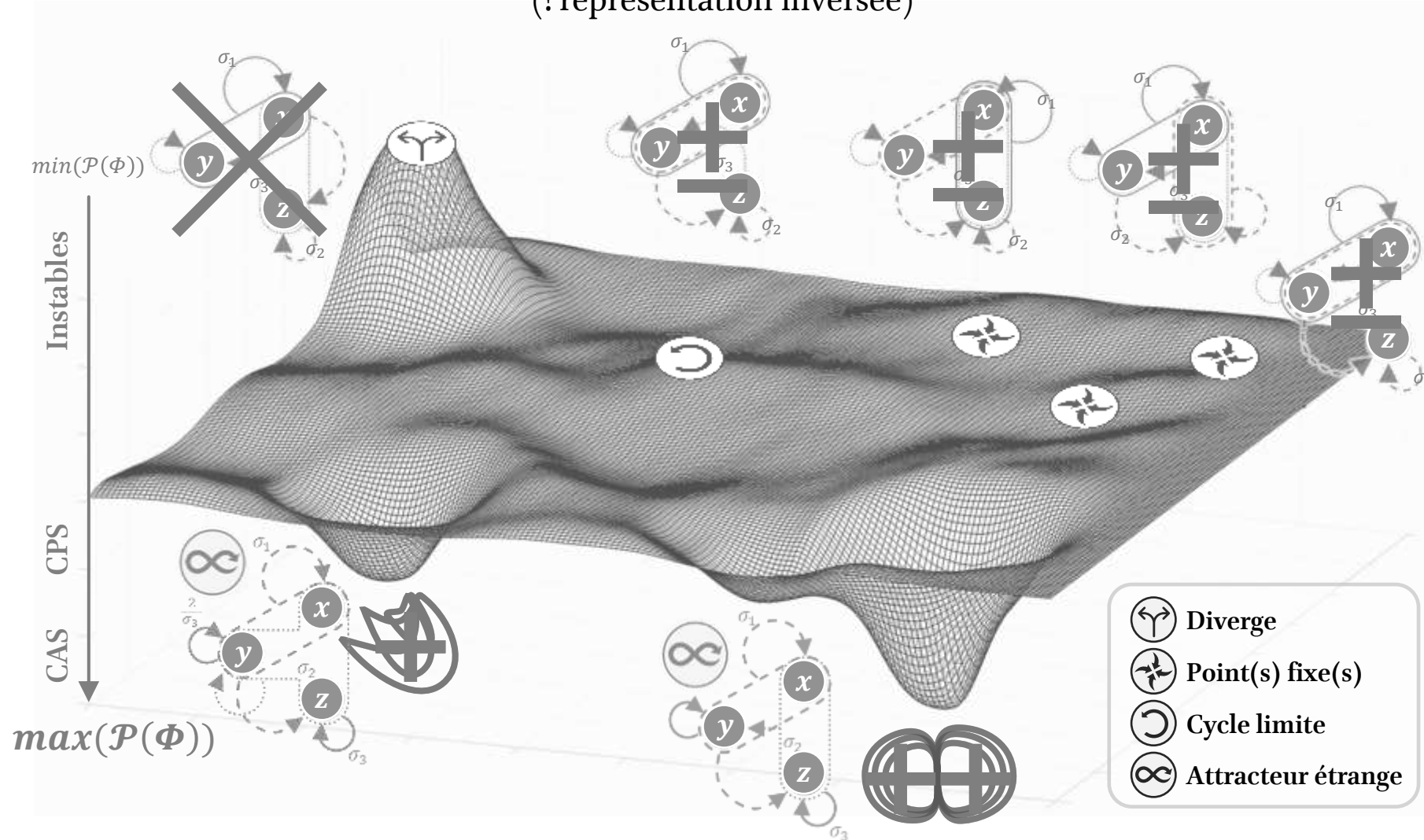
→ Adéquation avec les distributions observées





# Robustesse, adaptation et probabilité des PG/S

## Probabilité des possibles (! représentation inversée)



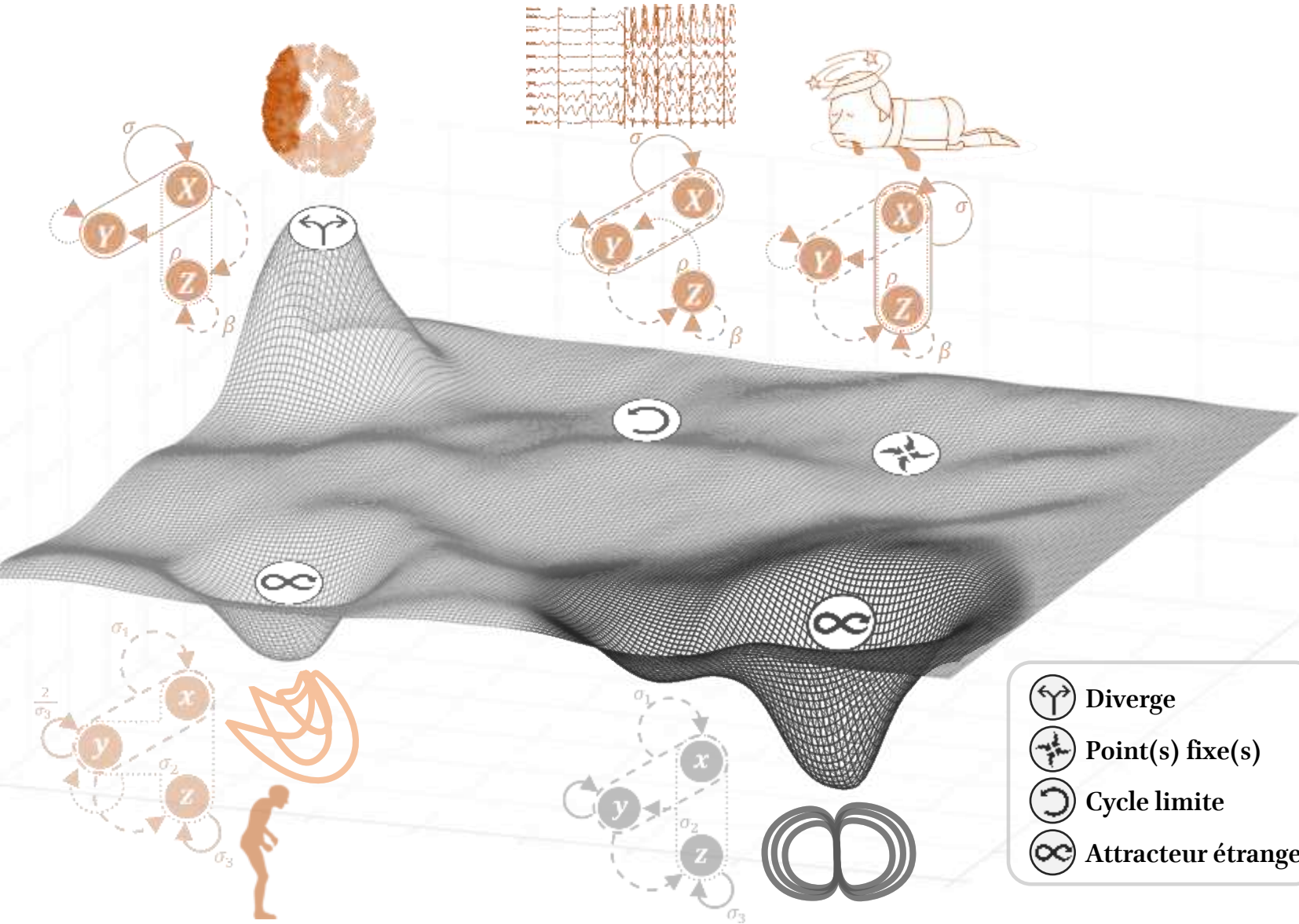
Espèces naturelles  
= biais des survivants  
(*survivorship bias*)

Entités naturelles ne se répartissent pas de façon homogène, mais de façon ponctuelle

Elles forment  
→ Des classes ( $\Delta$  qualitatif)  
stationnarité ponctuelle  
→ Et pas de continuums  
( $\Delta$  quantitatif)



# Syndrome $\rightarrow$ $\Delta$ processus génératif



Syndrome = espèces naturelles

$$\mathcal{P}(\varphi) \propto \mathcal{P}(PG_\varphi)$$

Probabilité d'observation :

- $\rightarrow$   $\Delta$ PG robuste (survie possible)
- $\rightarrow$   $\Delta$ PG adaptatif (survie probable)
- $\rightarrow$  + probabilité processus transformatif

Exemples :

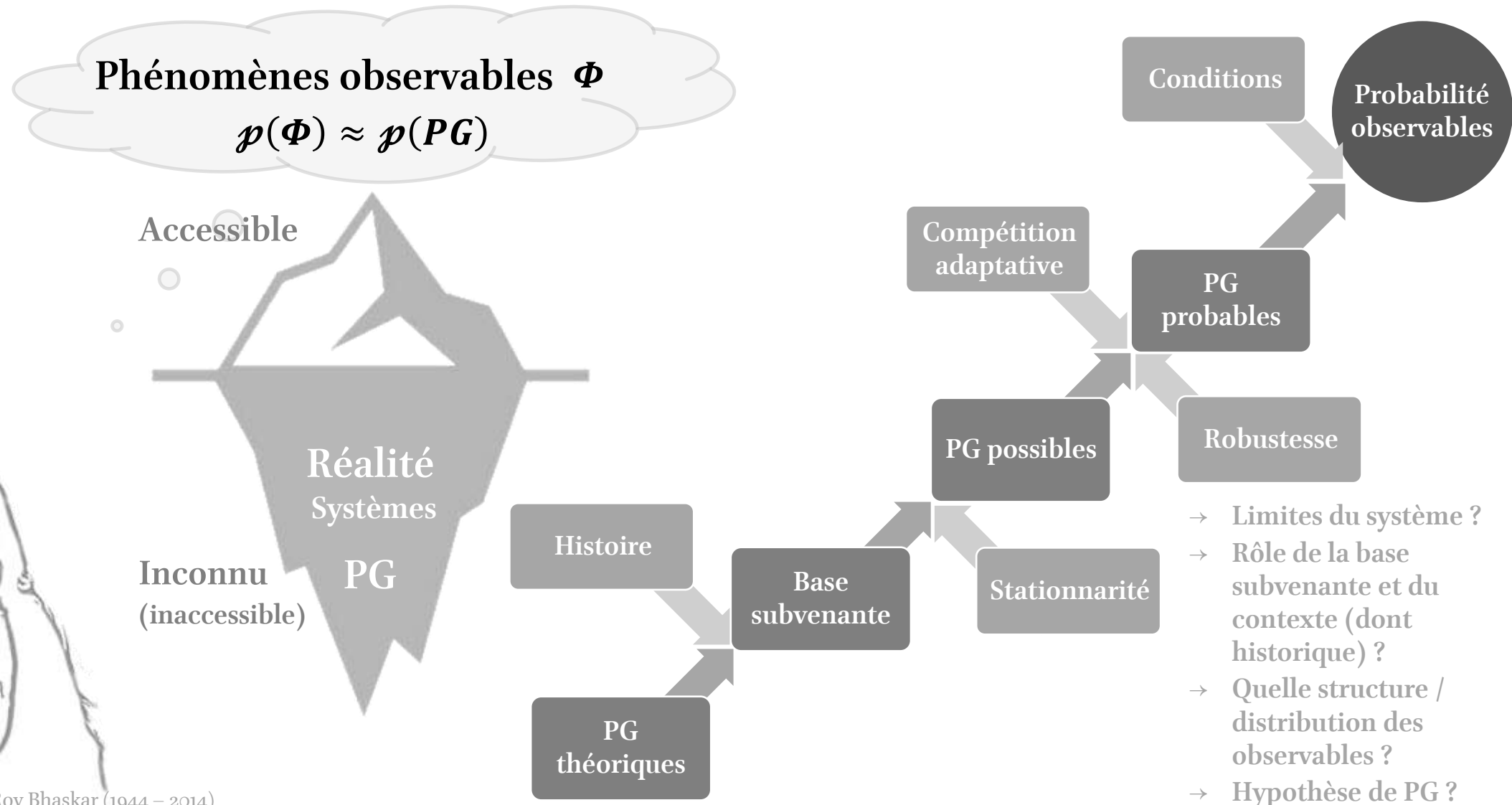
- $\rightarrow$  Perte de fonction (déficit de fonction)  
ex. lésion (AVC), coma, perte de connaissance, processus expansif ...
- $\rightarrow$  Perte d'adaptabilité (para-fonction)  
ex. crise d'épilepsie (cycle limite) ou maladie de Parkinson

# Comment tester mon hypothèse ?

Comment déterminer la probabilité d'un PG et de son observable ?



# Modéliser et tester un PG en $\mathbb{C}_\chi$ SNP 2.0



Roy Bhaskar (1944 – 2014)





# PG et distribution des observables

Phénomènes observables  $\Phi$

$$p(\Phi) \approx p(PG)$$

Accessible

$\cong$

Distribution observée  
(statistique)

Réalité  
Systèmes

Inconnu  
(inaccessible)

PG

Mécanismes

Structures

Fonction d'agrégation

$\cong$

Processus génératif

## Sciences génératives

Généralisation probabilité :

- Si
- Micro-effets  $\varepsilon_i$  de distribution  $\mathcal{D}_\varepsilon$
  - Agrégés par fonction  $\mathcal{G}$  (théorique)
- $$x = \mathcal{G}(\varepsilon_i)$$

Alors  $\rightarrow$  Distribution  $\mathcal{D}_x$  qu'on devrait observer

Exemple :

Fonction d'agrégation additive  $\mathcal{G}_\Sigma$

$$x = \mathcal{G}_\Sigma(\varepsilon_i) = \sum_{i=1}^{n_\varepsilon} \beta_i \cdot \varepsilon_i$$

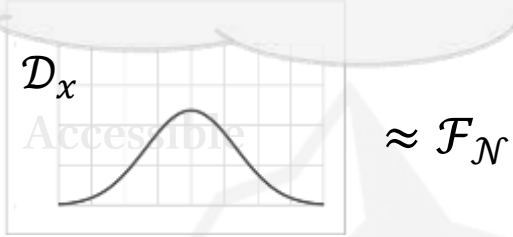
Quelle  $\mathcal{D}_x$ , i.e. comment se distribuent  $x$  ?





# Analogie avec les probabilités

Distribution des observables  $\Phi$



## Sciences génératives

Généralisation probabilité :

- Si
- Micro-effets  $\varepsilon_i$  de distribution  $\mathcal{D}_\varepsilon$
  - Agrégés par fonction  $\mathcal{G}$  (théorique)
- $$x = \mathcal{G}(\varepsilon_i)$$

Alors → Distribution  $\mathcal{D}_x$  qu'on devrait observer

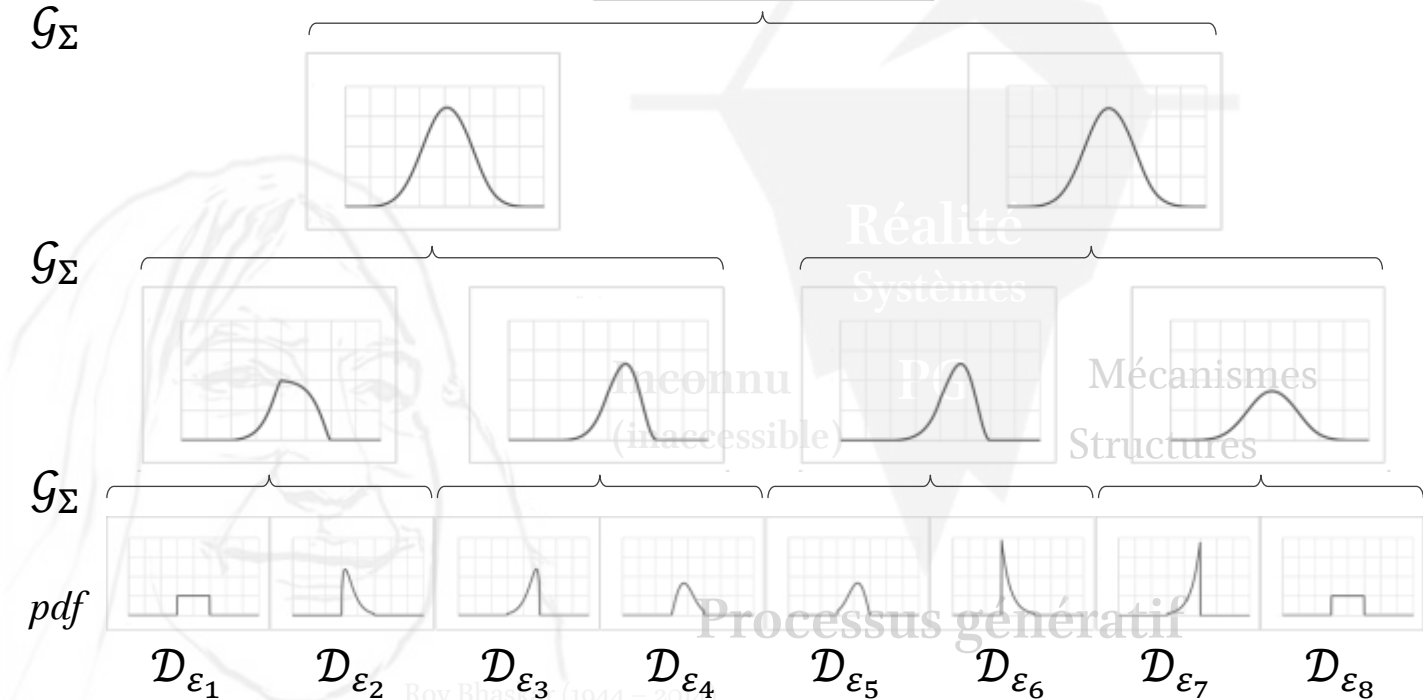
Exemple :

Fonction d'agrégation additive  $\mathcal{G}_\Sigma$

$$x = \mathcal{G}_\Sigma(\varepsilon_i) = \sum_{i=1}^{n_\varepsilon} \beta_i \cdot \varepsilon_i$$

Quelle  $\mathcal{D}_x$ , i.e. comment se distribuent  $x$  ?

$$\forall \mathcal{D}_\varepsilon \quad \mathcal{D}_x \longrightarrow \mathcal{F}_\mathcal{N} \text{ (normale)}$$

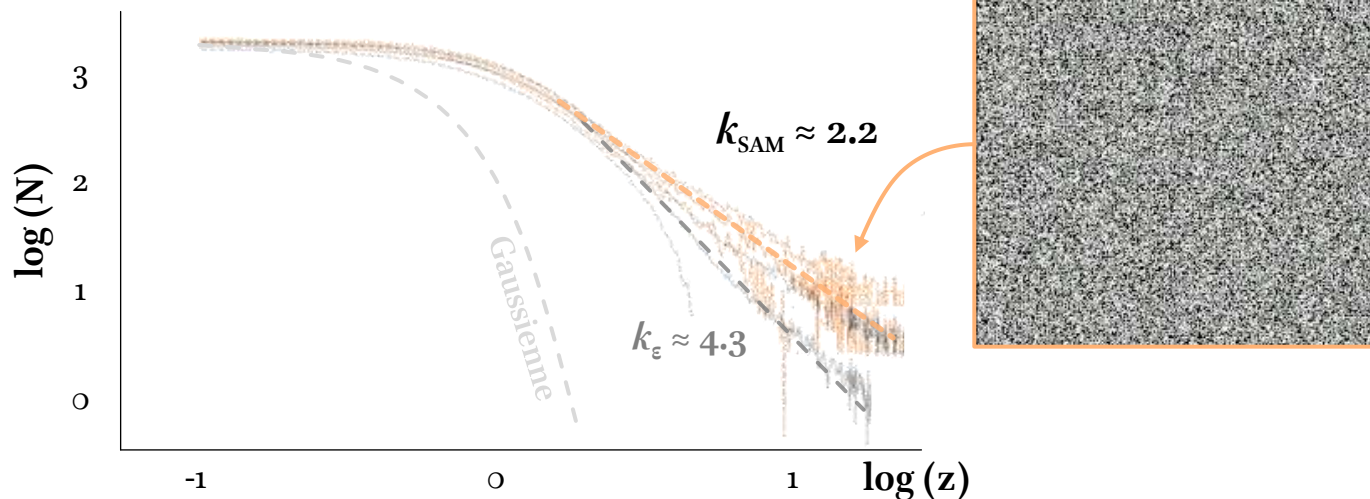
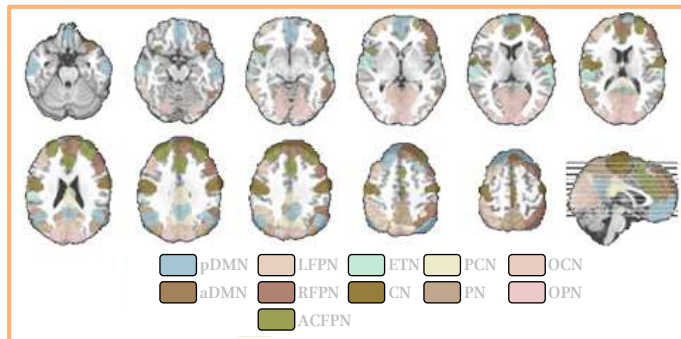
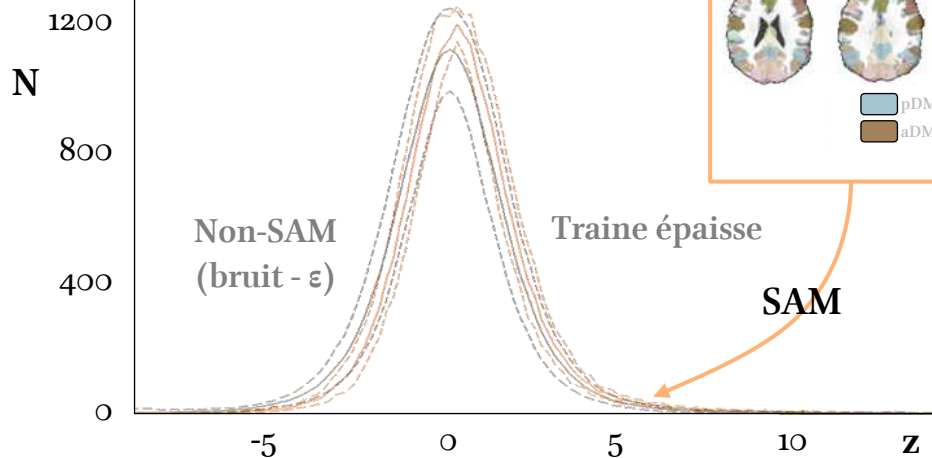




# Exemple : ICA sur IRMf de repos

Cartes de co-activité spontanée (SAM)

Asymétrique



Hypothèse de stationnarité

Quel processus génératif ?

→ Quelle  $\mathcal{D}_x$  (comment se distribuent x) ?

Distribution de Pareto

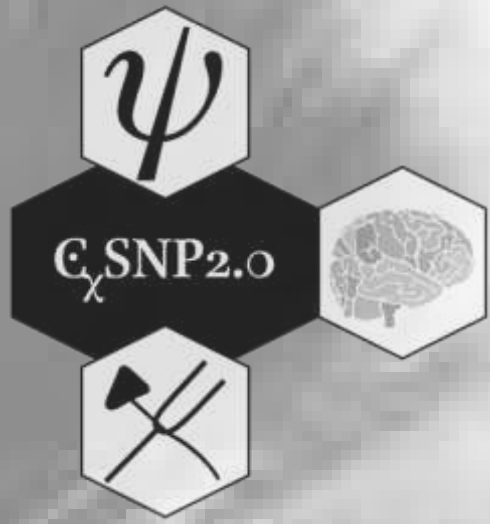
$$\mathcal{D}_x = \mathcal{G}_{inv} = \mathcal{F}_{uni}(0,1)^{-k} = \mathcal{F}_{Pareto}$$

- › Modèle **compétitif** ('winner-take-all')
- › ~ Augmentation longueur de la fonction de corrélation

→ **Loi de puissance** ≈ voisinage du point critique (transition phase continue)

→ **Mais sans changer le milieu** et sans flux apparent (S drivés)

**Criticité auto-organisée**



1.0 → 2.0

Suite ...

Vue d'ensemble

*Regarder, regarder encore, regarder  
toujours, c'est ainsi seulement  
qu'on arrive à voir.*

Jean-Martin Charcot (1825 – 1893)



# Plan général

- › **Séméiologie naturalisée**
- › **1<sup>e</sup> partie** : article général sur le projet qui introduit les concepts de base (processus transformatifs, heuristiques de cohérences)
- › **2<sup>e</sup> partie** : reformulation des psychoses de l'adulte (théorie du prototype et heuristiques de ressemblance, endémie, sélection purificatrice et heuristiques de rareté).
- › **3<sup>e</sup> partie** : (re)formulation des psychoses du sujet âgé (processus de sénescence, faillite en réseau, pléiotropie antagoniste et heuristiques).
- › **4<sup>e</sup> partie** : (re)formulation des troubles du tempérament et de la personnalité (composantes, archétypes, heuristiques de symétrie).
- › **5<sup>e</sup> partie** : (re)formulation des névroses (immergence).
- › **6<sup>e</sup> partie** : (re)formulation des addictions ?

**Merci de votre attention**