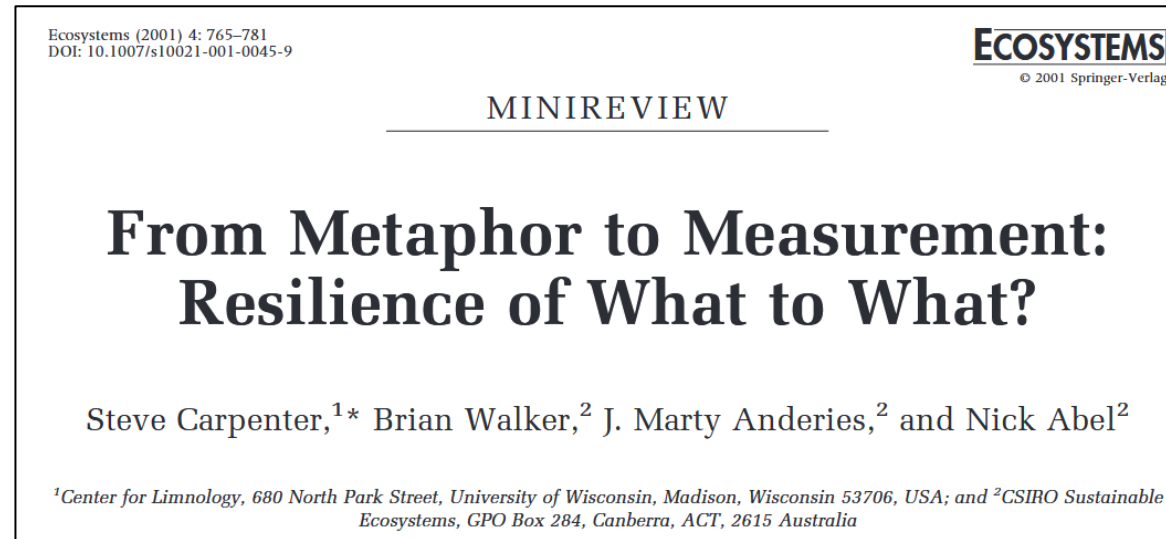


Evaluation des capacités des Agroécosystèmes à faire face aux aléas: une approche viabiliste



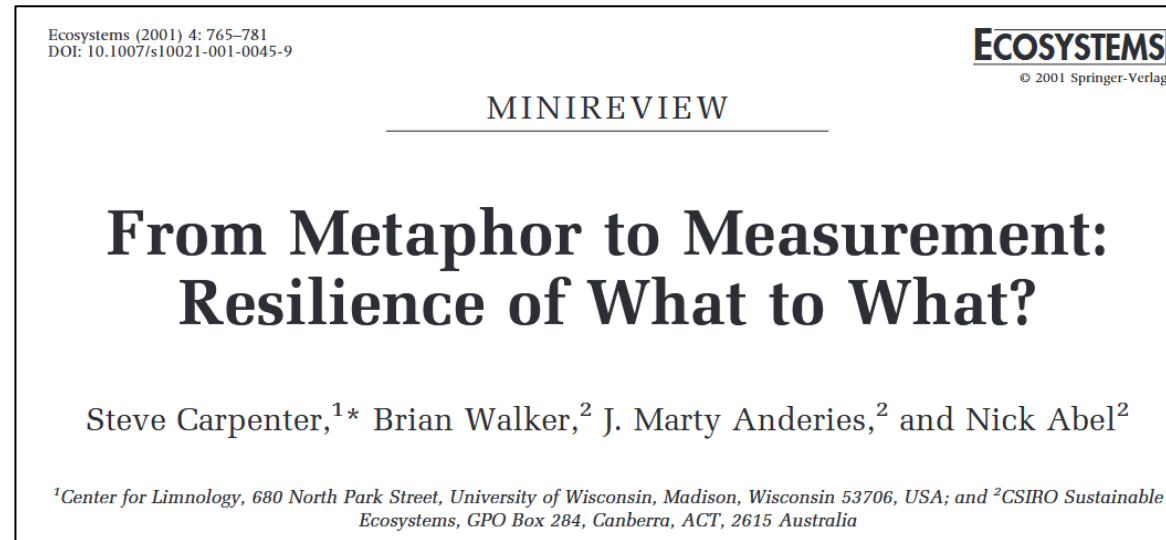
Adaptabilité, Robustesse, Résilience -> comment les mesurer ?

-> Des métaphores séduisantes mais des propriétés difficiles à évaluer (Dardonville 2021)



Adaptabilité, Robustesse, Résilience -> comment les mesurer ?

-> Des métaphores séduisantes mais des propriétés difficiles à évaluer (Dardonville 2021)



Pour mesurer ces propriétés, recentrer les concepts pour les rendre opérationnels

- > définir le système
- > définir ses objectifs
- > expliciter l'incertitude

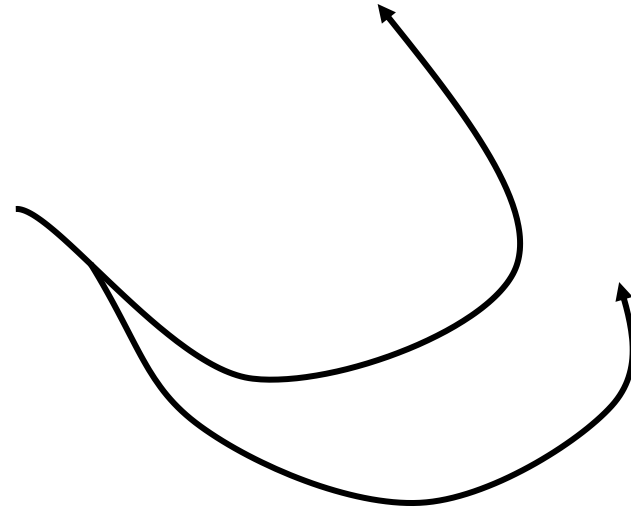
} Evaluation dynamique

Introduction : évaluer ces propriétés

Des propriétés:

Dynamiques

-> Qui demandent de suivre l'évolution du système dans le temps sous l'effet du pilotage



Introduction : évaluer ces propriétés

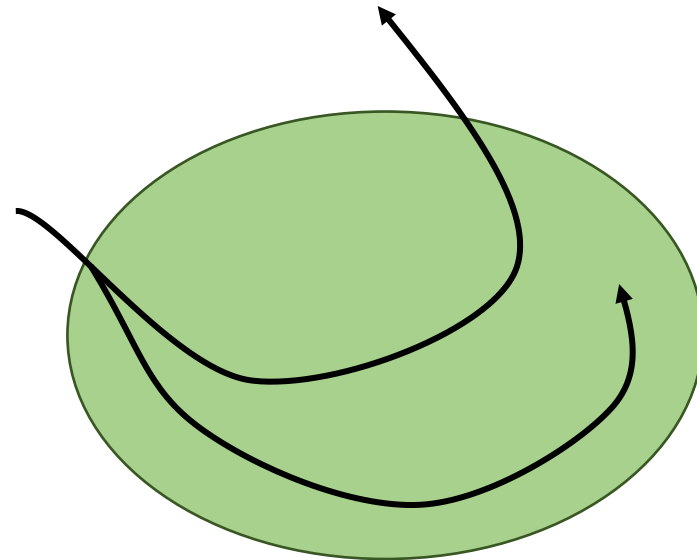
Des propriétés:

Dynamiques

-> Qui demandent de suivre l'évolution du système dans le temps sous l'effet du pilotage

Qui se réfèrent à un état désirable

-> Qui n'est pas toujours un état stable (Wallington et al. 2005) ni un état unique



Introduction : évaluer ces propriétés

Des propriétés:

Dynamiques

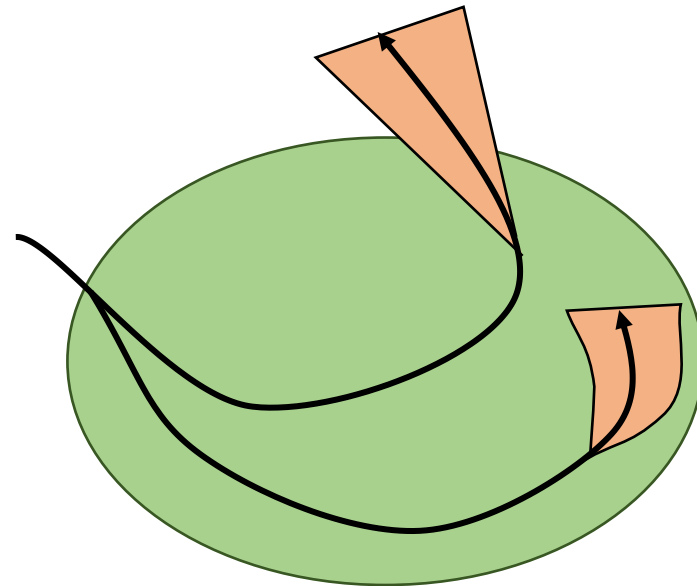
-> Qui demandent de suivre l'évolution du système dans le temps sous l'effet du pilotage

Qui se réfèrent à un état désirable

-> Qui n'est pas toujours un état stable (Wallington et al. 2005) ni un état unique

Face à une incertitude

-> Qui doit être explicite (Carpenter et al. 2001)



Introduction : évaluer ces propriétés

Des propriétés:

Dynamiques

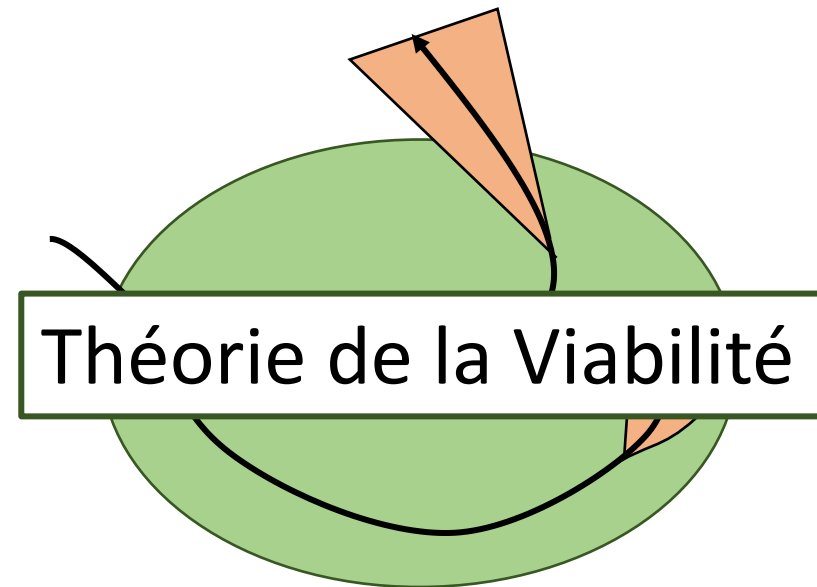
-> Qui demandent de suivre l'évolution du système dans le temps sous l'effet du pilotage

Qui se réfèrent à un état désirable

-> Qui n'est pas toujours un état stable (Wallington et al. 2005) ni un état unique

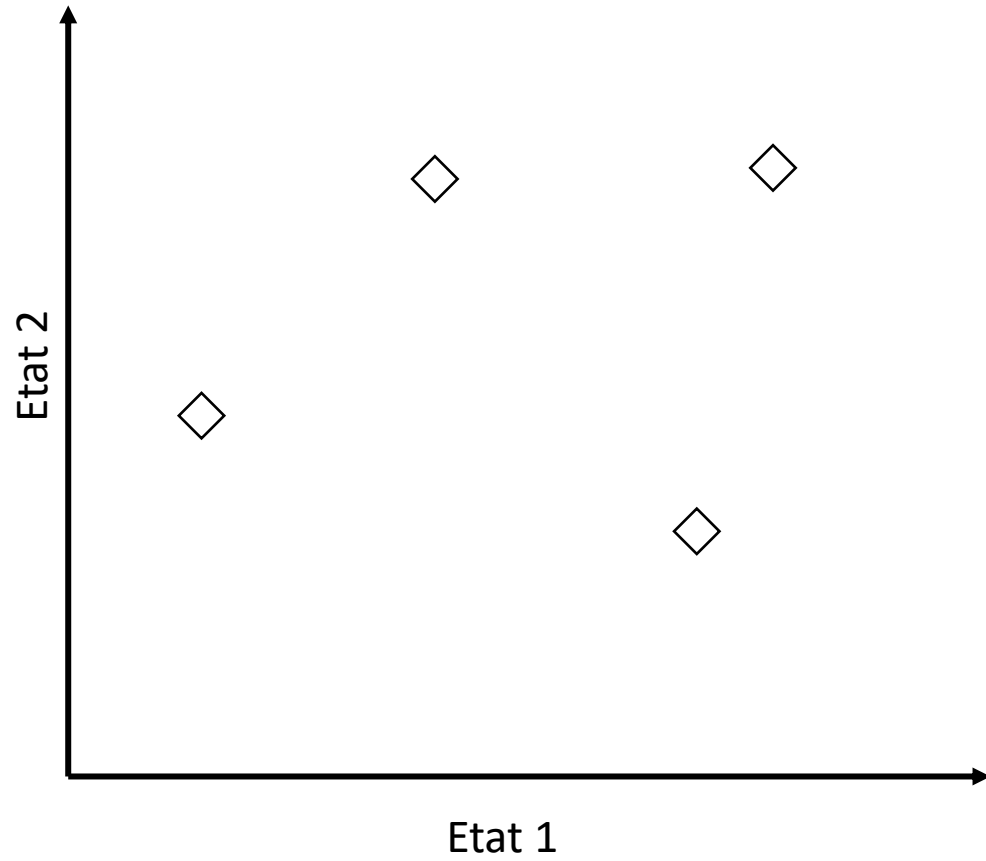
Face à une incertitude

-> Qui doit être explicite (Carpenter et al. 2001)



Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité

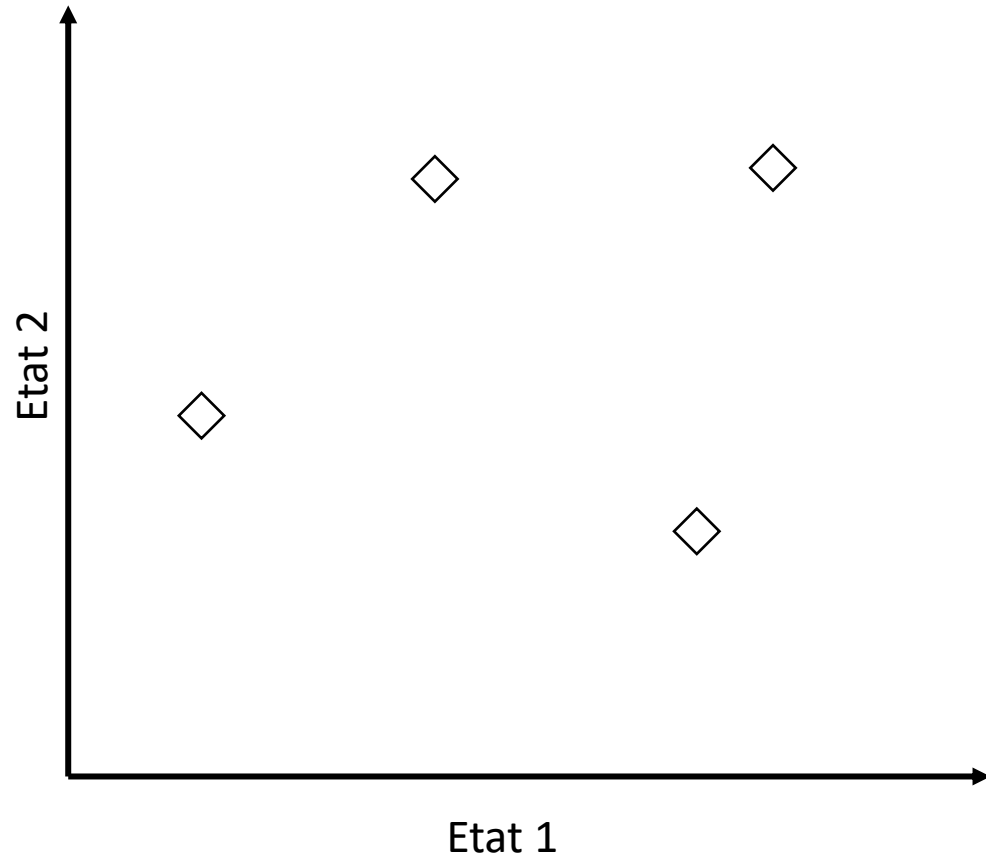
Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats (descripteurs du système):
 $X \in \mathbb{X}$

Agro-ecological
states

Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats:

$$X \in \mathbb{X}$$

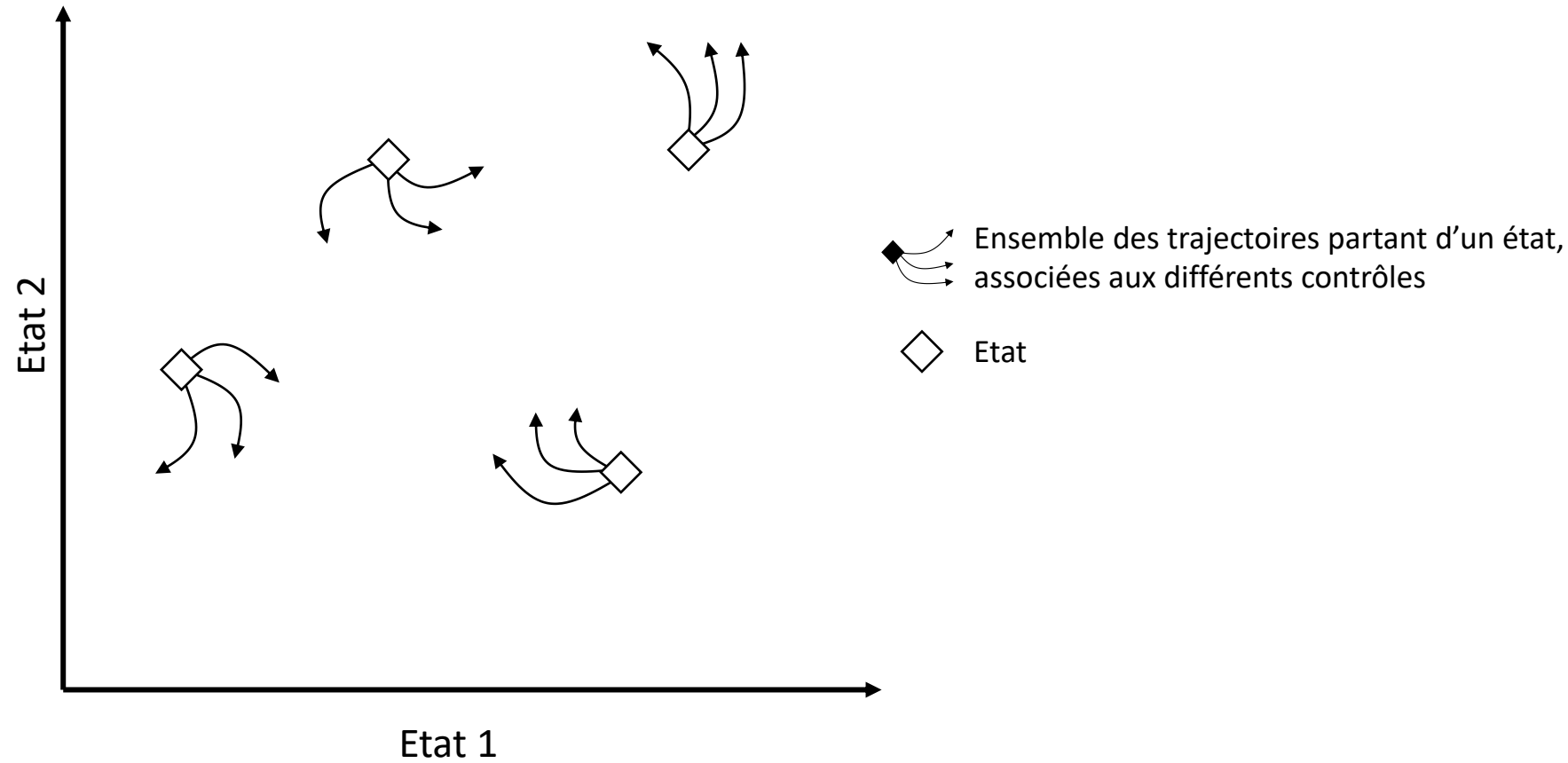
Contrôles (leviers de pilotage):

$$U \in \mathbb{U}$$

Management
controls

Agro-ecological
states

Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats:

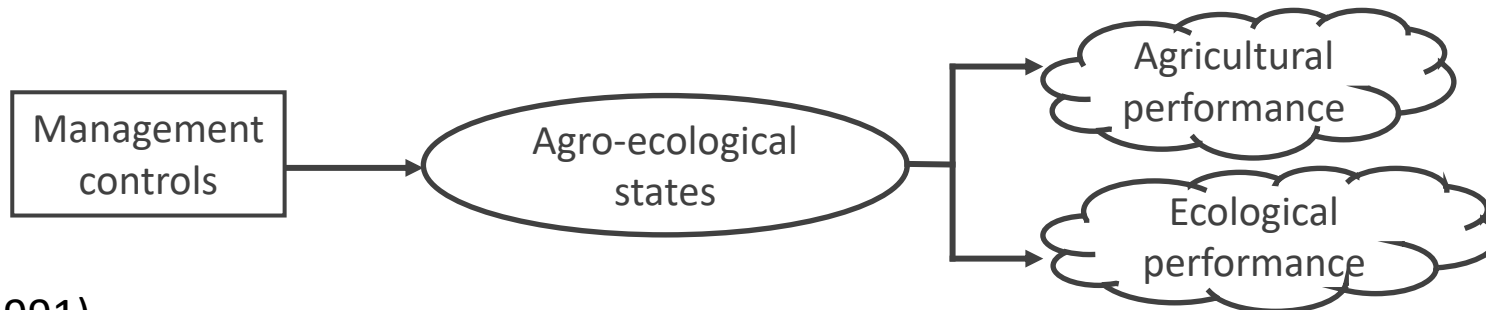
$$X \in \mathbb{X}$$

Contrôles:

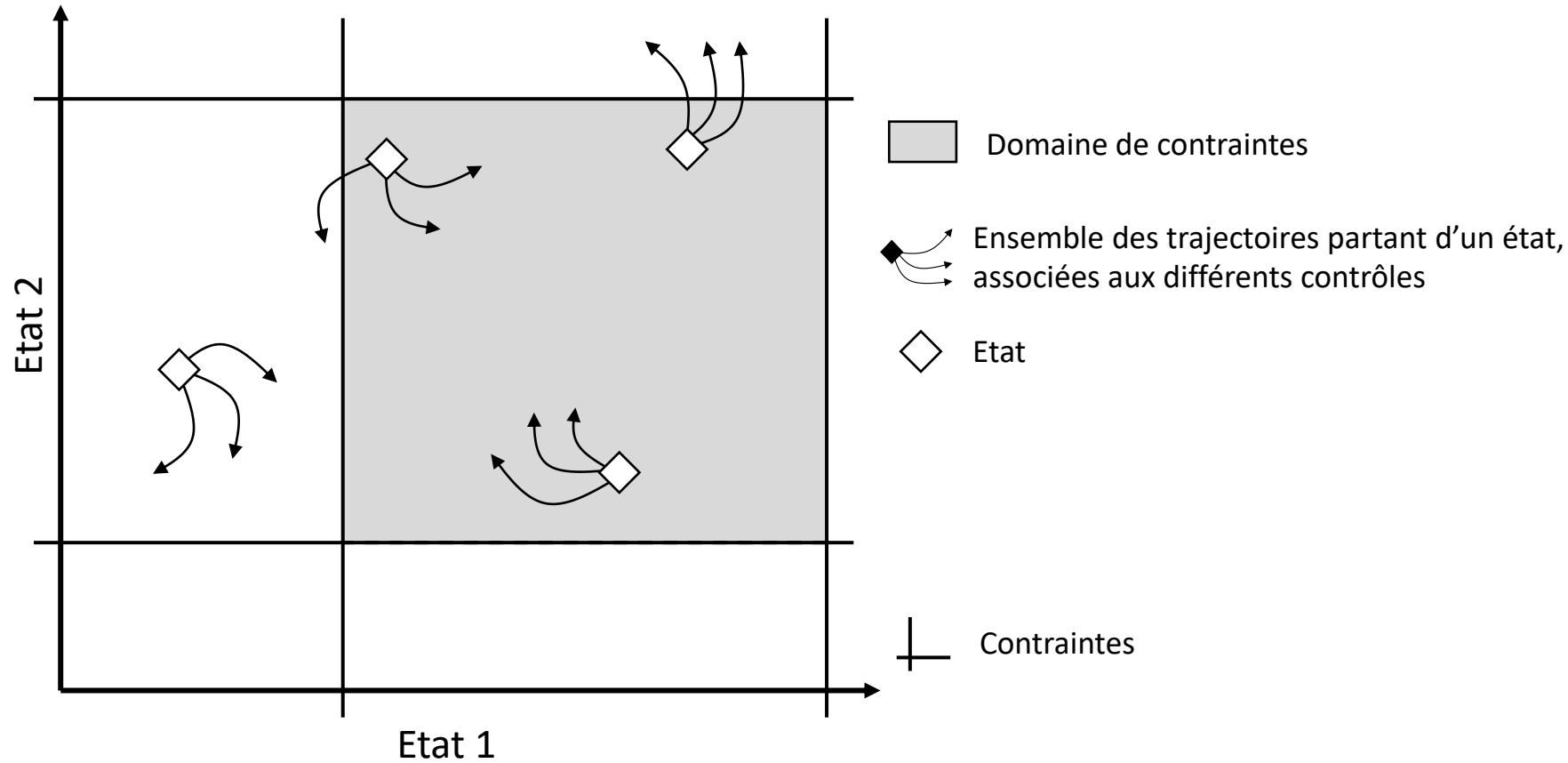
$$U \in \mathbb{U}$$

Dynamique:

$$X(t + 1) = f(X(t), U(t))$$



Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats:

$$X \in \mathbb{X}$$

Contrôles:

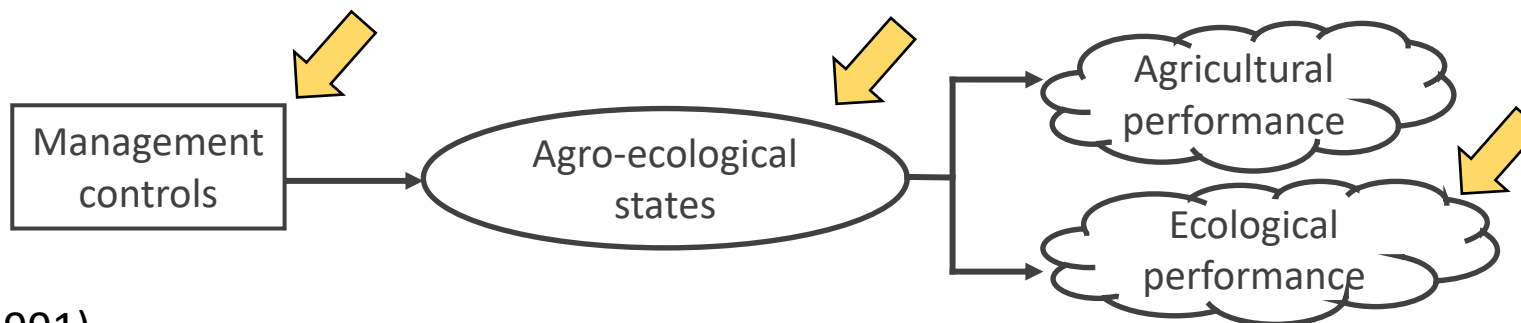
$$U \in \mathbb{U}$$

Dynamique:

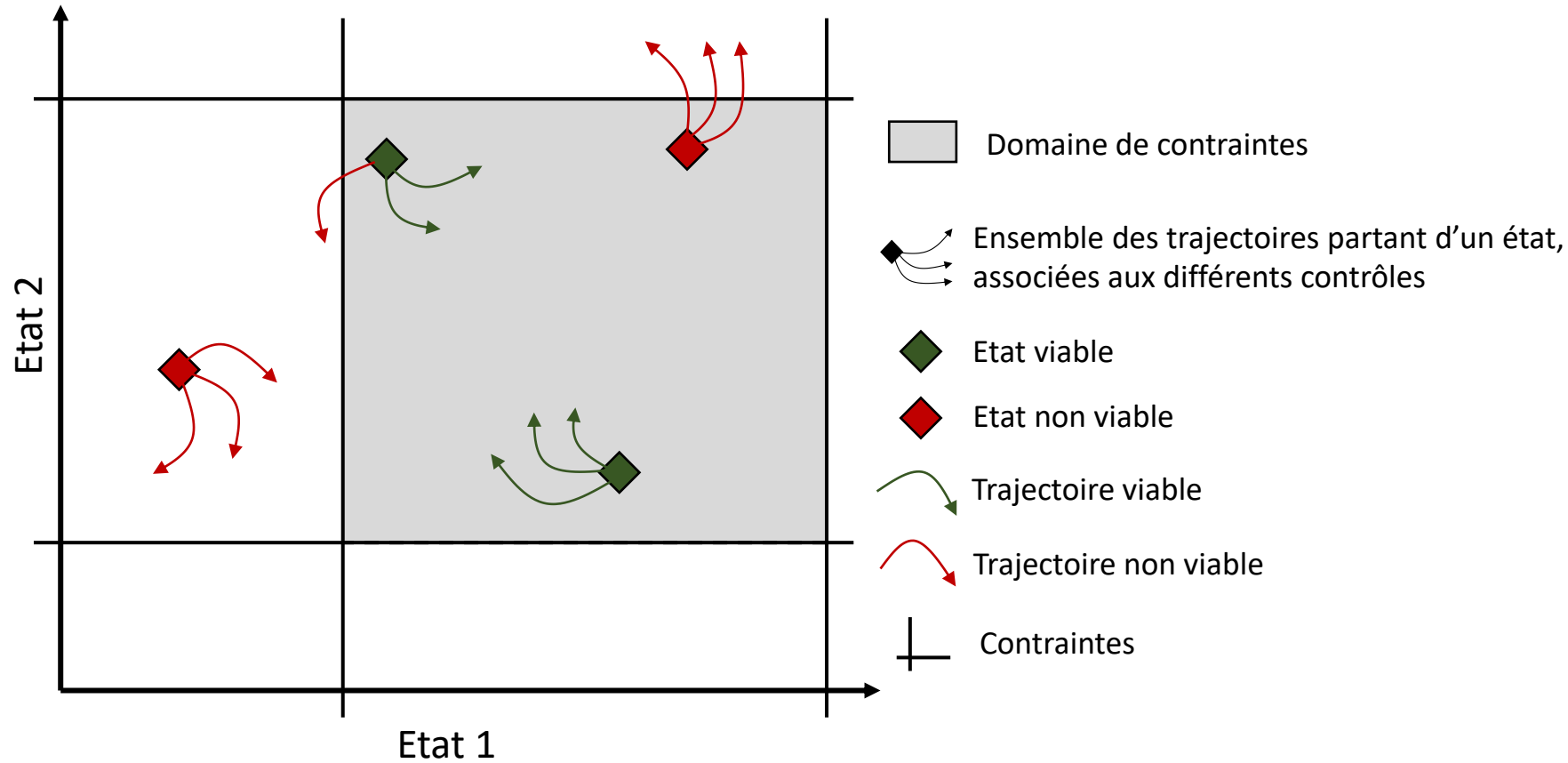
$$X(t+1) = f(X(t), U(t))$$

Contraintes:

$$K \subset \mathbb{X} \times \mathbb{U}$$



Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats:

$$X \in \mathbb{X}$$

Contrôles:

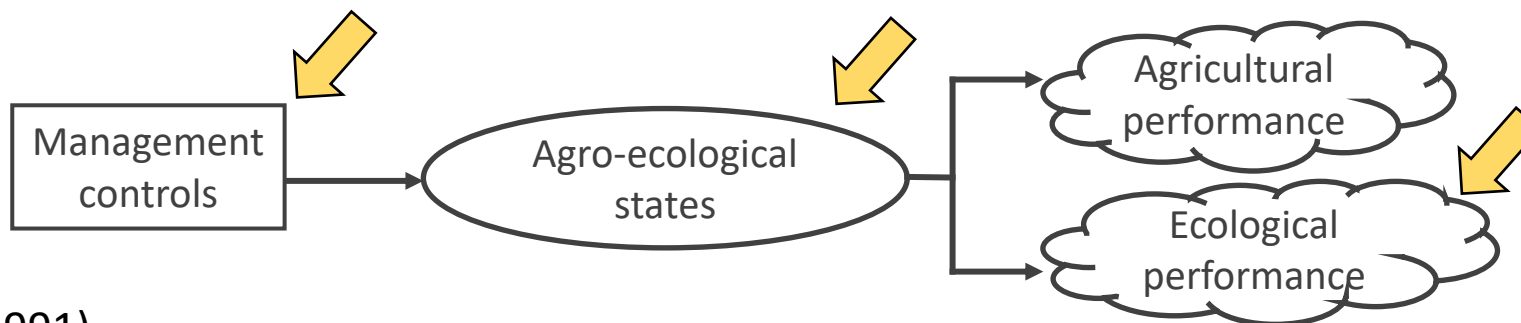
$$U \in \mathbb{U}$$

Dynamique:

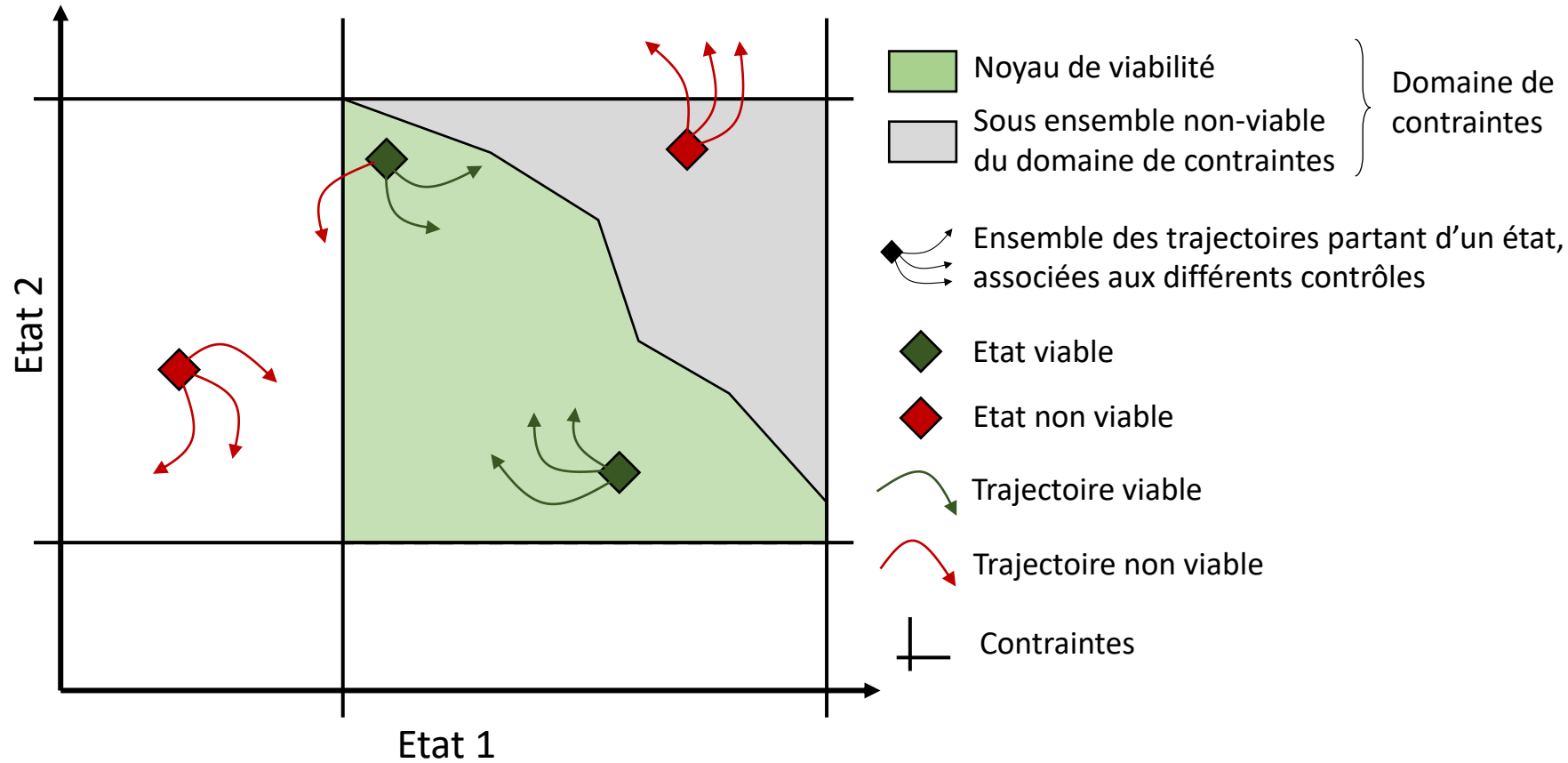
$$X(t+1) = f(X(t), U(t))$$

Contraintes:

$$K \subset \mathbb{X} \times \mathbb{U}$$



Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats:

$$X \in \mathbb{X}$$

Contrôles:

$$U \in \mathbb{U}$$

Dynamique:

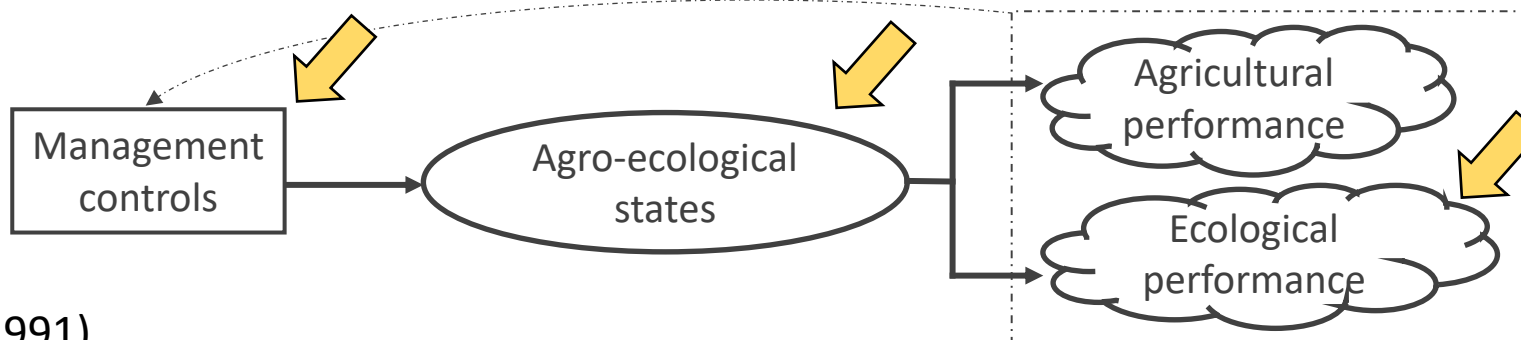
$$X(t+1) = f(X(t), U(t))$$

Contraintes:

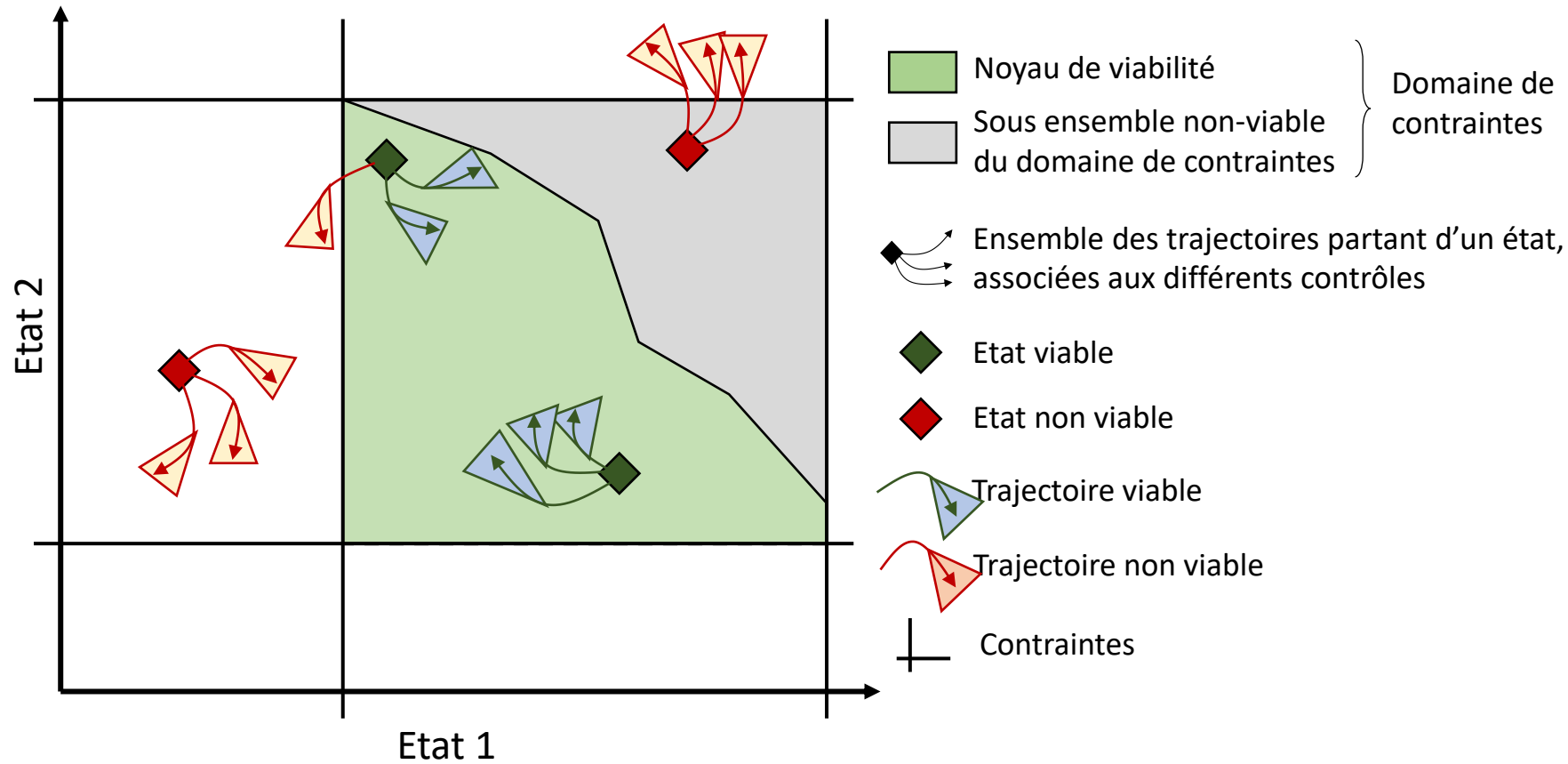
$$K \subset \mathbb{X} \times \mathbb{U}$$

Noyau de viabilité:

$$ViabR(t) = \{X(t); \exists U(t); [X(t), U(t)] \in K \text{ et } X(t+1) \in Viab(t+1)\}$$



Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



Etats:

$$X \in \mathbb{X}$$

Contrôles:

$$U \in \mathbb{U}$$

Incertitude:

$$\omega \in \Omega$$

Dynamique:

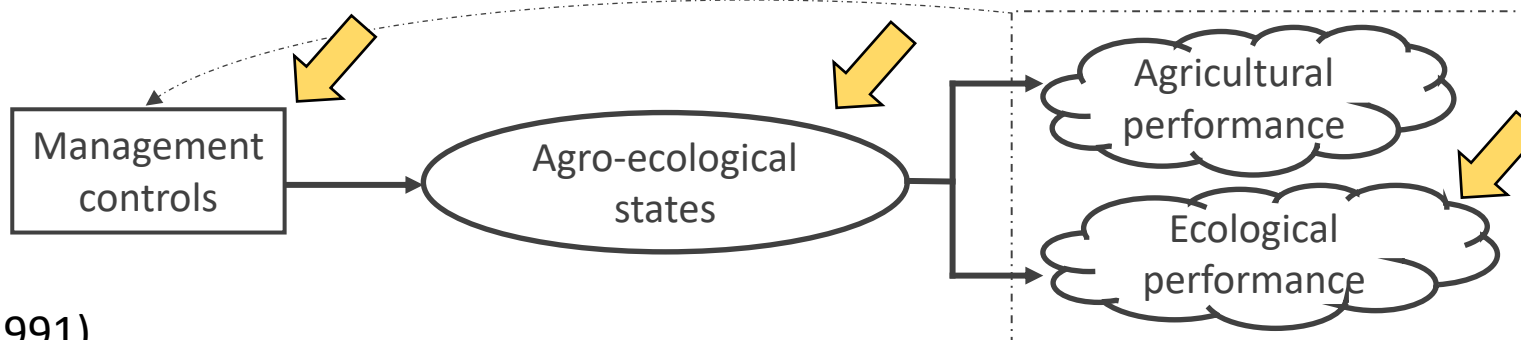
$$X(t+1) = f(X(t), U(t), \omega(t))$$

Contraintes:

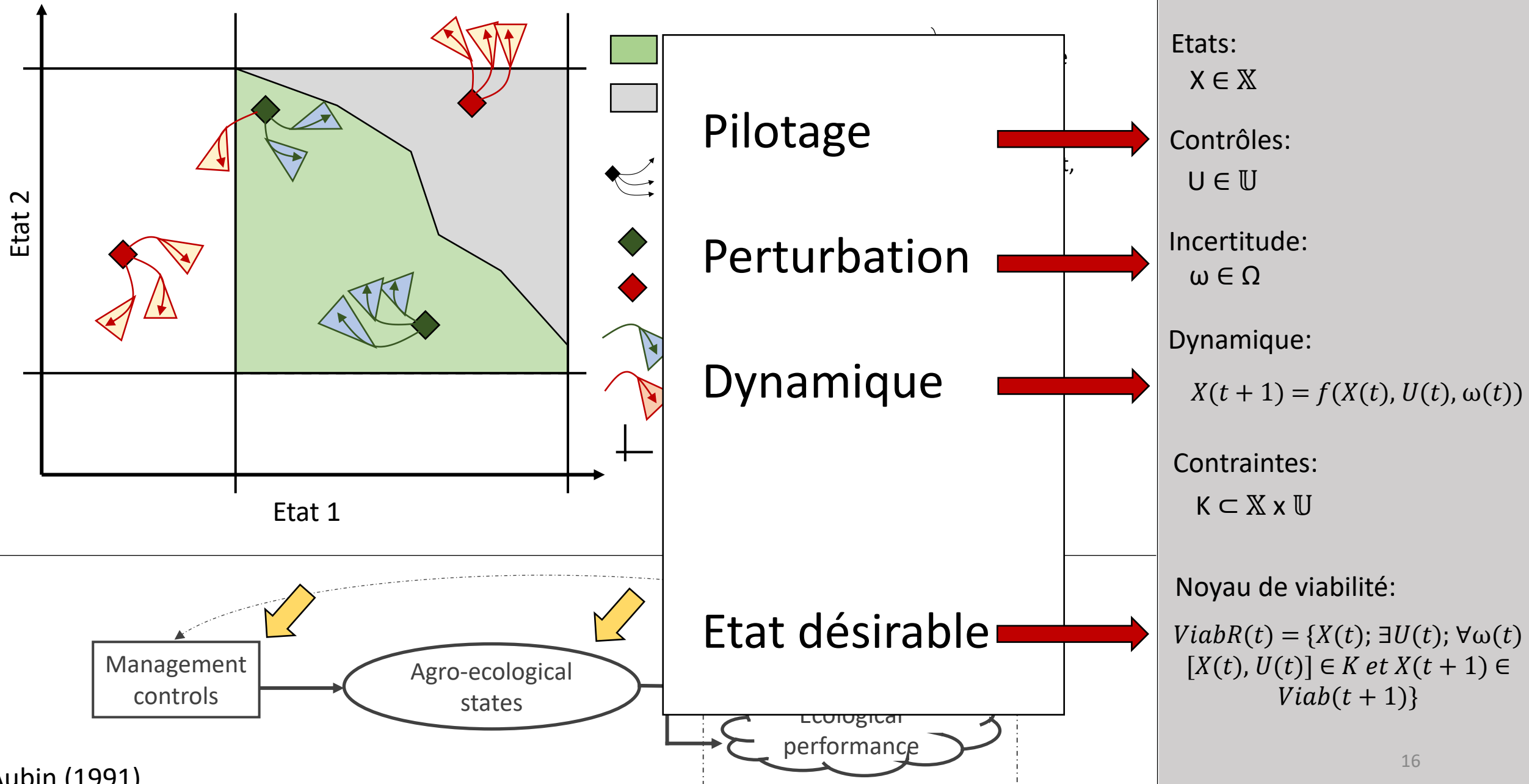
$$K \subset \mathbb{X} \times \mathbb{U}$$

Noyau de viabilité:

$$ViabR(t) = \{X(t); \exists U(t); \forall \omega(t) [X(t), U(t)] \in K \text{ et } X(t+1) \in ViabR(t+1)\}$$

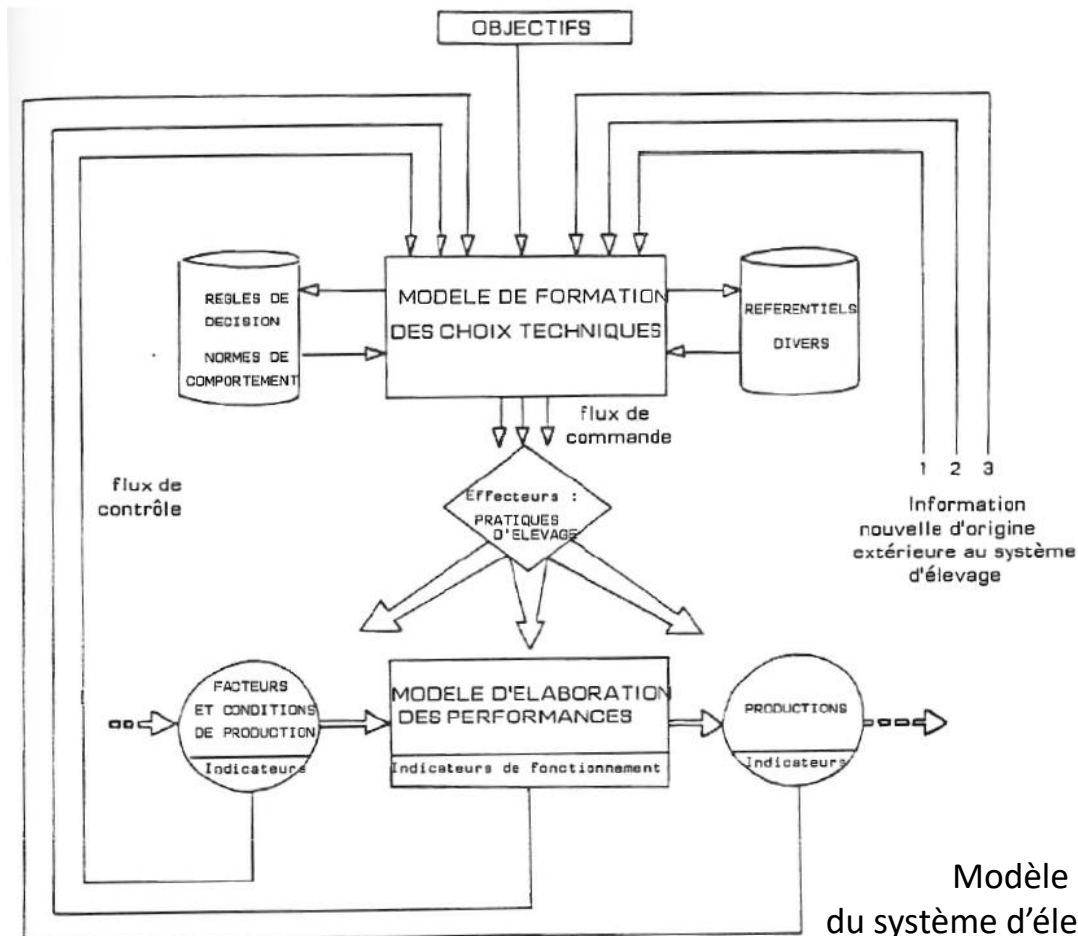


Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité



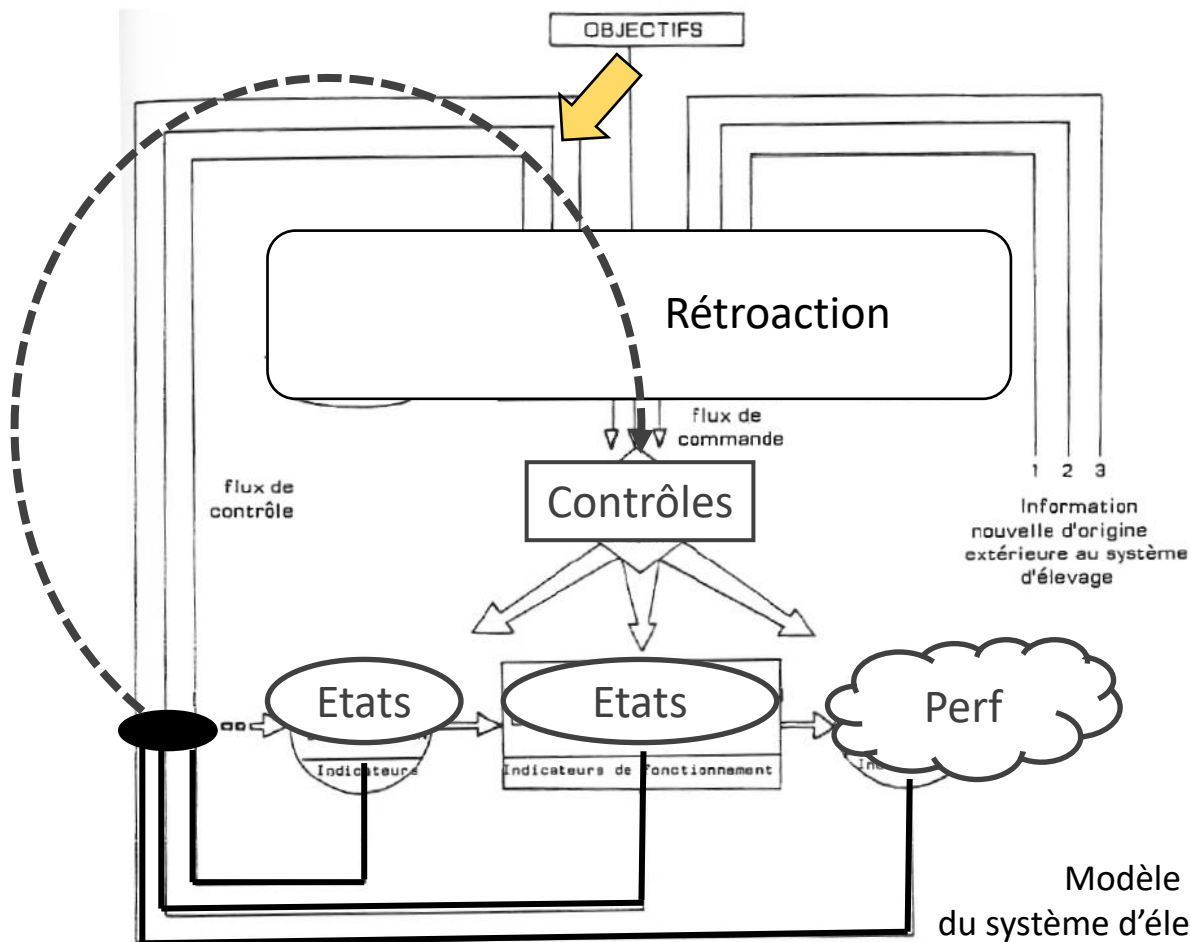
Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité

La viabilité, une méthode cohérente avec les cadres de l'agronomie système



Introduction: concepts et objets centraux de la Théorie de la Viabilité

La viabilité, une méthode cohérente avec les cadres de l'agronomie système



Similitude de décomposition

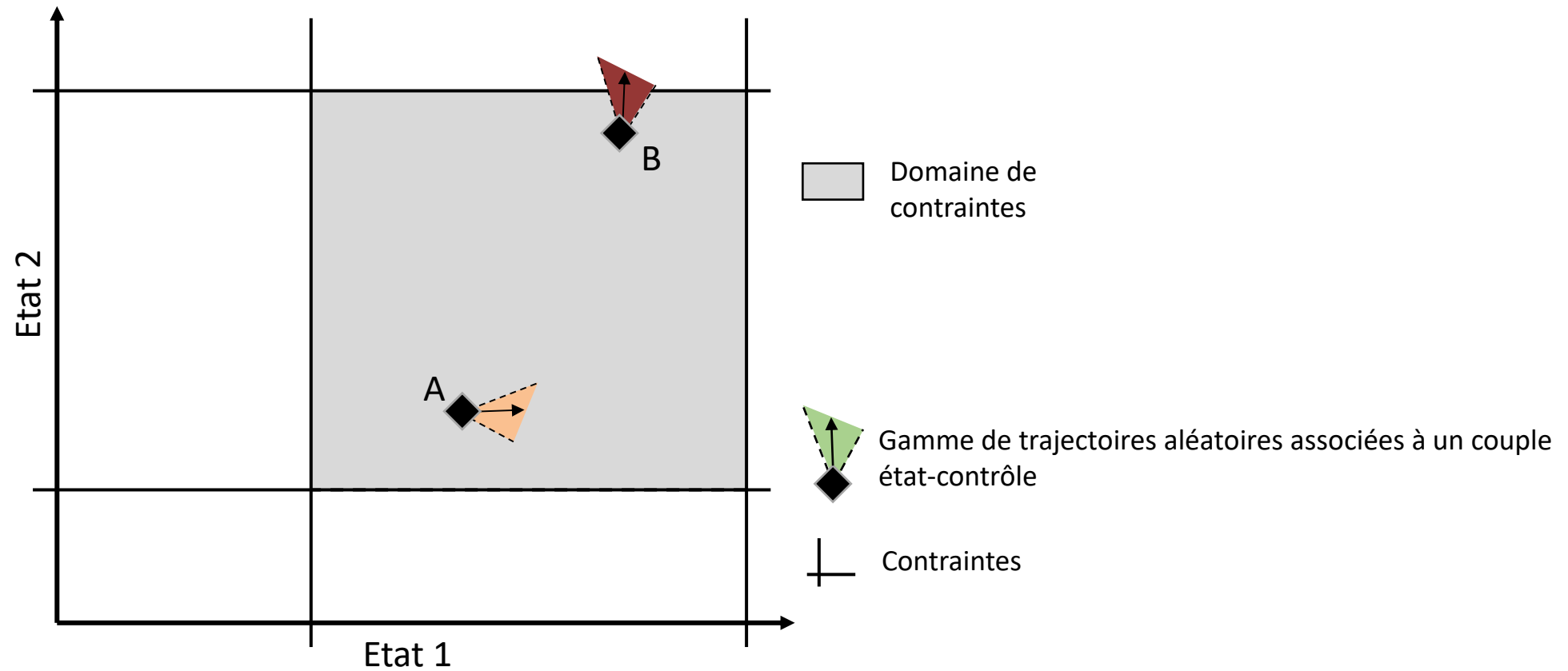
Modèle de fonctionnement
du système d'élevage Landais (1987)

Evaluation viabiliste des trois propriétés

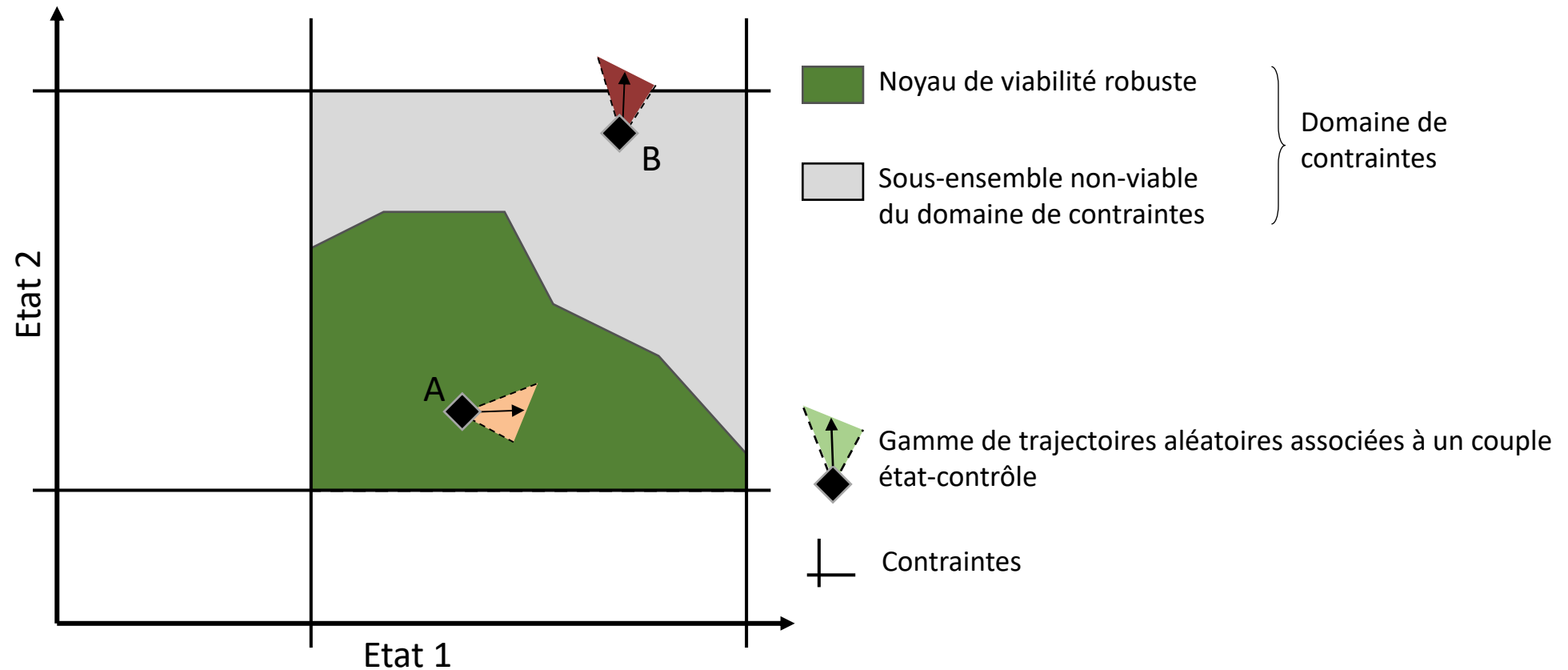
Robustesse

Capacité d'un système à maintenir sa structure et ses fonctions face à une perturbation

Evaluation viabiliste des trois propriétés: robustesse

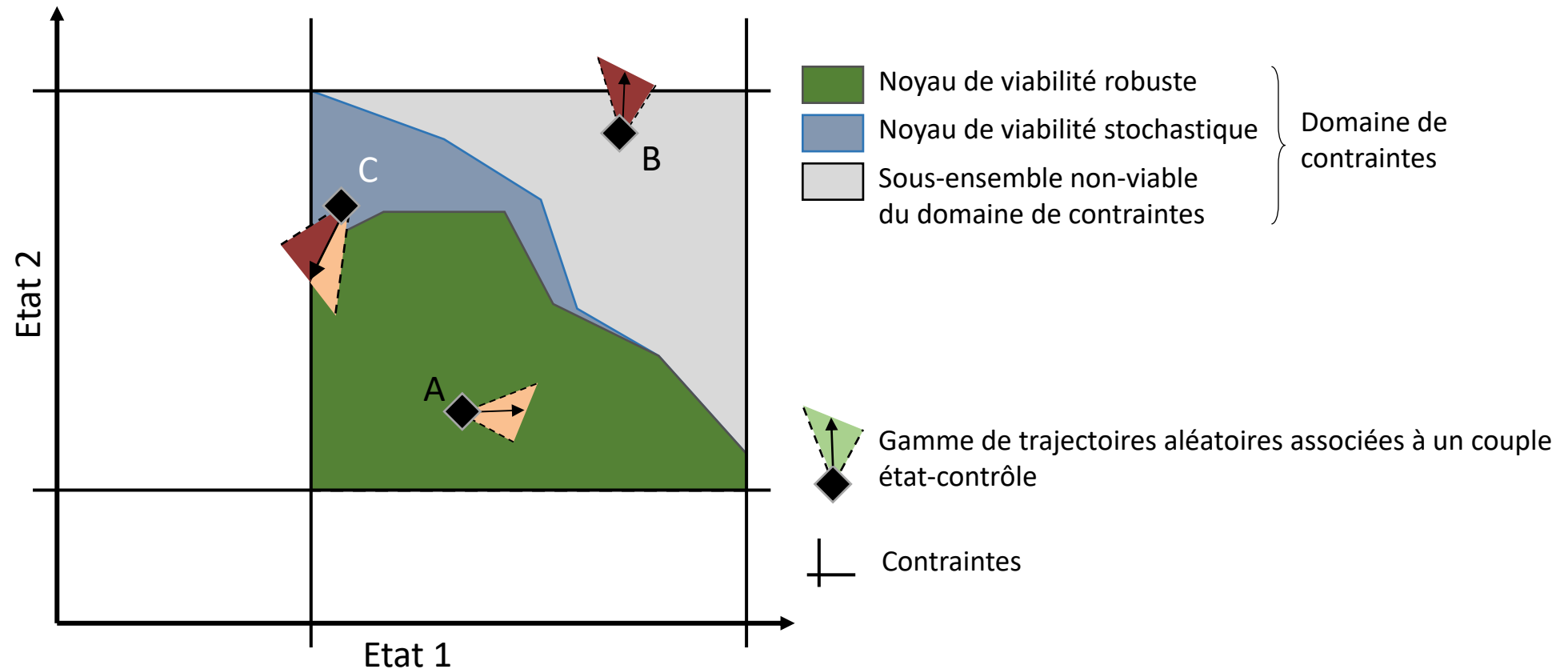


Evaluation viabiliste des trois propriétés: robustesse



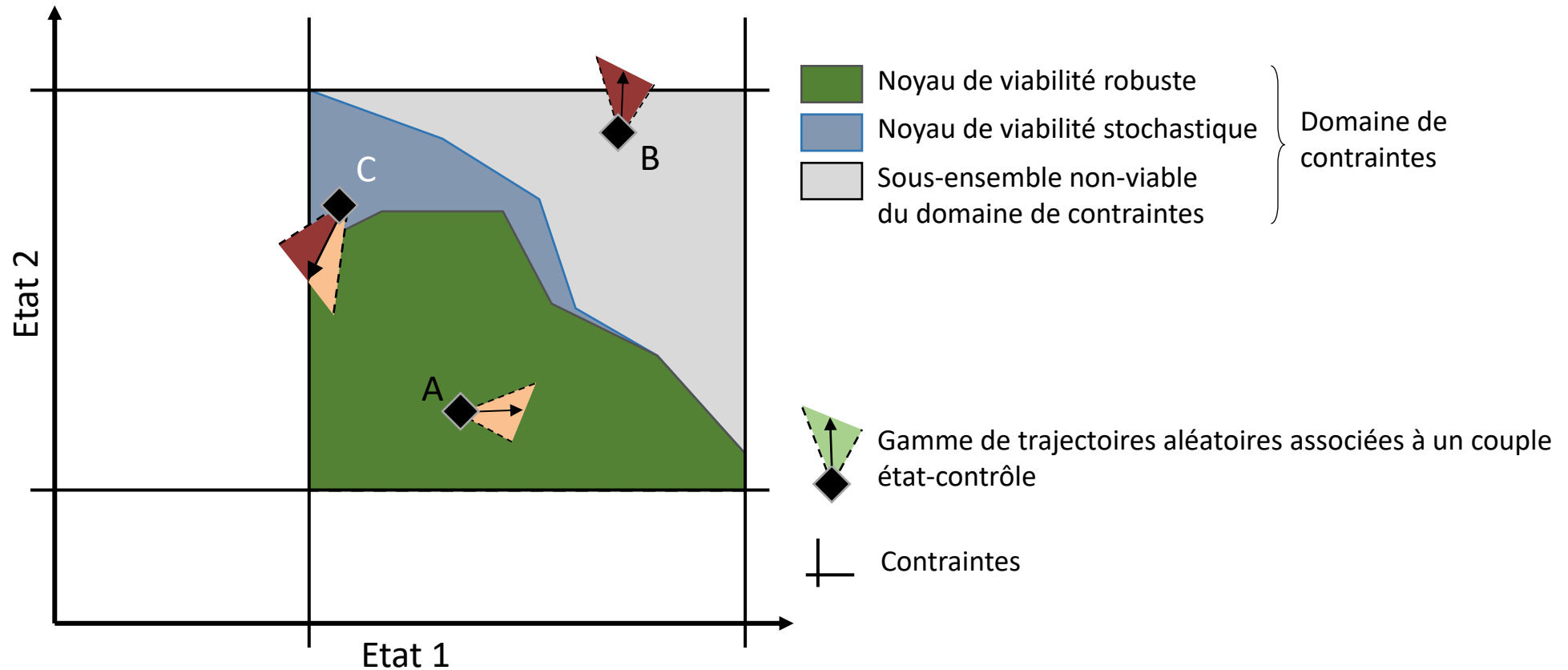
- $ViabR(t) = \{X(t); \exists U(t); \forall \omega(t) [X(t), U(t)] \in K \text{ et } X(t+1) \in ViabR(t+1)\}$

Evaluation viabiliste des trois propriétés: robustesse



- $ViabR(t) = \{X(t); \exists U(t); \forall \omega(t) [X(t), U(t)] \in K \text{ et } X(t+1) \in ViabR(t+1)\}$
- $ViabS(t) = \{X(t); \exists U(t); \forall \omega(t) [X(t), U(t)] \in K \text{ et } X(t+1) \in ViabS(t+1)\}$

Evaluation viabiliste des trois propriétés: robustesse



Métrique de Robustesse:

$$R_{X_0 U}([X(0), U(.)]) = \frac{1}{\text{Card}(\Omega(.))} \sum_{\omega(.) \in \Omega(.)} V_{traj}(X(0), U(.), \omega(.))$$

with

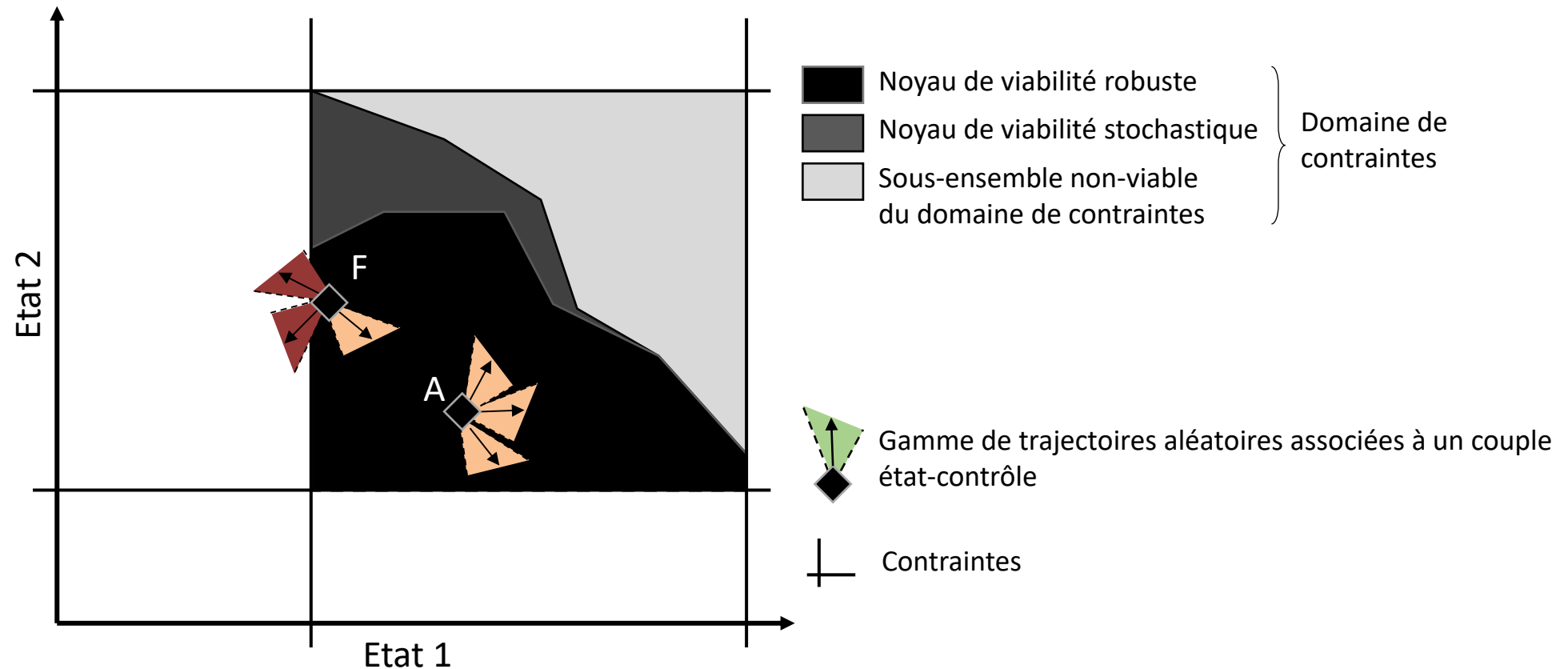
$$V_{XU\omega}(X(t), U(t), \omega(t)) = \mathbb{1}_{\{[X(t), U(t)] \in K(t) \text{ and } f(X(t), U(t), \omega(t)) \in \text{ViabS}(t+1)\}}$$

$$V_{traj}([X(0), U(.), \omega(.)]) = \prod_{t \in [0, T]} V_{XU\omega}(X(t), U(t), \omega(t))$$

Adaptabilité

Capacité d'un système à modifier sa structure pour
maintenir ses fonctions face à une perturbation

Evaluation viabiliste des trois propriétés: adaptabilité



Métrique d'adaptabilité:

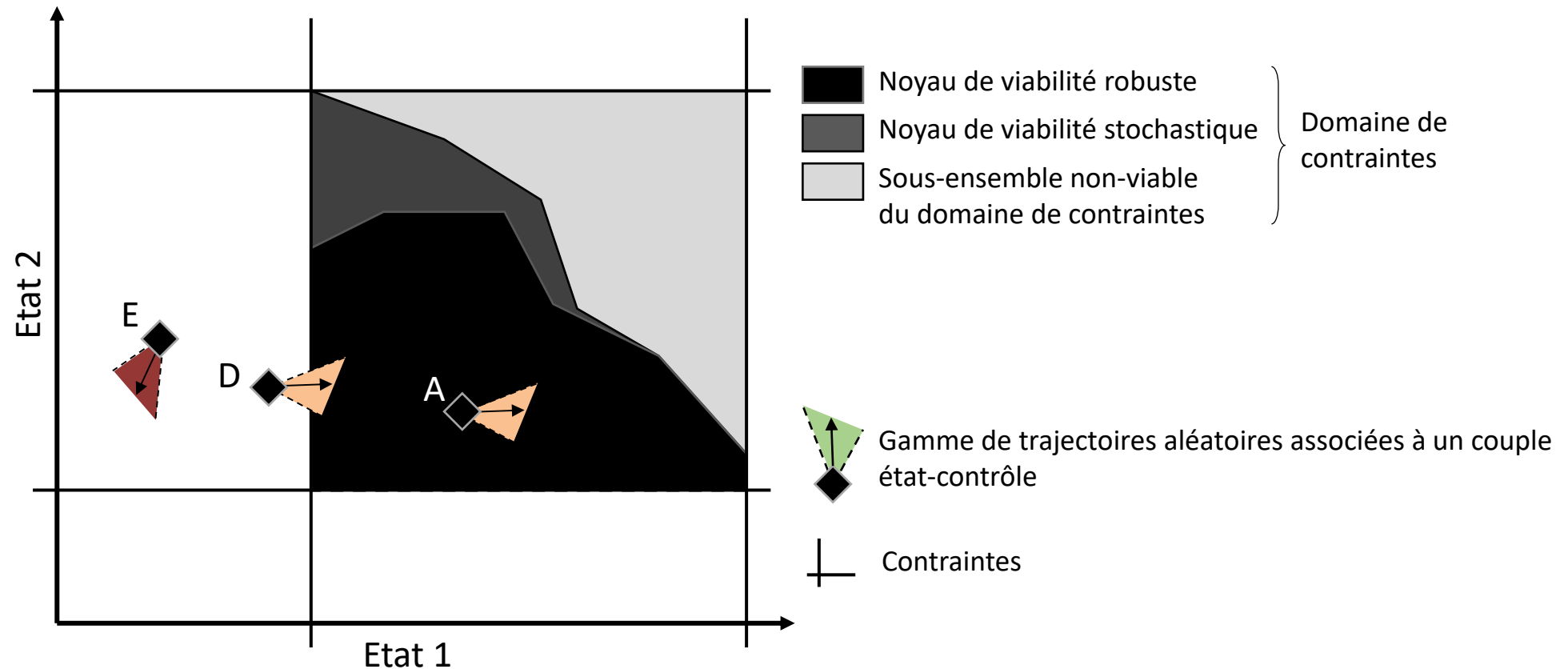
$$F_X(X(t)) = \frac{\text{card}\{U(t); \forall \omega(t) \in \Omega \ V_{XU\omega}(X(t), U(t), \omega(t)) = 1\}}{\text{Card}(\mathbb{U})}$$

Résilience

Capacité d'un système à se réorganiser après une perturbation pour recouvrer une structure et des fonctions satisfaisantes

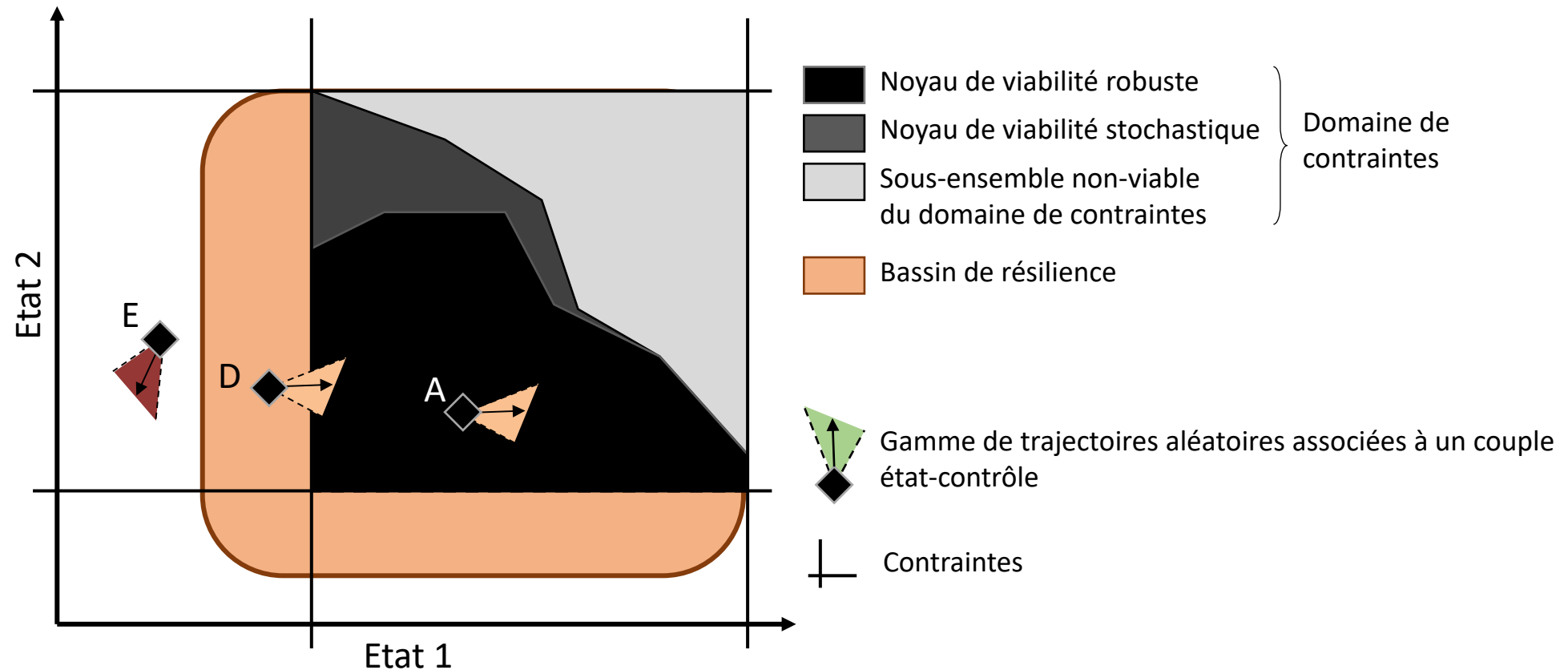
Martin (2004)
Martin et al. (2011)
Rougé et al. (2013)
Sabatier et al. (2017)

Evaluation viabiliste des trois propriétés: engineering resilience



- $$Capt_{\tau}(Viab_R(t+\tau)) = \{X(t) | \forall \omega(.) \exists U(.) | X(t+\tau, U(.)) \in Viab_R(t+\tau)\}$$

Evaluation viabiliste des trois propriétés: engineering resilience



Métrique de résilience:

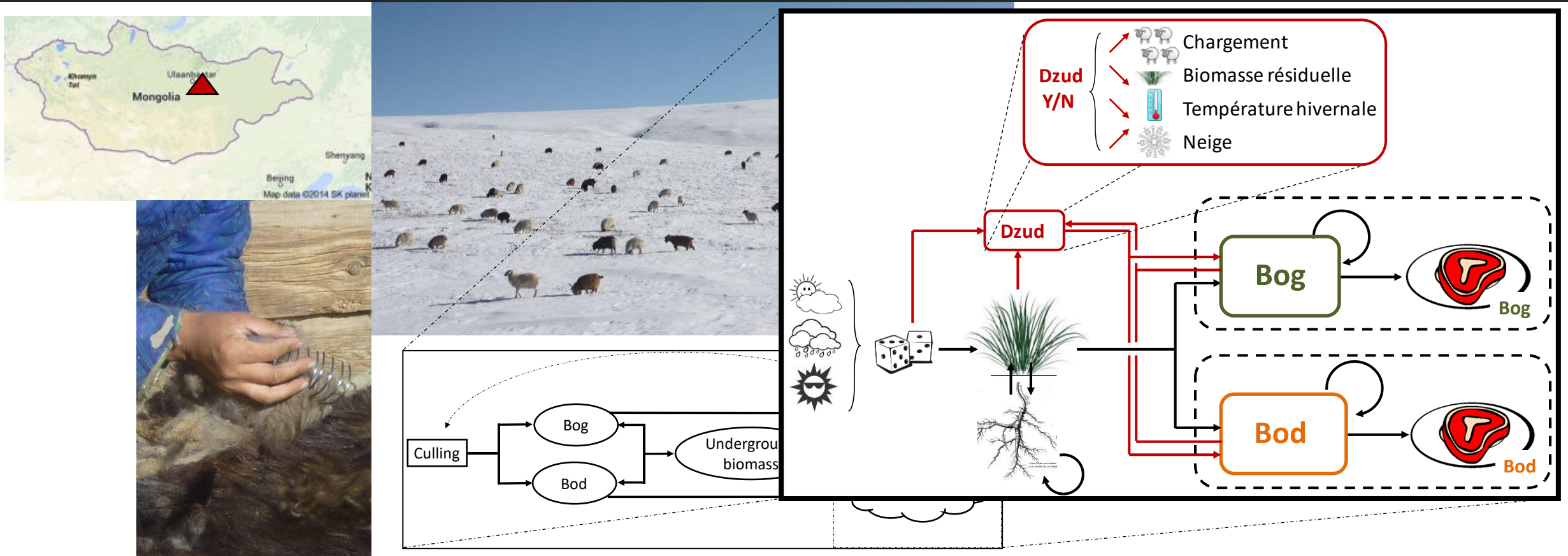
$$R_{EG}(X(t)) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \min(\tau | X(t) \in \text{Capt}_\tau(\text{Viab}_R(t + \tau)))} & \text{if } \exists \tau \in [0, T] | X(t) \in \text{Capt}_\tau(\text{Viab}_R(t + \tau)) \\ 0 & \text{if } \nexists \tau \in [0, T] | X(t) \in \text{Capt}_\tau(\text{Viab}_R(t + \tau)) \end{cases}$$

- $\text{Capt}_\tau(\text{Viab}_R(t + \tau)) = \{X(t) | \forall \omega(.) \exists U(.) | X(t + \tau, U(.)) \in \text{Viab}_R(t + \tau)\}$

Evaluation viabiliste des trois propriétés: un exemple



Evaluation viabiliste des trois propriétés: un exemple



$$\text{Dzud} \begin{cases} \text{If } \frac{(q_{bog} n_{bog}(t) + q_{bod} n_{bod}(t))}{UB(t)\psi\beta r_s(t, \omega(t)) + \varphi} r_w(t, \omega) (T_w^* - T_w(t, \omega(t))) \theta \geq 1; \mathbb{I}_{\{\text{Dzud}((UB(t), n_{bog}(t), n_{bod}(t), t, \omega(t)))\}} = 1 \\ \text{If } \frac{(q_{bog} n_{bog}(t) + q_{bod} n_{bod}(t))}{UB(t)\psi\beta r_s(t, \omega(t)) + \varphi} r_w(t, \omega) (T_w^* - T_w(t, \omega(t))) \theta < 1; \mathbb{I}_{\{\text{Dzud}((UB(t), n_{bog}(t), n_{bod}(t), t, \omega(t)))\}} = 0 \end{cases}$$

Evaluation viabiliste des trois propriétés: un exemple

$$\begin{aligned}u_{bod}(t) &\geq u_{bod}^* \\u_{bog}(t) &\geq u_{bog}^* \\v_{bod} n_{bod}(t) + v_{bog} n_{bog}(t) &\geq \chi\end{aligned}$$

$$u_{bod}(t) \geq u_{bod}^{**}$$

Contraintes alimentaires



Contrainte culturelle



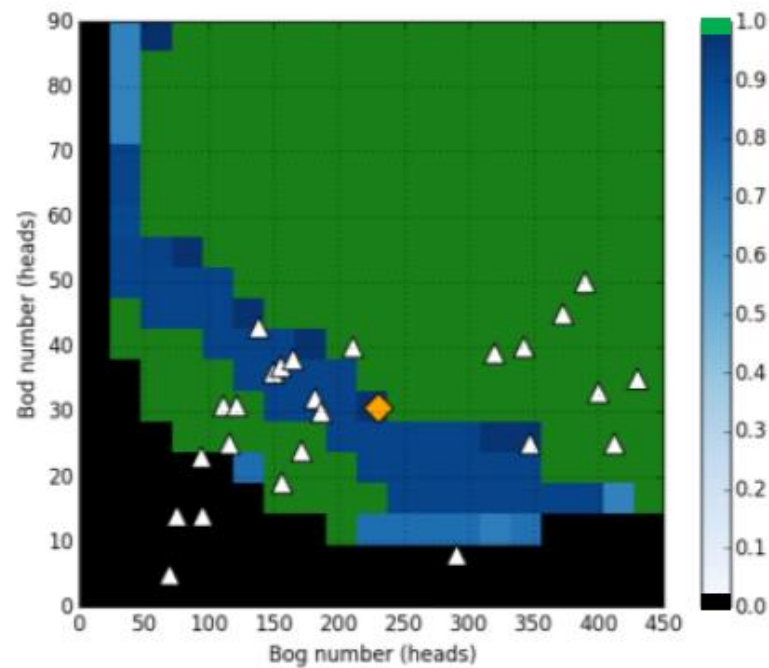
Contrainte économique



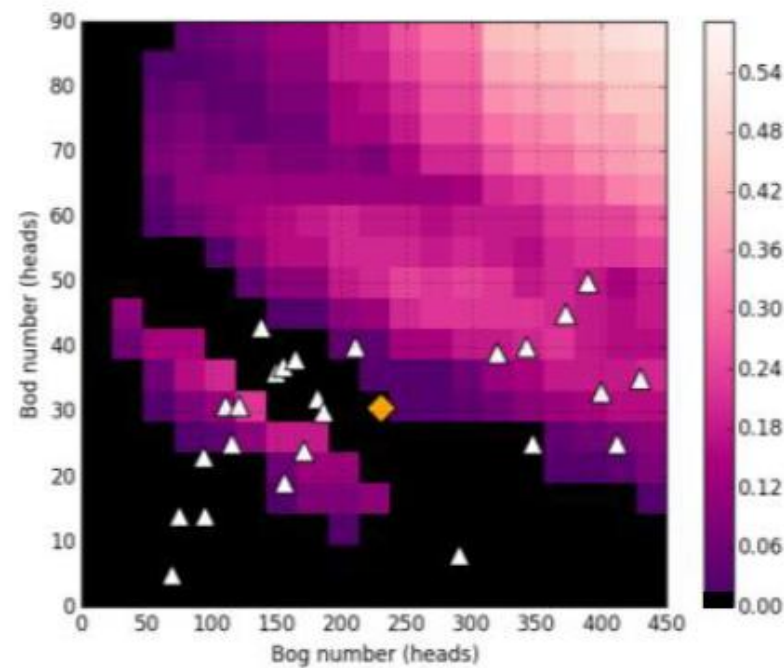
Evaluation viabiliste des trois propriétés: un exemple

Evaluation des trois propriétés

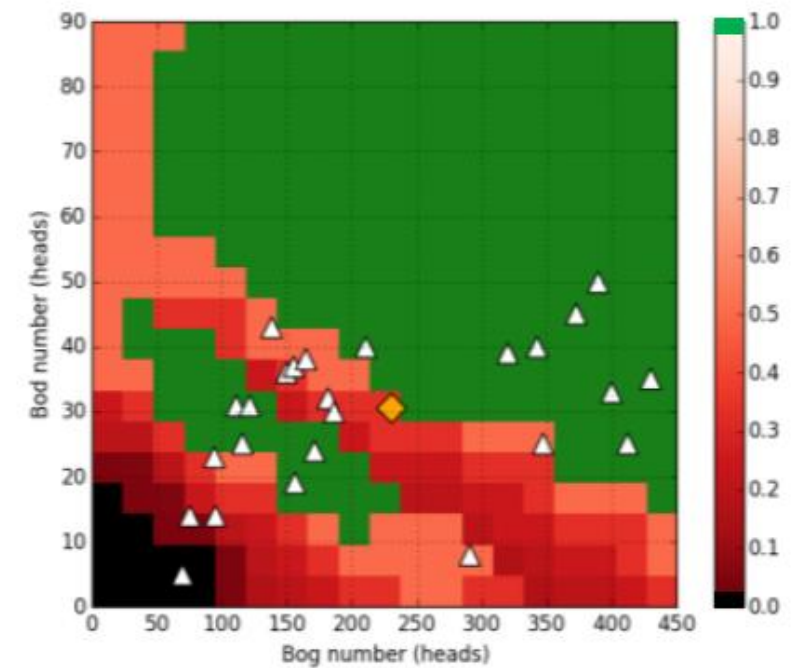
a. Robustesse



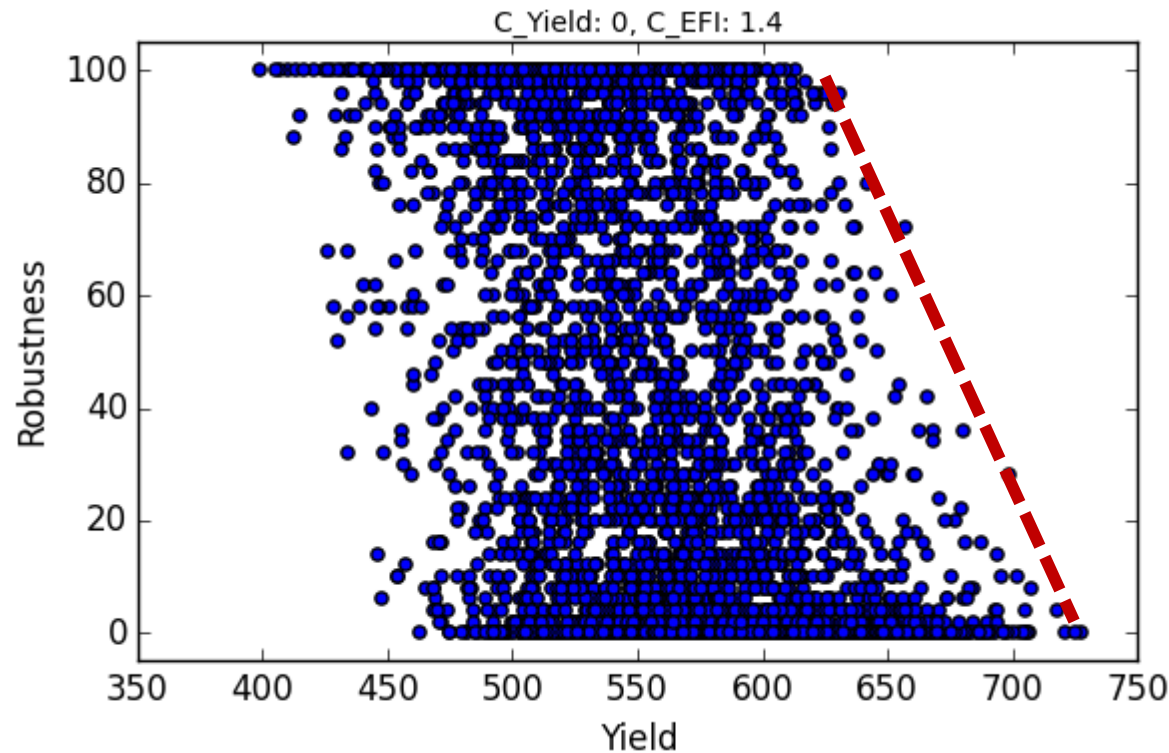
b. Adaptabilité



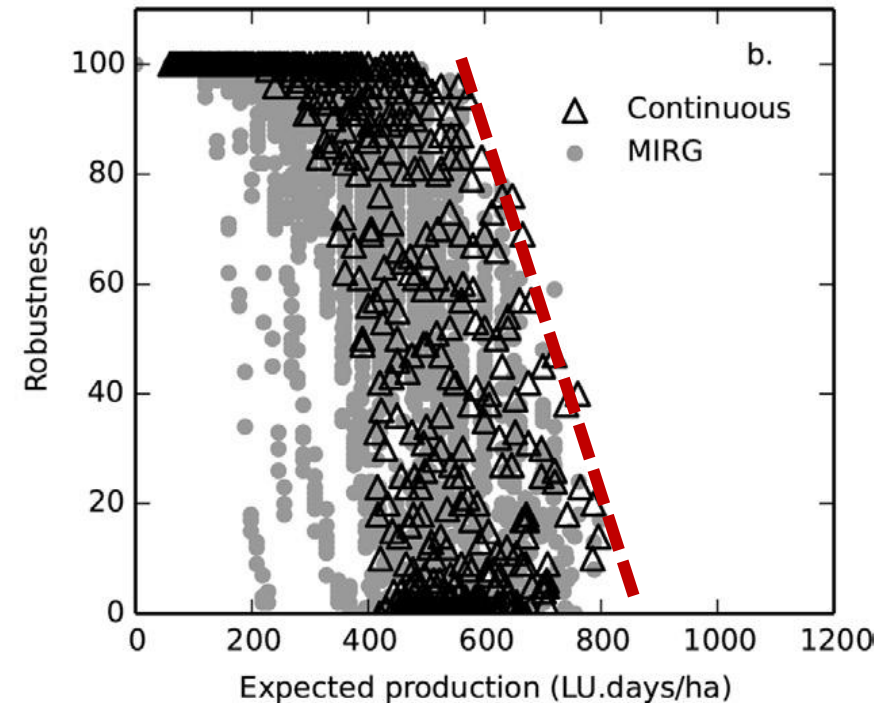
c. Résilience



Arbitrages avec la production visée en conditions déterministes
-> importance de la sous-optimalité (Hamand, 2022)

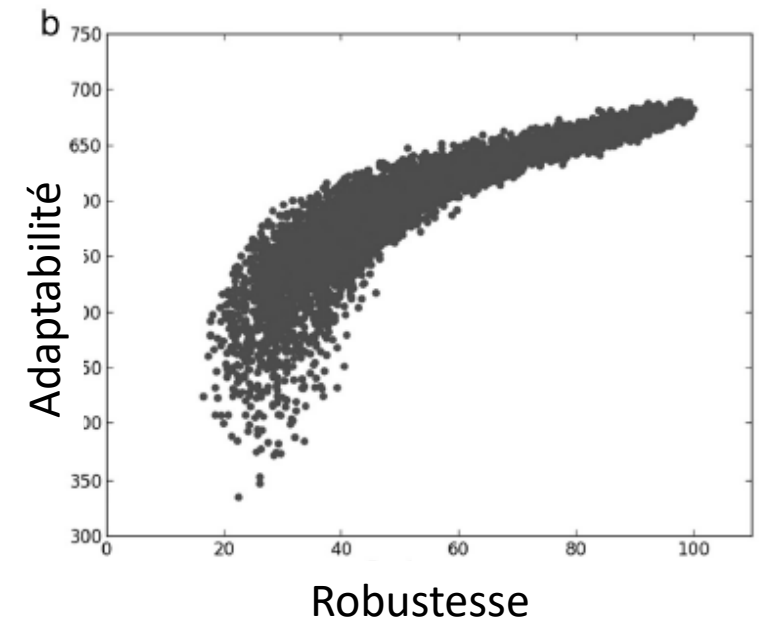
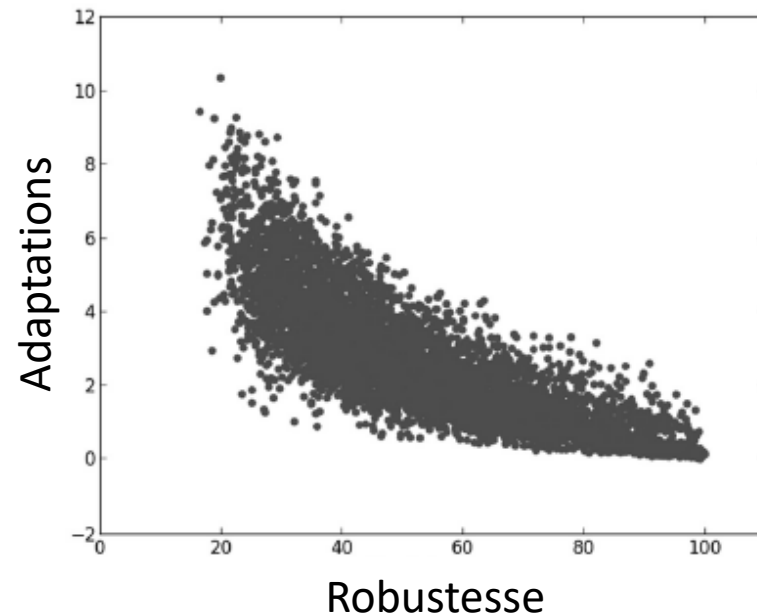
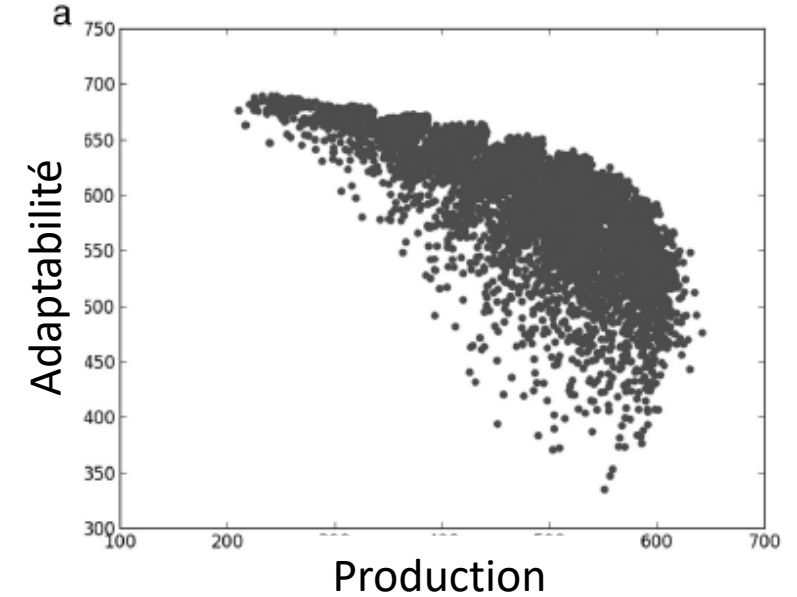


Cacao, Sulawesi (Sabatier et Mouysset 2018)



Pâturage, Wi USA (Sabatier et al. 2014)

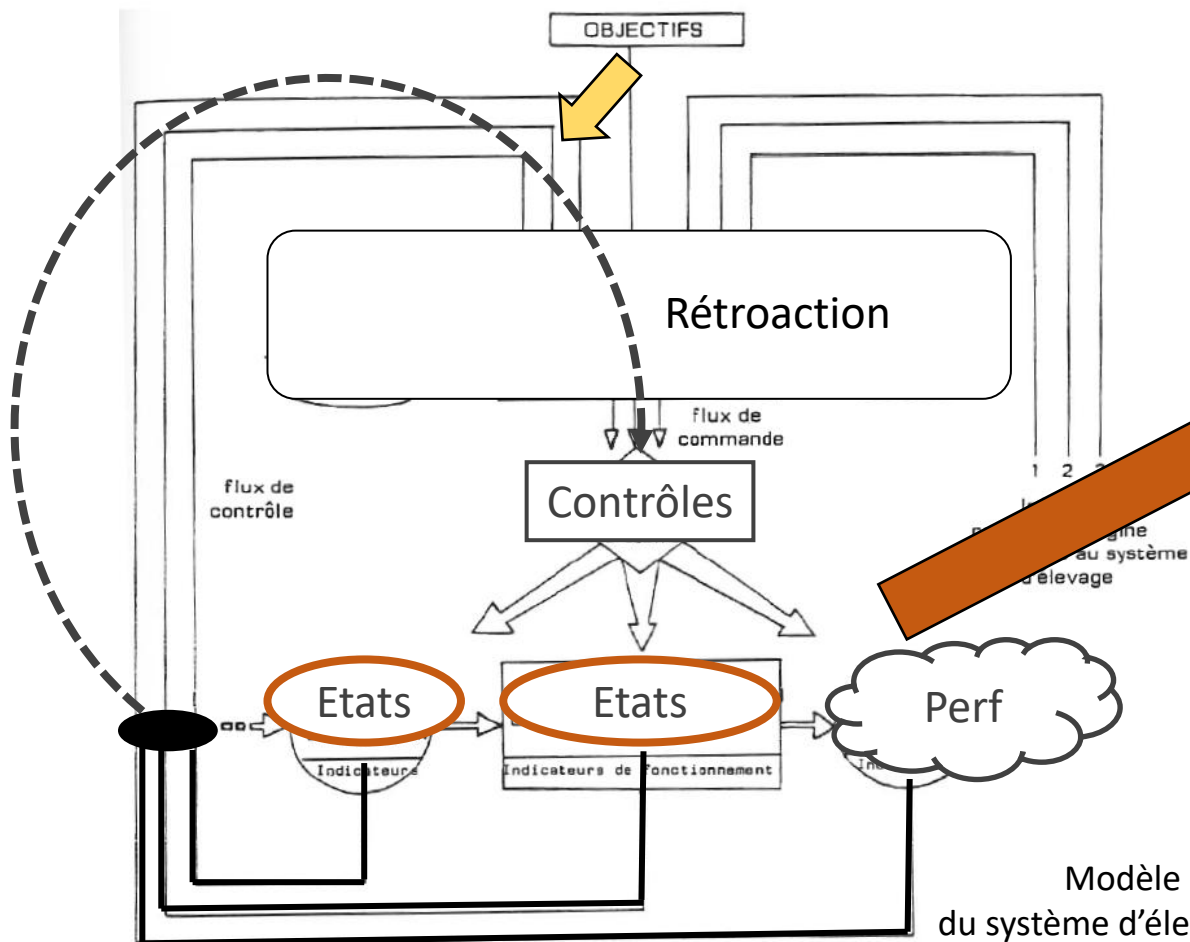
Arbitrages et synergies entre propriétés



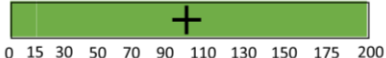
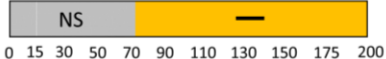
Résultats transversaux

La viabilité, une méthode:

- Cohérente avec les cadres de l'agronomie système et avec les stratégies des agriculteurs



Caractériser des paramètres de structure

Herd structure indicator	Impact on robustness according to capital constraint $C^* \in [15, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 175, 200]$
Herd size	
Herd mix (majority species = max ⅓ of the herd)	
Proportion of adults in the cattle herd	
Proportion of adults in the sheep herd	

Compositions de troupeaux robustes (Puech et al. 2025)

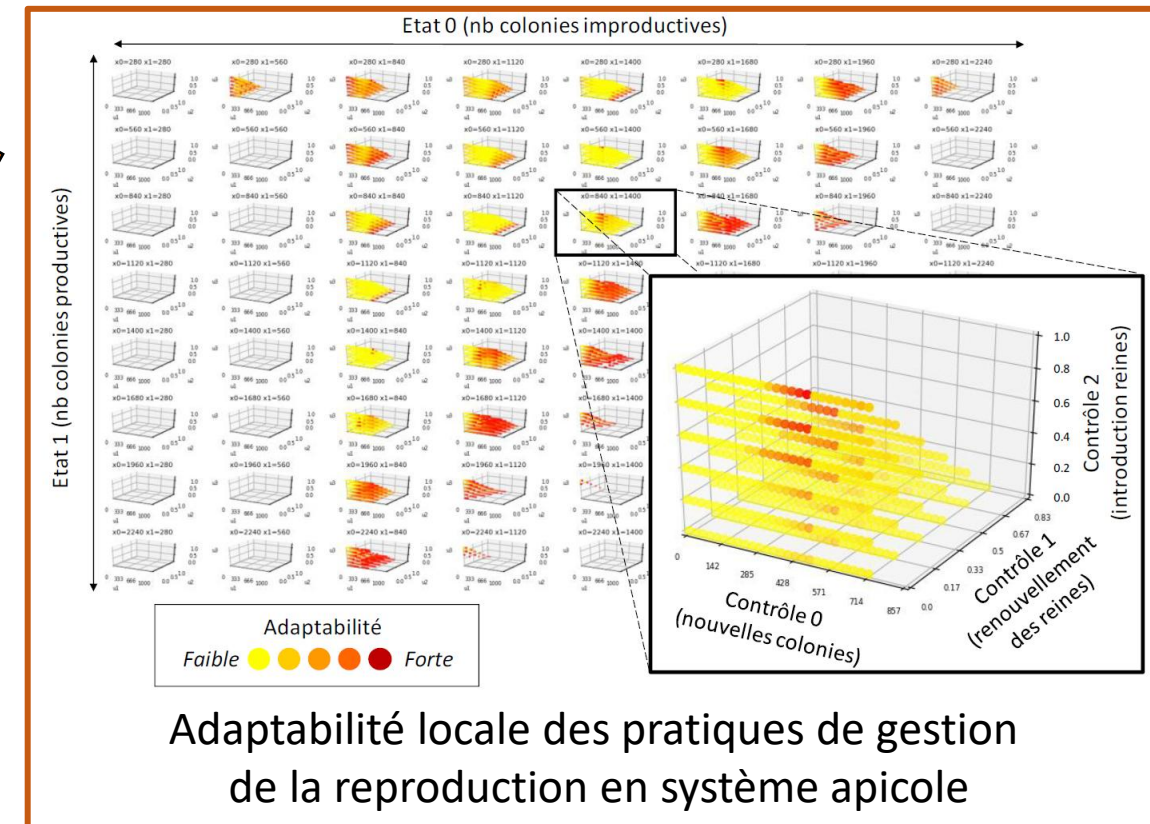
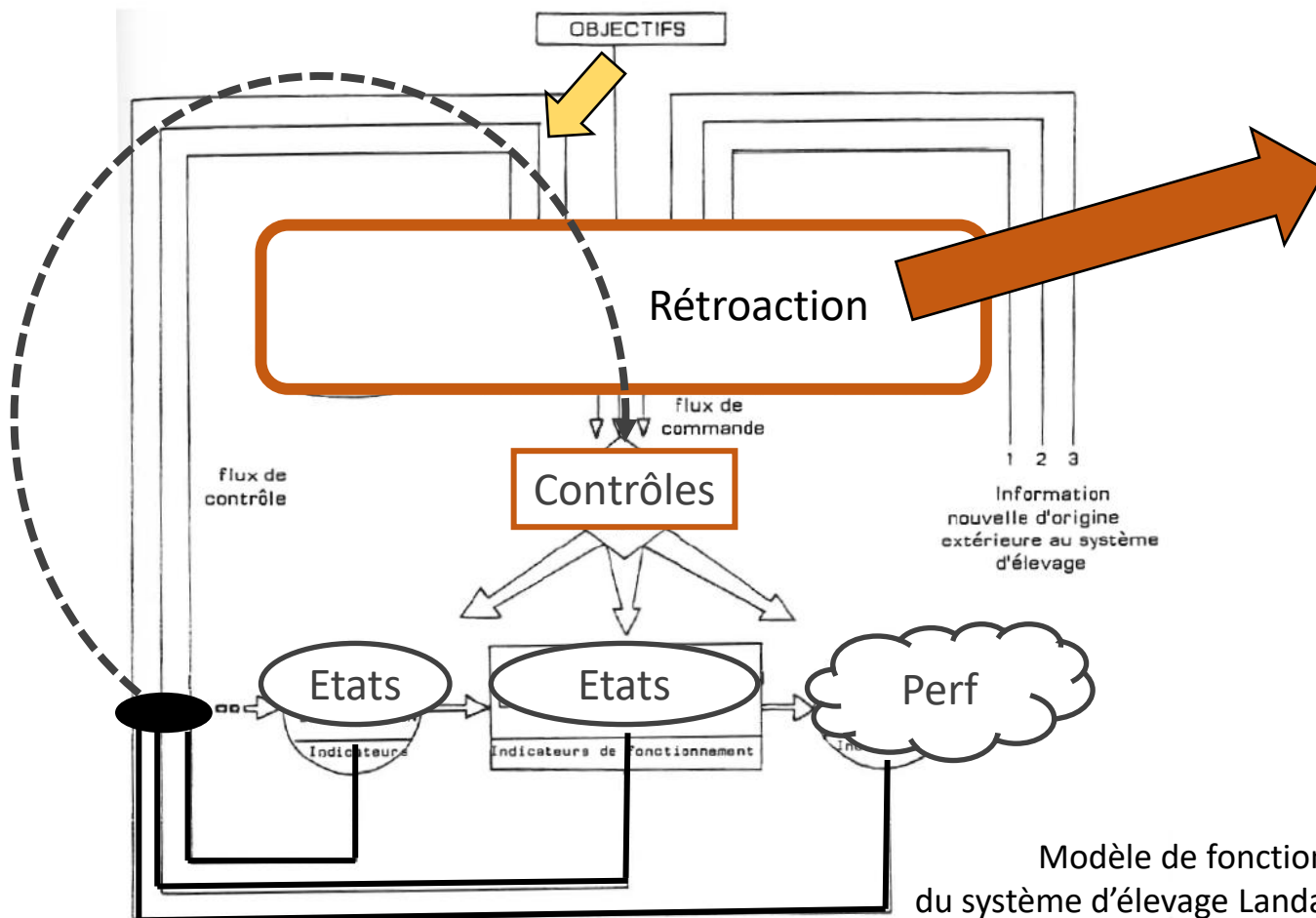
Modèle de fonctionnement
du système d'élevage Landais (1987)

Résultats transversaux

La viabilité, une méthode:

- Cohérente avec les cadres de l'agronomie système et avec les stratégies des agriculteurs

Identifier les rétroactions



Adaptabilité locale des pratiques de gestion de la reproduction en système apicole

Modèle de fonctionnement du système d'élevage Landais (1987)

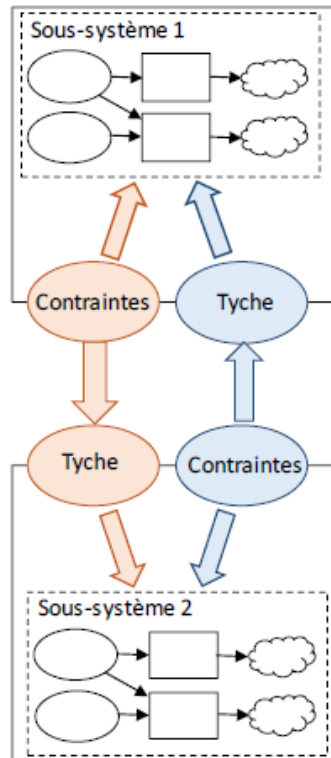
Des limites fortes à l'application de la viabilité aux systèmes diversifiés

- Dimensions limitées
 - Modèle mécanistes, données
- } Réductions nécessaires

1. Rendre la TV plus accessible et plus opérante pour l'étude des agroécosystèmes diversifiés

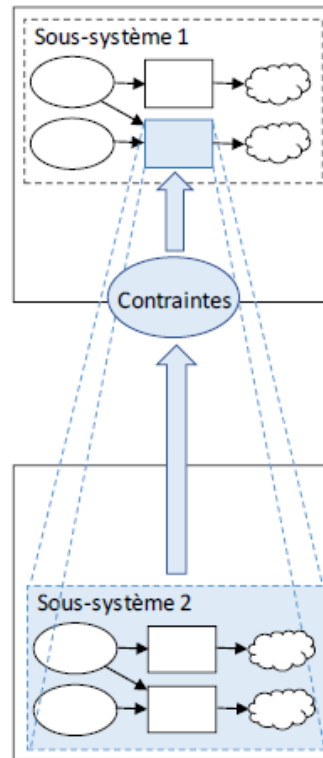
- Prendre part aux développements méthodologiques dans la communauté de la viabilité (dimension des problèmes)

a. Sous-systèmes communiquant



Martin et al. (2024)
de Lapparent et al. (2024)

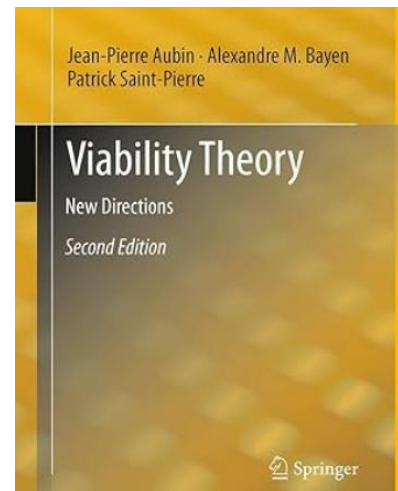
b. Sous-systèmes emboîtés



Thèse Puech

Des limites fortes à l'application de la viabilité aux systèmes diversifiés

- Dimensions limitées
 - Modèle mécanistes, données
- } Réductions nécessaires
- Coût d'entrée élevé



1. Rendre la TV plus accessible et plus opérante pour l'étude des agroécosystèmes

Ouvrir la communauté aux chercheurs thématiciens:



Réseau inter-départements Viabilité
(Venez on est gentils !)



Tapez ici votre recherche

Bienvenue sur le site du réseau Viabilité !

Le réseau Viabilité est un réseau scientifique animé par des chercheurs d'INRAE. Il a été créé en 2020 par Isabelle Alvarez, Sophie M. Rapaport (MISTEA, MathNum), Francesco Accatino (Sadapt, ACT), Rodolphe Sabatier (Ecodeveloppement, ACT).

Réseau MathNum-ACT

Viability Theory Accueil A propos Cas d'usage Ressources Cas d'usage Contact

Pâturage tournant bovin laitier dans le Wisconsin (USA)

L'herbe est une ressource renouvelable dont le taux de croissance dépend de la période de l'année mais aussi de sa hauteur et des conditions météorologiques. Une gestion fine du pâturage demande donc de fixer de manière dynamique, le niveau de chargement (nombre d'animaux par hectare) pour nourrir les animaux tout en évitant les phénomènes de surpâturage. Du fait de l'incertitude sur la croissance de l'herbe liée aux conditions météorologiques, l'enjeu est de mettre en œuvre des séquences de pâturage qui soient non seulement productives mais aussi robustes et adaptables.

Ce problème est décrit en détails dans :

Sabatier R, Oates, LG, Jackson RD, 2015, Management flexibility of a grassland agroecosystem: A modeling approach based on viability theory, Agricultural Systems <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.06.008>

Le système se caractérise par :

- deux états $X(t)$ la biomasse de la ressource en herbe et $P(t)$ le niveau de production cumulée.
- un contrôle $U(t)$, le chargement
- une incertitude $\omega \in \Omega$ sur le taux de croissance de l'herbe

Du fait du pas de temps journalier de la gestion du chargement, le modèle est discrétisé en temps. De plus, les vaches étant retirées des parcelles d'hiver, on se focalise sur une seule saison de pâturage, ce qui implique un horizon temporel fini, $t \in [90, 300]$.

La dynamique est la suivante :

$$\begin{cases} X(t+1) = r(t, \omega)X(t)[1 - \frac{X(t)}{K(t)}] - \min(qU(t), r(t, \omega)X(t)[1 - \frac{X(t)}{K(t)}]) - X_{\min} \\ P(t+1) = P(t) + U(t) \end{cases}$$

Avec $r(t, \omega)$ le taux de croissance de l'herbe, $K(t)$ un coefficient de saturation, $X_{\min}$, la biomasse d'herbe correspondant à la hauteur minimale de l'herbe d'une hauteur inférieure à un certain seuil, q la quantité de biomasse prélevée par vache et par jour.

Deux contraintes sont définies :

- Une contrainte visant à éviter le surpâturage : $qU(t) \leq X(t) - X_{\min}$
- Une contrainte visant à assurer un niveau minimal de production sur la saison $P(T) \geq P_{\min}$

Values of model parameters :

- saturation coefficient K and growth coefficient r depend on time and take the successive values of the corresponding vectors at times 90, 105,

Base d'exemples



1. Rendre la TV plus accessible et plus opérante pour l'étude des agroécosystèmes

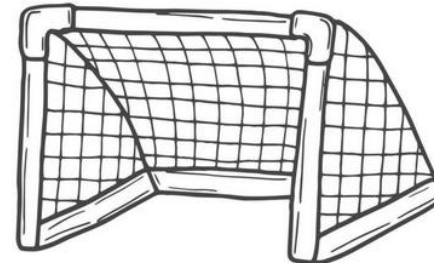
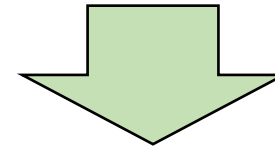
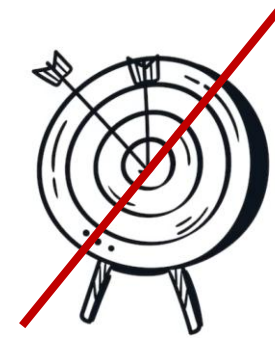
Des pistes pour développer des déclinaisons qualitatives

1. Rendre la TV plus accessible et plus opérante pour l'étude des agroécosystèmes

Des pistes pour développer des déclinaisons qualitatives

Scénarisation en termes viabilistes :

- Ensemble
- Viable
- Atteignable

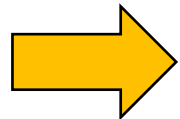


1. Rendre la TV plus accessible et plus opérante pour l'étude des agroécosystèmes

Des pistes pour développer des déclinaisons qualitatives

Scénarisation en termes viabilistes :

- Ensemble
- Viable
- Atteignable

 Une manière de penser la transformabilité

