

# Modélisation d'un système pastoral mongol exposé à des aléas climatiques dans un cadre viabiliste



Frédéric Joly, INRA/UMRH  
frederic.joly@inra.fr  
Séminaire LISC11 janvier 2019

# Plan

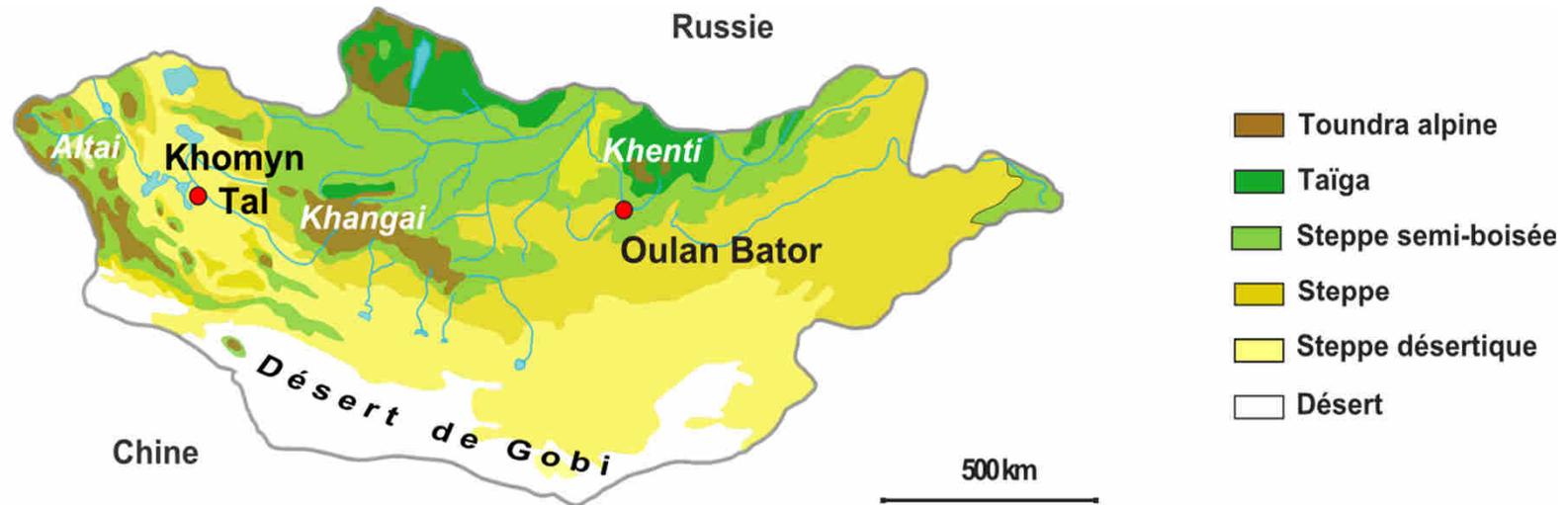
**1/ Présentation site d'étude et questions de recherche**

**2/ Modèle mécaniste du système pastoral**

**3/ Utilisation du modèle dans un cadre statistique et viabiliste**

**4/ Conclusions**

## Site d'étude



Climat continental

Froid :  $T_{\text{moy}}$  4 mois hiver =  $-18^{\circ}\text{C}$  (nov, dec, jan, fev)

Sec :  $P_{\text{moy}} = 95 \text{ mm}$

Variable : CV précipitation = 0,46)

Système exclusivement basé sur parcours avec troupeau ovins/caprins conduit à cheval...



...mais chevaux en cours de remplacement par des motos made in China



## Site d'étude



Transhumance le long de sites saisonniers de campement (équipements fixes et mobiles)

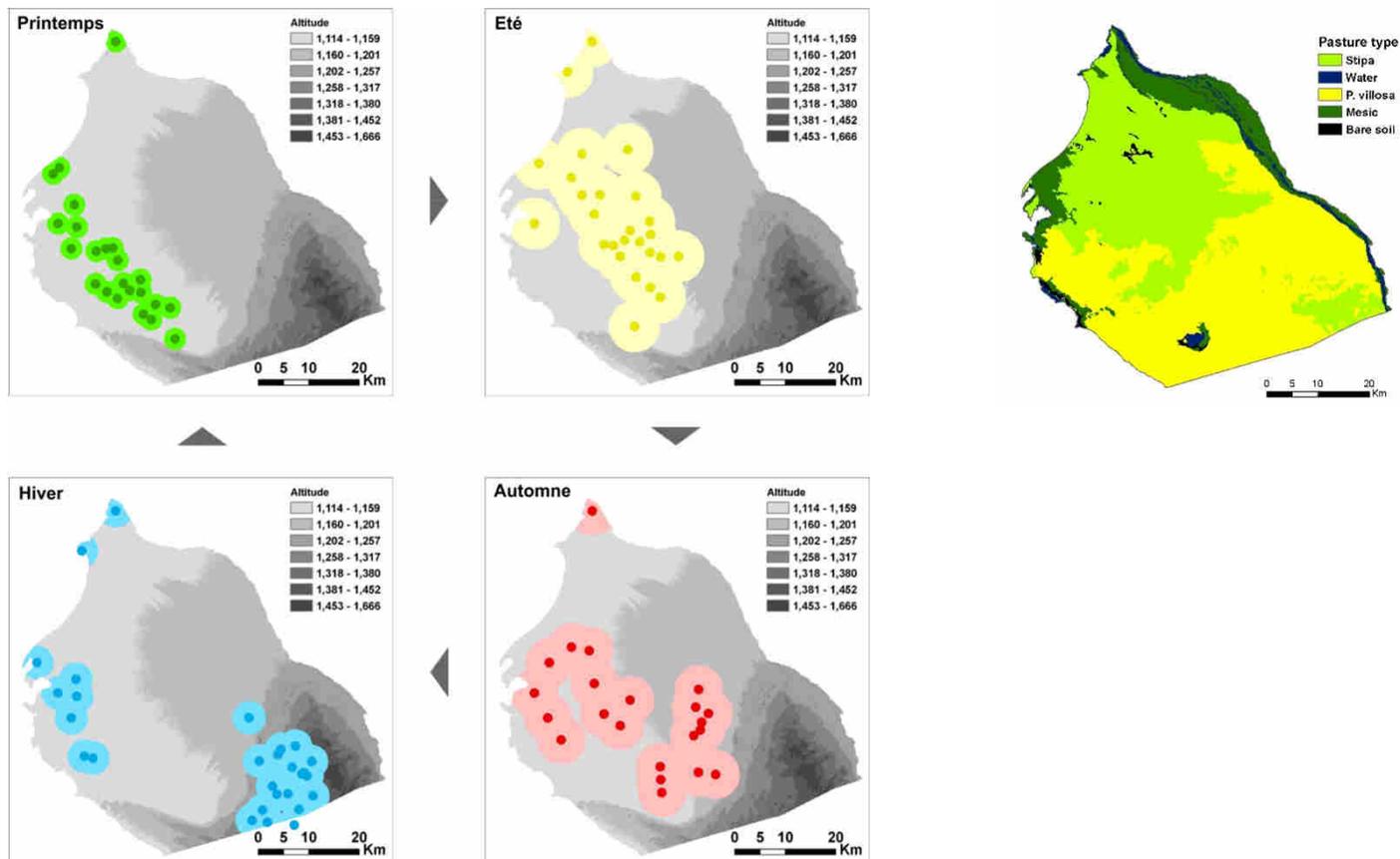
Mouvements plus erratiques en cas de sécheresse

Emplacements fonction de critères écologiques précis (ex vallées protégées vents en hiver)

Joly et al. 2013

## Site d'étude

- Schéma de transhumance précis
- Troupeaux en grande partie libres de leurs mouvements autour des camps
- Distance utilisation varie selon saisons et enchevêtrements fréquents
- Utilisation des campements formellement encadrés au printemps et en automne
- Zone été principalement couverte par faciès à *Stipa glareosa*
- Mélange troupeaux fréquents (notamment été)



Yourtes déplacées par 4x4...



...rendant obsolètes chameaux de Bactriane



## Site d'étude

Hormis déplacements, systèmes très peu mécanisés -> pas de mode de réfrigération...



...ni de robot de traite



Hormis déplacements, systèmes très peu mécanisés -> récolte fibre manuelle



Hormis déplacements, systèmes très peu mécanisés -> récolte fibre manuelle



Systèmes très dépendants des ressources naturelles (services écosystémiques d'approvisionnement et du travail familial (~95% coûts de production))

**Un phénomène remarquable : le 'dzud'**



*Anabasis brevifolia* une année « normale » (hors sécheresse)



*Anabasis brevifolia* une année de sécheresse

Difficultés pour les troupeaux pour trouver de quoi se nourrir en cas de fortes chutes de neige, en particulier en cas de charges pastorales élevées.

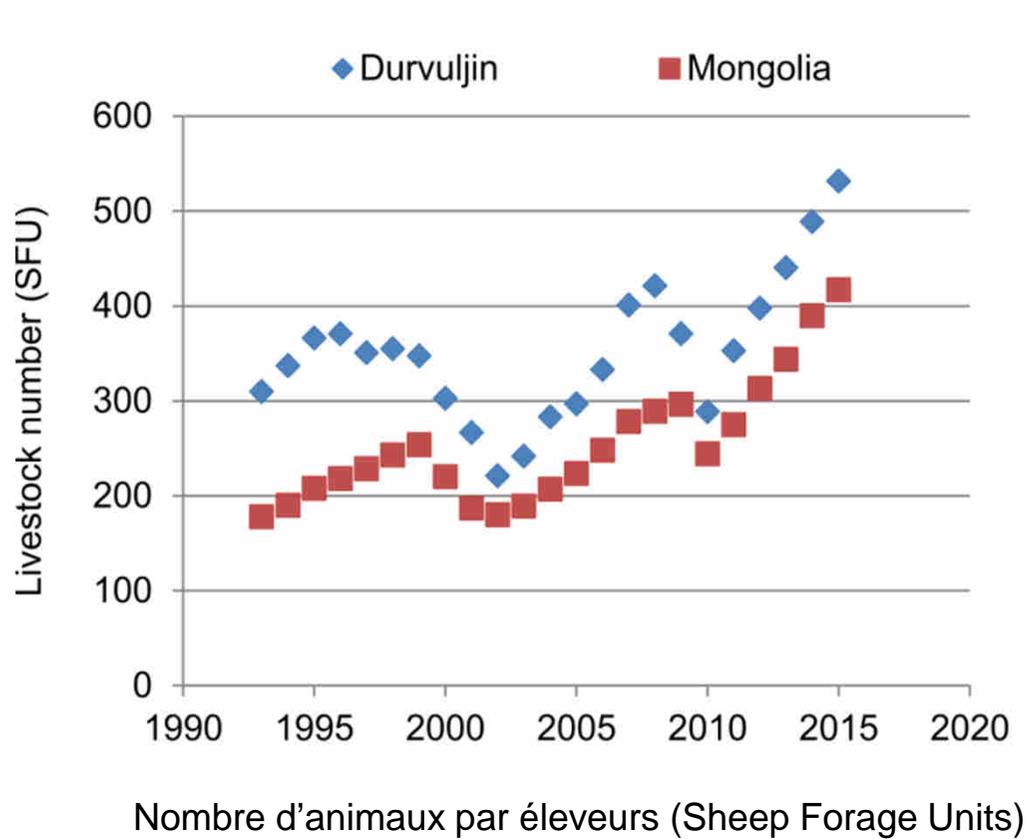


**DZUD !**



***dzud 2009/2010 : ¼ cheptel mongol a péri (NSOM 2015)***

Alternance de phases de recapitalisation et de *dzud* -> 'Boom and bust' pattern



**Comment les différents drivers (climat et pâturage) interagissent pour orienter la dynamique du système pastoral (théories equilibrium/nonequilibrium des milieux arides (Ellis and Swift 1988, Vetter 2005, Fernandez-Gimenez et al. 2011)) ?**

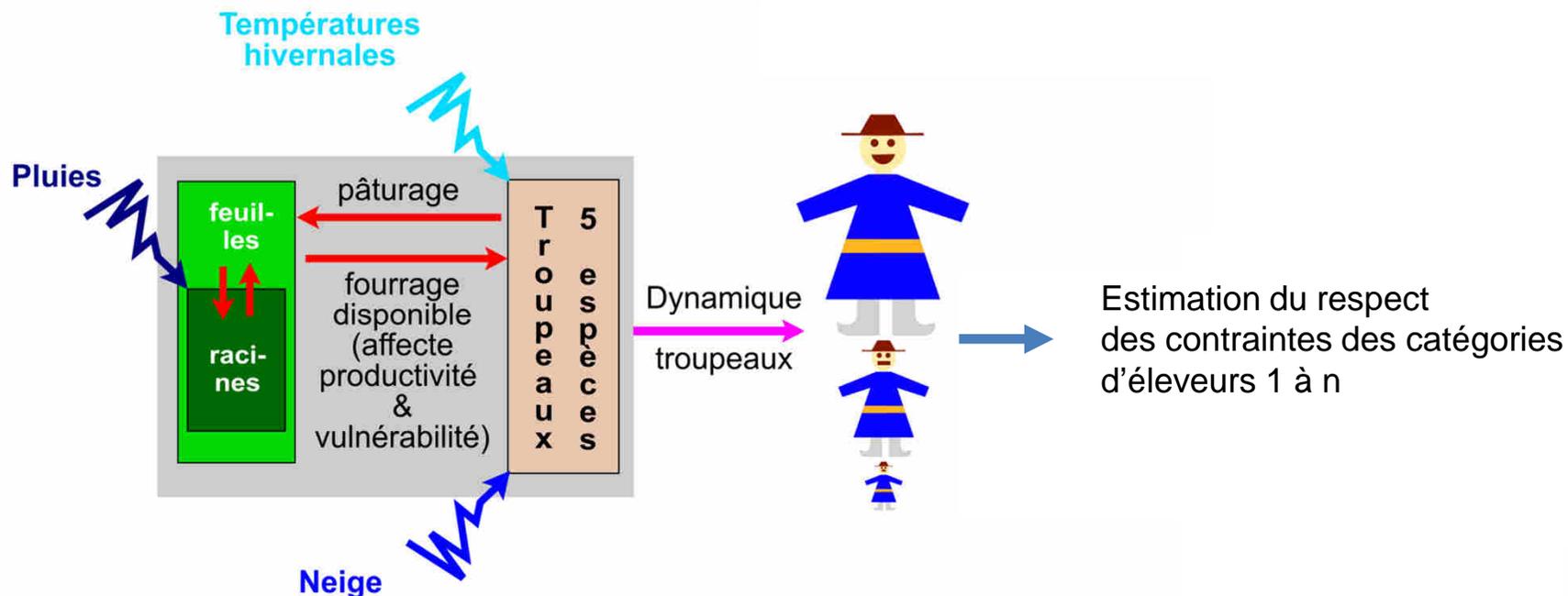
**1/ Quels sont les risques de dégradation des parcours engendrés par boom and bust pattern ? (diminution biomasse sur pieds observée par Hilker *et al.* 2013 and Liu *et al.* 2013)**

**2/ Comment les aléas climatiques et la compétition entre éleveurs impactent les performances productives ? (compétition importante car parcours publics et risque de 'Tragédie des communs' (Hardin 1968, Devienne 2013))**

**3/ Quels états permettent aux éleveurs de rester viables et résilients sur 20 ans malgré les aléas ? (Walker *et al.* 2012)**

## Modèle mécaniste

- Reproduction des mécanismes biophysiques d'intérêt du système
- Pas de temps annuel
- Evaluation le respect d'un bouquet de contraintes économiques (seuil pauvreté), écologiques (offre fourragère), ethnologiques (autoconsommation viande/laitage et disponibilité animaux de transport)
- Focalisation sur parcours d'été soumis aux effets physiologiques du pâturage (défoliation impactant le cycle de mise en réserve des sucres) et gouvernance parcours
- Calibrage avec enquêtes et données terrain (zones pâturées et non pâturées)



## Traitement probabiliste (20 ans / 10000 simulations / maximisation taille troupeaux)

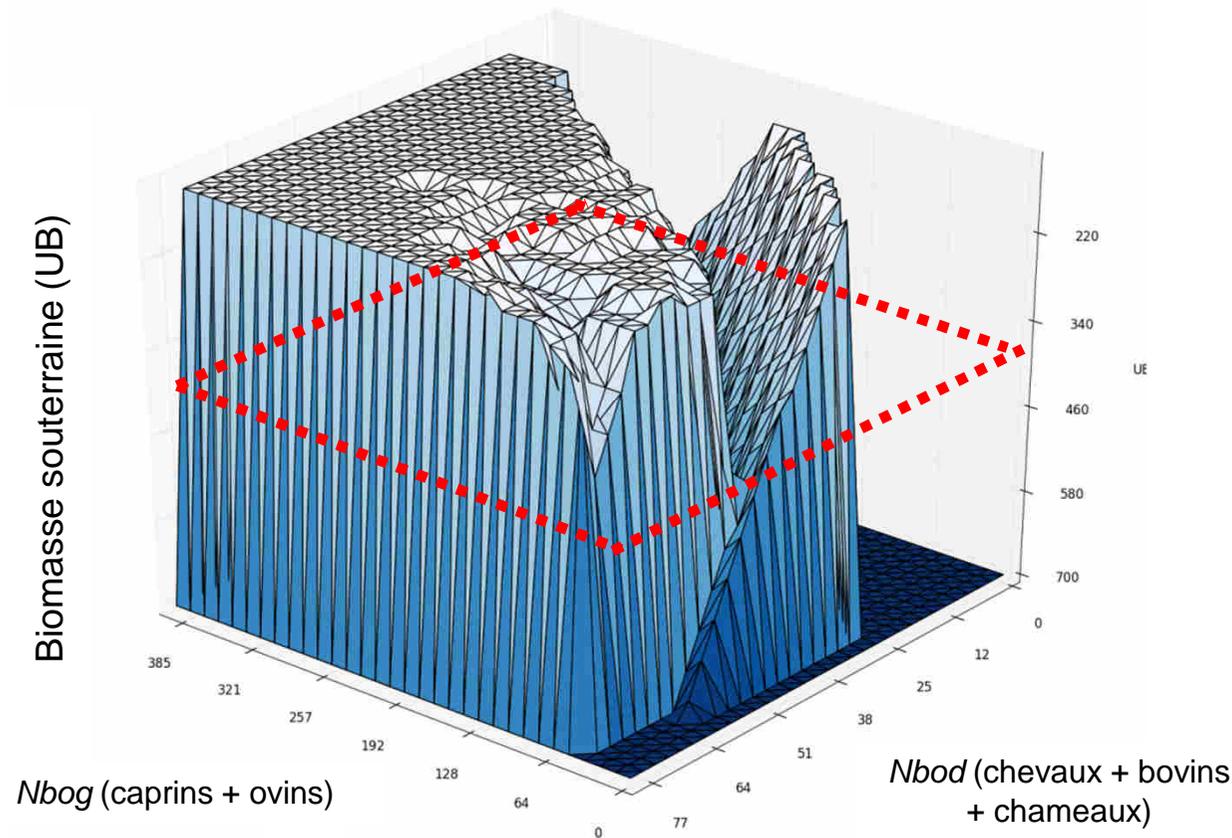
	Paramètre	Gros équilibré	Gros chevrier	Moyen équilibré	Medium chevrier	Petit équilibré	Petit chevrier
	Effectifs initiaux (UFO)	<b>1698</b>	1668	603	559	356	<b>214</b>
	Biomasse souterraine (kg/ha)	<b>600</b>	600	600	600	600	<b>600</b>
Modèle	Effectif finaux (UFO)	<b>2977</b>	2429	641	571	513	<b>210</b>
'Commu- nauté'	% années contraintes respectées	<b>100</b>	100	97	97	77	<b>37</b>
	Biomasse souterraine (kg/ha)	<b>420</b>	420	420	420	420	<b>420</b>
	Fréquence <i>dzud</i>	<b>0.087</b>	0.087	0.087	0.087	0.087	<b>0.087</b>
Modèle	Effectif finaux (UFO)	<b>737</b>	731	574	555	569	<b>530</b>
'Catégories'	% années contraintes respectées	<b>93</b>	98	93	96	85	<b>94</b>
	Biomasse souterraine (kg/ha)	<b>318</b>	322	407	415	424	<b>448</b>
	Fréquence <i>dzud</i>	<b>0,210</b>	0,206	0,105	0,098	0,079	<b>0,048</b>

⇒ Explicite les arbitrages entre long et court terme

⇒ Problème de pauvreté et de gouvernance + aigus que risques de dégradation

Noyau robuste de co-viabilité (Aubin 1991) : ensemble des états permettant de respecter le bouquet de contraintes des éleveurs sur 20 ans en intégrant les risques climatiques pouvant causer des *dzuds* (éleveur centré)

$$K_t = \{ N_{bog,t}, N_{bod,t}, UB_t \in X \mid \exists 1 \text{ pair } u_{bog,t}, u_{bod,t} \text{ (sale or purchase management action)} \\ \text{such that herders constraints are respected and } [N_{bog,t+1}, N_{bod,t+1}, UB_{t+1}] \in K_{t+1} \}$$

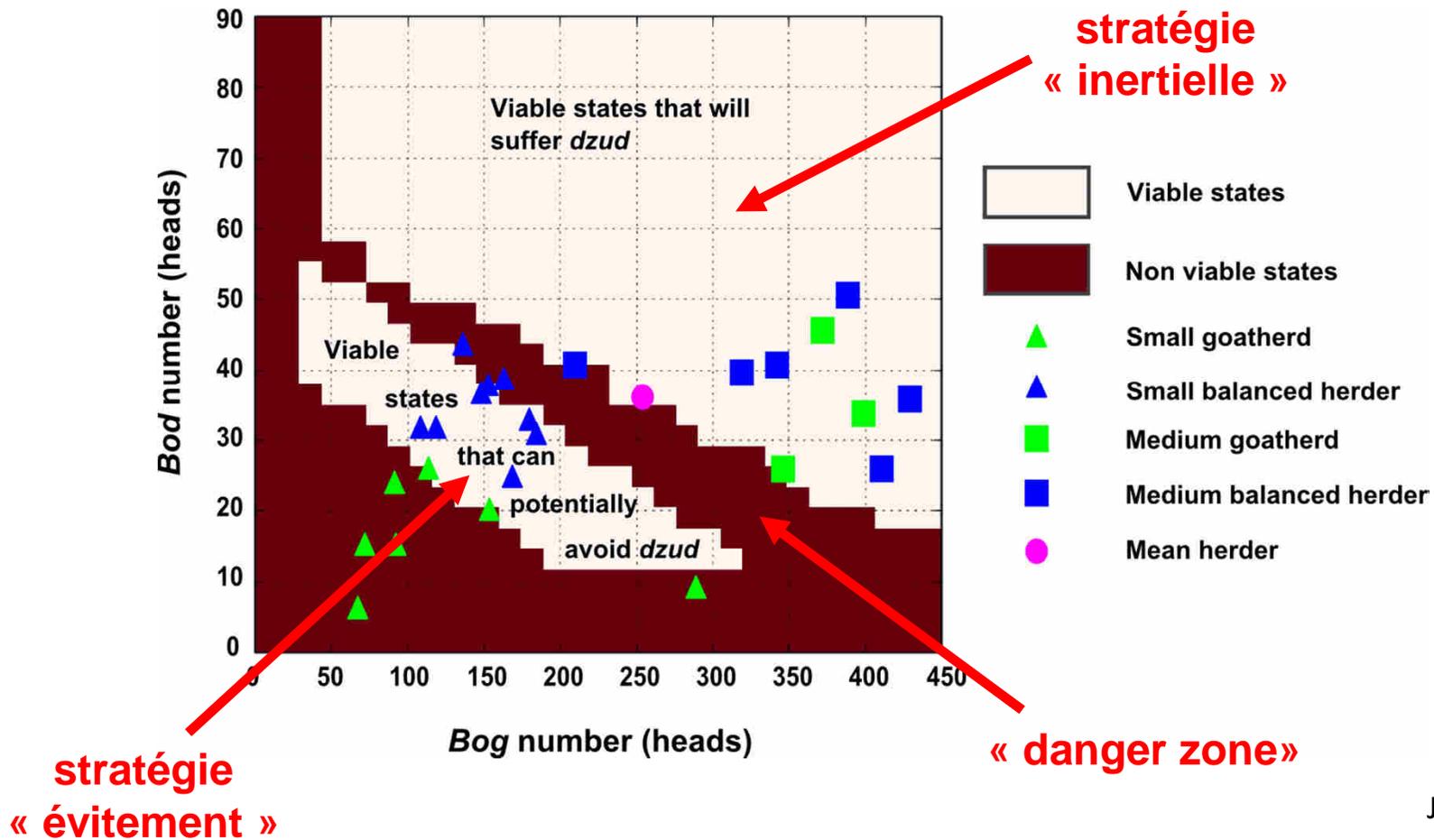


## Traitement viabiliste

Etude des stratégies permettant de rester viable

Vaste majorité d'éleveurs (~70%) a priori viable...

...sauf en cas de forte compétition et de mélange des troupeaux



July 2015

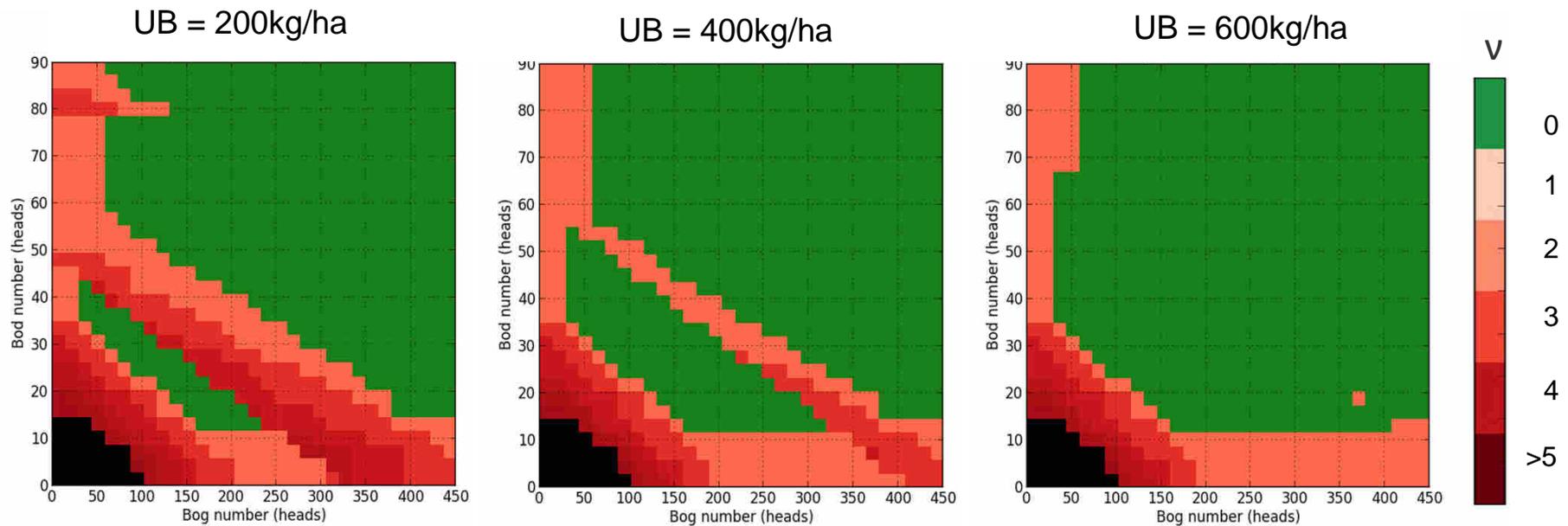
Bassin de capture : états permettant un retour à une état viable dans un délai donné

$$C_v(K_{t+v}) = \{ N_{bog,t} \ N_{bod,t} \ UB_t \in X \mid \exists 1 \text{ pair of } u_{bog}(\cdot), u_{bod}(\cdot) \\ \text{such that } [N_{bog,t+v} \ N_{bod,t+v} \ UB_{t+v}] \in K_{t+v} \text{ for } t \in [t, \dots, t+v] \}$$

where  $u_{bog}(\cdot)$  and  $u_{bod}(\cdot)$  are temporal sequences over  $(t, \dots, t+v)$  and  $v=5$  years.

Mesure de la 'engineer resilience' (=temps de retour à un état d'équilibre (Holling 1996))  
comme proposé par Martin (2011)

Prise en compte de l'état de la ressource (UB)



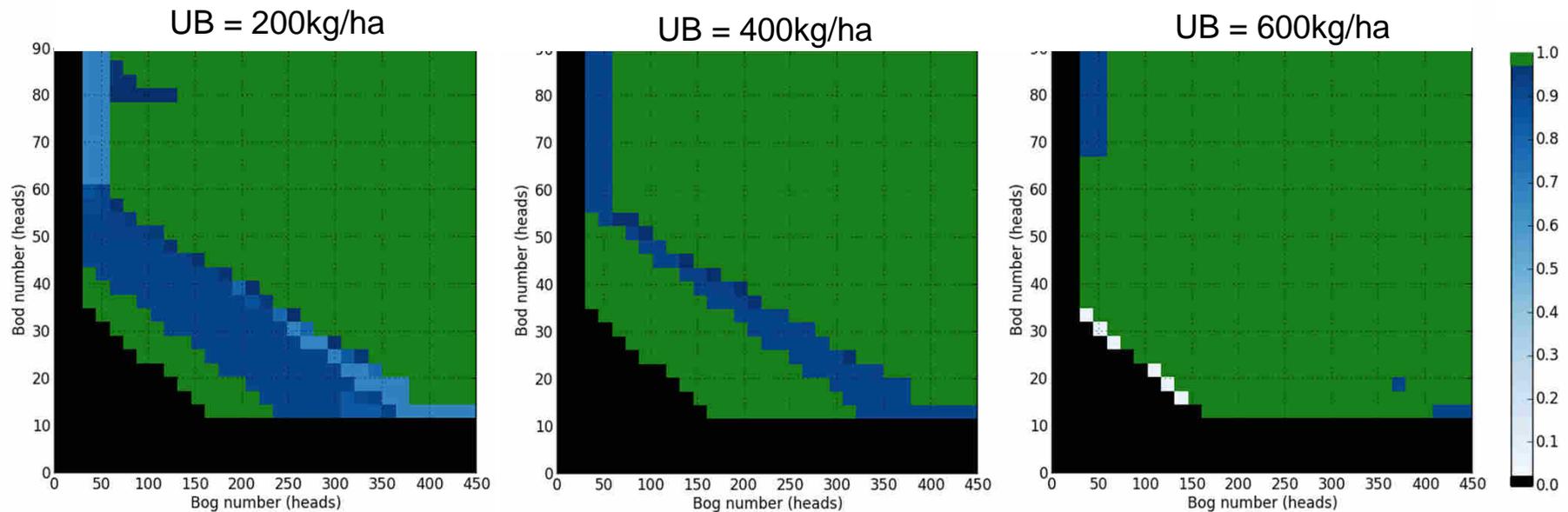
Noyau dérivé d'un noyau stochastique : ensemble des probabilités d'atteindre un état dont la probabilité d'être viable est non nulle

$$KDS_t = \{ p(N_{bog,t}, N_{bod,t}, UB_t) \text{ with } N_{bog,t}, N_{bod,t}, UB_t \in X \mid P(N_{bog,t+1}, N_{bod,t+1}, UB_{t+1}) \neq 0 \}$$

where  $p(N_{bog,t}, N_{bod,t}, UB_t)$  is the probability to respect herders' constraints

L' 'ecological resilience' *i.e.* capacité à absorber un choc (Holling 1996) peut être quantifiée via cet espace de probabilité

Prise en compte de l'état de la ressource (UB)



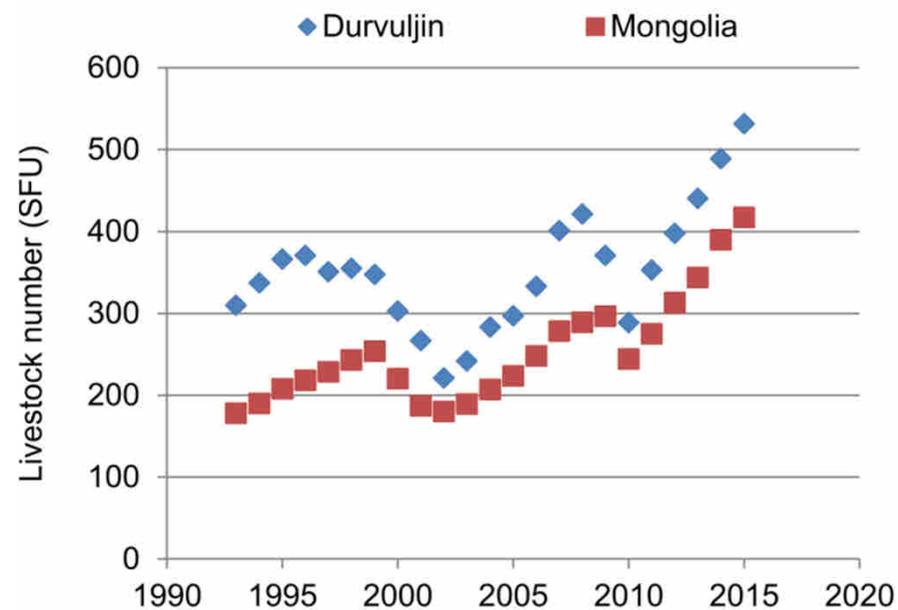
## Traitement viabiliste

Trajectoires au sein des noyaux et manipulation de prix -> étude des pratiques et perceptions des éleveurs

Influence des systèmes de subsistance->maximisation des tailles des troupeaux qui servent de 'contrat d'assurance' et de 'Livret A'

Aversion pour le risque et préférence pour le revenu de court terme

Alternance phases maximisation et *dzud* -> 'Boom and bust' pattern précédemment vu



Nombre d'animaux par éleveurs (Sheep Forage Units)

Manipulation de prix -> baisse des prix animaux sur pieds vendus selon 'discount rate' et compensation via prix fibre

Disc. rate  $bog$  = double disc. rate  $bog$  car  $bod$  + résistants

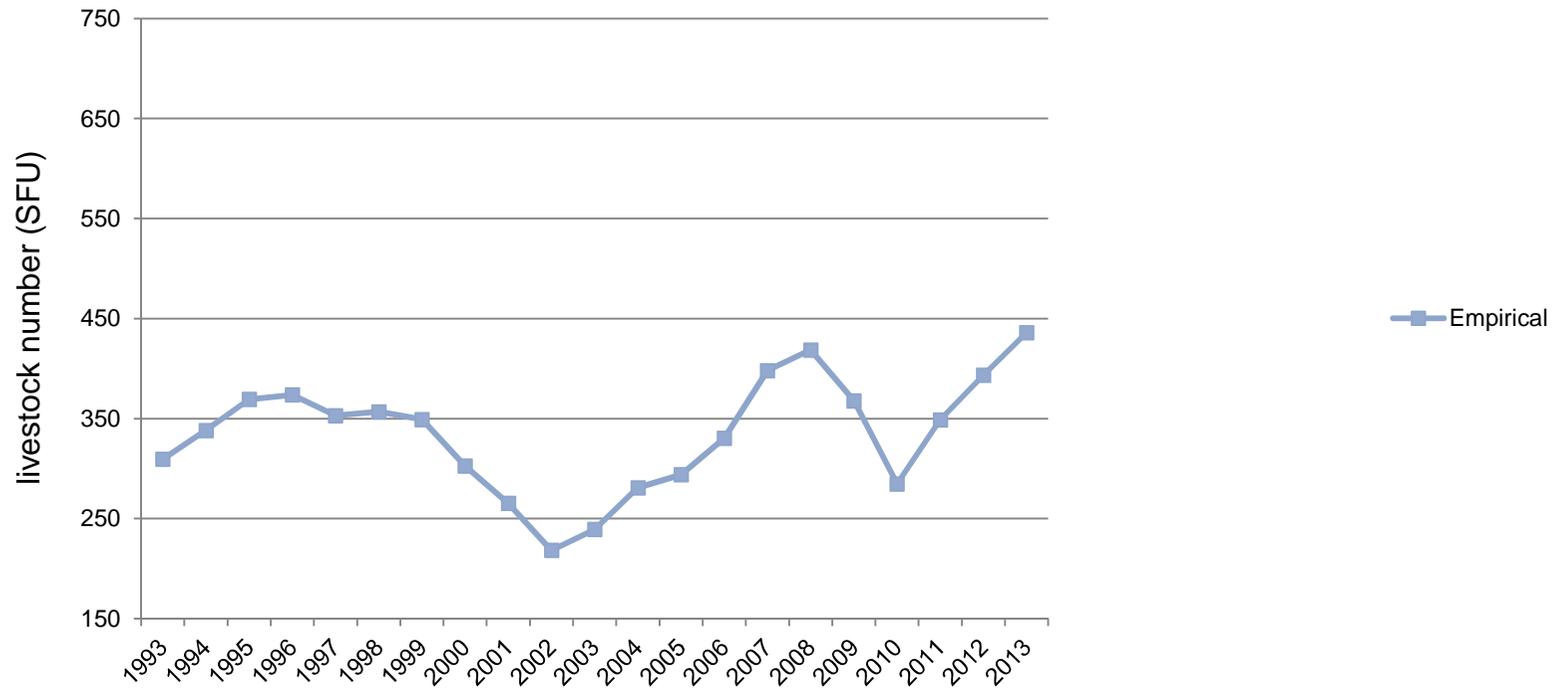
Prix fibre X année vente + prix animaux sur pieds = prix constant

Fibre = proxy revenu court terme / Animaux sur pieds = proxy revenu long terme

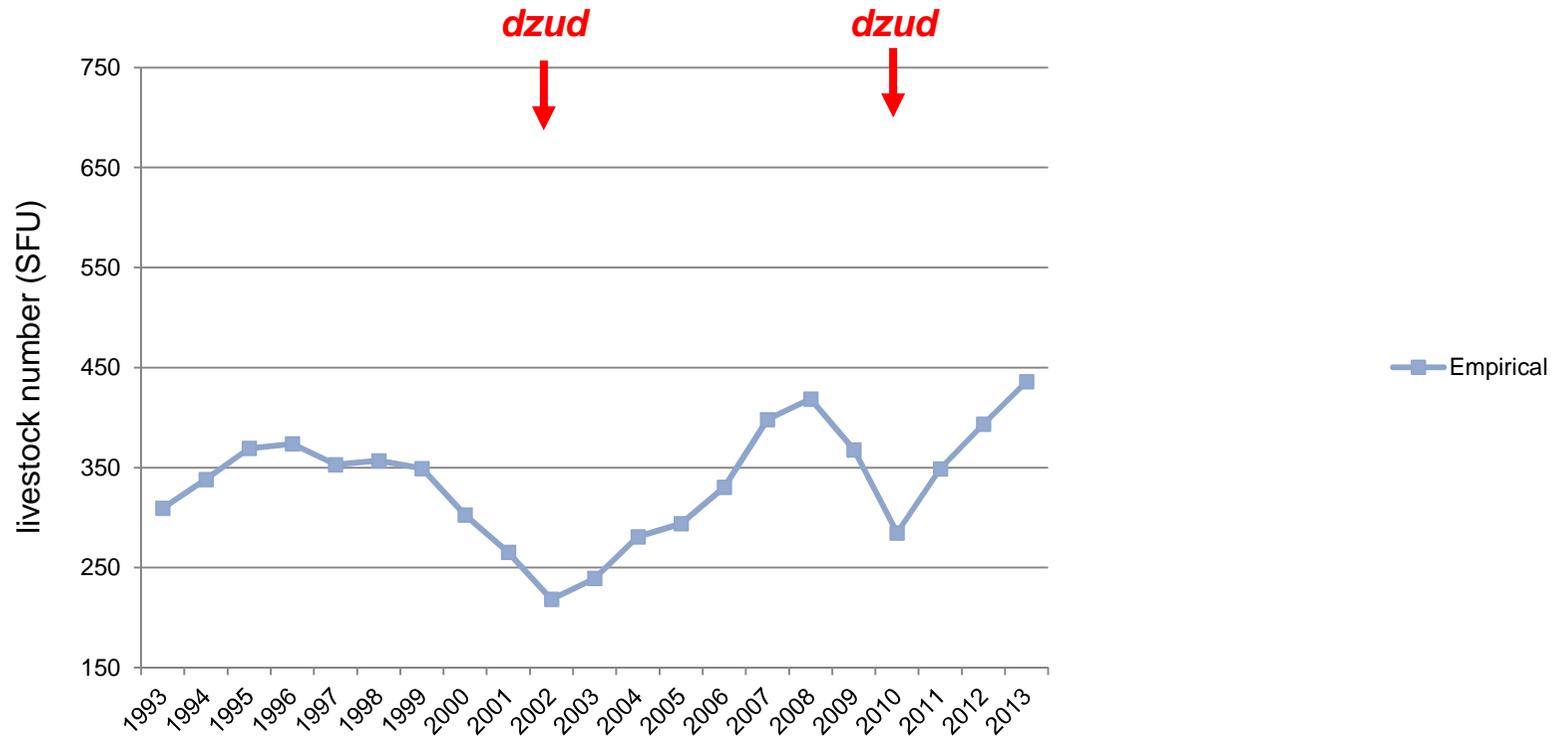
Création de trajectoires construites par sélection aléatoire de couples  $u_{bog,t}, u_{bod,t}$  respectant contraintes et tels  $N_{bog,t+1} N_{bod,t+1} UB_{t+1} \in K_{t+1}$  dans  $K$  construit sur une série météo d'archive

Valeurs moyennes de  $N_{bog,t1} N_{bod,t1} UB_{t1}; N_{bog,t2} N_{bod,t2} UB_{t2}; \dots; N_{bog,t20} N_{bod,t20} UB_{t20}$  sur 1000 trajectoires => 'trajectoire algorithmique'

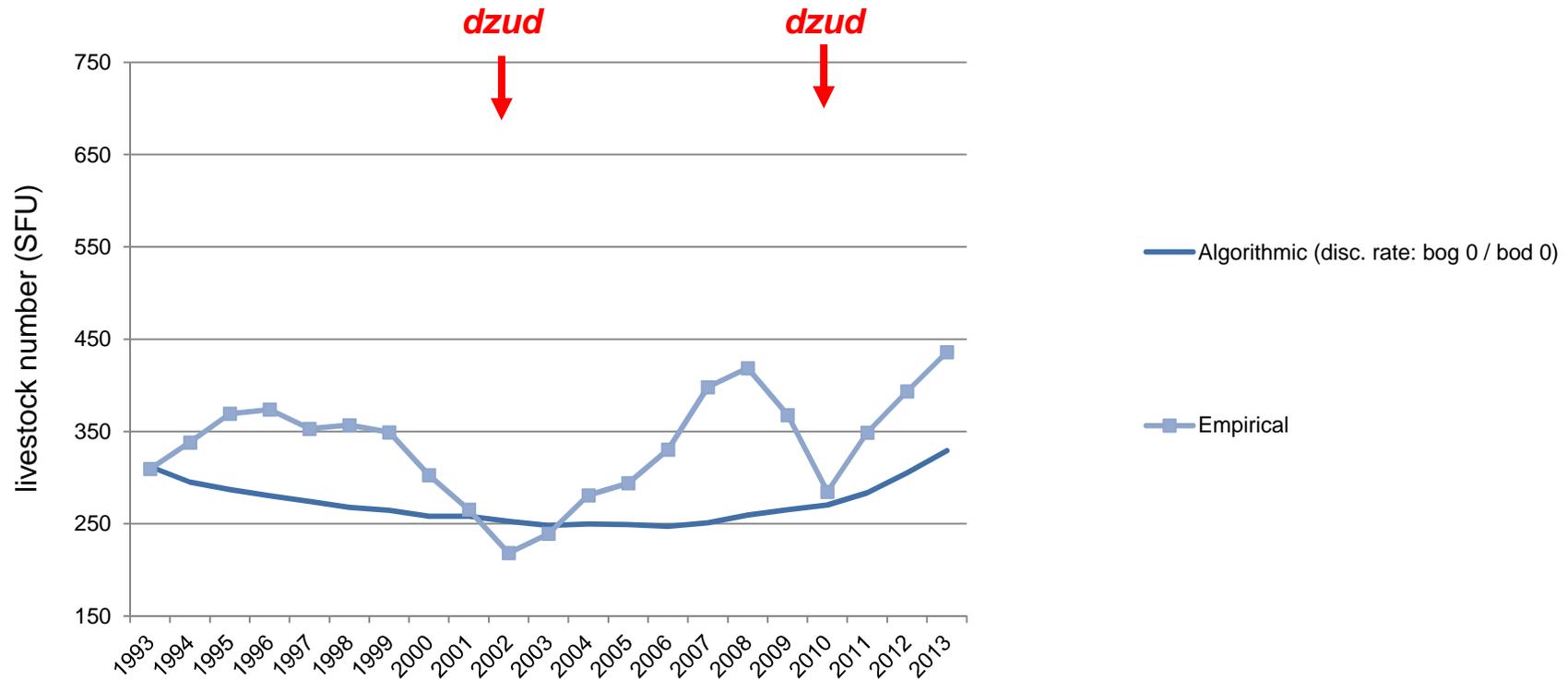
## Traitement viabiliste



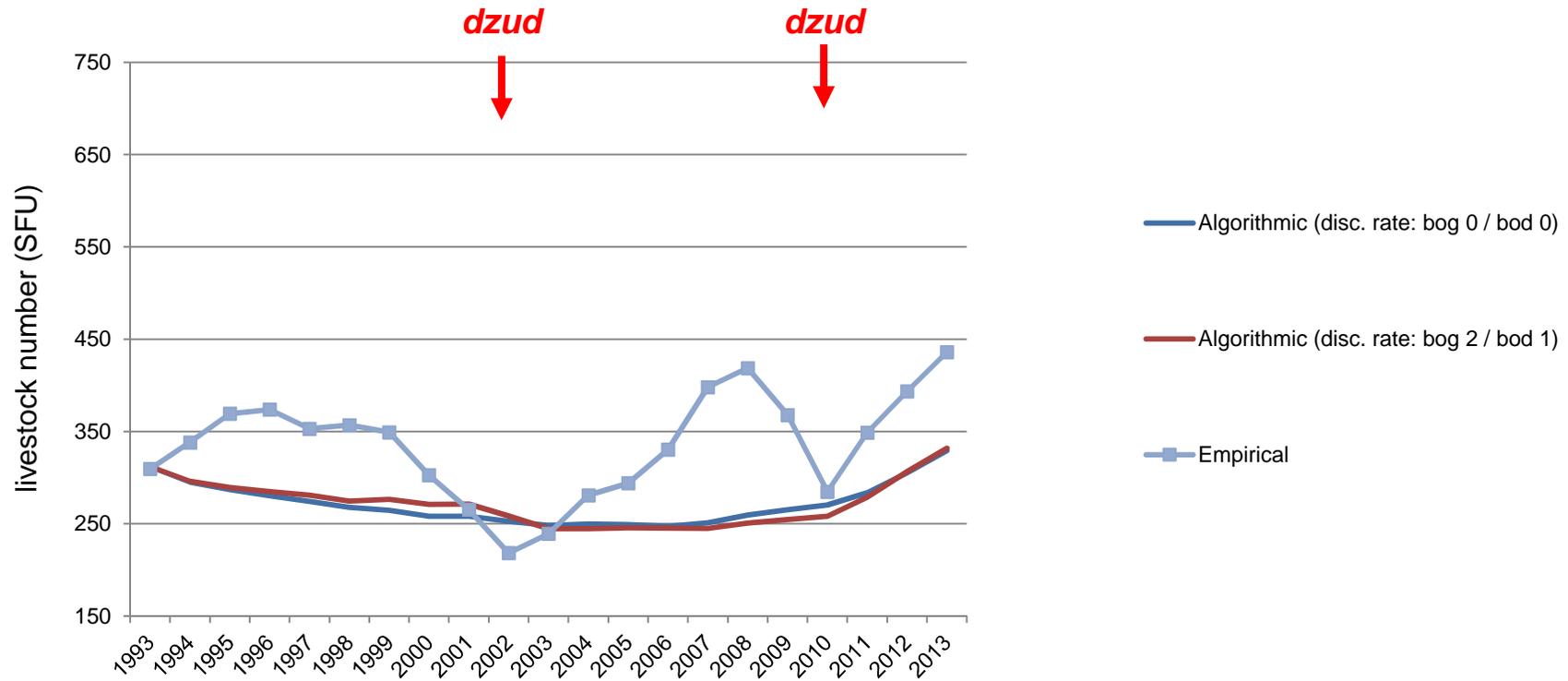
## Traitement viabiliste



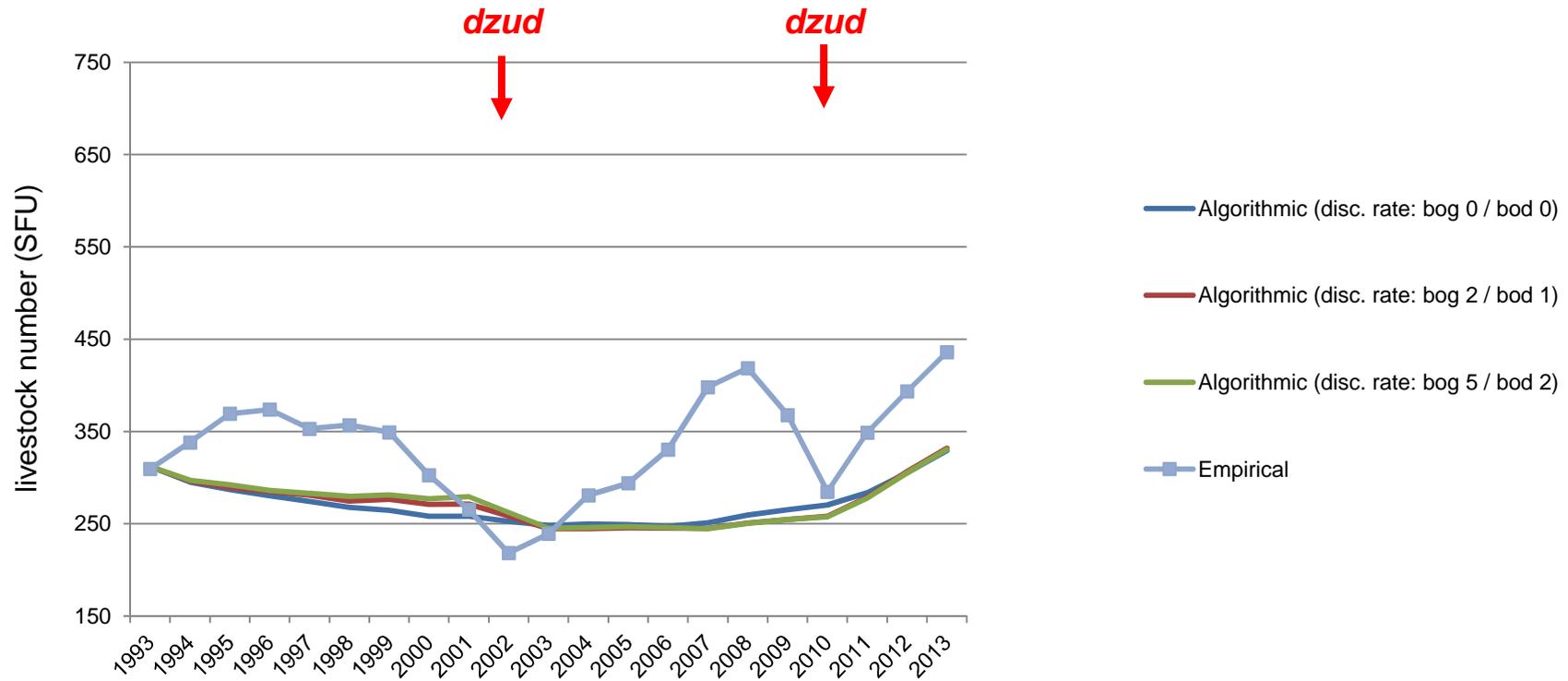
# Traitement viabiliste



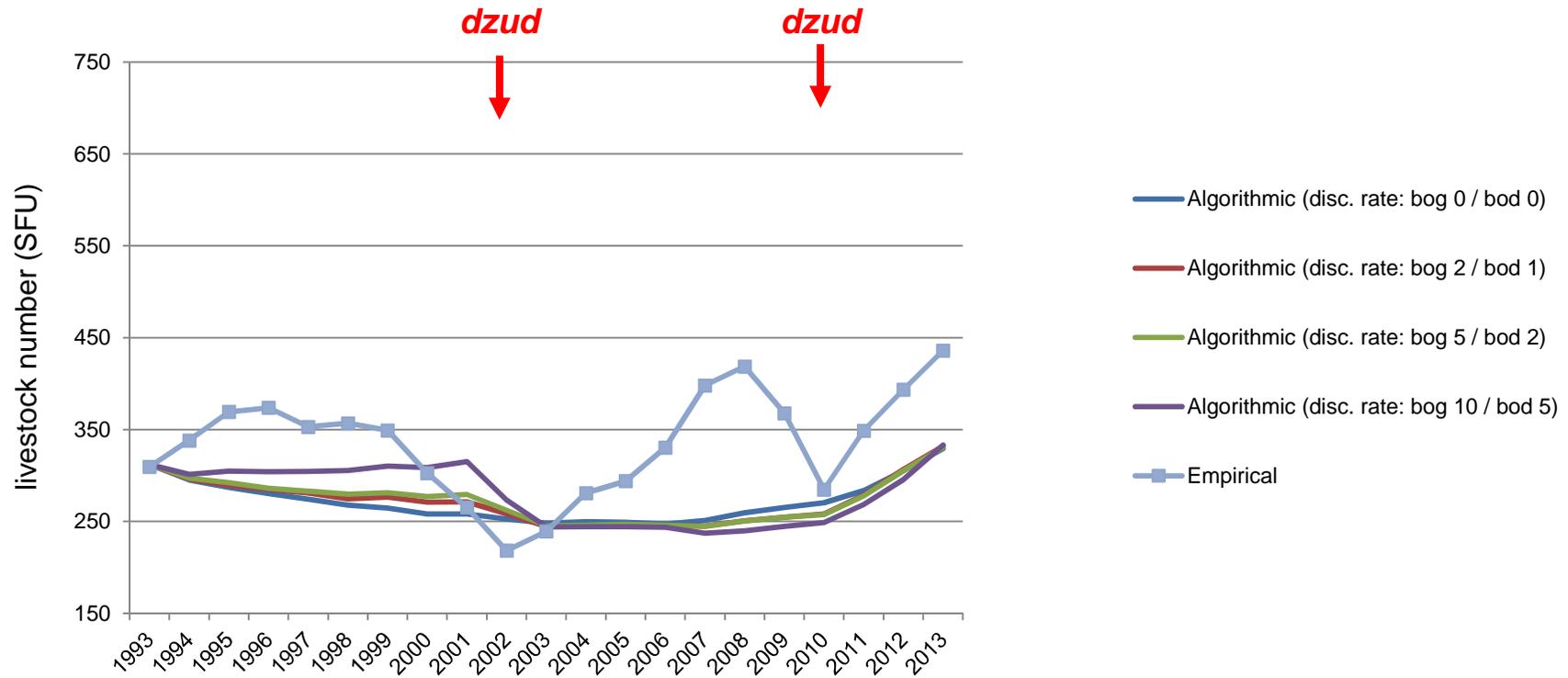
# Traitement viabiliste



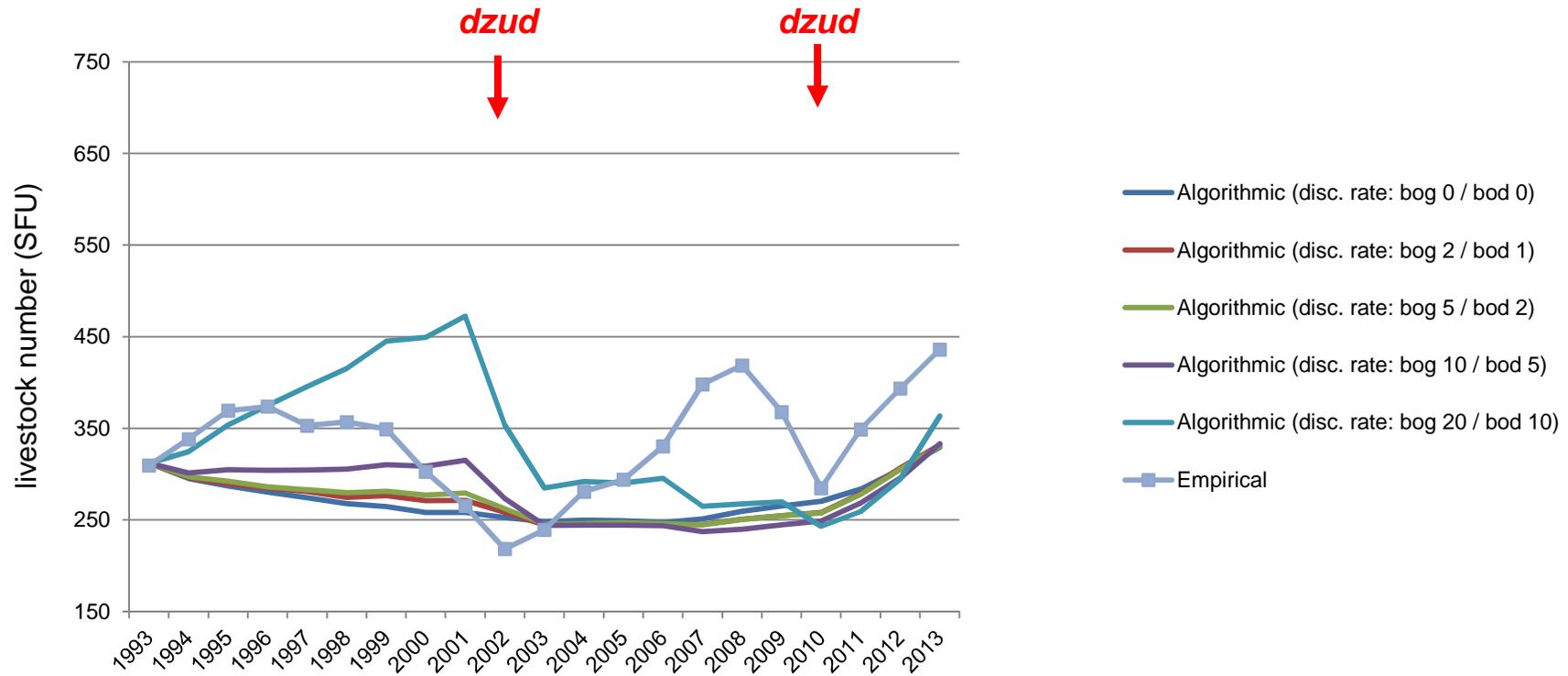
# Traitement viabiliste



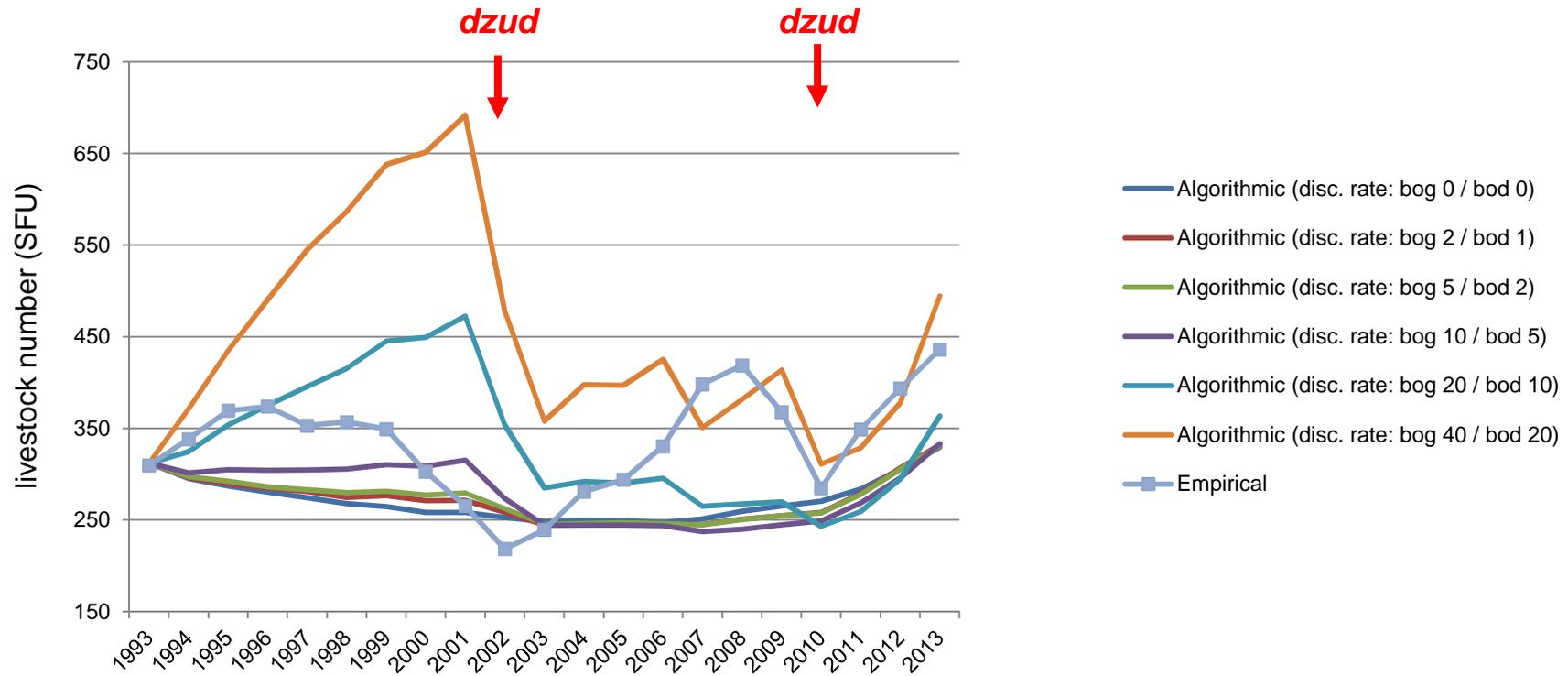
# Traitement viabiliste



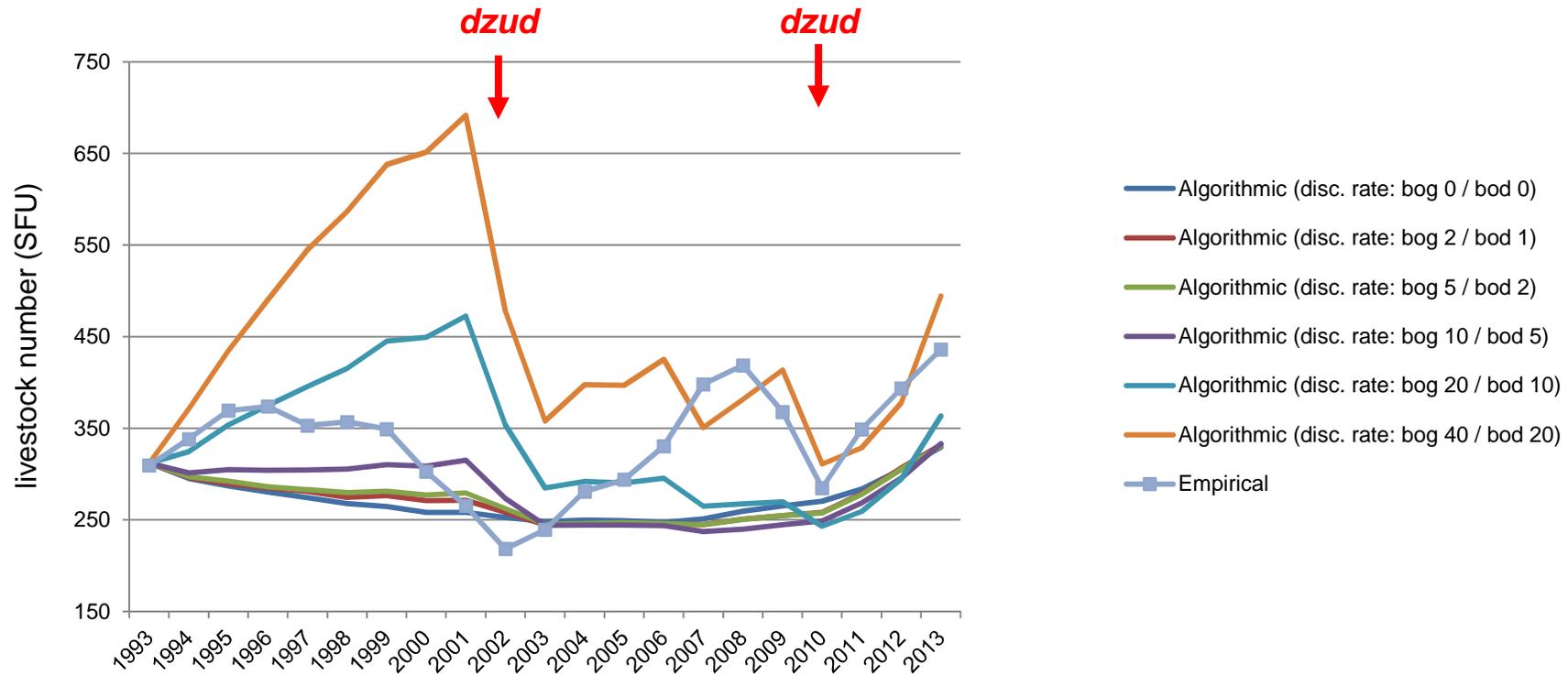
# Traitement viabiliste



# Traitement viabiliste



## Traitement viabiliste



Trajectoire avec prix normaux utilisent stratégie « évitement »

Trajectoires reproduisent 'boom and bust' pour discount rates élevés

Aversion pour le risque très élevé (disc. rate entre 40 et 20% pour petits ruminants)

## Réponses aux questions de recherche (risques de dégradation des parcours, compétition, résilience)

Enjeux de compétition plus important que dégradation (petits éleveurs restent 'pauvres' et perte de productivité contenue -30% biomasse souterraine)

Résilience relativement élevée (nombre significatif d'états dans ou proche du noyau de viabilité)

Résilience explicable par la capacité de « rebond » des composantes du système (cycle sucre dans plantes et fécondité animaux)

Résilience explicable par stabilité du système (double feedback de densité dépendance)

Aversion au risque élevée à prendre en compte dans les programmes de déstockage associés à prévention désertification

Future voie de recherche : modèles éleveur-centré utilisant des règles de développement 'community-based'

## Conclusion

Système d'élevage complexe mais simplification pertinente possible grâce à une description fine du système (notamment réduction dimensionnalité)

Modèles basés sur variables lentes permettent des arbitrages long terme / court terme

Illustration de l'importance de l'état de la ressource pour la vulnérabilité et la résilience

Quantification de concepts pouvant sembler flous par outils de la viabilité possible

Algorithmes de génération des noyaux de viabilité pas forcément comparables à décision de gestion 'humaine' mais les méthodes indirecte et comparative permettent des explorations pertinentes (manipulation de prix pour estimation aversion au risque)

Voix de progrès : utilisation de modèles 'agent-based' spatialisés dans un cadre viabiliste