



# Outiller l'adaptation des élevages au changement climatique : de l'analyse de la vulnérabilité à la conception participative de systèmes d'élevage

12 décembre 2013, INRA Toulouse

Marion SAUTIER

UMR AGIR - Agrosystèmes et agricultures, Gestion des ressources, Innovations et Ruralités  
UR MIAT - Unité de Mathématiques et Informatique Appliquées de Toulouse

Encadrement : Michel DURU et Roger MARTIN-CLOUAIRE

# ● ● ● Le changement climatique

---

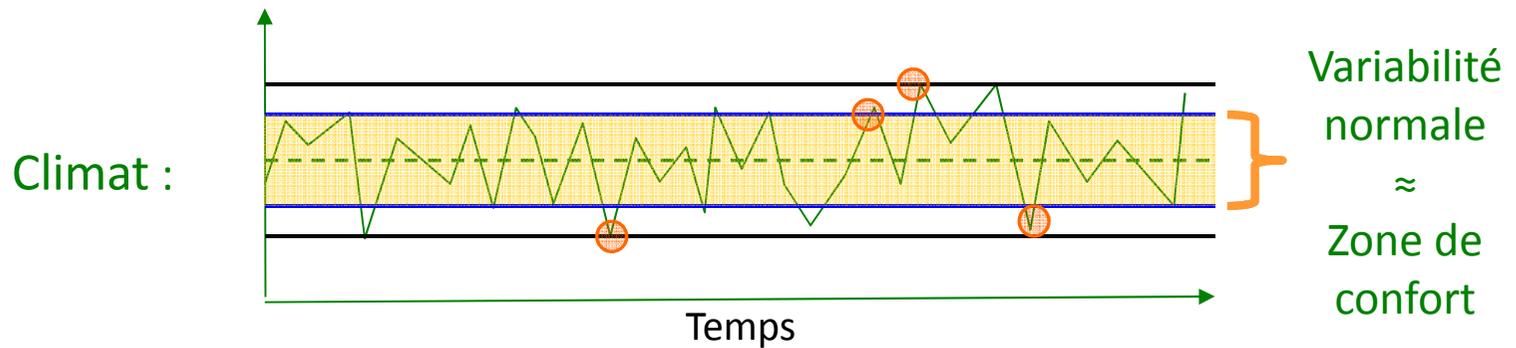
- « *Tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine* » GIEC
- « *Changements [du climat] attribués directement ou indirectement à une activité humaine, et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat.* » ONU

Températures moyennes à l'échelle du globe (atmosphère et océans):

- Observations  
+0,74°C sur le siècle passé
- Prévisions  
+0.4°C d'ici 20 ans  
De +1.8°C à +4°C d'ici la fin du siècle

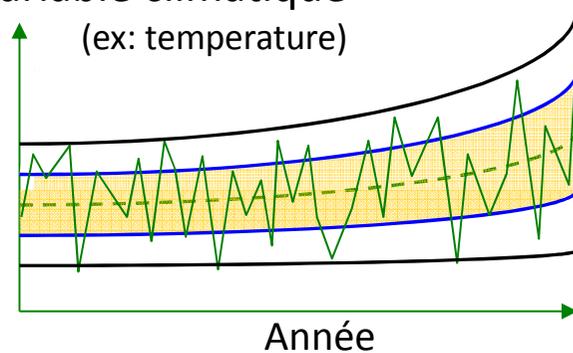
# ● ● ● Le défi du changement climatique

Variable climatique (température, précipitation, vent, rayonnement...)

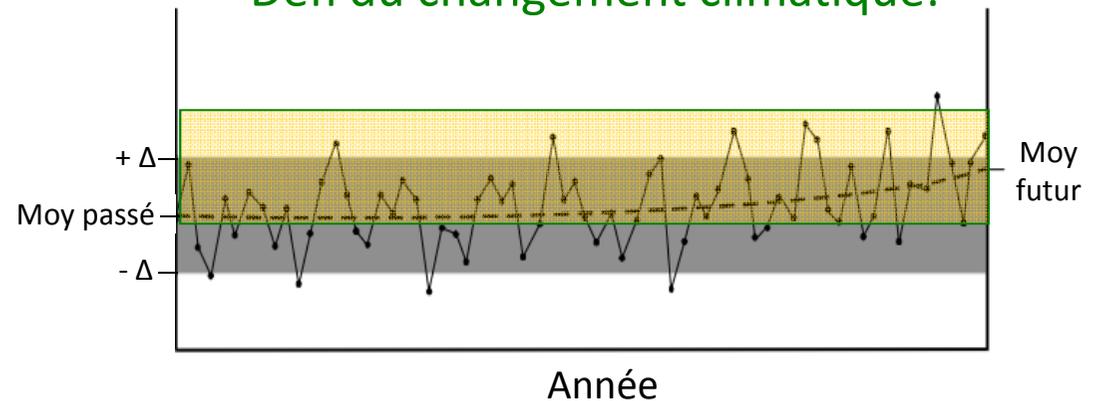


Changement climatique:

Variable climatique  
(ex: temperature)



Défi du changement climatique:



Zone de confort du passé  
Zone de confort du futur?

Smit et al., 2000.

situation inédite

**Besoin de repenser les systèmes agricoles**

# ● ● ● Vulnérabilité

Adger 2006  
GIEC 2001

---

Introduction

## ○ Exposition

Durée, amplitude et fréquence des changements de contexte dans lequel le système évolue

## ○ Sensibilité

Ampleur de la modification du système provoquée par une modification de contexte

## ○ Capacité d'adaptation

Capacité d'un système à modifier ses caractéristiques face à un changement de contexte

# ● ● ● Les systèmes d'élevage...

Introduction

- Une interdépendance forte entre décisions **stratégiques** et **tactiques**

*long terme* ↓

*Objectifs, dimensionnement,  
structure de l'exploitation*

*Ressources à mobiliser et  
compétences à développer*

↘ *Court et moyen termes*

*Ressources mobilisées*

*Succession des interventions*

- Des fourrages



Production et ressource

Forte dépendance au climat

... à base d'herbe

- **Alimentation du troupeau**

Ration variable sur l'année

plein pâturage / totalité d'aliments stockés



périodes de pâturage  
et de constitution de  
stock fourrager



périodes de  
distribution de stock  
fourrager

alternance



# Changement climatique et ressources fourragères

## A l'échelle de la planète

- Augmentation des températures moyennes annuelles GIEC 2007  
→ *décalage et allongement de la période de végétation* Linderholm 2006
- Augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub>  
→ *réduction de l'évapotranspiration*

## Effets attendus dans le Sud-Ouest de la France

- À horizon 2030
  - Rendement du maïs en baisse
  - 🌽 Augmentation de la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation  
Brisson et Levraut, 2010
  - 🌿 Rendement des prairies stable, voire en augmentation  
Ruget et al., 2010 ; Graux et al., 2013
- À horizon 2070
  - 🌿 Incertitudes sur le rendement des prairies (baisse ou hausse)  
Graux et al., 2013

# ● ● ● Plan

---



- Problématique et démarche générale
- Apports méthodologiques de la thèse
  - Des indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au climat
  - Une méthode de conception participative de systèmes adaptés au changement climatique
- Synthèse des résultats
- Conclusions et perspectives



# Problématique et démarche générale

# ● ● ● Problématique de la thèse

- Comment **caractériser** et **réduire** la **vulnérabilité** des élevages au changement climatique?

➤ **Adaptation science** *Meinke et al., 2009*

**Objectifs:** Fournir des informations pertinentes pour leur appropriation par les acteurs  
Transformer l'information scientifique en action concrète

**Etapes:** Comprendre le système et le problème posé  
Evaluer les impacts possibles du CC sur le système  
Evaluer les options d'adaptations et leurs conséquences  
Concevoir et évaluer la mise en œuvre des adaptations

## Analyse de vulnérabilité

Exposition

Sensibilité

Capacité d'adaptation

*Adger, 2006*

*Smit & Wandel, 2006*

Pouvoirs publics

Conseil agricole

Eleveurs

## Conception

**participative**

*Jakku & Thorburn, 2010*

*Martin et al, 2013*

Eleveurs

Pouvoirs publics

Conseil agricole

# ● ● ● Questions abordées dans la thèse

- Comment les éleveurs perçoivent-ils le changement climatique?
- Quelles ont été les adaptations à court et long terme des exploitations face à un aléa climatique?
- Comment le changement climatique modifie-t-il l'exposition des élevages au climat?
- Comment concevoir un système adapté au climat futur?

## Enjeux

Faciliter l'apprentissage sur le changement climatique, ses conséquences et les adaptations possibles

- augmenter la pertinence des infos sur le CC auprès des éleveurs
- faciliter la réflexion et les actions concrètes (éleveurs, conseillers, politiques)
- proposer des options d'adaptation pertinentes

# Démarche

- Comment les éleveurs perçoivent-ils le changement climatique?
- Quelles ont été les adaptations à court et long terme des exploitations face à un évènement extrême?
- Comment le changement climatique modifie-t-il l'exposition des élevages au climat?
- Comment concevoir un système adapté au climat futur?

## Enquêtes

→ *Manifestations de l'évolution du climat citées par les éleveurs*

Analyse de base de donnée. Focus année 2003

→ *Profils de sensibilité aux évènements extrêmes*

Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au climat

→ *Tendances d'évolution d'exposition*

Méthode de conception participative de systèmes d'élevages adaptés au changement climatique

→ *Adaptations possibles*

# Démarche

- Comment les éleveurs perçoivent-ils le changement climatique?
- Quelles ont été les adaptations à court et long terme des exploitations face à un évènement extrême?
- Comment le changement climatique modifie-t-il l'exposition des élevages au climat?
- Comment concevoir un système adapté au climat futur?

## Enquêtes

→ *Manifestations de l'évolution du climat citées par les éleveurs*

Analyse de base de donnée. Focus année 2003

→ *Profils de sensibilité aux évènements extrêmes*

Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au climat

→ *Tendances d'évolution d'exposition*

1

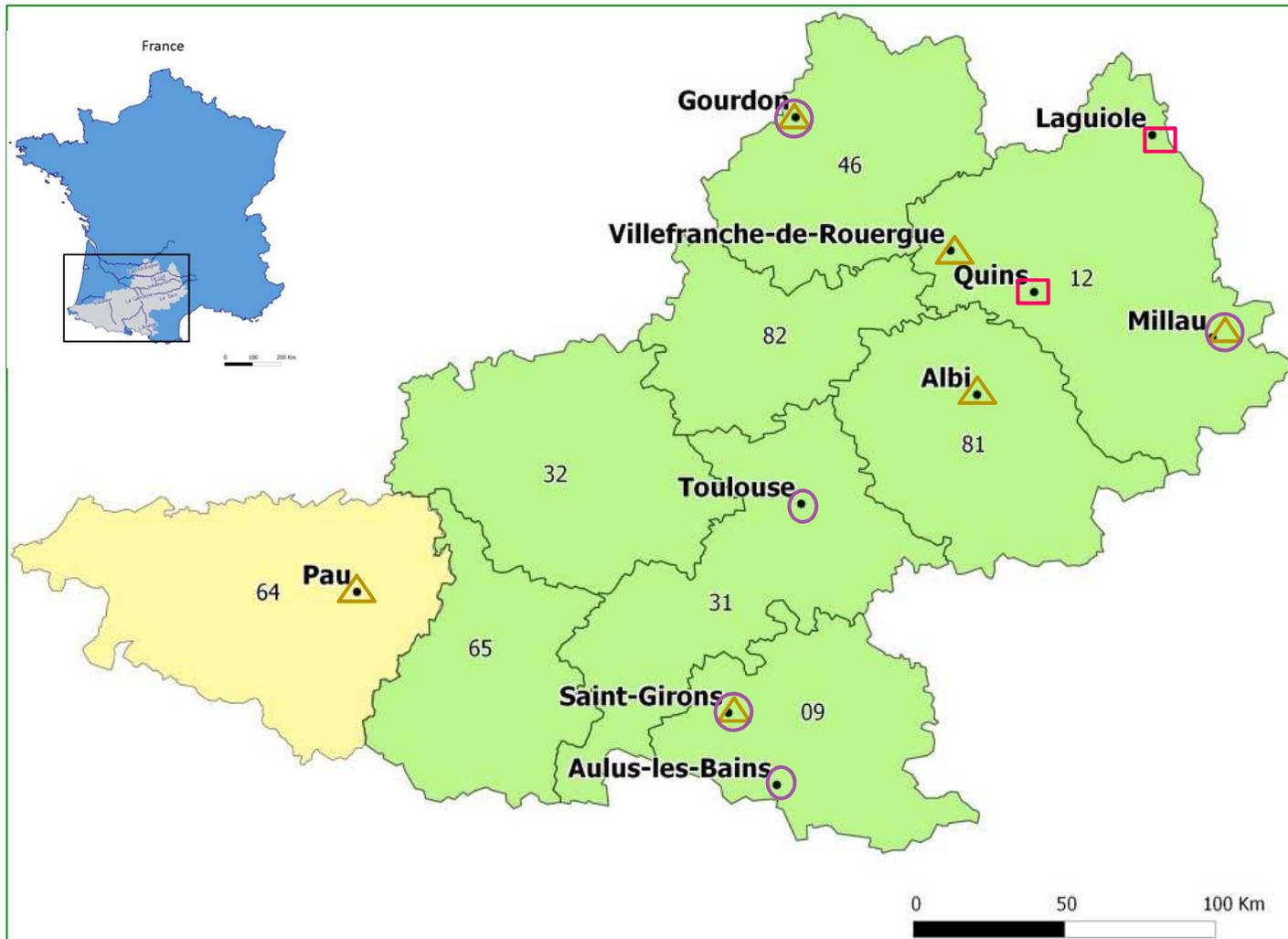
Méthode de conception participative de systèmes d'élevages adaptés au changement climatique

→ *Adaptations possibles*

2

# ● ● ● Dispositif

Problématique et démarche générale



- Perceptions
- △ Sensibilité
- Exposition
- Conception



# Apports méthodologiques de la thèse

1

Indicateurs d'exposition des systèmes  
herbagers au climat

- **1** Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au changement et à la variabilité climatiques

Objectif: représenter le climat de façon pertinente pour les systèmes d'élevage herbagers

### Indicateurs classiques

#### ***Climatiques bruts***

Température, précipitations,  
Evapotranspiration...

#### ***Climatiques élaborés***

Degrés jours, nombre jours de gel,  
nombre de jours sans pluies...

#### ***Intégrateurs***

Rendement annuel prairies

### Nouveaux indicateurs

#### ➤ *Temporalité de la production*

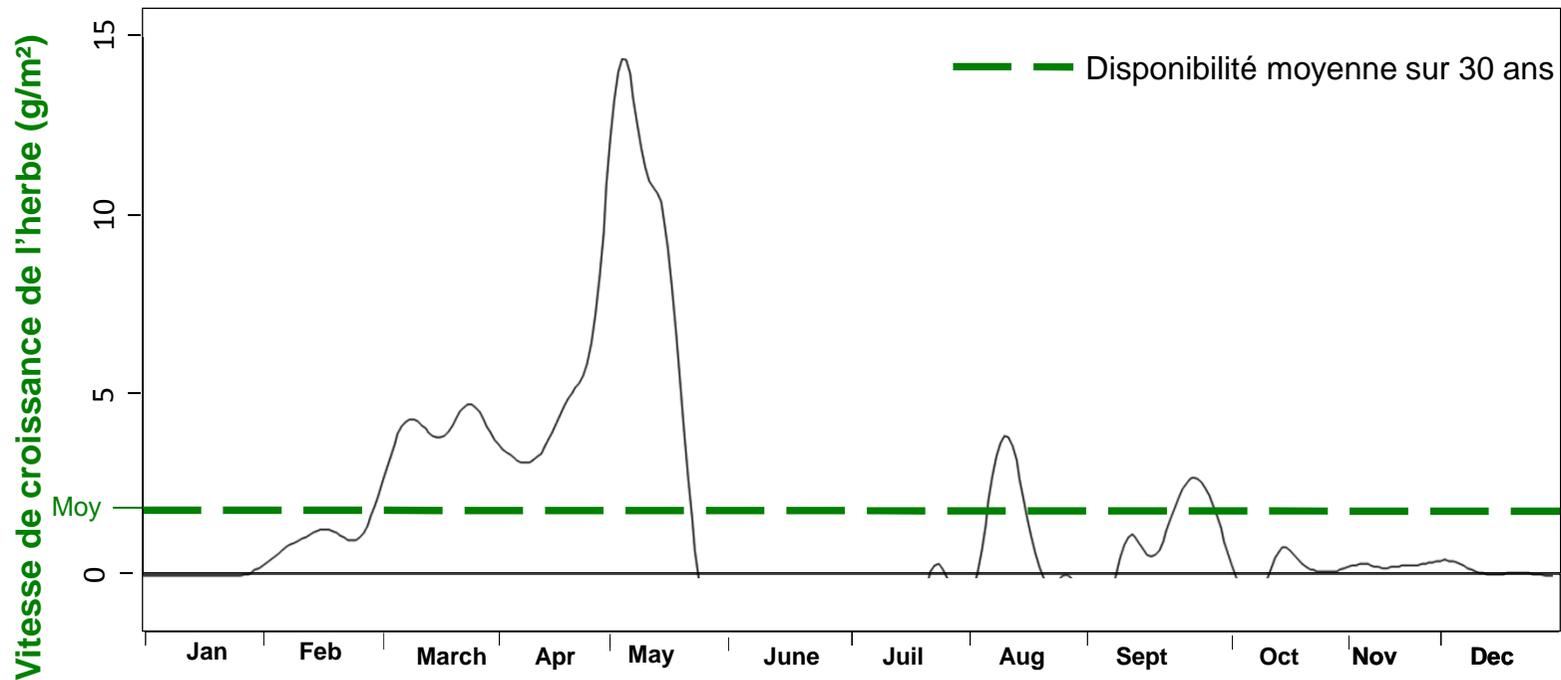
Date de début des saisons  
fourragères

#### ➤ *Productivité*

Quantité d'herbe en excès ou en  
déficit au pâturage par saison

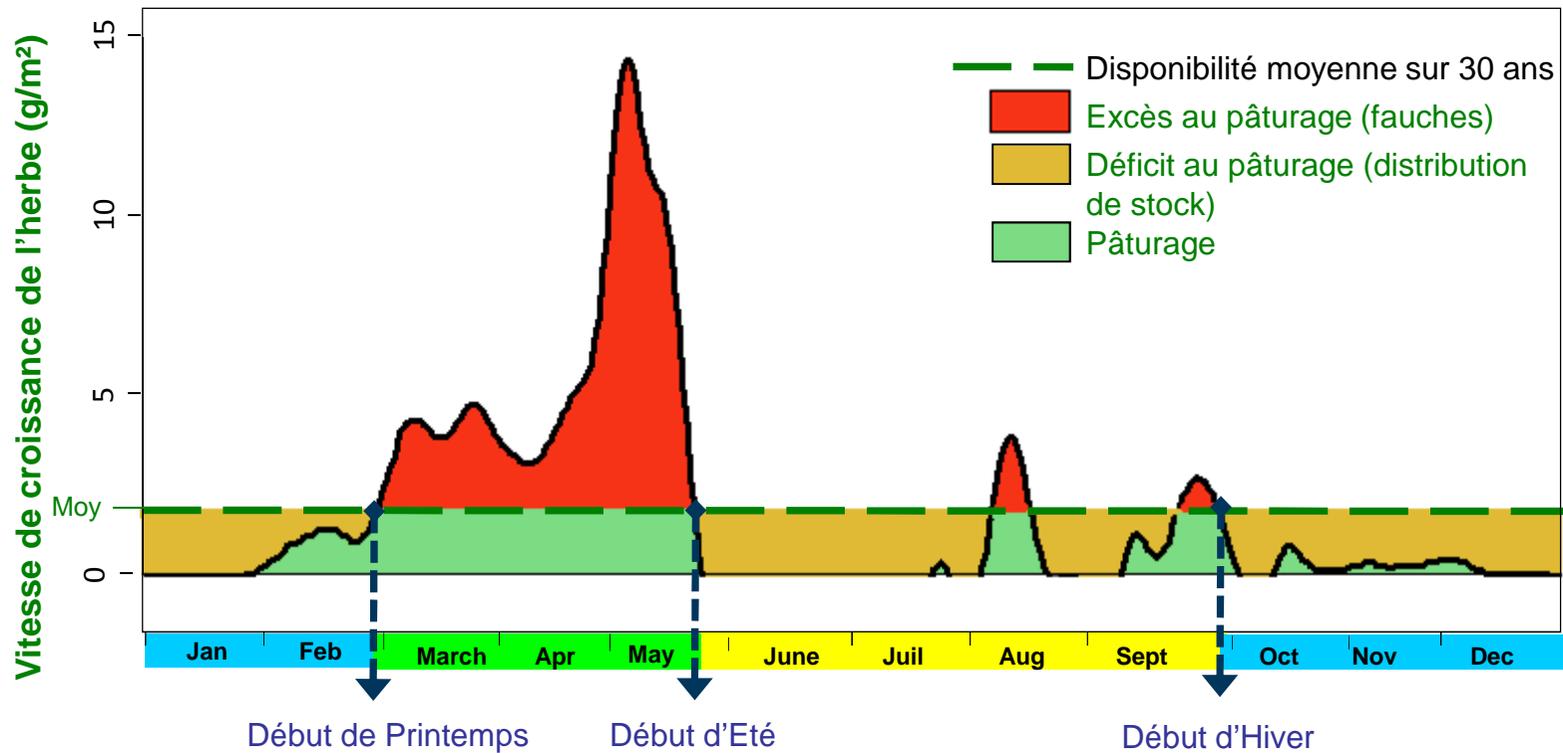
1

# Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au changement et à la variabilité climatiques



Hypothèse: système équilibré sur le long terme  
→ disponibilité moyenne = besoin apparent moyen du troupeau

● **1** Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au changement et à la variabilité climatiques

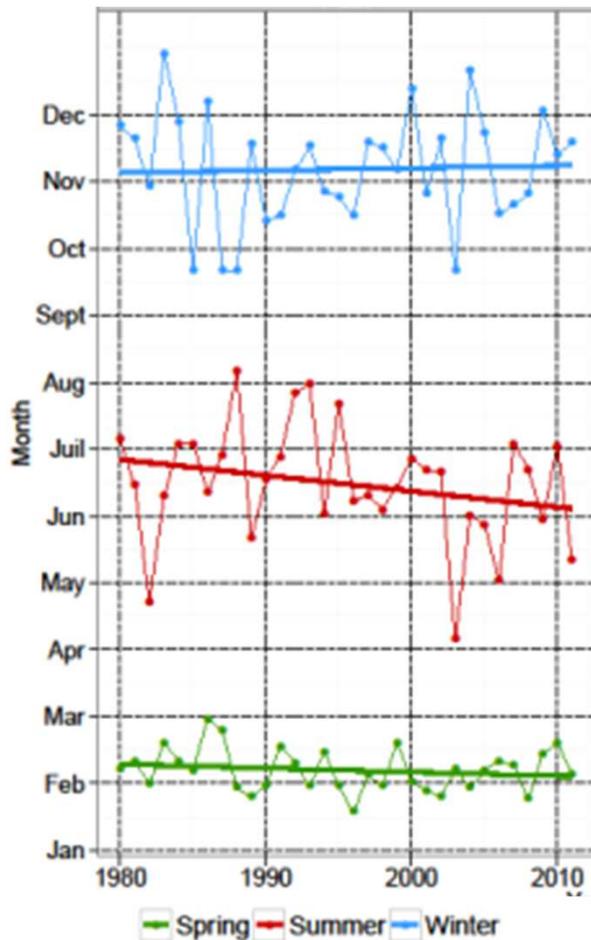


# 1

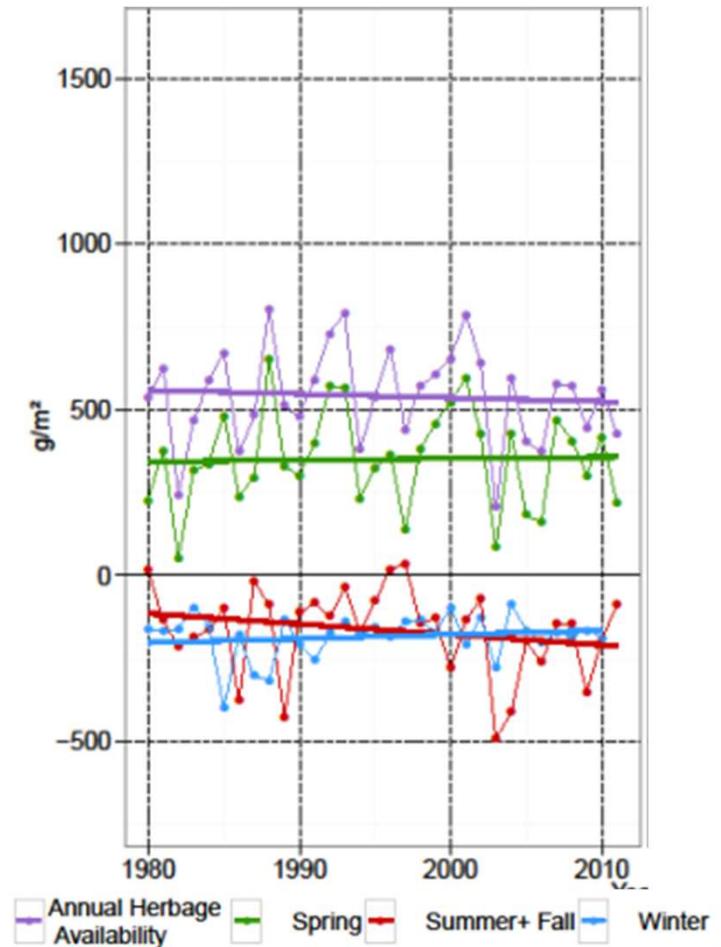
## Des séries climatiques aux indicateurs d'exposition

De 1980 à 2010 (Toulouse)

Dates de début de saison fourragère



Solde d'herbe au pâturage



# ● 1 Indicateurs d'exposition: application à 5 sites en région Sud-Ouest

## Comparaison de moyennes

- Production annuelle stable
  - Printemps plus précoce, plus court et plus productif
  - Été-automne plus précoce, plus long et moins productif
  - Hiver plus tardif et plus court
- augmentation des contrastes entre saisons



## Analyses complémentaires

- + variabilité interannuelle du rendement des prairies à l'échelle de la saison
- Modification des types d'années les plus fréquents

***nouvelle situation climatique, nouvelle exposition au climat***

# 1 Indicateurs d'exposition: Limites et perspectives

## ○ Limites

- Composition des prairies permanentes considérée stable
- Simulations climatiques futures considérées :  
un seul scénario climatique  
un seul modèle de climat
- Incertitudes pour la quantification de l'effet du CO<sub>2</sub> sur l'efficacité de la photosynthèse



## ○ Perspectives

- Indicateurs à décliner pour la ressource fourragère « maïs »
- Prise en compte des événements climatiques ponctuels extrêmes (fortes pluies, sécheresses, pics de température)



## Apports méthodologiques de la thèse

2

Méthode de conception participative de  
systèmes d'élevages adaptés au  
changement climatique

## ● 2 Concevoir pour une nouvelle situation

### Simulation

*Graux et al., 2013; Lardy et al., 2013*

Pour une gamme scénarios climatiques, scénarios socio-économiques

**Mais: représentation frustrée des processus de décision**

*changement  
climatique moyen  
événements extrêmes*

### Conception participative

*Rinaudo et al., 2012; Lamarque 2012*

En tenant compte du caractère imprévisible du climat

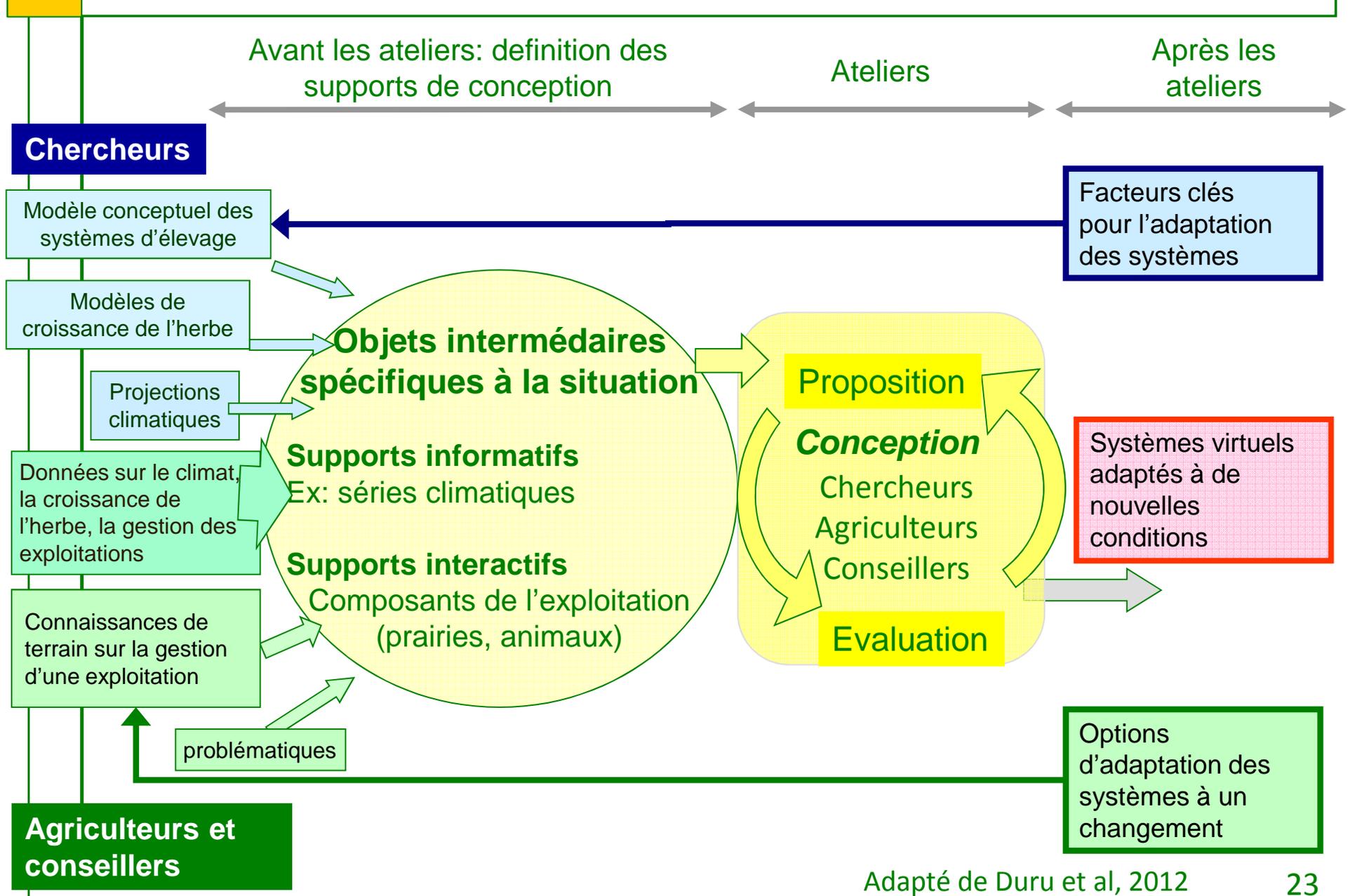
**Mais: variabilité climatique peu étudiée**

**Conception participative assistée par des modèles de simulation**  
(Martin et al., 2011; Etienne et al., 2011)

- Objectifs : Augmenter la capacité d'adaptation par
  - l'anticipation (conception)
  - l'échange de connaissances (collectif)

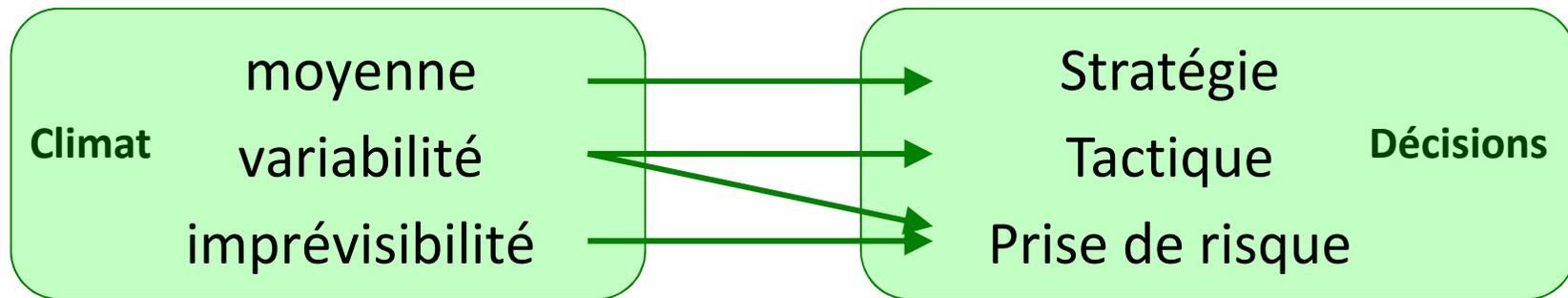
# 2

## Principes de la conception participative mobilisée dans la thèse



## ● 2 Concevoir en situation inédite

Modèle général de l'agriculteur *Sebillotte et Soler, 1990*

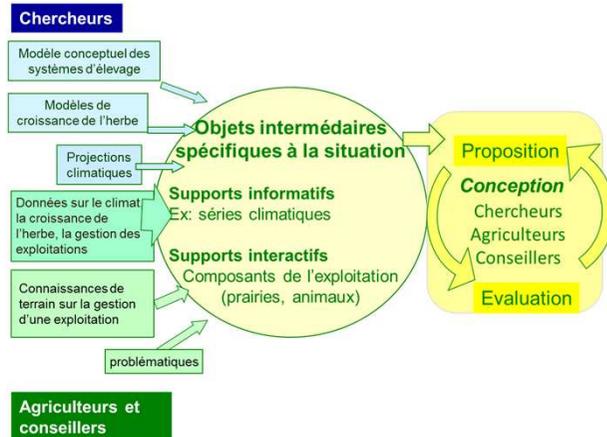


➔ Conception **progressive** d'un système pour **s'approprier le changement climatique** dans sa complexité:

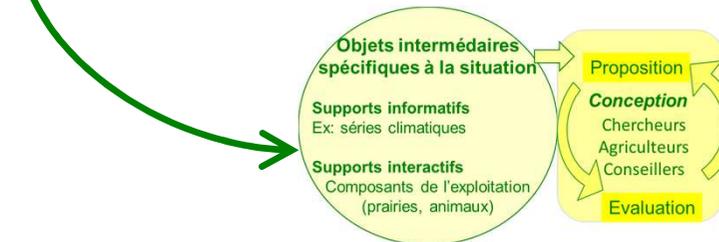
- 1- la stratégie à partir **du climat moyen**,
- 2- la tactique à partir **de la variabilité** du climat,
- 3- la gestion de **l'incertain** à court terme.

# Concevoir en situation inédite: méthode de conception en trois temps

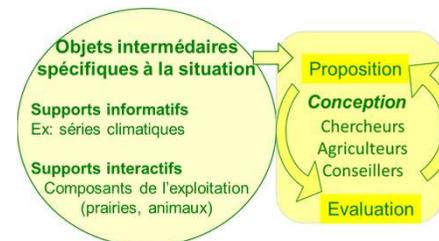
## Atelier 1: la stratégie à partir du climat moyen



## Atelier 2: la tactique à partir de la **variabilité** du climat

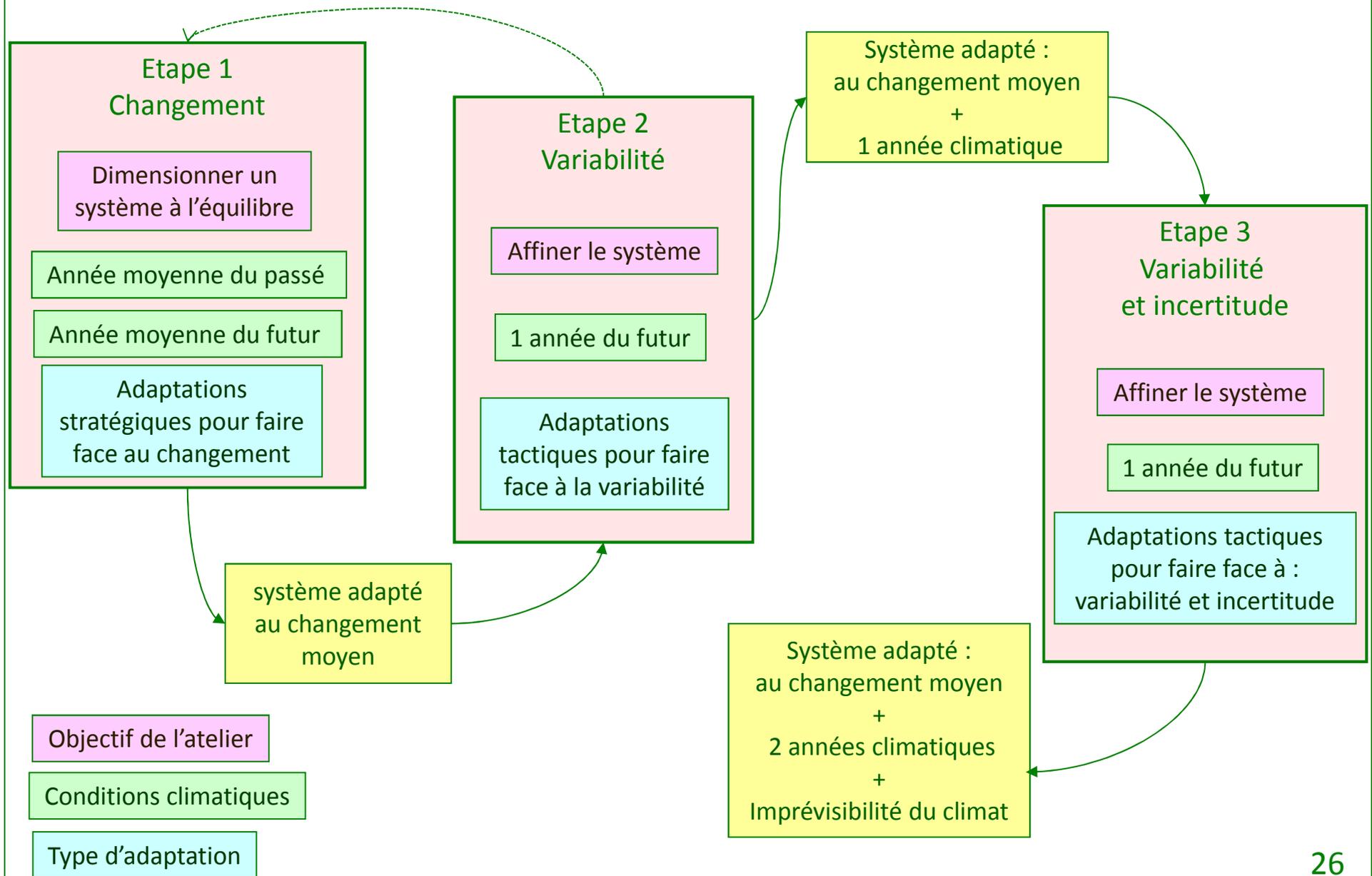


## Atelier 3: la gestion de l'**incertain** à court terme



# 2

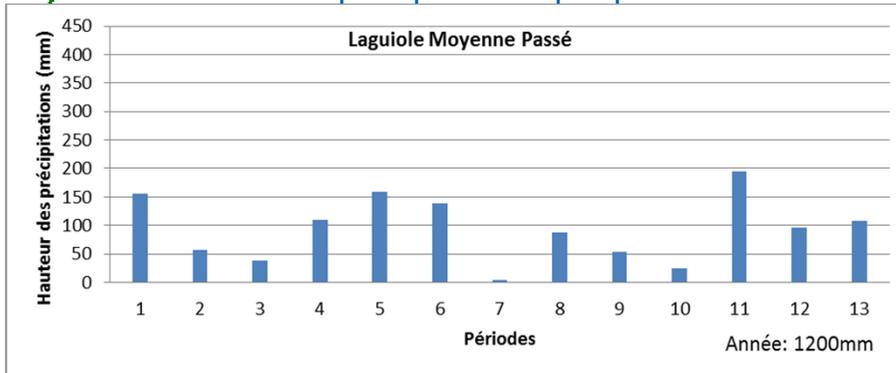
## Concevoir en situation inédite: méthode de conception en trois temps



# 2

## Conception participative: aperçu d'ateliers mobilisant le Rami Fourrager

Cumul de précipitations par période



Vitesse de croissance d'une prairie permanente  
Pâturage tournant d'avril à septembre



Echanges entre éleveurs



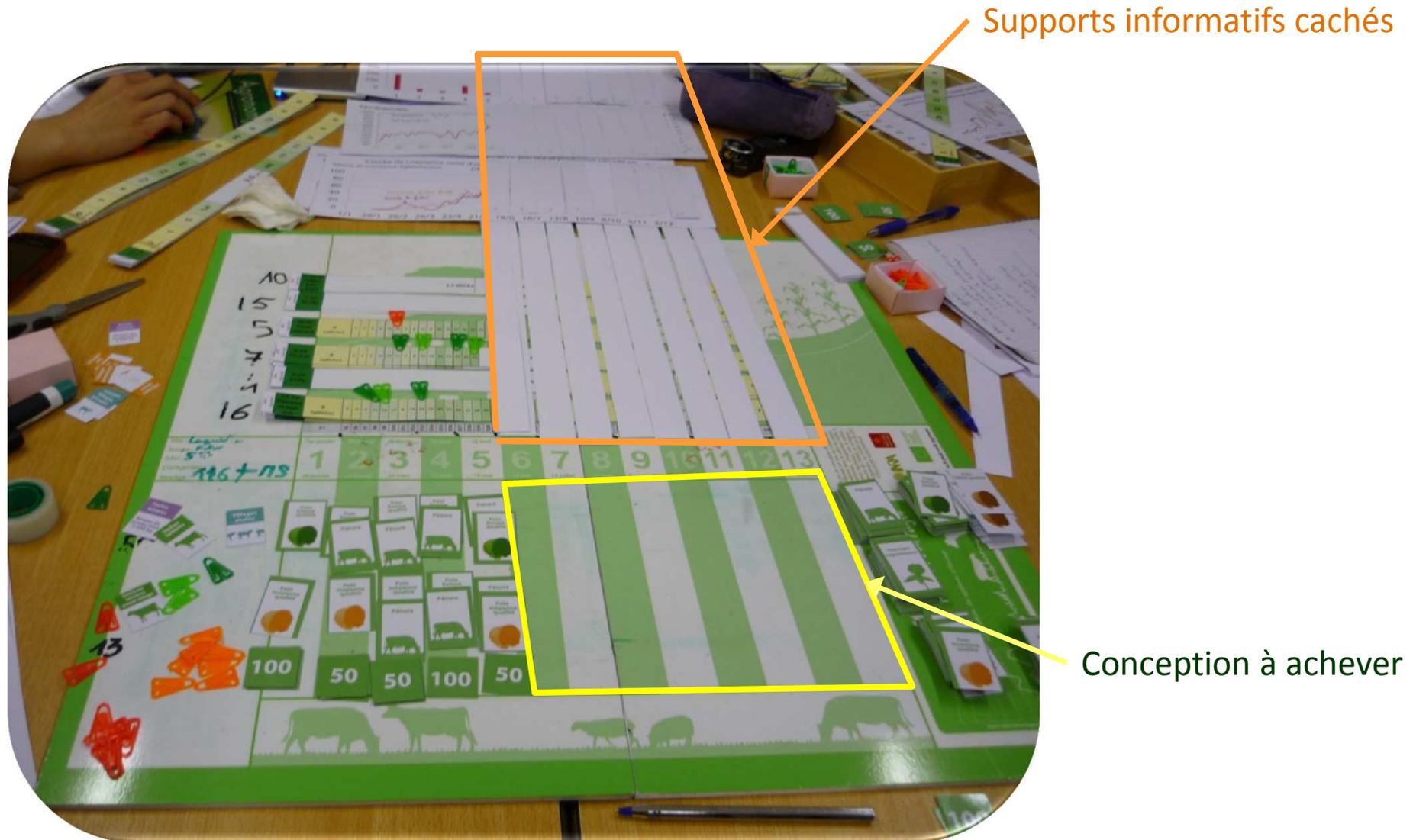
Choix des types de prairies et des surfaces allouées



Evaluation de la cohérence avec le support informatique (à l'aide de l'animateur)

2

## Etape 3: découverte de la situation climatique au fur et à mesure de la mesure de la conception



## ● 2 Leviers d'adaptation utilisés par les éleveurs pendant les ateliers

### Ateliers collectifs de conception

#### Dispositif

- Outil de conception: Rami Fourrager
- 2 zones pédoclimatiques, Aveyron
  - Montagne
  - Vallées
- 2 types de participants
  - Eleveurs
    - Bovin lait
    - Bovin viande

#### ○ Mobilisés

Gestion des ressources fourragères  
Flexibilité interne: substitution des aliments dans la ration  
Flexibilité externe: achats

#### ○ Non mobilisés

Diversité des types de prairies et cultures annuelles  
Besoins des animaux

## ● 2 Conception en trois temps: Points forts



Gamme d'années représentative d'un climat inédit  
Situation proche d'une gestion réelle

➤ Communiquer sur le changement climatique et ses conséquences possibles  
*construction des capacités adaptatives* Adger, 2006

➤ Echanger sur les conséquences du CC et les adaptations possibles

Apprécier si l'impact du CC est un problème

Evaluer les options d'adaptations et leurs conséquences

*Adaptation science*

*Meinke et al., 2009*

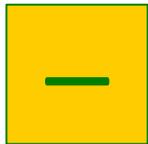
Imaginer des adaptations et les tester

*dispositif d'apprentissage* Tschakert and Dietrich, 2010

Réduction de la  
vulnérabilité

## ● 2 Conception en trois temps: Limites

---



Pas de reconception

*Evaluation du système passé face au climat futur*

*→ Conception pas à pas*

Risque de confusion

*Apprentissage négatif*

*Oppenheimer, et al. 2008*

Difficultés de diffusion

*Temps de préparation, Temps de réalisation*

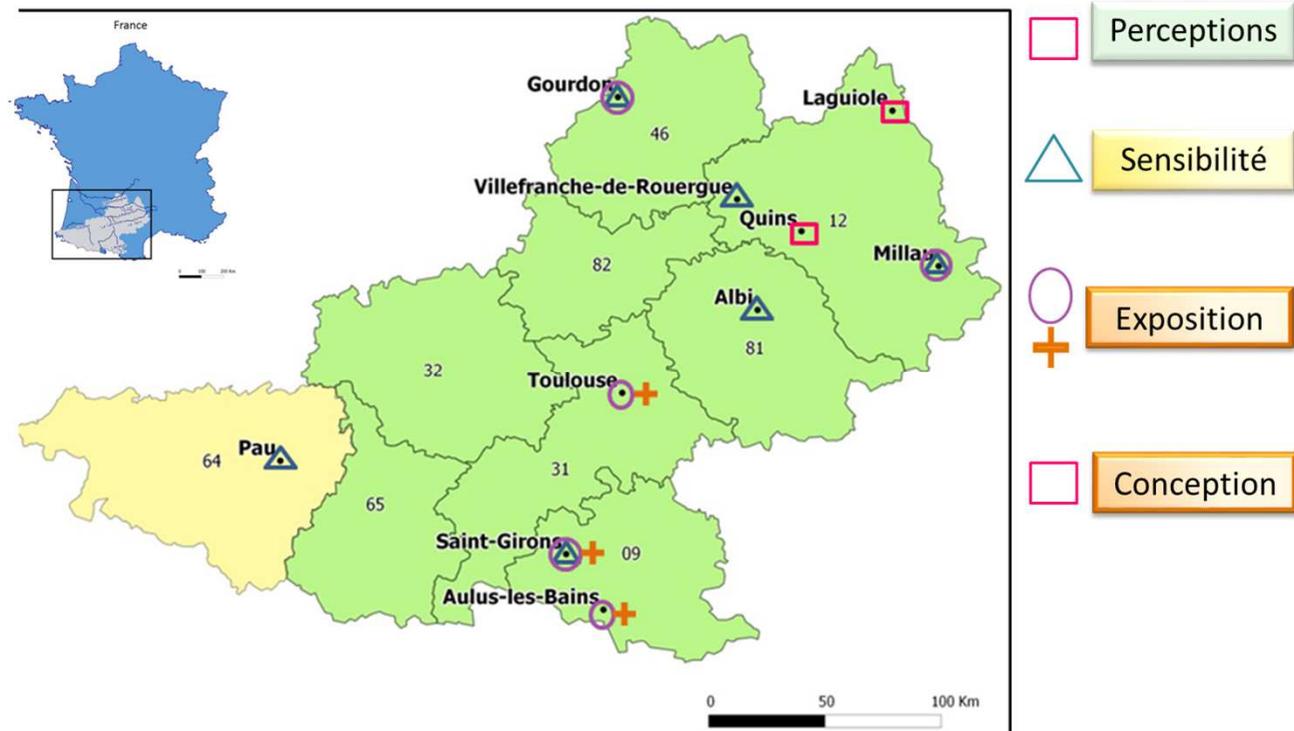
## ● 2 Conception en trois temps: Perspectives

- Pour se rapprocher encore plus d'une situation réelle
    - Tenir compte de la qualité des fourrages produits
    - Ajouter des contraintes concernant le contexte socio-économique (filières, prix de l'énergie...) et l'organisation spatiale de l'exploitation
- ⚠ *Compromis réalisme et intelligibilité*
- Dans quelles mesures la méthode en trois temps réduit-elle la vulnérabilité des élevages au changement climatique?
    - Etudier les apprentissages réalisés au cours des ateliers et s'ils sont suivis de modifications de pratiques





# Synthèse des travaux



# ● ● ● Synthèse des travaux

## Enquêtes

→ *Manifestations de l'évolution du climat citées par les éleveurs*

Observent tous des évolutions du climat par manifestations météo, faune flore et pratiques  
Mais des indécis et négateurs

## Analyse de base de donnée. Focus année 2003

→ *Profils de sensibilité aux évènements extrêmes*

Système robuste: moins chargé, plus sécurisé, meilleur potentiel fourrager ou meilleure maîtrise technique

1

## Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au climat

→ *Tendances d'évolution d'exposition*

Saisonnalité de la production plus marquée  
Production annuelle équivalente  
Nouveaux types d'années fourragères

2

## Méthode de conception participative de systèmes d'élevages adaptés au changement climatique

→ *Adaptations possibles*

Modifications tactiques suffisent  
→ Implications dans l'organisation du travail

# ● ● ● Destinataires et utilisations des outils développés

---

## ○ Destinataires

Conseillers agricoles, Eleveurs

*Pouvoirs publics*

## ○ Utilisations

Prendre conscience du changement climatique

Imaginer les conséquences du changement climatique sur la gestion d'un élevage

*Indicateurs d'exposition*

Evaluer la vitesse du changement climatique

Identifier les zones les plus exposés au changement climatique

*Méthode de conception*

Identifier les systèmes les plus vulnérables au changement climatique

# ● ● ● Diversité des indicateurs climatiques: Destinataires, utilisations et échelles

---

- Destinataires: Chercheurs, conseillers, éleveurs
- *Analyse de vulnérabilité*: indicateurs intégrateurs
  - Echelle saison
  - Plusieurs dizaines d'années
  - Zone pédoclimatique
- *Conception*: indicateurs bruts et intégrateurs
  - Échelle saison (stratégie), échelle semaine (tactique)
  - Une année
  - Entité de gestion (parcelle)
- *Sensibilisation*: indicateurs bruts, élaborés et intégrateurs
  - Échelles année et saison
  - Plusieurs dizaines d'années
  - Zone pédoclimatique



# Conclusions et perspectives

*Comment **caractériser** et **réduire** la **vulnérabilité** des élevages au changement climatique?*



# Des outils qui participent à *l'Adaptation science*

## ➤ Adaptation science

*Meinke et al., 2009*

### **Objectifs:**

Fournir des informations pertinentes pour leur appropriation par les acteurs

Transformer l'information scientifique en action concrète

### **Etapes:**

Comprendre le système et le problème posé

Evaluer les impacts possibles du CC sur le système

Evaluer les options d'adaptations et leurs conséquences

Concevoir et évaluer la mise en œuvre des adaptations

1

Indicateurs d'exposition des systèmes herbagers au climat

2

Méthode de conception participative de systèmes d'élevages adaptés au changement climatique

# ● ● ● Conclusions

---

## ○ Résultats

Saisonnalité de la production herbagère plus marquée

Apparition de nouveaux types d'années fourragères et disparition d'anciens

Adaptations tactiques suffisantes mais réorganisations du travail à prévoir

## ○ Verrous scientifiques à lever

Incertitudes modèles (climatiques, de croissance de l'herbe...)

Intégration des connaissances scientifiques dans les objets intermédiaires (niveau de détail, complexité)

Apprentissages permis par la conception



## ● ● ● Perspectives

---



Priorité : **sensibiliser les éleveurs au changement climatique** et à ses conséquences sur les ressources fourragères

→ Augmenter les capacités d'adaptation et atténuer le changement climatique

## ● ● ● Merci à ...

---

- Eleveurs participants
- Conseillers agricoles  
Aveyron
- Institut de l'élevage
- Optilait
- Mathilde Piquet
- Olivia Itier

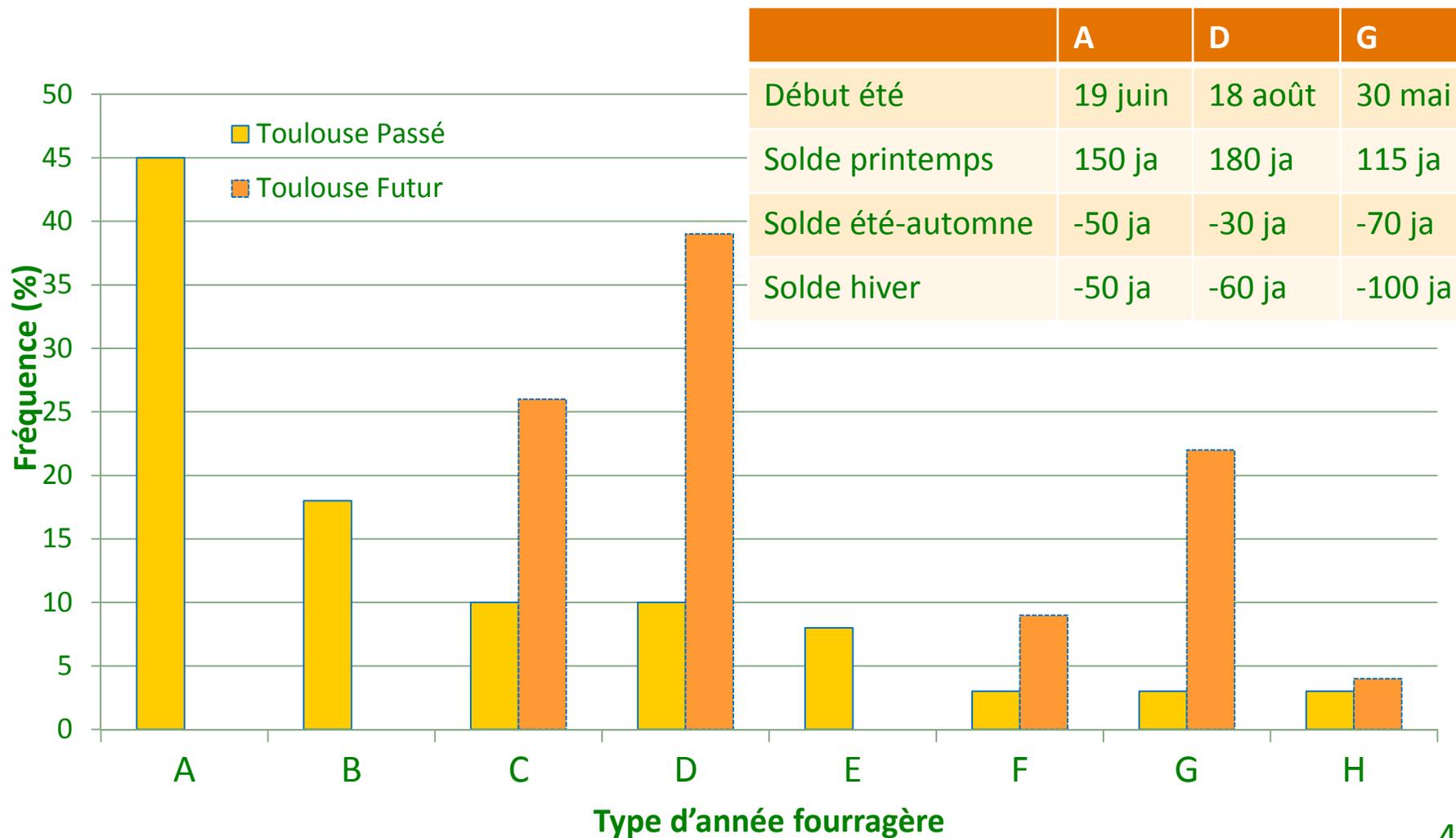




# 1

## Evolution des types d'années fourragères

Evolution de la fréquence des différents types d'années entre climat passé (1980-2010) et climat 2050 (2035-2065). A1B. Toulouse



30 55 m<sup>2</sup>

10	0	5	24	39	41	38	0	0	21	7	0	0	0
10	0	4,0 m <sup>2</sup>				53	0	2	17	11	0	0	0
30	0	5,0 m <sup>2</sup>				2,0 m <sup>2</sup>	0	16	9	0	0	0	1
30	0	6	22	3,0 m <sup>2</sup>		46	0	4	17	7	0	0	3
5	0	4	19	37	45	66	0	0	16	7	0	0	0
5	0	4,0 m <sup>2</sup>				2,0 m <sup>2</sup>	0	15	23	0	2	0	0

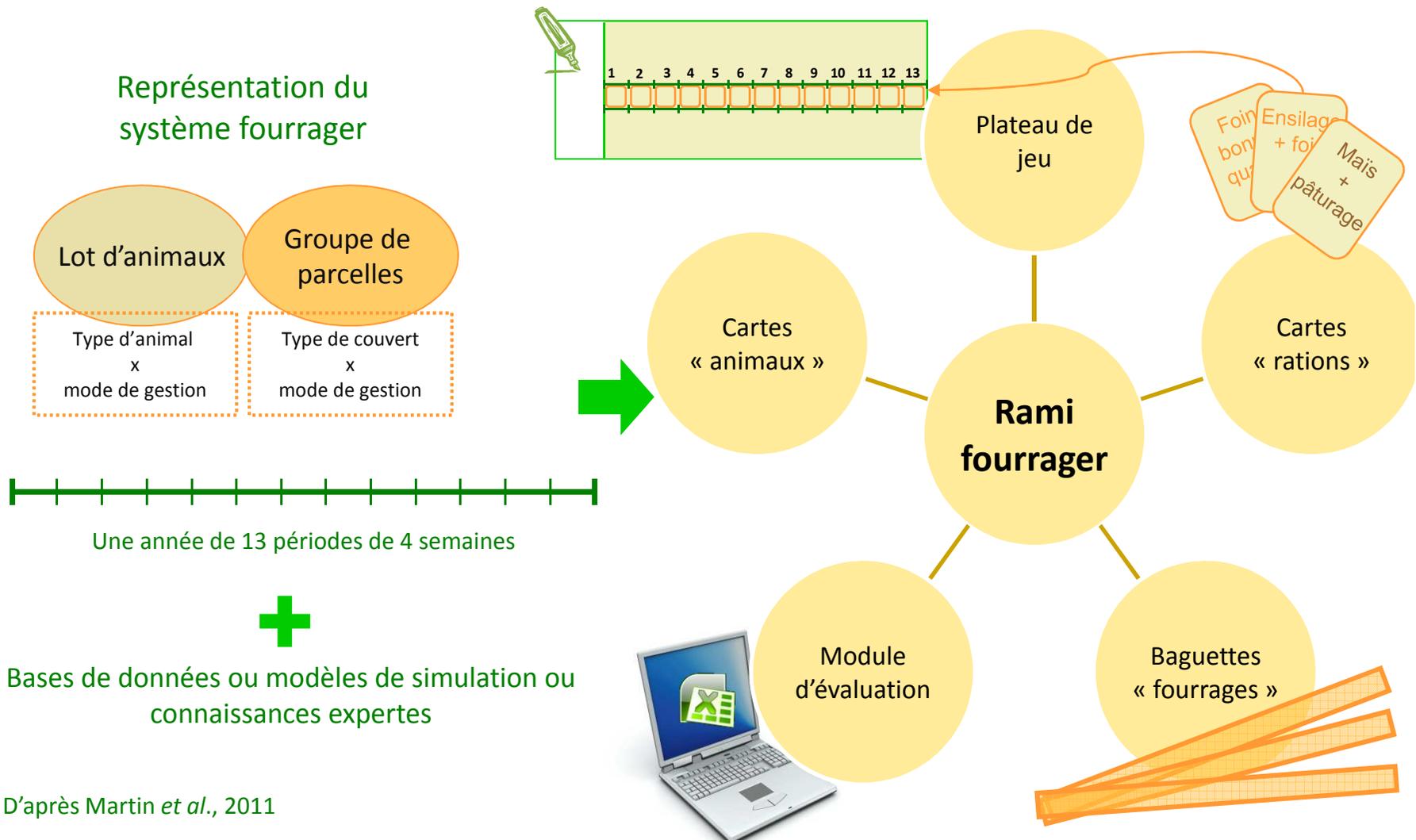
Amlyon  
2005  
110 l/ha PP  
20j aut+jour  
10 VL

30 g.  
vél.  
36 m<sup>2</sup>

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Rémi Fournier

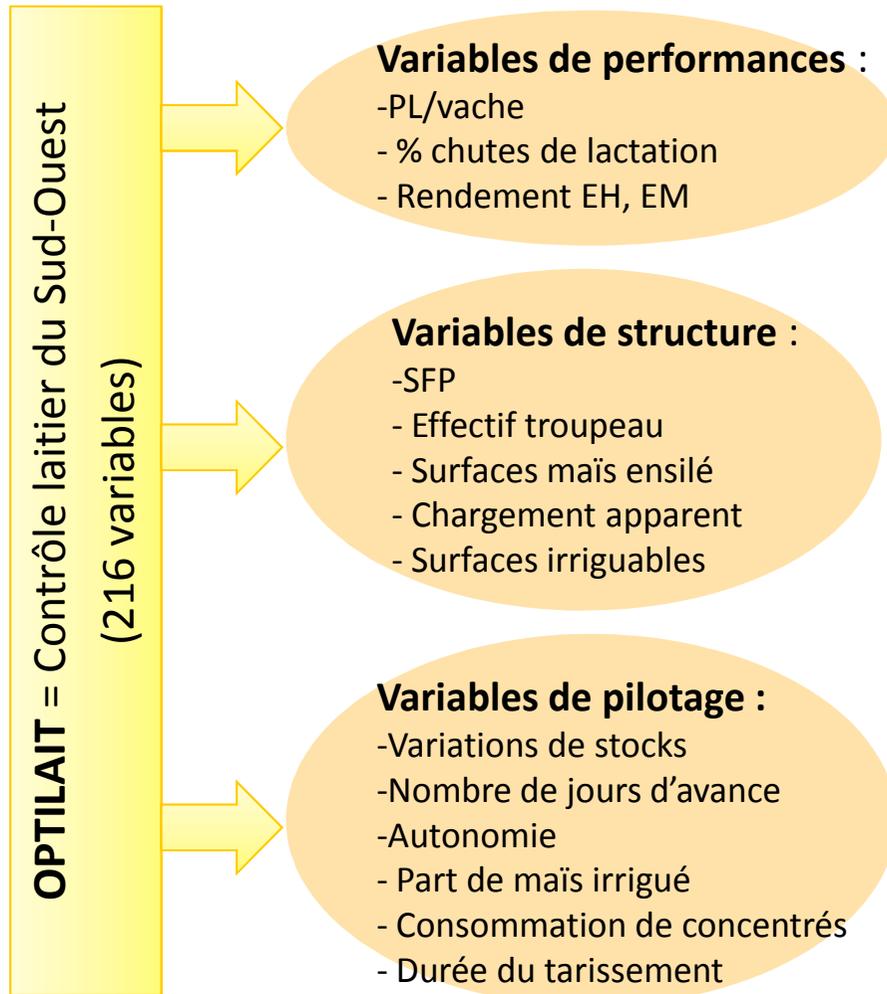
# Présentation du rami fourrager : les différents éléments



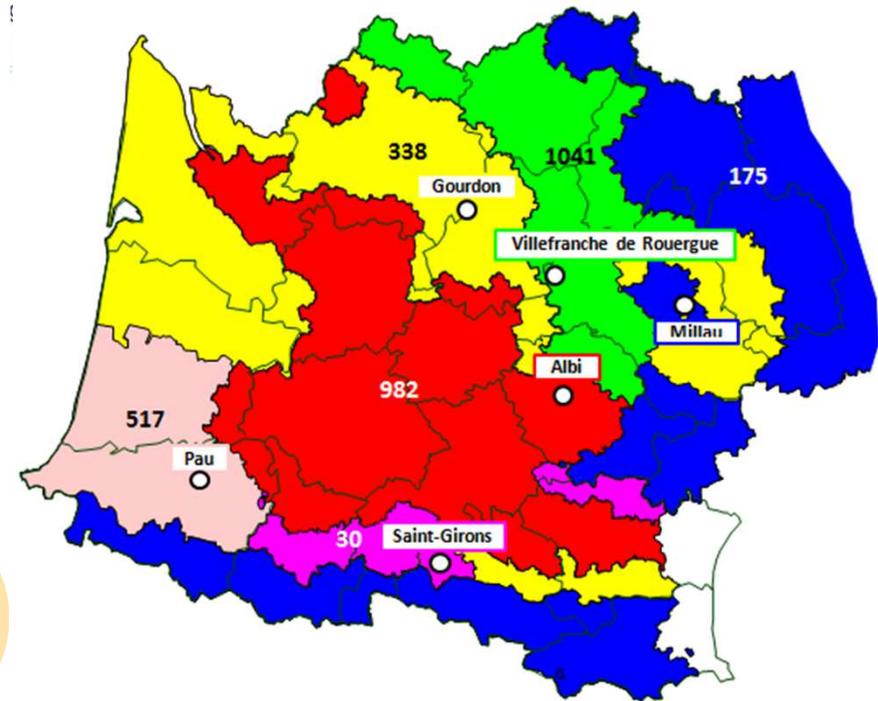
D'après Martin *et al.*, 2011



# Support d'étude : base de données OPTILAIT



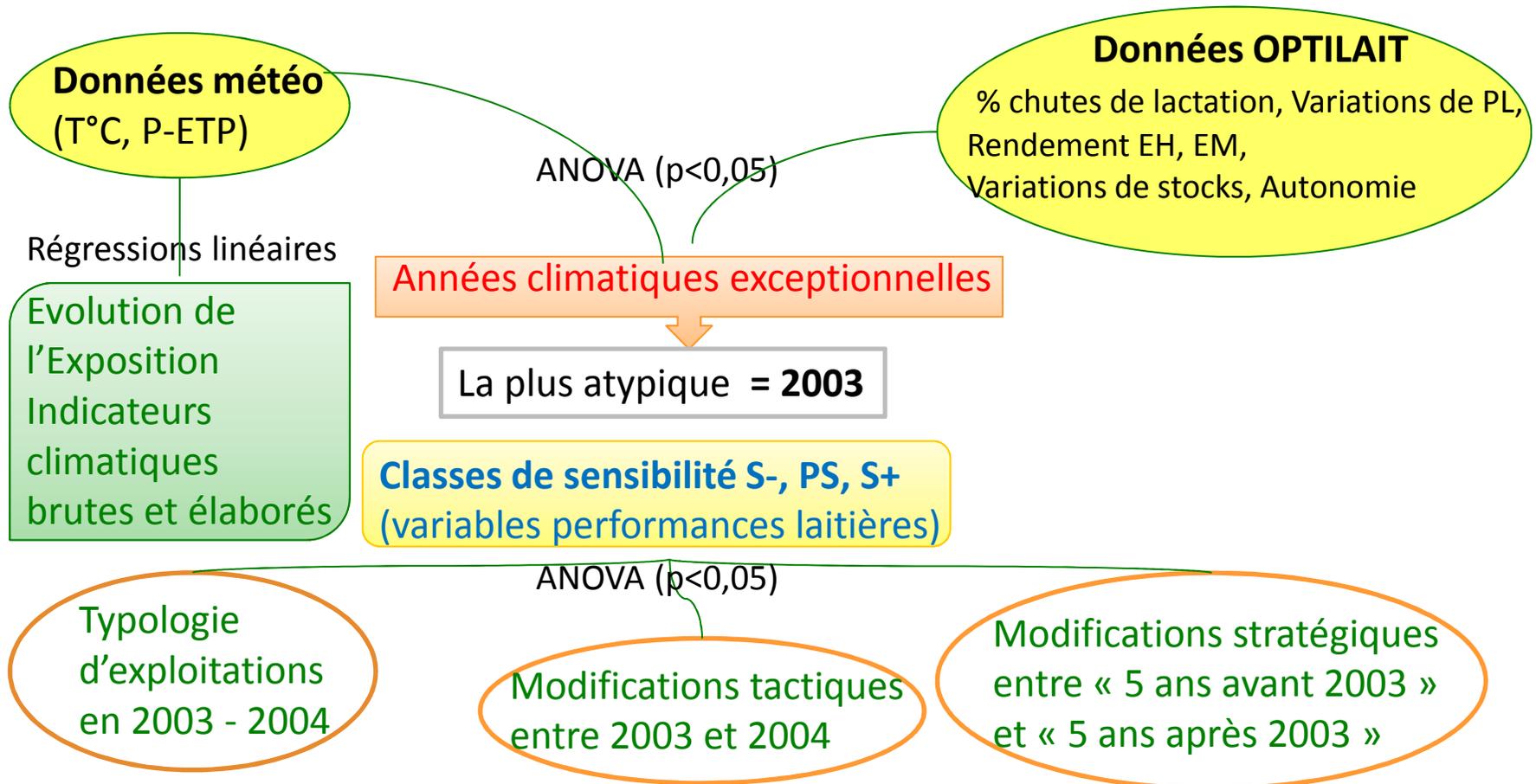
Carte des 6 régions pédoclimatiques - 3083 exploitations





# Vulnérabilité des élevages laitiers du Sud-Ouest à la variabilité climatique

De 1989 à 2010 : 6 petites régions pédoclimatiques





# Typologie d'exploitations – données OPTILAIT



Caractéristiques sur la période 1989-2011

Exploitations **peu sensibles** à la sécheresse de  
2003 (au niveau des performances laitières)

Plus de surfaces  
fourragères

**Extensif +  
irrigation**

Chargement  
plus faible

Moins de  
concentrés dans  
les rations

Meilleurs rendements  
ensilage d'herbe

Plus de surfaces  
irriguées



# Modifications de stratégies suite à 2003

Exploitations **peu sensibles** à la sécheresse de  
2003 (au niveau des performances laitières)



Stratégies **VARIABLES** selon la région

**MAIS**

**Quelques adaptations communes en rupture avec la  
dynamique passée** (5 régions sur 6)

Chargement apparent ↓

Part de maïs ↓



# Particularités des systèmes agricoles



Composante humaine  
Connaissances, Compétences  
Préférences, Valeurs

Composants biophysiques



Cultures  
Animaux

Environnement extérieur

Climat

Economie



Règlementation



Technologies / Pratiques



Décisions

stratégiques et tactiques

(Objectifs, ressources mobilisées, pratiques)



Système biotechnique

# ● ● ● Destinataires et utilisations des outils développés

Discussion

	<b>Niveau d'action</b>	<b>Eleveur</b>	<b>Conseil agricole</b>	<b>Pouvoirs publics</b>
	<b>Missions</b>	<b>Exploitation</b>	<b>Agriculture d'une zone</b>	<b>Système agricole</b>
	<b>Choix</b>	<b>Conduite système</b>	<b>Formations, conseil individuel ou collectif</b>	<b>Orientation de l'agriculture</b>
		<b>Investissements et dimensionnement</b>	<b>Zones et systèmes cibles</b>	<b>Zones et systèmes cibles</b>
	Prendre conscience du changement du climatique	I. exposition Méth. conception		
	Evaluer la vitesse du changement	I. exposition	I. exposition	I. exposition
	Imaginer les conséquences du CC sur la gestion d'un élevage	I. exposition Méth. conception	I. exposition Méth. conception	
	Identifier les zones les plus exposés au CC			I. exposition
	Identifier les systèmes les plus vulnérables au CC		Méth. conception	Méth. conception



# Diversité des indicateurs climatiques: Destinataires, utilisations et échelles

Synthèse des travaux

	Analyse de vulnérabilité	Conception	Sensibilisation
Indicateur(s) climatique(s)	Intégrés <i>tenant compte du fonctionnement des systèmes d'élevage</i>	bruts <i>et</i> intégrés	bruts, élaborés <i>ou</i> intégrés <i>proches du quotidien de l'éleveur</i>
Echelle spatiale	Zones pédoclimatiques	La zone pédoclimatique (bruts) entité de gestion (intégrés)	La zone pédoclimatique
Grain temporel	Saison et année	Saison et année (choix stratégiques) Semaine (choix tactiques)	année
Entendue temporelle	Plusieurs périodes de plusieurs dizaines d'années (ex: 30ans)	une année	plusieurs dizaines d'années (ex: 30ans)
Situation de référence	Période passée	Climat moyen (passé ou futur)	Observations sur la zone
Destinataires	Décideurs, conseillers, chercheurs	Eleveurs, conseillers, chercheurs	Eleveurs



# Perceptions du changement climatique

## 1. Le changement climatique n'est pas une préoccupation majeure

Priorités : l'économique, le foncier, le sanitaire, la reprise, la déprise des campagnes, charge de travail...

Néanmoins, le climat a été évoqué comme une contrainte dès la présentation de l'exploitation

## 2. Une évolution du climat ressentie localement mais peu attribuée au changement climatique

Cf. météo, faune et flore et pratiques agricoles

## 3. Une majorité convaincue de l'existence du CC (10/16)

les autres « ne savent pas » (3/16)

ou

sont convaincus que le CC n'existe pas (3/16)



# Perceptions du changement climatique

## Les signes d'évolution du climat décrits:

### • Météo

- Augmentation de la variabilité : saisons moins marquées, plus de phénomènes extrêmes (fortes températures, basses températures, orages, sécheresses)
- Diminution de la ressource en eau (tarissement des sources, moins de neige)
- Hiver plus court



### • Pratiques

- Calendrier:  
Mises à l'herbe +  
fauches + récoltes plus précoces



- Dimension
  - ↓ du chargement
  - ↑ du foin distribué hors hiver
  - ↑ de la capacité de stockage
- ↑ de la vigilance (réactivité)
- Intégration du sorgho

### • Faune et Flore

- Mort d'arbres (chênes, hêtres, ormes)
- Invasions rat taupié



Adger W.N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, **16**, 268–281

Duru M., Martin G., Martin-Clouaire R., Piquet M. and Sautier M. 2012. Une méthode innovante de conception participative de systèmes de production agricoles. *In Symposium PSDR. Les chemins du développement territorial*. Clermont-Ferand.

Etienne M., Toit D.R. Du and Pollard S. 2011. ARDI : A Co-construction Method for Participatory Modeling in Natural. *Ecology And Society*, **16**.

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. & White, K.S., eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Jakku E. and Thorburn P.J. 2010. A conceptual framework for guiding the participatory development of agricultural decision support systems. *Agricultural Systems*, **103**, 675–682,

Martin G., Felten B. and Duru M. 2011. Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems. *Environmental Modelling & Software*, **26**, 1442–1453,

Martin G., Martin-Clouaire R. and Duru M. 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **33**, 131–149,

Meinke H., Howden S.M., Struik P.C., Nelson R., Rodriguez D. and Chapman S.C. 2009. Adaptation science for agriculture and natural resource management—urgency and theoretical basis. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **1**, 69–76,

Oppenheimer M., O’Neill B.C. and Webster M. 2008. Negative learning. *Climatic Change*, **89**, 155–172

Sebillotte M. and Soler L.G. 1990. Les processus de décision des agriculteurs. I. Acquis et questions vives. *In* Brossier, J., Vissac, B. & Lemoigne, J.L., eds. *Modélisation systémique et systèmes agraires*. Paris: Inra éditions.

Smit B., Burton I., Klein R.J.T. and Wandel J. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, **45**, 223–251.

Smit B. and Wandel J. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, **16**, 282–292

Tschakert P. and Dietrich K. 2010. Anticipatory learning for climate change adaptation and resilience. *Ecology and Society*, **15**, 18.

