

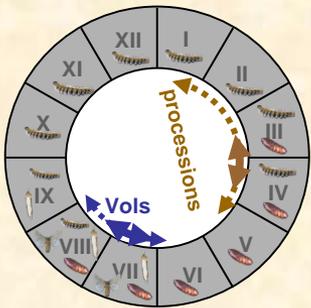
**POURQUOI PRENDRE EN COMPTE LES CHANGEMENTS DE PHÉNOLOGIE CHEZ LES INSECTES ?**  
**Le cas de la processionnaire du pin**



**Carole Kerdelhué**  
 CBGP, INRA Montpellier



**M. Laparie, C. Robinet & J. Rousselet**  
 URZF, INRA Orléans



# Quelques rappels...

## Cycle de vie chez les insectes

### Phénologie chez les insectes

**Des cycles de vie complexes** : plusieurs stades larvaires avec mue, stade nymphal, métamorphose...

**Une ou plusieurs génération par an, des cycles pluriannuels**

**Existence de diapause facultative ou obligatoire** (ex. en hiver)

**Chaque stade de développement peut avoir ses contraintes** (température, relation à l'hôte, ennemis naturels...)



# Quelques rappels...

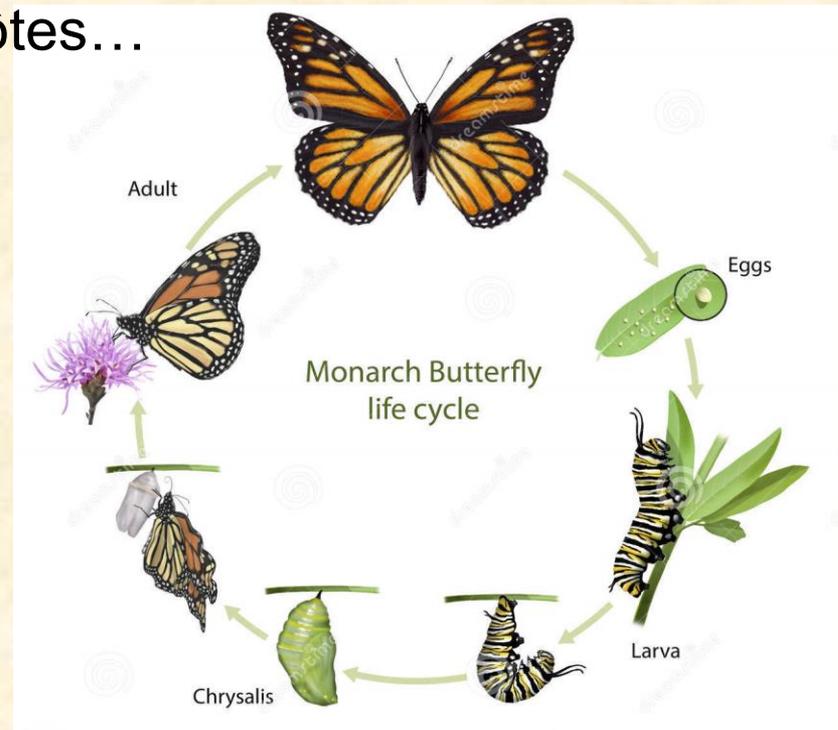
## Cycle de vie chez les insectes

### Différents facteurs peuvent jouer sur le cycle

**Facteurs abiotiques** : Développement larvaire plus rapide à température élevée; levée de diapause...

**Facteurs biotiques** : quantité / qualité de nourriture, parasitisme, disponibilité / phénologie des hôtes...

**Certaines étapes peuvent être peu variables**: temps de dév. embryonnaire, calage sur longueur des jours...



# Variations de phénologie et impacts potentiels

**(Dé)calage potentiel avec l'optimum climatique des différents stades de développement :**

**Adaptation locale (CC)**

**Pressions contradictoires sur différentes stades**

**Plasticité maladaptative**

**Modification potentielle des interactions avec l'hôte**

**Métabolisme différent de la plante et/ou de l'insecte**

**Désynchronisation**

**Isolement reproducteur entre populations**

**Flux de gènes, différenciation écologique**

# Variations de phénologie et impacts potentiels

## Rupture des relations interspécifiques / services écosystémiques

### Pollinisation



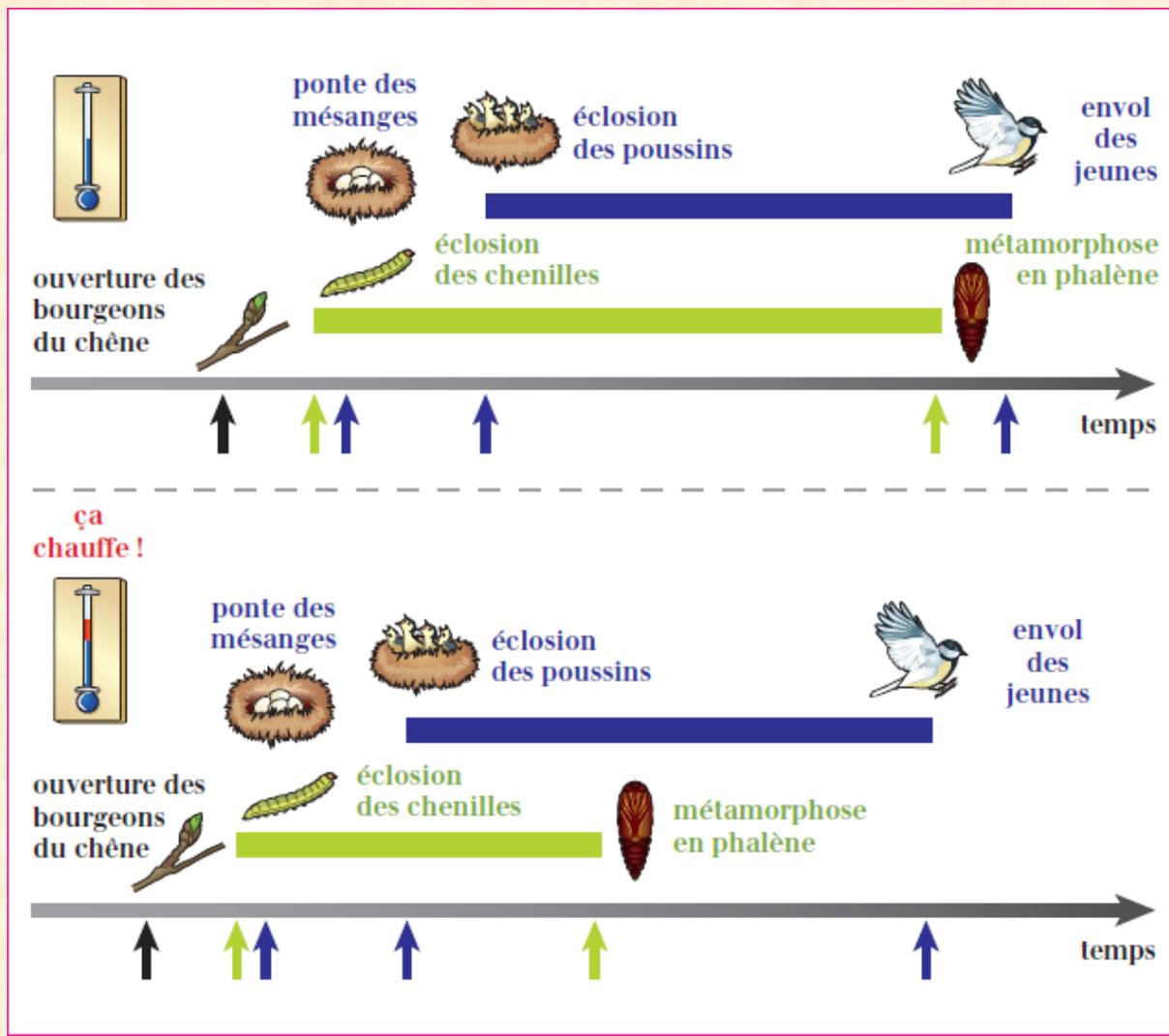
### Parasitoïdes (lutte biologique), spécifiques de certains stades



# Variations de phénologie et impacts potentiels

## Rupture des relations interspécifiques / conservation

### Prédation (oiseaux insectivores)



# Variations de phénologie et impacts potentiels

## Le cas des insectes ravageurs

**Modification des (types de) dégâts** : nouveaux hôtes, statut physiologique différent de la plante-hôte

**Echec des méthodes d'alerte précoces** (calendrier décalé des piégeages « sentinelles »)

**Echec des méthodes de lutte et de gestion** (mauvaise synchronisation des lâchers d'auxiliaires, poses de pièges, traitements...)

**Nécessité de comprendre la phénologie et sa variabilité dans les recherches fondamentales comme appliquées (modélisation, prédiction, génétique, lutte...)**

# La processionnaire du pin

## Présentation générale

**Un complexe d'espèces  
Méditerranéen**  
Lepidoptera, Notodontidae



**Des chenilles urticantes à développement grégaire en hiver**



**Processions typiques en fin de dévelop. larvaire (nymphe dans le sol)**



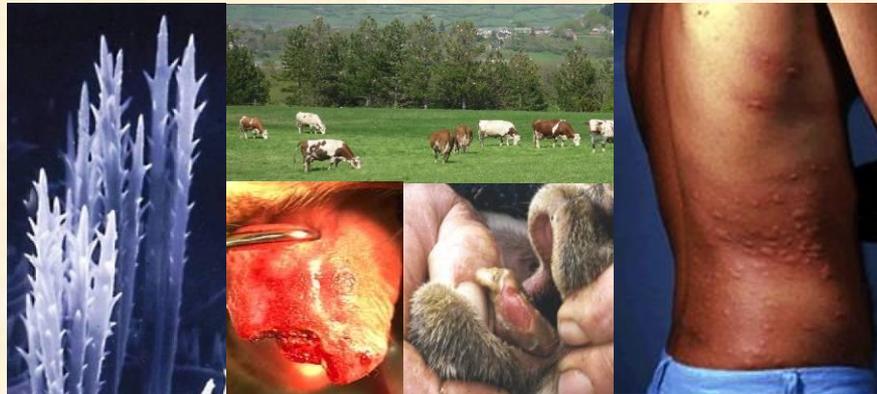
# La processionnaire du pin

## Présentation générale

**Dégâts possibles en forêt** : défoliation des pins, perte de croissance, risques de ravageurs secondaires (scolytes)



**Risques pour la santé humaine et animale** : urtication, allergies (contacts chenilles en procession), risques sur animaux domestiques et d'élevage



# Cycle de vie et variabilité

Régions à été chaud  
et hiver doux

**Pupation  
(dans le sol)**



Août

**Emergence des adultes  
Reproduction (ponte)**



Septembre

Octobre

Novembre

Décembre

**Dévelop. larvaire  
en hiver**



**Processions**



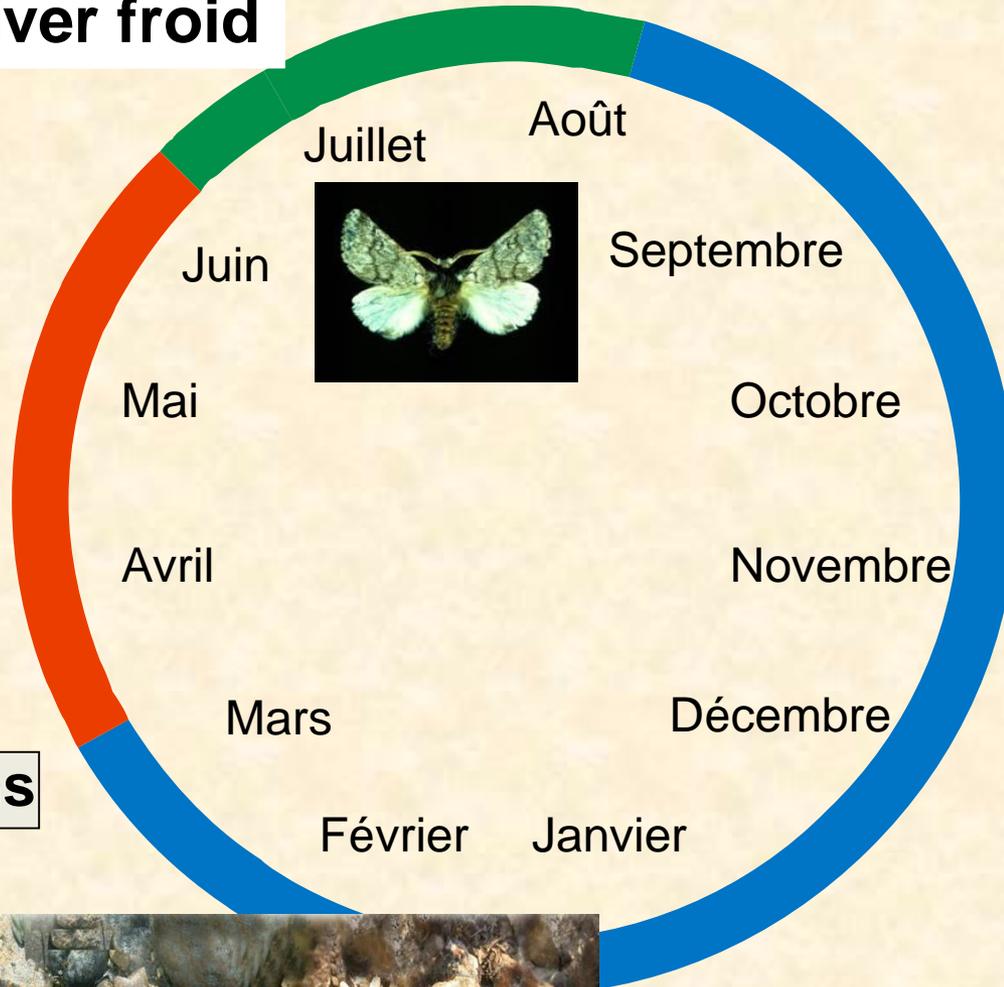
# Cycle de vie et variabilité

Régions à été  
tempéré et hiver froid

**Pupation  
(dans le sol)**



**Processions**



**Dévelop. larvaire  
en hiver**



# Cycle de vie et variabilité

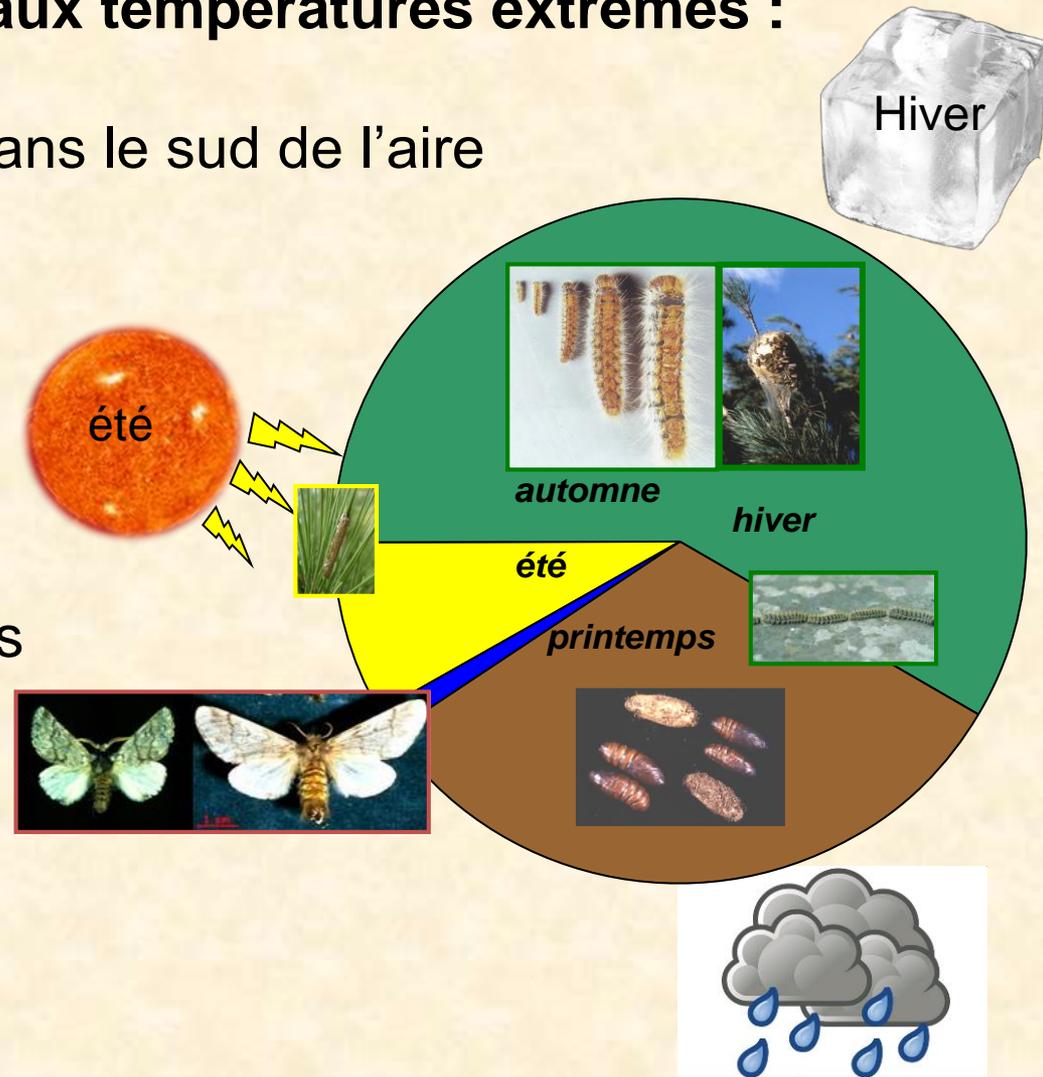
La date de reproduction moyenne est un compromis lié à la sensibilité des jeunes larves aux températures extrêmes :

Eviter les hautes  $T^{\circ}$  estivales dans le sud de l'aire (ponte tardive)

Avoir atteint le stade L3 avant les premiers gels dans le nord et en altitude (ponte précoce)

Impact des minimales hivernales sur survie larvaire / colonie

Absence de l'espèce dans les zones continentales



# Cycle de vie et variabilité

Année N



Année N+1



**La durée du développement larvaire dépend des conditions environnementales (et de l'hôte) → très plastique**

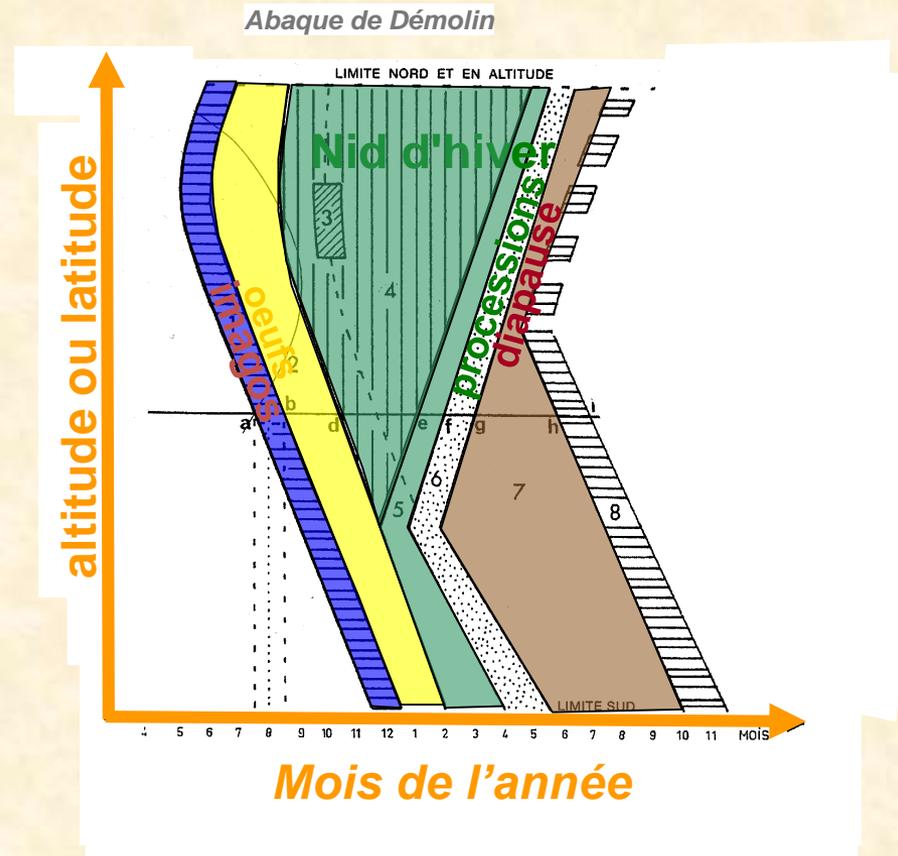
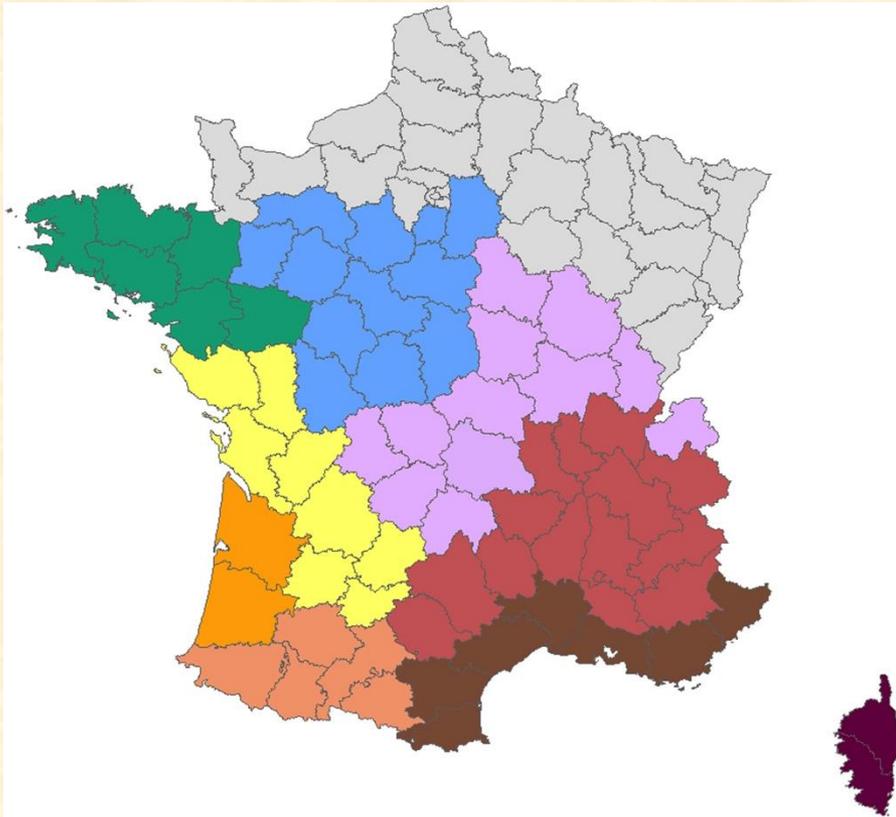
**La date de procession est conditionnée par la date de ponte et la vitesse de développement larvaire**

**La durée de diapause nymphale « compense » la durée des autres stades → stabilité relative de la date de ponte régionale - diapause prolongée d'un an si processions trop tardives**

# Des méthodes de lutte « calées » sur le cycle

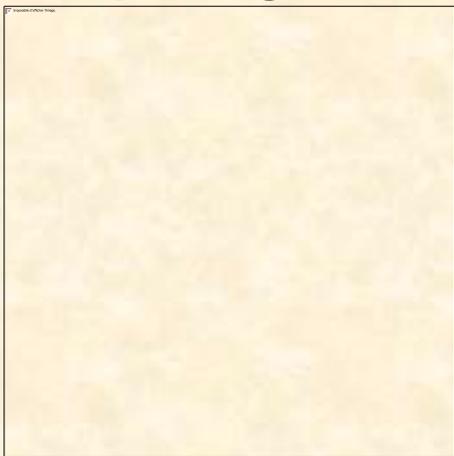
Phénologie jusqu'à présent assez bien caractérisée par grandes régions (archives, années 70)

*Variations régionales*



# Des méthodes de lutte « calées » sur le cycle

**Epandage Bt**



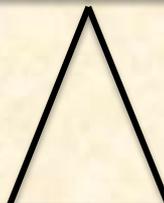
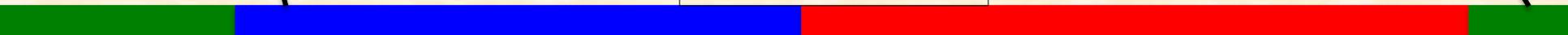
**Interception  
processions**



**Confusion  
sexuelle  
(phéromone)**



**ALERTE ALLERGIES**



# Impact du changement climatique sur la phénologie ?

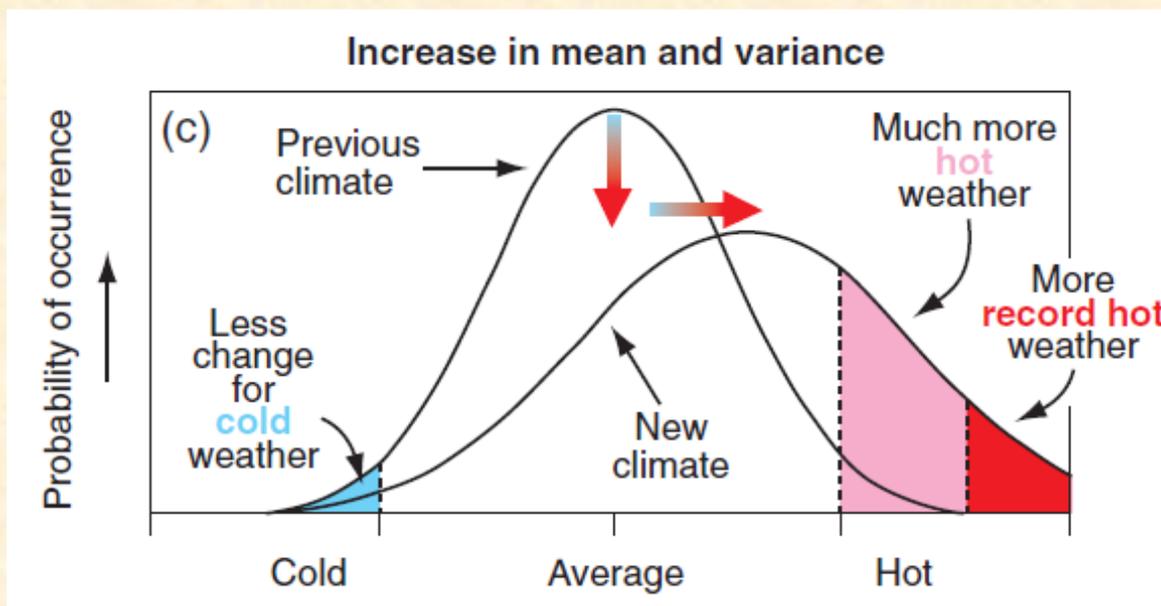
Evolution attendue **des températures moyennes** (plus facile à prendre en compte dans les scénarios)



# Impact du changement climatique sur la phénologie ?

Augmentation attendue de la **fréquence des événements climatiques extrêmes** (canicule, vague de froid, automnes chauds...) → conditions réelles rencontrées, mais difficulté d'appréhension dans les modèles

## Hausse des vagues de chaleur



IPCC (2001)

# Impact du changement climatique sur la phénologie ?

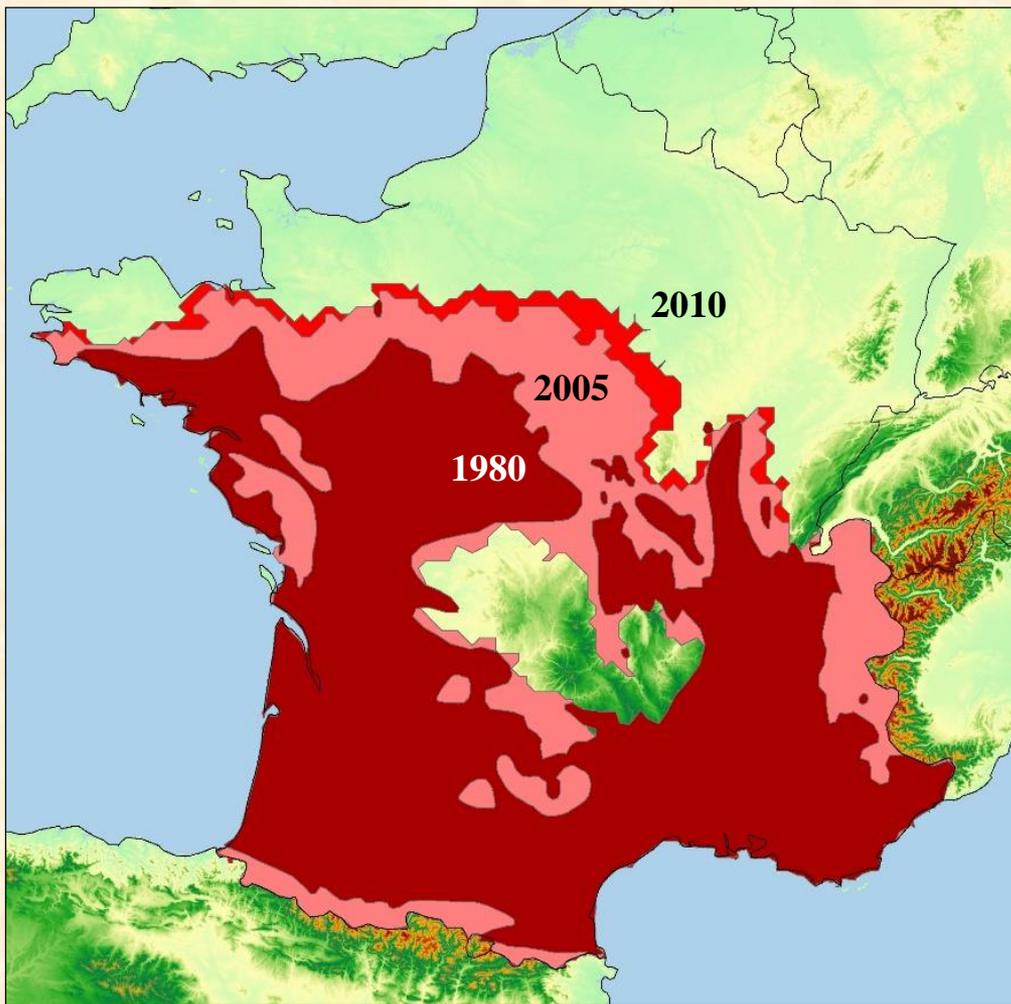
**Le changement climatique semble augmenter la stochasticité du cycle de la processionnaire :**

**Plus grande variance de la date de procession** (dév. larvaire rapide lors des automnes doux) → **risques allergiques plus étalés dans le temps, calendrier faussé pour piégeage par interception et pour alertes**

**Plus grande variance de la date de ponte** (stimuli sortie de diapause ?) → **désynchronisation des traitements / lutte par confusion**

# Impact du changement climatique sur la phénologie ?

## Modélisation de l'expansion et cartographie des zones à risques



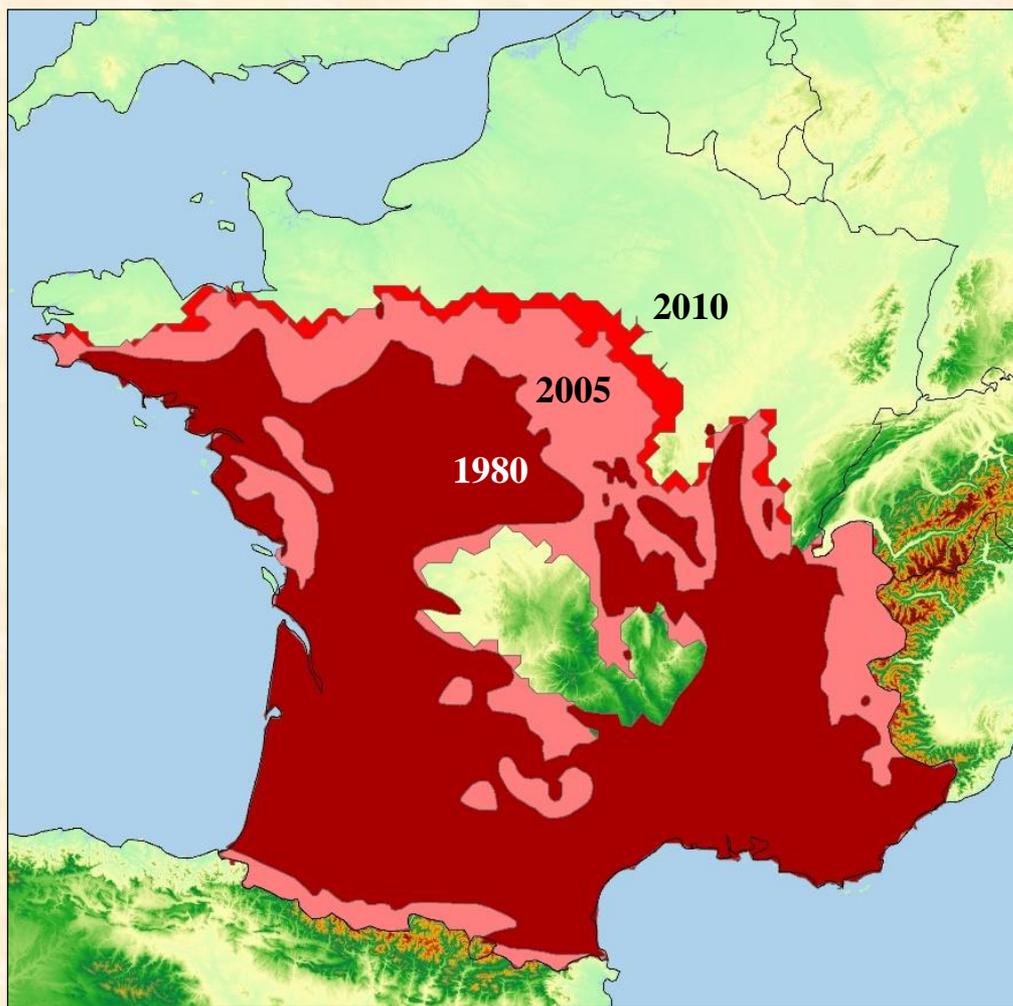
**Résultats faussés** (survie, zones favorables) **si phénologie mal décrite :**

**Canicule :** impact si larves déjà présentes

**Vague de froid :** pas d'impact sur les chrysalides

# Impact du changement climatique sur la phénologie ?

## Modélisation de l'expansion et cartographie des zones à risques



**Modèle d'expansion  
développé ne prend pas  
encore en compte  
l'hétérogénéité de phénologie**

**Prédictions peu fiables si  
modifications futures de  
phénologie non prises en  
compte**

# Perspectives de recherche

**Mise à jour des observations de terrain dans les régions bioclimatiques pour analyse des tendances :**

**Date de reproduction : réseau de pièges à phéromone (automatisation)**



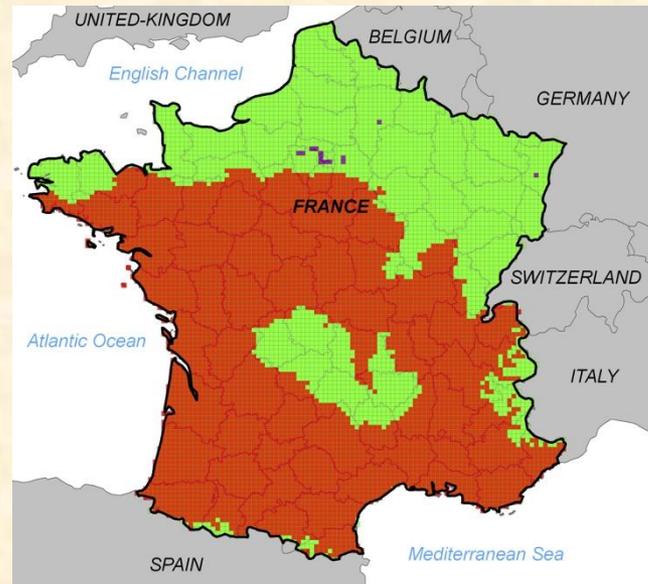
**Date de procession : pièges à interception, recherche participative (AGIIR)**



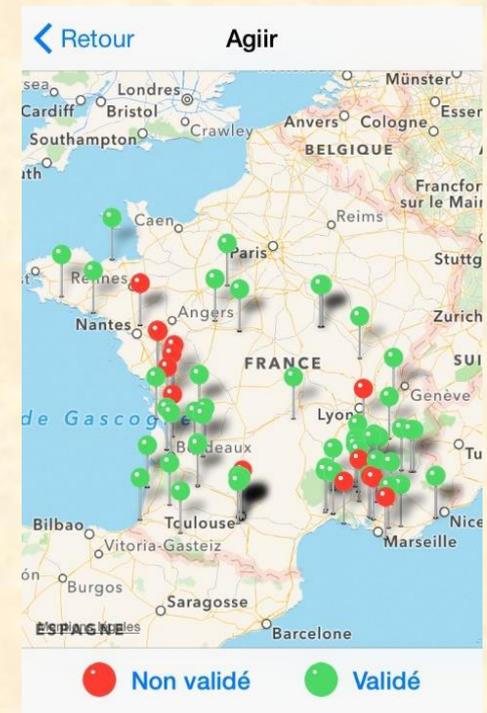
# Perspectives de recherche

Mise à jour des observations de terrain dans les régions bioclimatiques pour analyse des tendances :

Cartographie fine du front de colonisation (INRA – DSF)



Recherche participative  
AGIIR



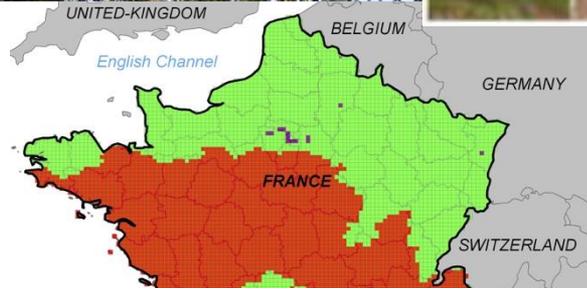
# Perspectives de recherche

**Mettre au point de nouvelles abaques et un modèle degré-jour de phénologie** → aide à la décision, alertes

**Prendre en compte explicitement les modifications de phénologie dans les modèles prédictifs et la cartographie des risques (approches spatio-temporelles)**

**Comprendre la régulation de la diapause et la physiologie de la résistance aux températures extrêmes (physiologie, métabolomique, génomique)**

**Démêler les rôles respectifs de la plasticité phénotypique et de l'adaptation (évolution génétique), potentiellement contradictoires**



**MERCI DE VOTRE ATTENTION !**

