

Impact du changement climatique sur les populations d'insectes forestiers

Alain ROQUES, INRA

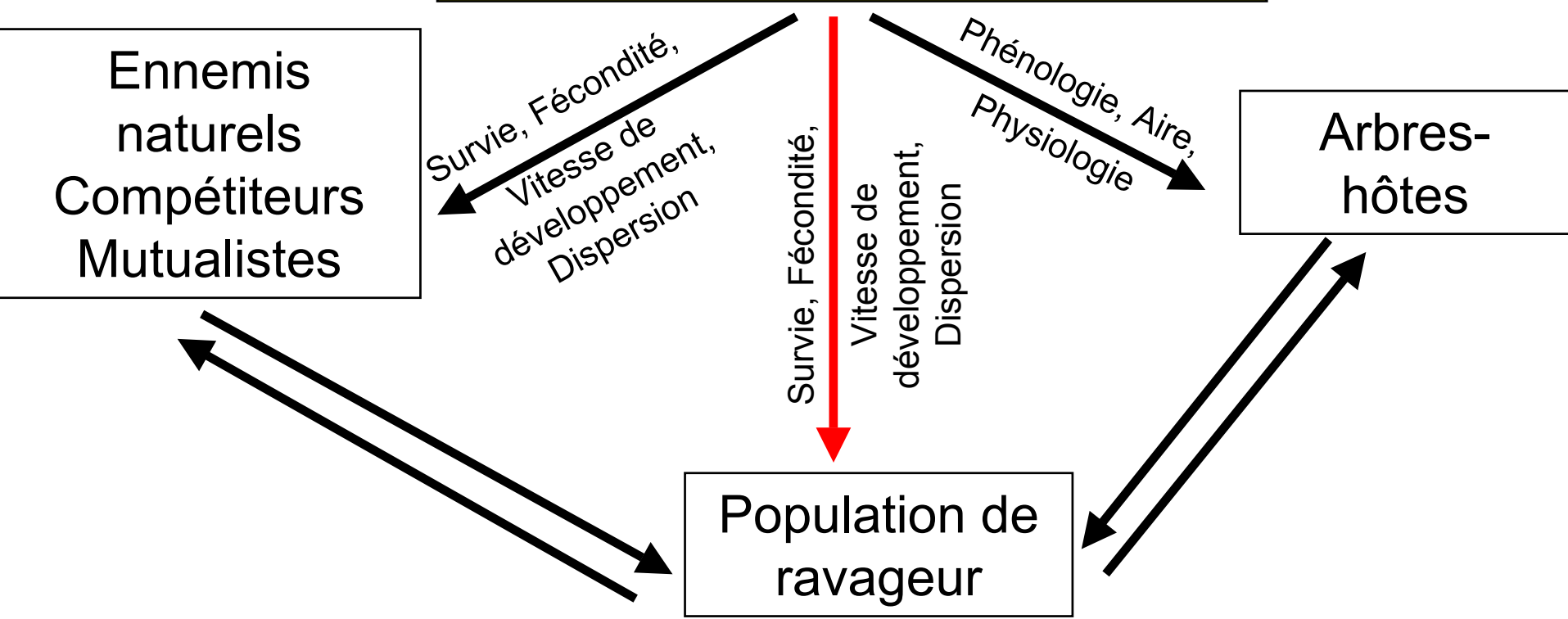
Christelle ROBINET, INRA



Avec l'aide des partenaires du projet européen PROMOTH (*Global change and pine processionary moth: a new challenge for integrated pest management*) et de la Région Centre

Un impact **direct** et indirect du changement global

- Δ température
- Δ précipitations
- Δ insolation
- Δ événements extrêmes
- Δ CO2 atmosphérique, O3, NO,...



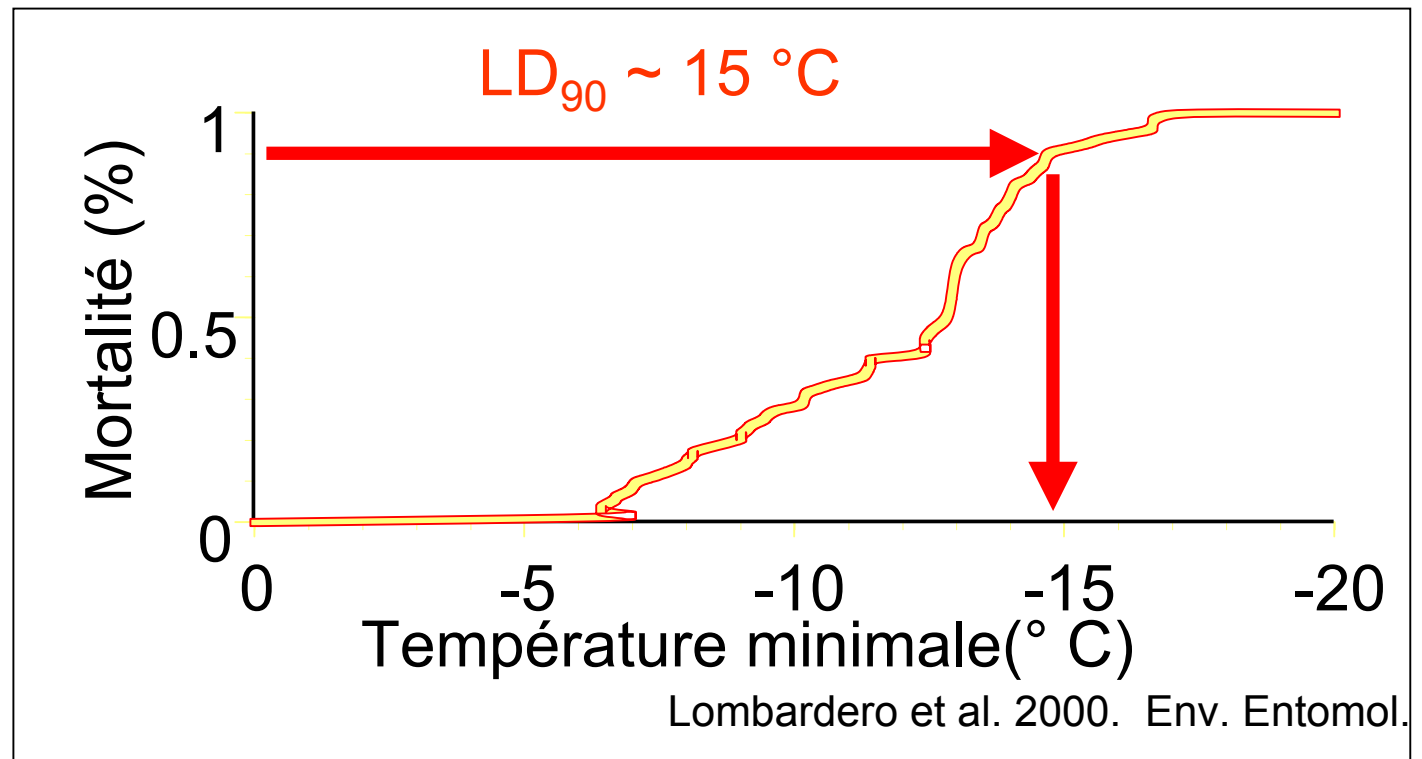
Mais les connaissances restent fragmentaires

- Nette différence de documentation selon les variables climatiques (Δ Température vs. Δ Précipitations,...)
- Prise en compte problématique de moyennes globales pour estimer les effets en raison de différences selon la saison et le cycle biologique des insectes (hivernation à l'état d'œuf ou de larve, estivation, phénomènes de diapause simple ou prolongée, ...). Réchauffement hivernal, printanier, estival, et automnal ne vont pas avoir les mêmes conséquences suivant le stade des insectes sur lesquels ils s'appliquent, d'autant plus que les minima augmentent plus vite que les maxima
- Effets très hétérogènes, voire contradictoires dans le temps pour une même variable (2003/ Processionnaire)
- Etudes majoritairement en conditions contrôlées, peu de validations de terrain
- Beaucoup d'approches descriptives, sans lien causal explicite
- Cas d'espèces vs. populations, communautés et écosystèmes
- Différencier ce qui relève de la seule modification des habitats (aire)

Quelques effets-clés (I):

Réchauffement hivernal et levée des seuils létaux

Sous les latitudes tempérées, les basses températures constituent un facteur-clé limitant l'expansion au-travers de seuils minimaux de développement pour les différents stades de l'insecte (œuf, larve, adulte)

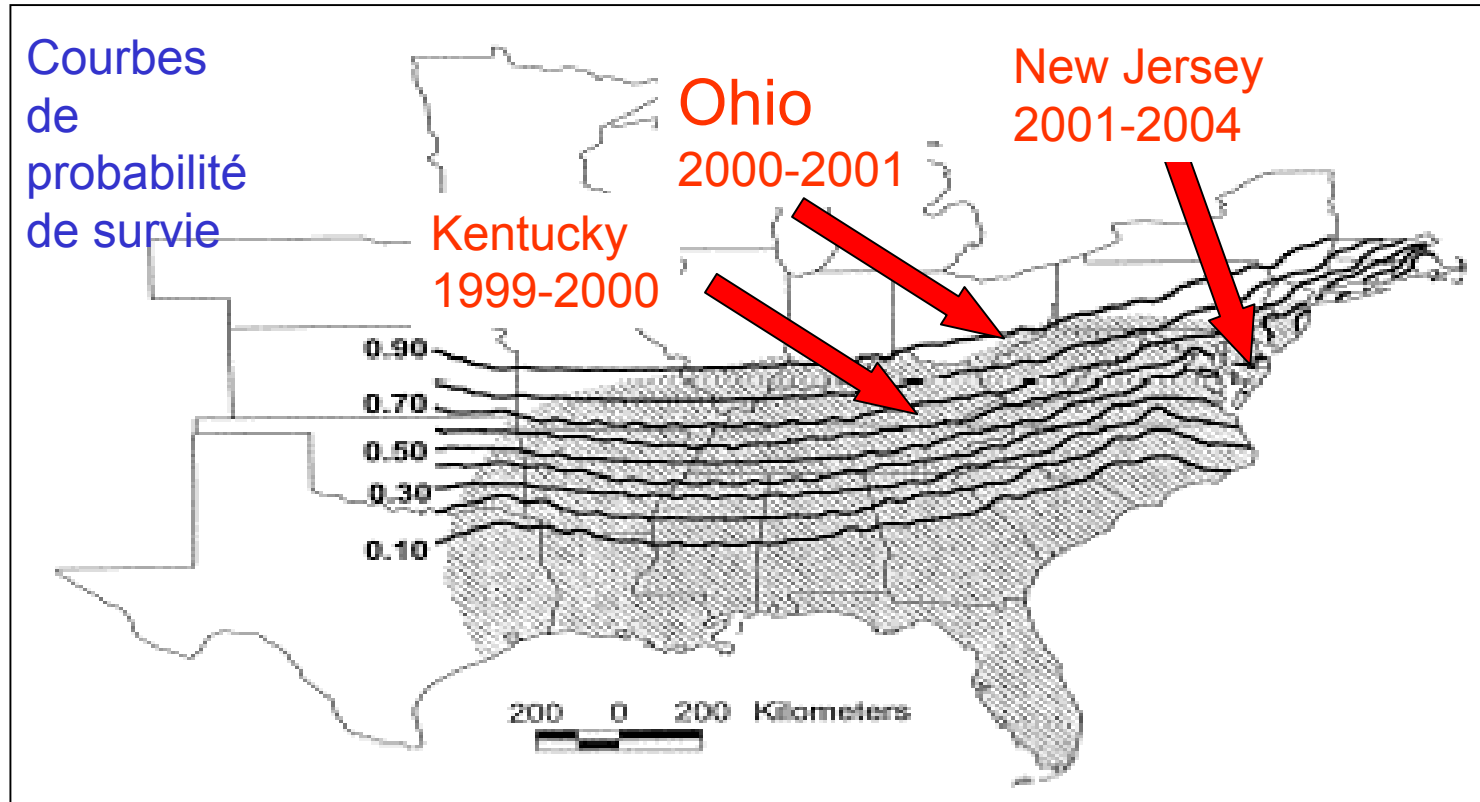


Température létale
hivernale chez
Dendroctonus
frontalis

Une conséquence: expansion de l'aire de pullulation avec le réchauffement hivernal

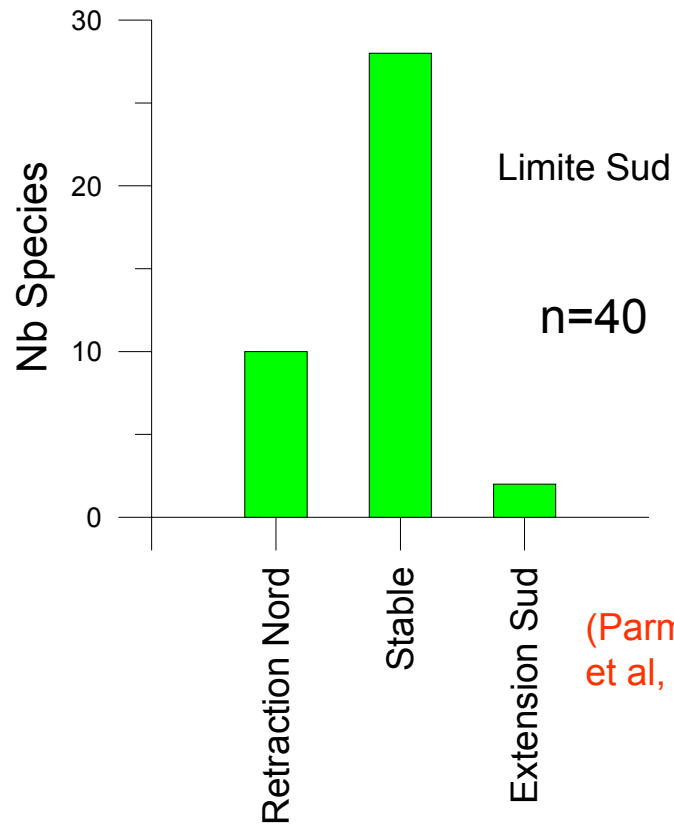
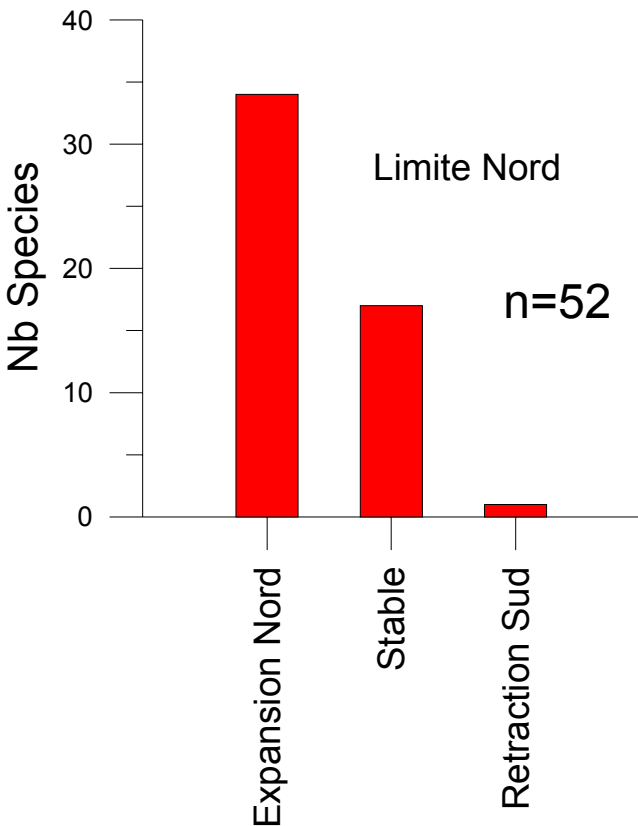
Probabilité annuelle d'atteindre la température létale (-16°C) pour le scolyte *Dendroctonus frontalis*

(Ayres et Lombardero, 2000)



Le déplacement des isothermes correspondant aux seuils létaux minimaux vers le nord et en altitude peut induire une expansion concomitante des insectes

Une expansion plus forte en limite nord ?



(Parmesan et al, 1999)

35-240 km d'avancée vers le Nord pour 65% des espèces de papillons européens au 20ème siècle, juxtaposée à un déplacement de 120 km des isothermes vers le pôle.

Limites: capacité de vol ♀, aire hôtes (changements)

Quelques effets- clés (II)

Réchauffement printanier et accélération du développement larvaire

Une augmentation même minime de la température va tendre à accélérer les processus physiologiques, entre autres :

- * Développement plus rapide des différents stades larvaires
- * Augmentation du nombre de générations dans une saison (typographe)
- * Augmentation des déplacements imaginaires
- * Réduction de la mortalité due aux facteurs abiotiques

Les pucerons constituent un bon indicateur en raison de caractéristiques biologiques hautement favorables:

- * Seuils de développement souvent bas
- * Courte durée de génération

Avec une augmentation des températures hivernales et printanières de 2°C, on prévoit d'observer 4-5 générations supplémentaires par an pour certains pucerons (Harrington et al., 2001)

Quelques effets- clés (III)

Réchauffement printanier et découplage phénologique insecte- plante

Pour beaucoup d'insectes, il est essentiel de synchroniser leur développement avec celui des plantes-hôtes, avec un stade critique dans le développement des plantes: le débourrement. L'absence de synchronie, surtout pour de nombreux insectes hivernant à l'état d'œufs, conduit à une mortalité augmentée par famine.

Les œufs comme les bourgeons ont besoin d'une certaine exposition au froid, puis la date d'éclosion/ débourrement est fonction de l'intensité des températures printanières.

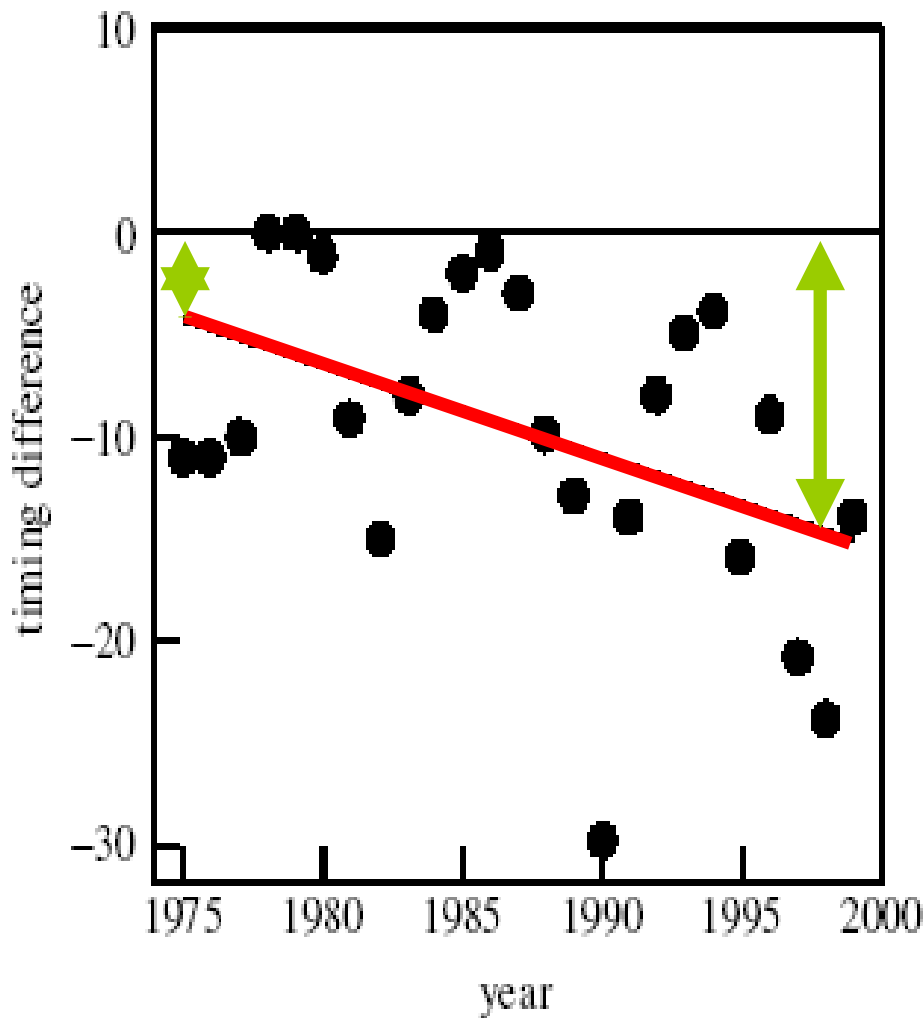
Avec des seuils généralement différents; par ex. (Dixon, 2003):

Puceron du sycomore: 5°C

Bourgeon de sycomore: 0°C

Un effet primaire négatif du réchauffement printanier sur le découplage des synchronies insecte- arbre ?

Synchronie entre écloson printanière des œufs d'*Operophtera brumata* et débourrage des chênes aux Pays-Bas (Visser & Holleman, 2001)

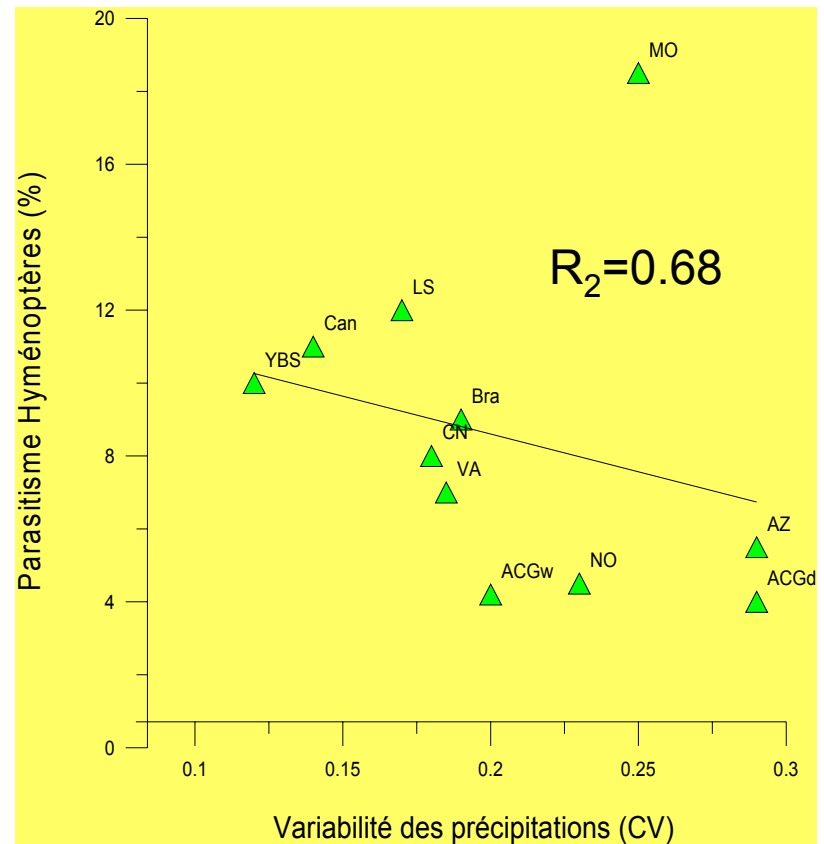
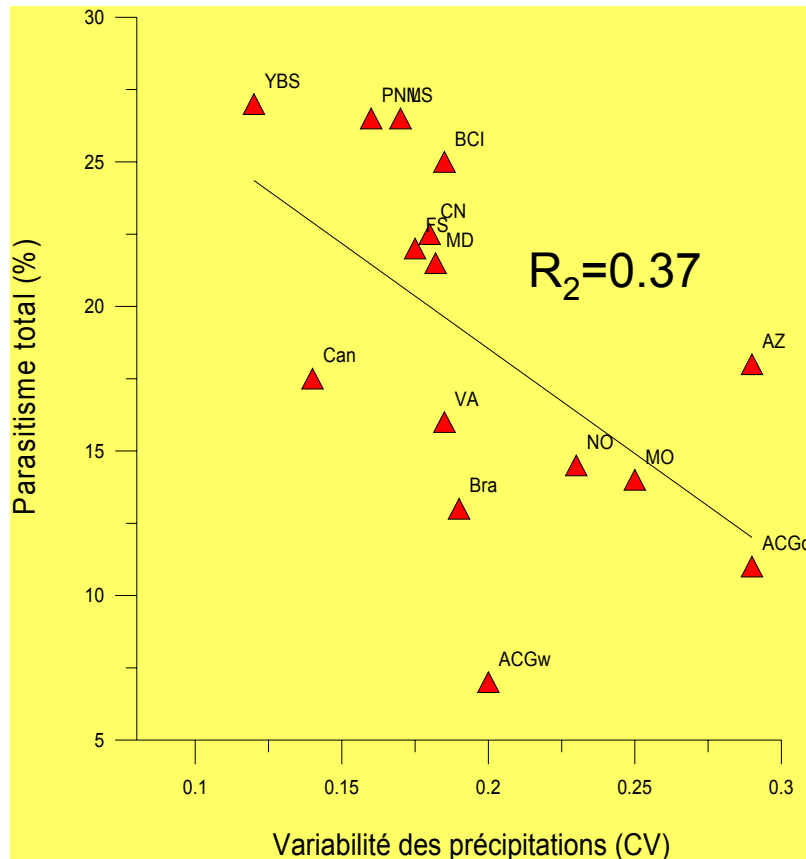


Mais effet provisoire (variabilité individuelle des dates d'émergence, changements d'hôtes) (Dixon, 2003)

Quelques effets- clés (IV)

Imprévisibilité climatique et rupture des interactions dans les communautés

La fréquence des parasitoïdes les plus spécialisés sur les chenilles phytophages décroît selon un gradient de variabilité des précipitations en Amérique



Stireman et al., PNAS, 2005

Un cas exemplaire: La processionnaire du Pin

- Insecte à développement larvaire hivernal
- Séries temporelles conséquentes (INRA, CEMAGREF, DSF)
- Approche expérimentale (PROMOTH-EU), combinant physiologie, génétique et modélisation

400 placettes

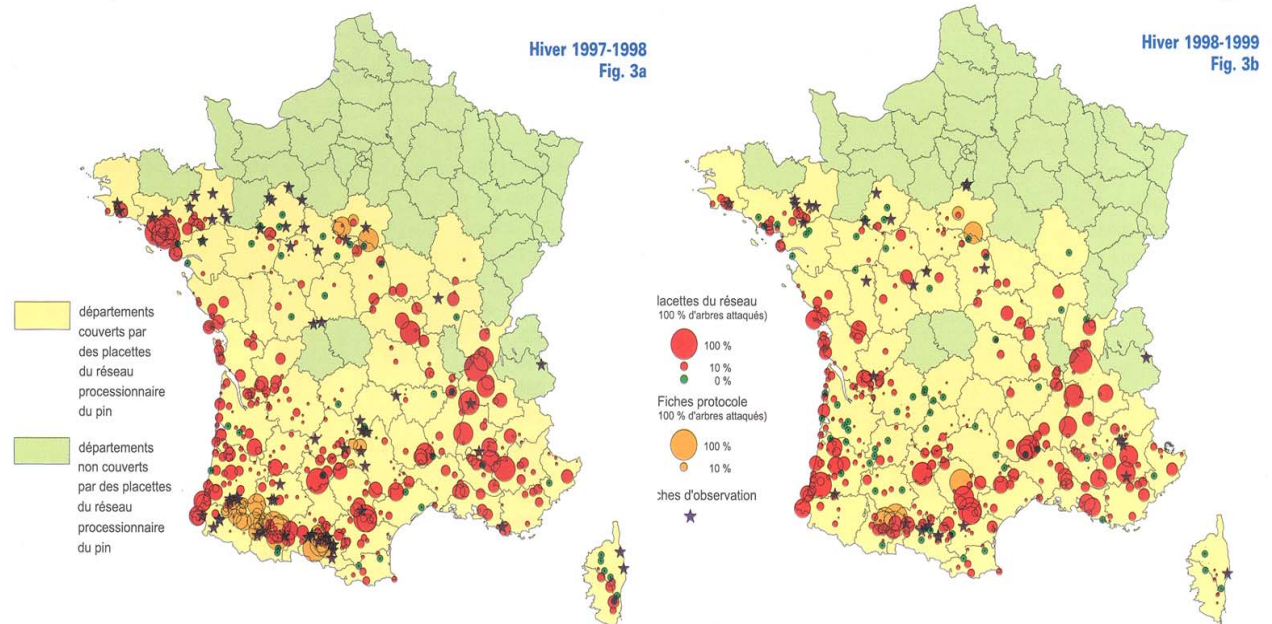
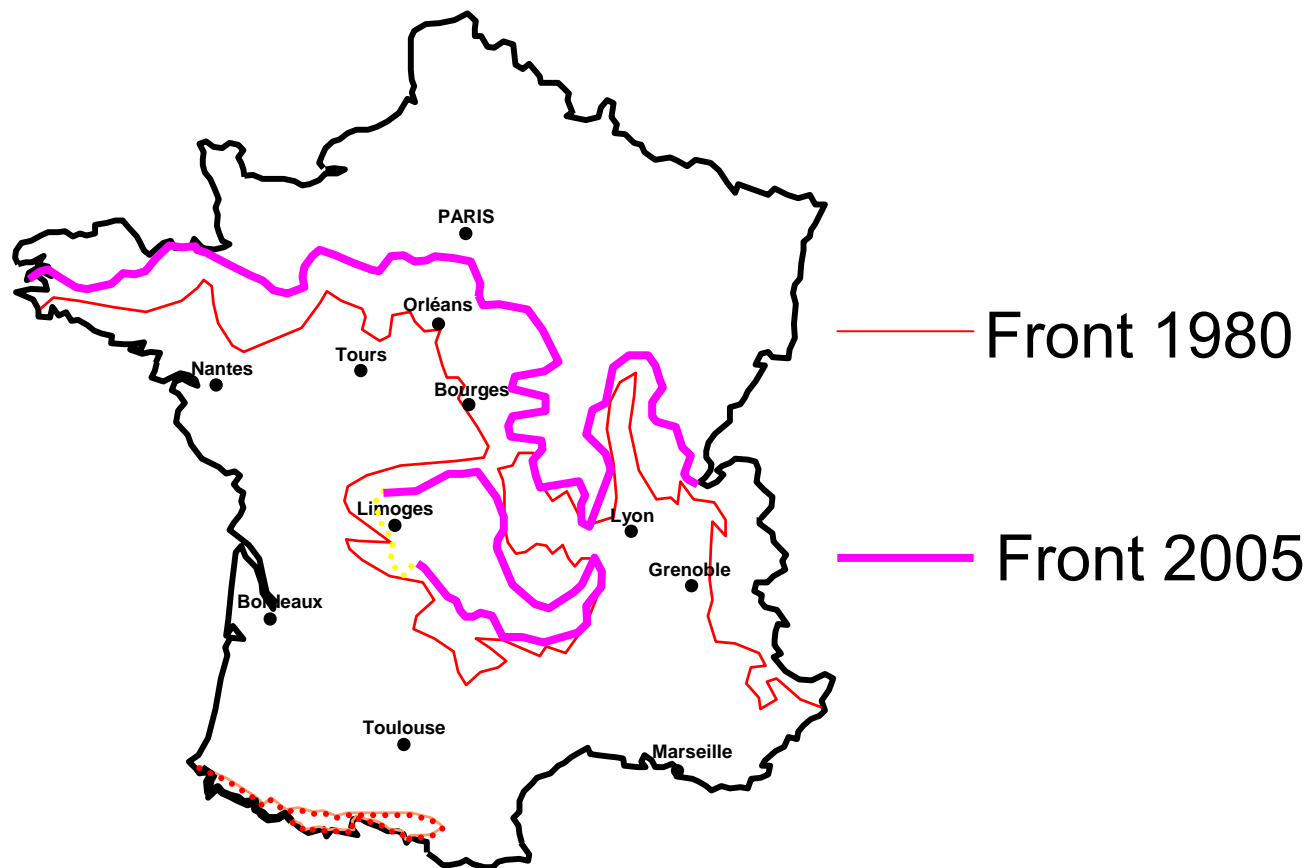
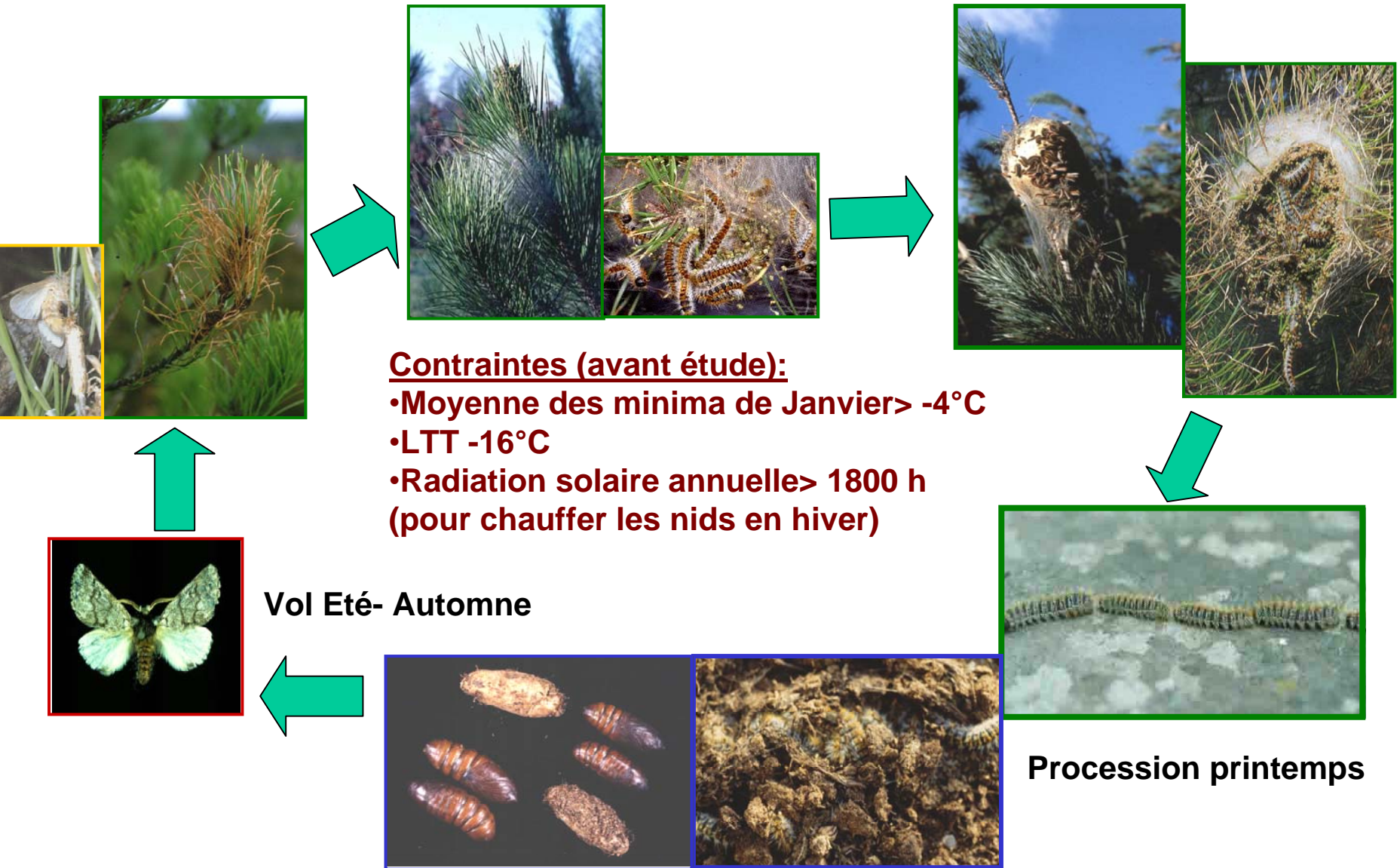


Fig. 3 : Observation des attaques de la processionnaire du pin lors des hivers 1997-1998 et 1998-1999
Attacks by the pine processionary caterpillar during the winters of 1997-1998 and 1998-1999

Expansion incontestable vers le nord et en altitude

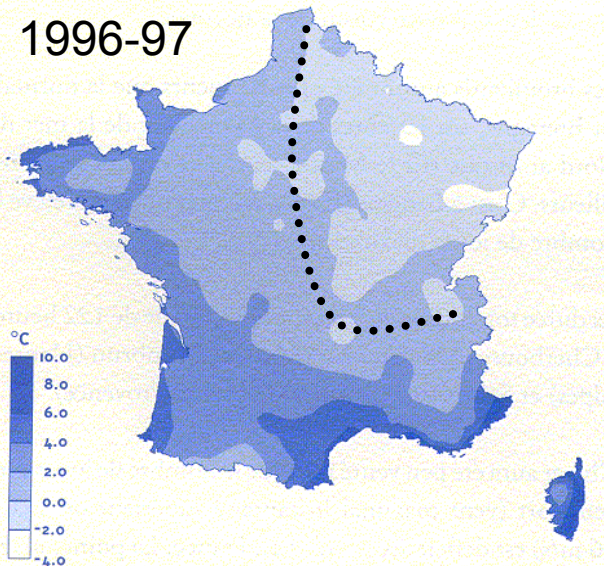


Cycle contrôlé par les températures hivernales



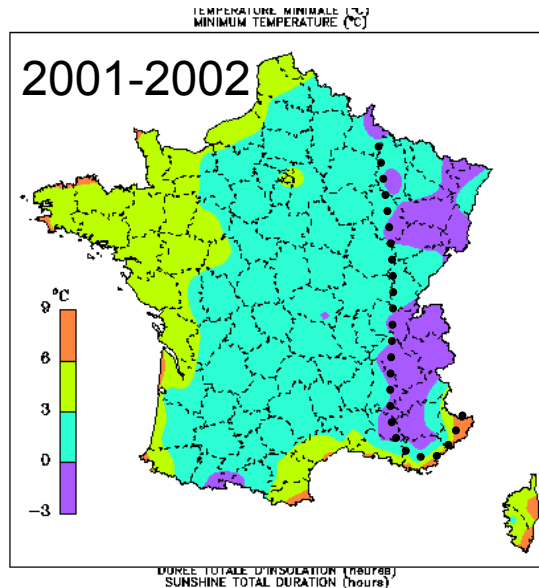
L'expansion coïncide avec une hausse de la température et de la durée d'insolation hivernale

1996-97

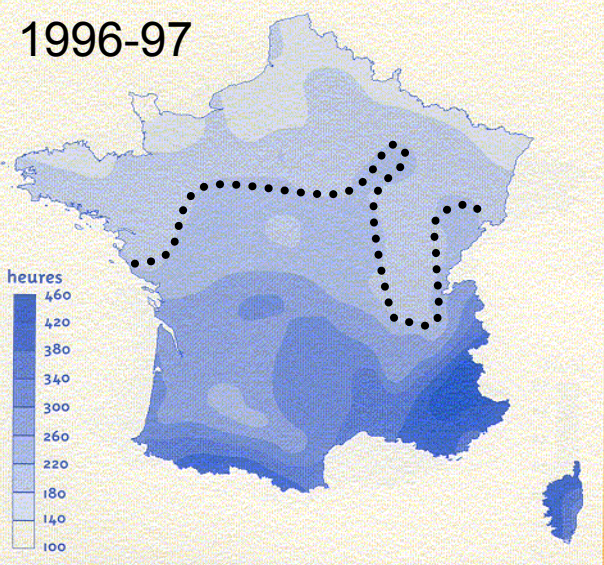


Moyenne des températures minimales de Décembre à Février

..... 0°C

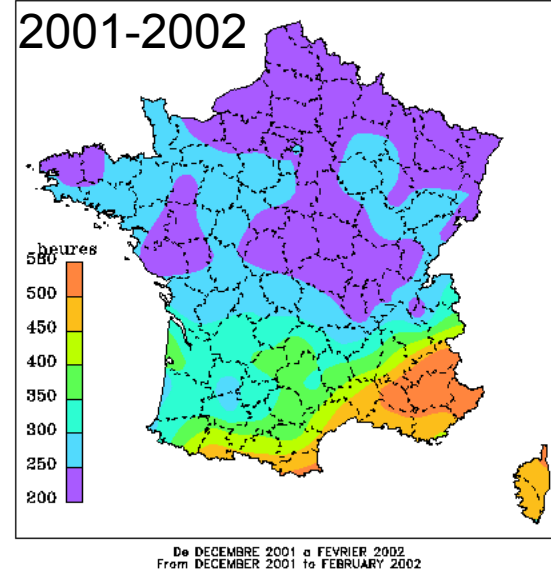


1996-97



Insolation totale entre Décembre et Février

..... 180-200 hrs
Journée ECOFOR "La Forêt fa aux changements climatiques"

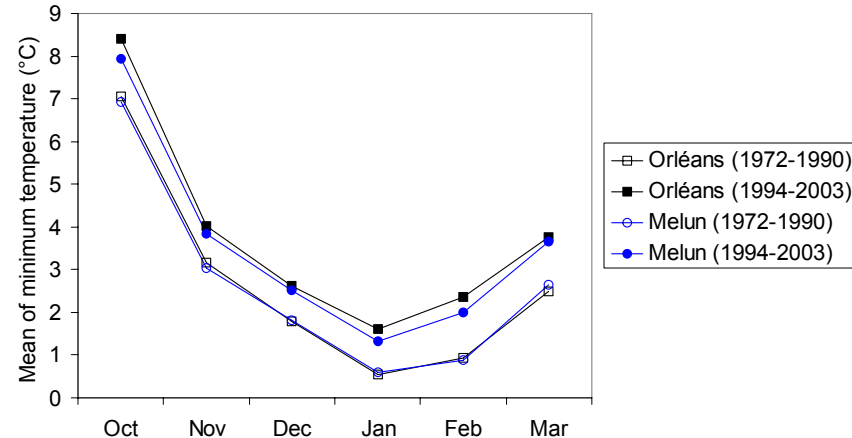
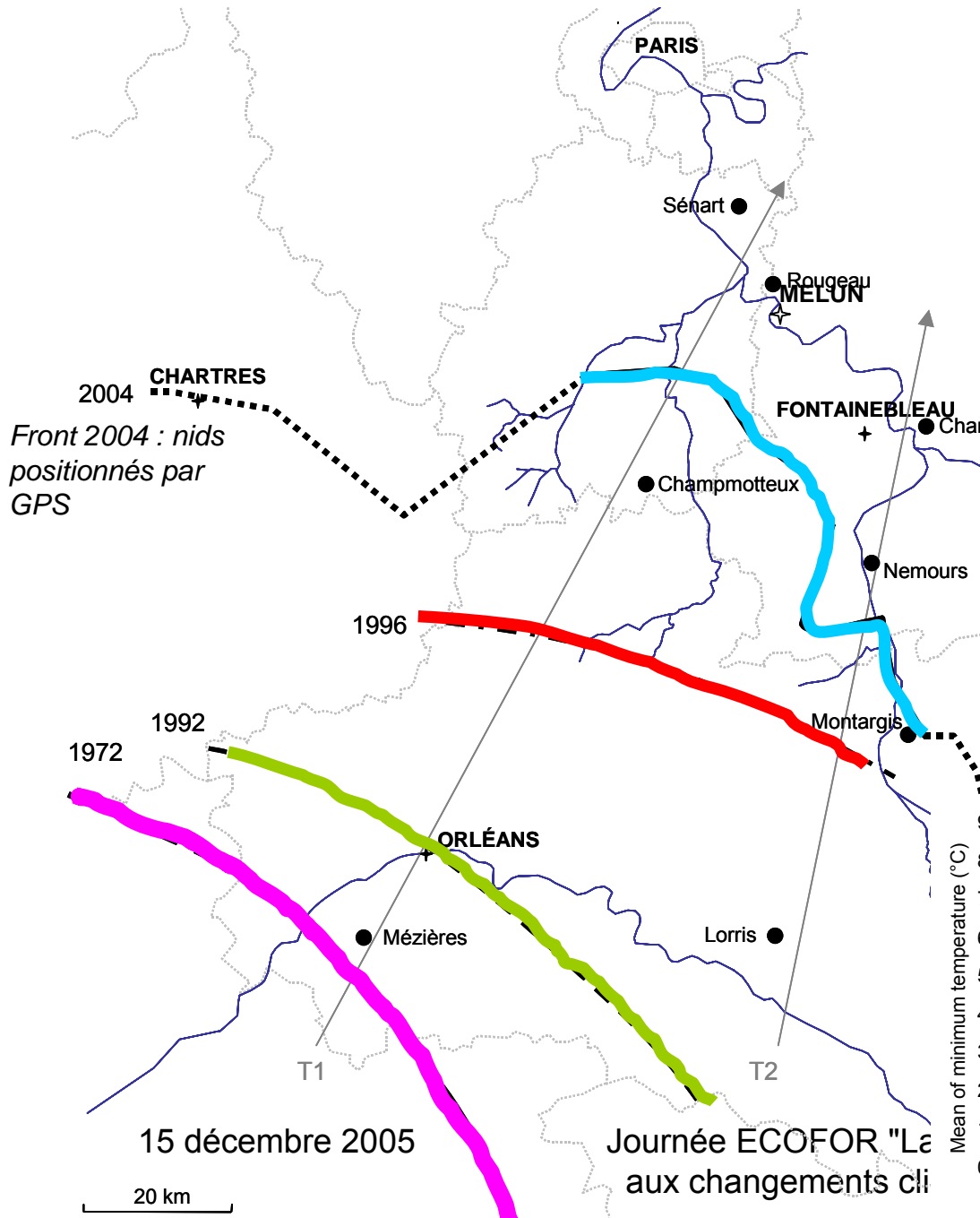


Accélération du déplacement du front dans le Bassin Parisien depuis 1992

86.7 km entre 1972 et 2004
55.6 km entre 1994 et 2004

// Rapide accroissement des températures moyennes hivernales dans la même période:

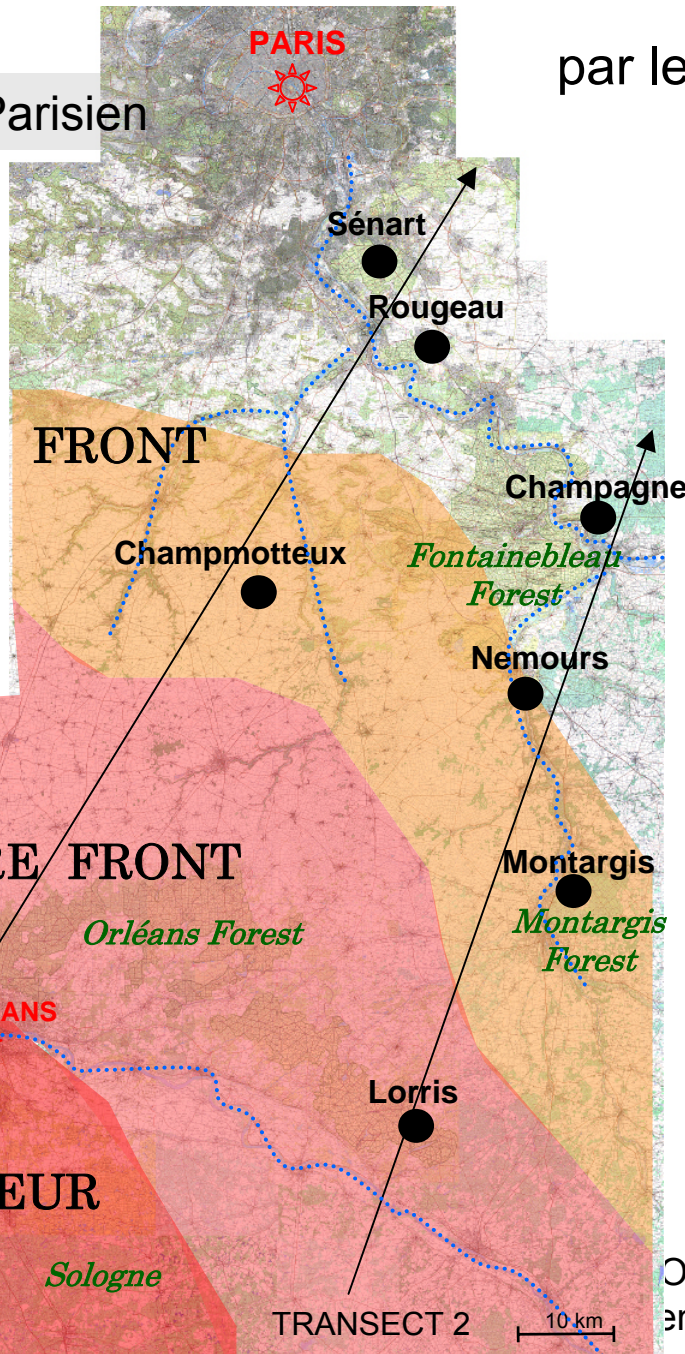
+ 0.9°C à Melun (Post-Front)
 + 1.1°C à Orléans (Cœur)



Utilisation de gradients naturels pour simuler les conditions climatiques subies

par les larves durant l'hiver

Basin Parisien



Déplacement de colonies depuis la zone historique vers le front et au-delà




2 masses d'œufs (2002) ou 200 larves néonates (2003-2004) implantés par arbre sur 10 arbre par site



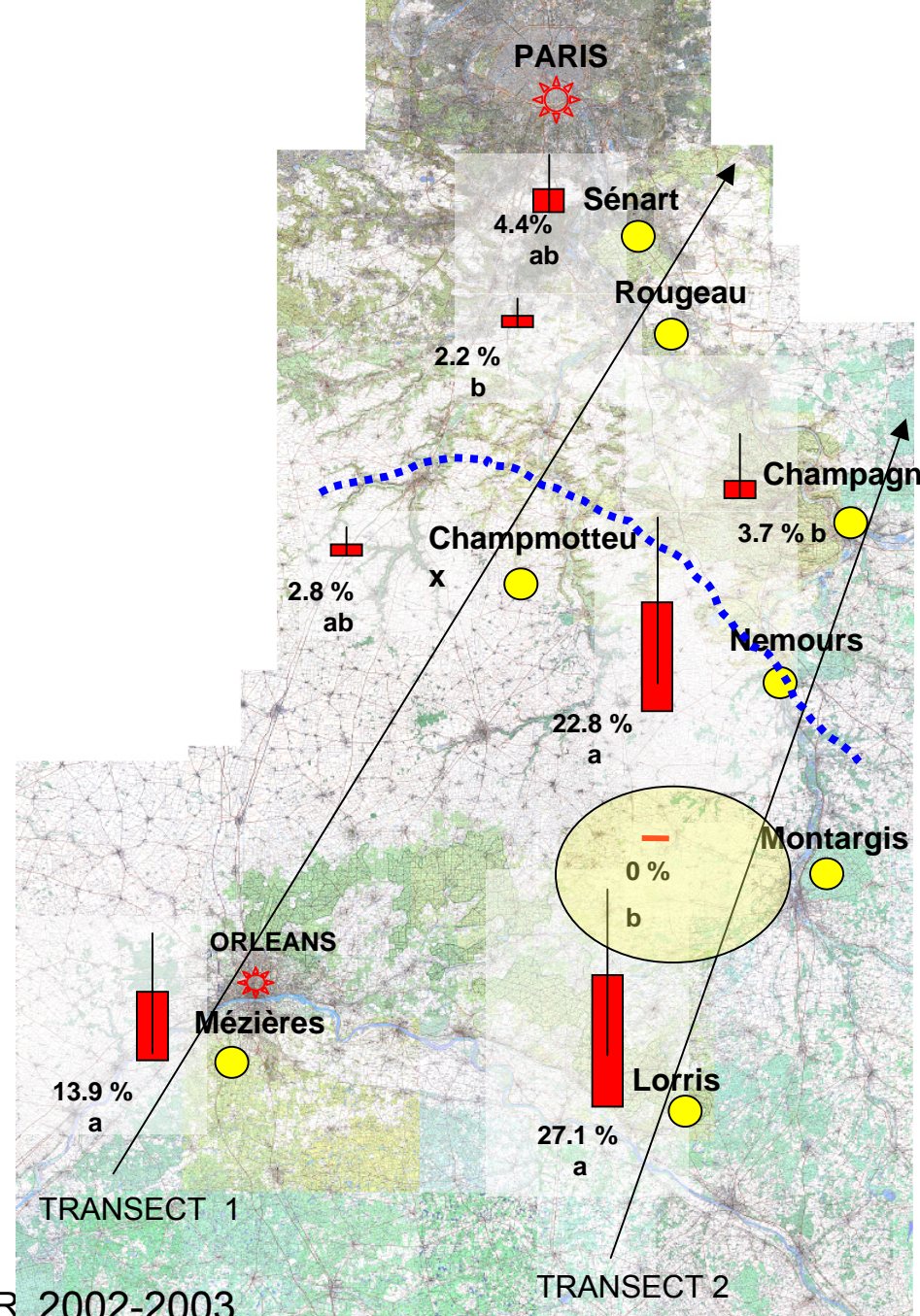
Capteur climatique (T, RH, Insolation) air et nid (sonde)

OR "La Forêt face aux changements climatiques"

Dans les conditions 2002-2004 conditions, les larves ont survécu largement au-delà de la ligne actuelle de front dans le Bassin Parisien

 % Survie

La température létale n'a été obtenue qu'à Montargis en Janvier 2003: - 16.7°C



15 décembre 2005

Journée ECOFOR 2002-2003
aux changements climatiques"

10 km

La survie des larves est liée à l'alimentation durant la période froide

(= période durant laquelle la moyenne hebdomadaire des minima journaliers de $T^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$)

T° jour (nid) $> 9^{\circ}\text{C}$ pour induire l'alimentation

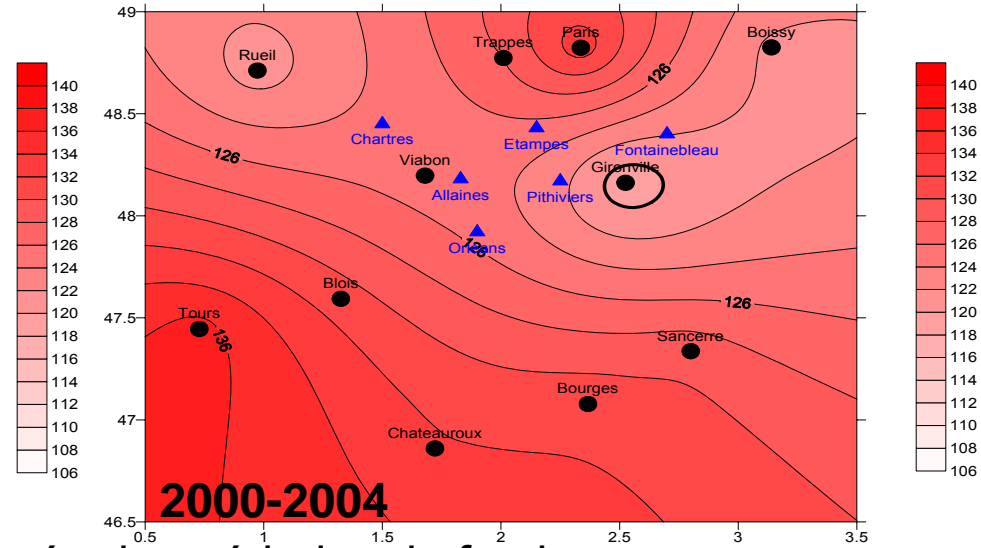
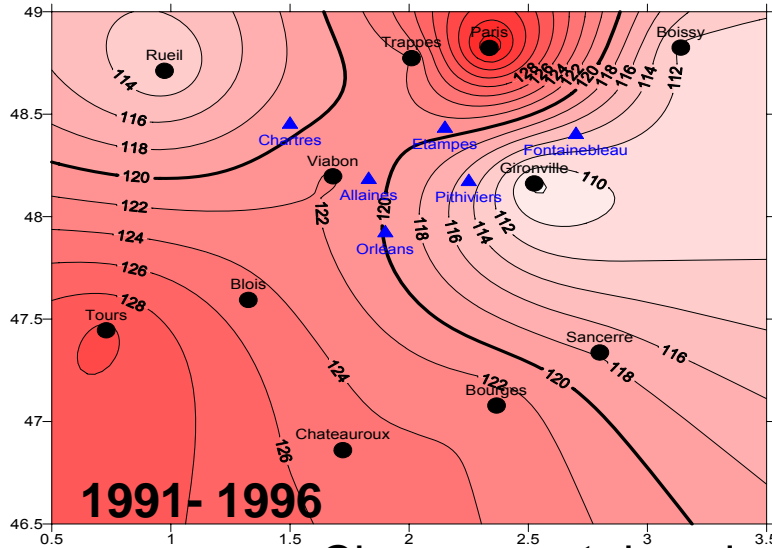
T° nuit (air) $> 0^{\circ}\text{C}$ permettre l'alimentation

T° jour (nid) $> 9^{\circ}\text{C}$ suivie de T° nuit (air) $> 0^{\circ}\text{C}$: alimentation

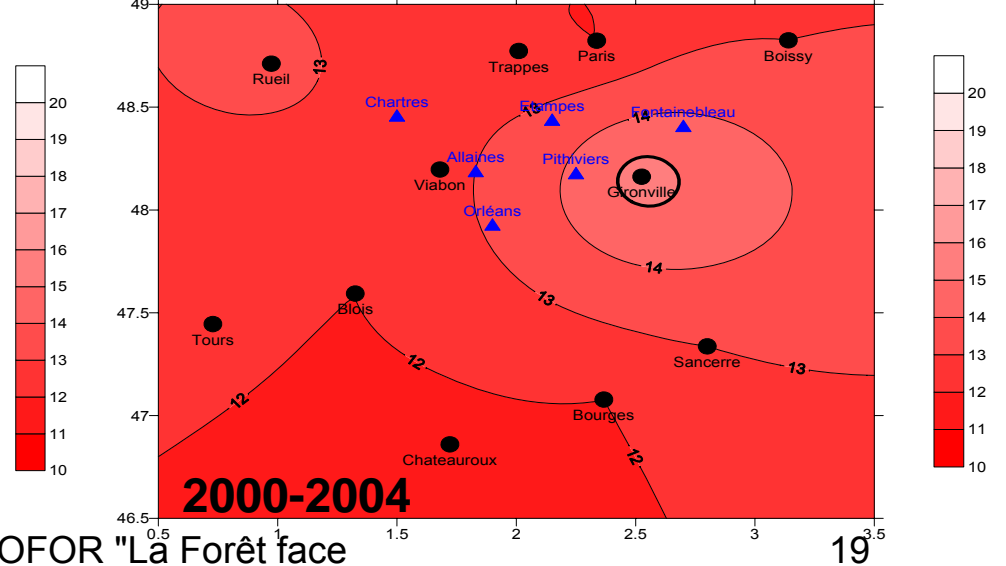
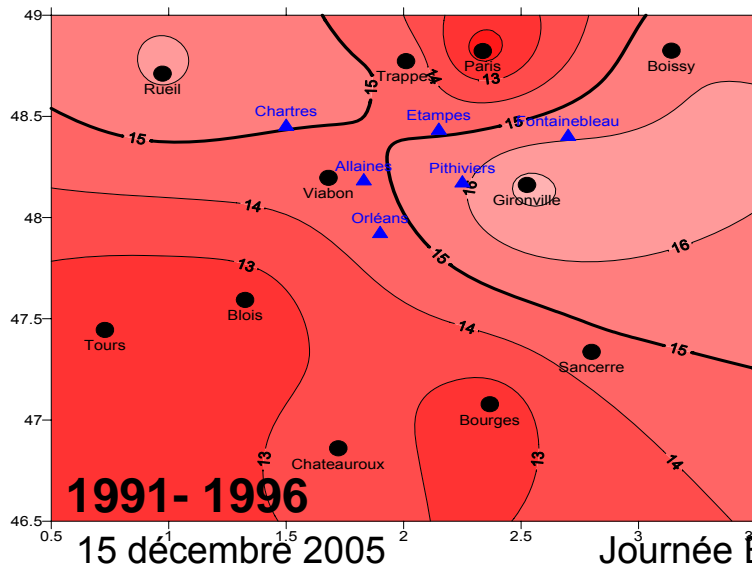
Si une des deux conditions non respectée: famine

Toutes les zones du Bassin Parisien sont devenues favorables en 10 ans

Changement dans la durée moyenne d'alimentation larvaire



Changement dans la durée des périodes de famine



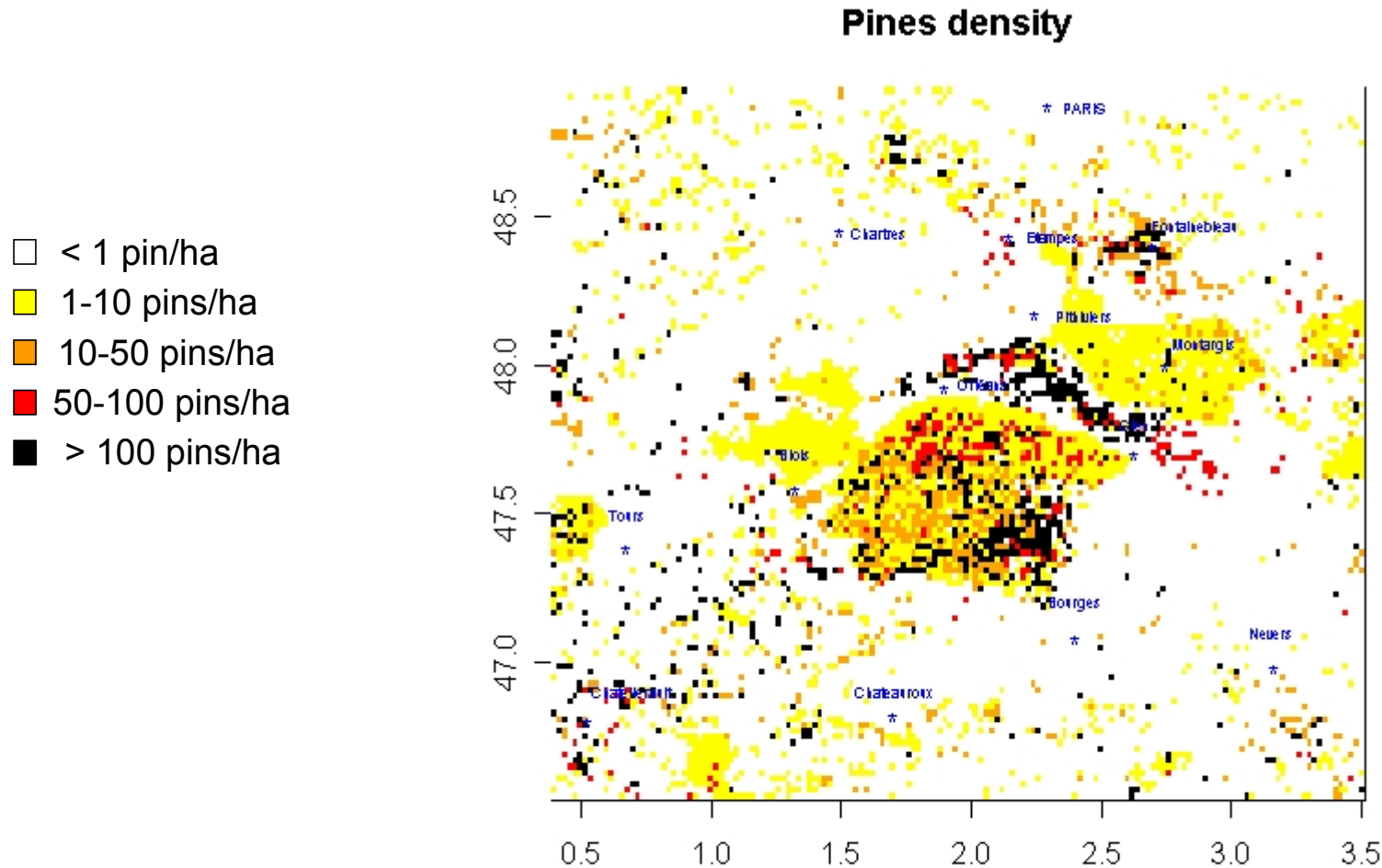
15 décembre 2005

Journée ECOFOR "La Forêt face aux changements climatiques"

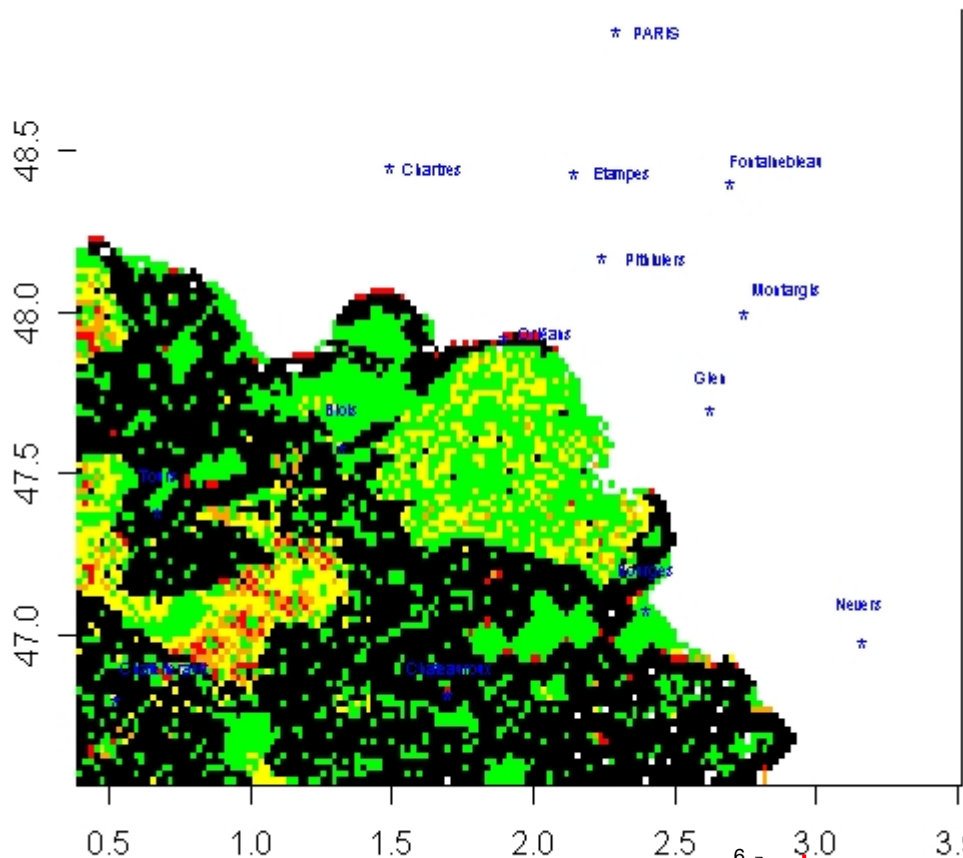
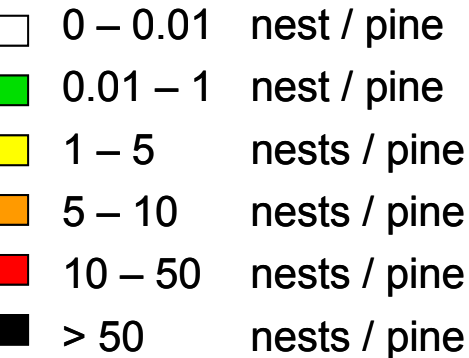
19

Définition d'un modèle d'expansion de la processionnaire dans le Bassin Parisien

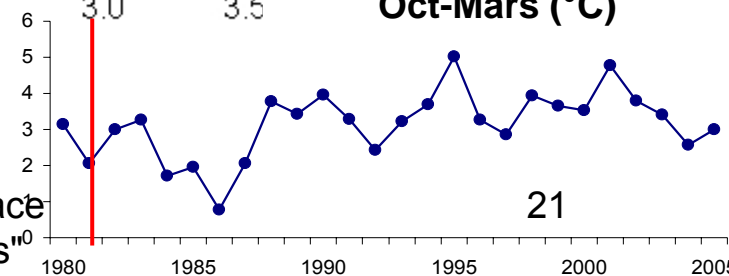
Modèle de réaction- diffusion utilisant la spatialisation des pins, une valeur de 3km comme capacité de vol femelle, une température seuil, $Wc=2.78^{\circ}C$, et un paramètre de sensibilité $s=3.5$



nests/pine 1981



Température minimale Oct-Mars (°C)

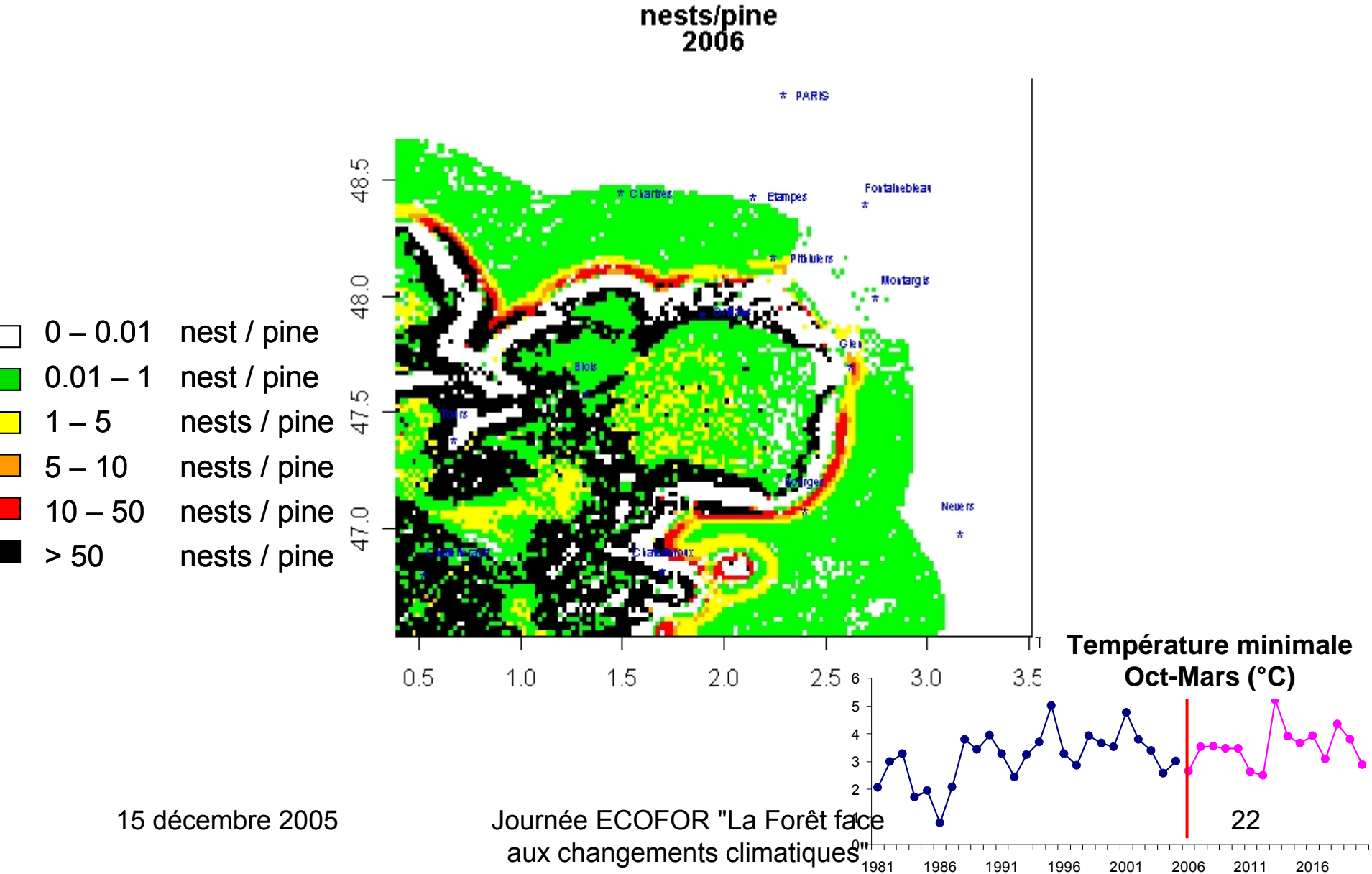


15 décembre 2005

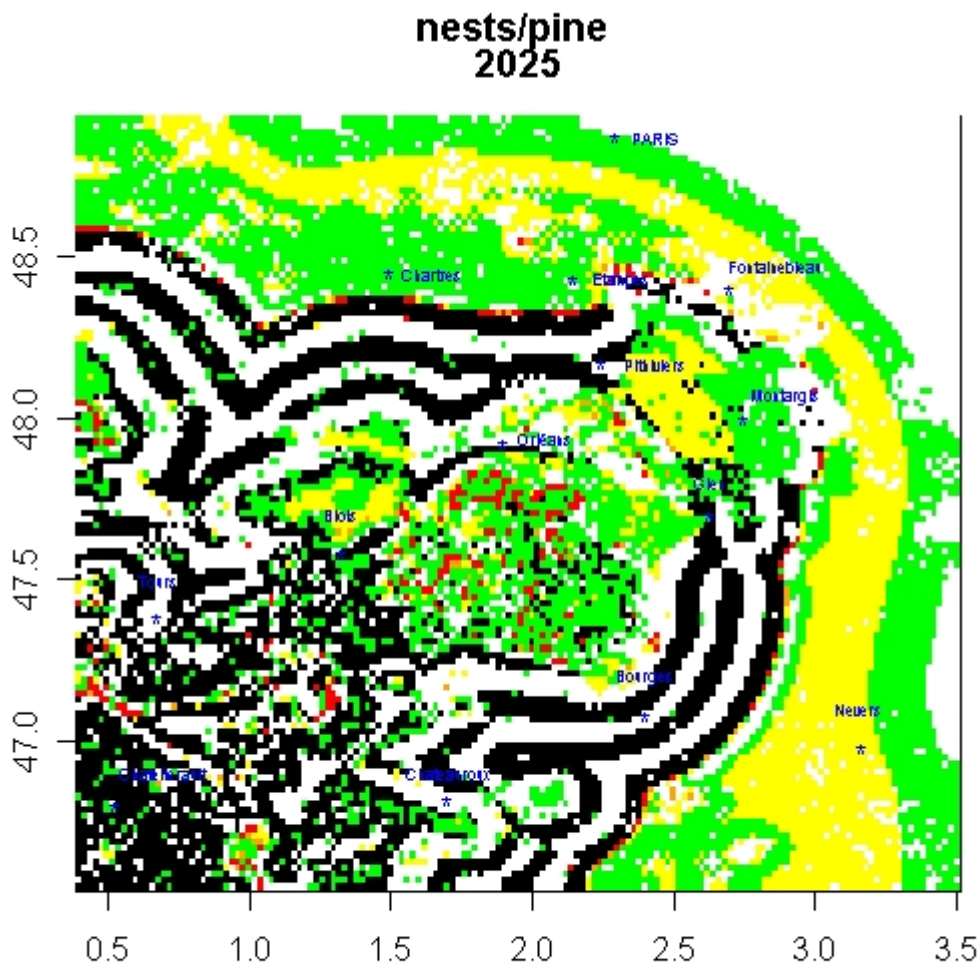
Journée ECOFOR "La Forêt face
aux changements climatiques"

21

Simulation 2005-2020 Scénario Arpège Météo-France- B2 GIEC (Doublement CO2 entre 1975 et 2100; réchauffement moyen 2.3°C)



Paris atteint en 2025, Une expansion sans limites ?



- Des pins- hôtes existent largement au-dessus du front
- La plantation systématique de pins le long des autoroutes joue un rôle de relais
- La vitesse de progression est limitée par la faible capacité de dispersion des femelles (< 3km)
- Mais il y a surtout **une limite liée à la photopériode** pour permettre un réchauffement du nid durant le jour atteignant 9°C.

Perspectives

- Passer des études de cas aux études écosystémiques, intégrant notamment:
 - interactions phytophage- ennemis naturels
 - compétition entre phytophages dans les zones d'expansion
 - réponse des arbres-hôtes (autres que stress hydrique)
- Prendre en compte d'autres variables que l'augmentation de la température dans l'étude des réponses des insectes
- Intégrer la notion de cycle de pullulation dans les simulations
- Apprécier les différences (génétiques, physiologiques, ...) entre populations des zones d'expansion et populations des zones « historiques »