

Impacts des changements climatiques sur les insectes

Louis-Michel Nageleisen
Département de la Santé des Forêts
Juin 2017

Changements dans les facteurs climatiques

De quoi parle t'on?

Température : réchauffement climatique

Précipitations : manque – excès

Combinaison canicule- sécheresse

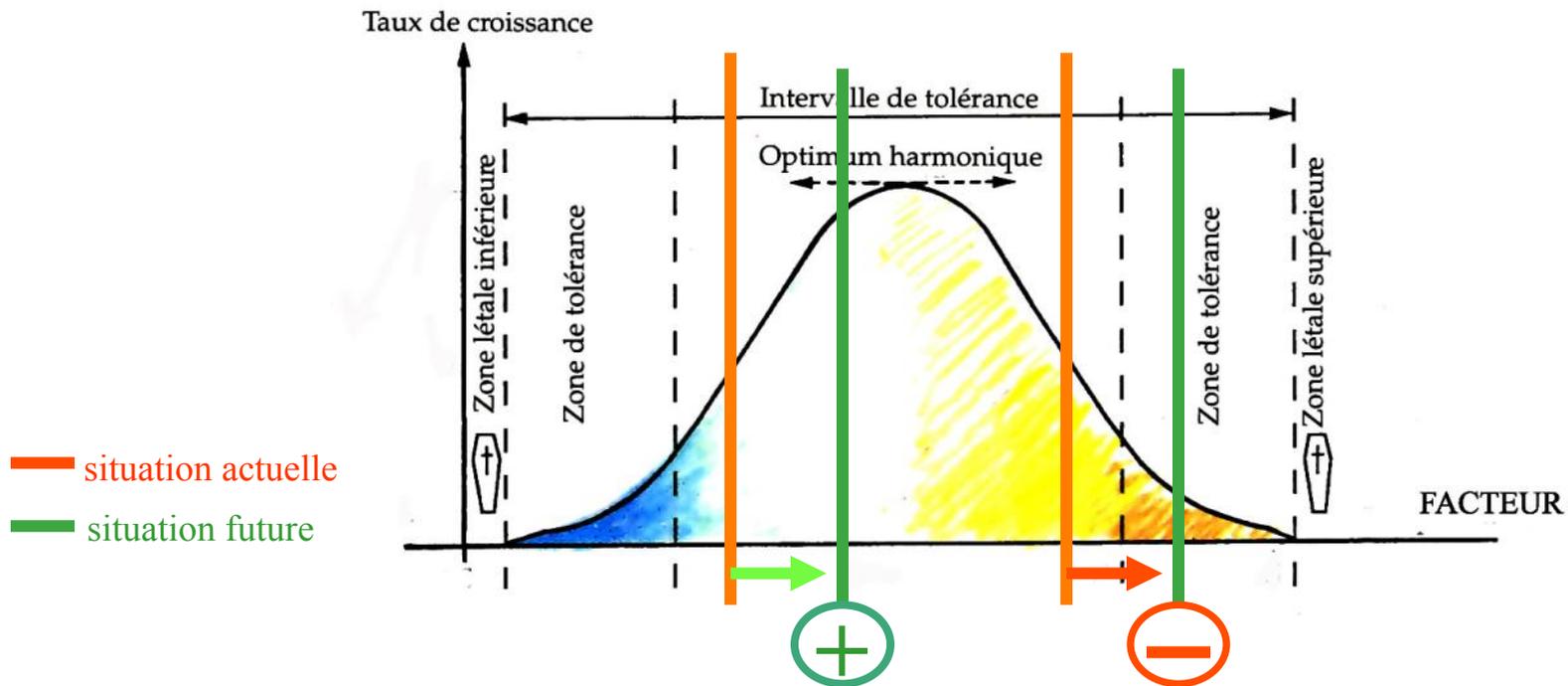
Composition atmosphérique

Météores : tempête...

Changements dans les facteurs climatiques

Modification d'une composante du climat (Réchauffement...)

➔ Boostage de l'action des parasites??



Facteur régissant l'essentiel des phases de développement et d'activités des insectes

EXISTENCE DE SEUIL THERMIQUE pour toutes les espèces cas du Curvidenté

Zone létale inférieure (mort par le froid) :	de - 15° C à - 10° C
Torpeur par le froid :	de - 10° C à + 5° C
Début d'activité :	de + 5° C à + 9° C
Activité normale (sans essaimage) :	de + 10° C à + 15° C
Essaimage :	de + 16° C à + 18° C
Activité optimale d'essaimage :	de + 18° C à + 29° C
Zone d'hyperactivité :	de + 30° C à + 40° C
Torpeur par la chaleur :	de + 40° C à + 49° C
Zone létale supérieure:	de + 50° C à + 51° C

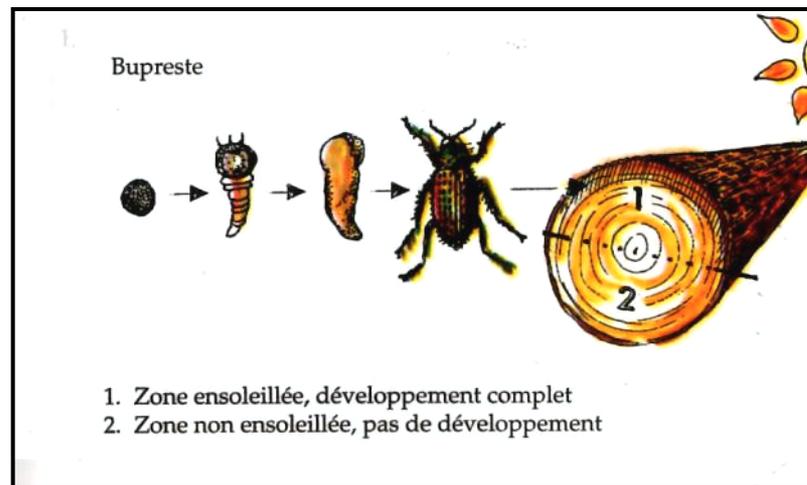
(tiré de CHARARAS : Scolytides des Conifères)

→ les extrêmes régulent la répartition des insectes, champignons sur la planète

Facteur régissant l'essentiel des phases de développement et d'activités

Espèces + ou - thermophiles

Les buprestes très communs en zone méditerranéenne, plus rare en zone nord européenne , sur face sud des arbres (Agriles ...)



Stades phénologiques plus ou moins sensibles

déclinaison par espèces selon saison & stades phénologiques

Processus d'adaptation aux conditions changeantes

Adaptation à la chaleur ==> estivation

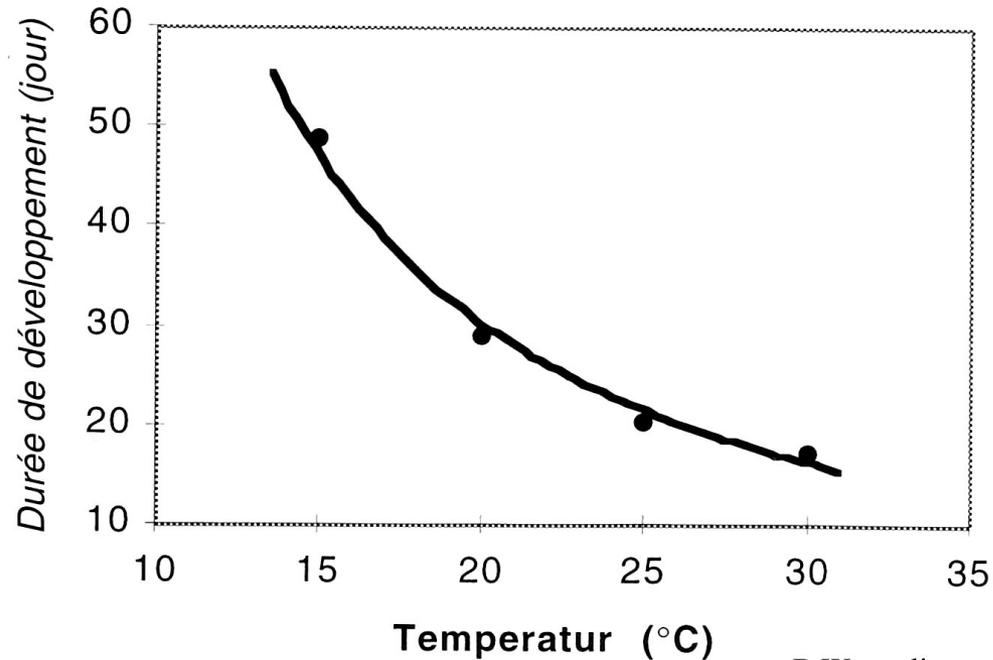
Adaptation au froid ==> hibernation

Pour passer la mauvaise saison ==> diapause

Conditionne l'activité des insectes à tous les stades,
donc la **durée globale du cycle de développement**

Le cas d'*Ips typographus*

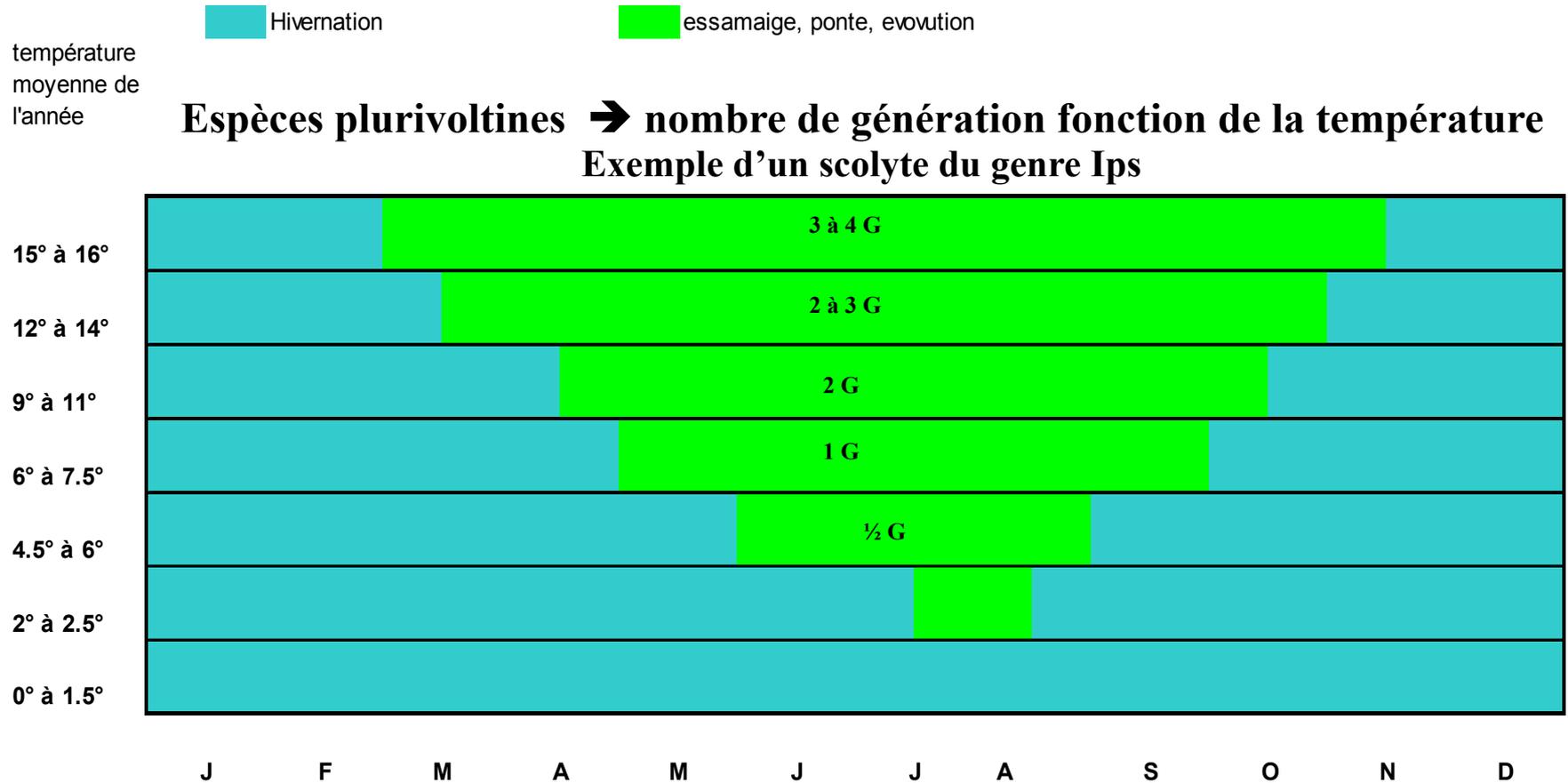
600 ° / jour au dessus de 7 ° pour un développement de l'œuf à l'adulte prêt à se reproduire



B. Wermelinger

Durée du cycle d'*Ips typographus* en laboratoire (méthode des sandwichs)

Durée de la période d'activité des scolytes en fonction de la température moyenne de l'année
==> variation latitudinale, altitudinale, selon les années...



Effets de la température sur le développement du sténographe, *Ips sexdentatus*

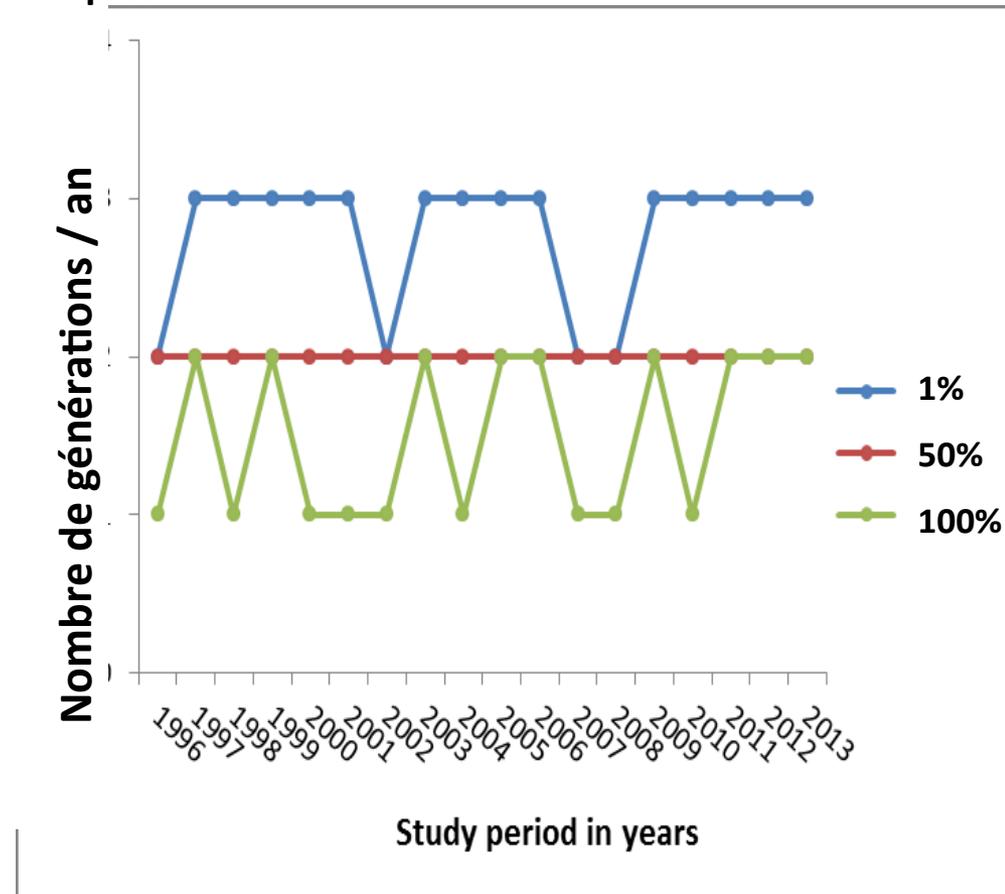
Somme de degrés – jours pour le développement complet

Seuil de développement = $11,1^{\circ}$

1^{ère} émergence: 453 ± 26

Émergence 50%: 517 ± 52

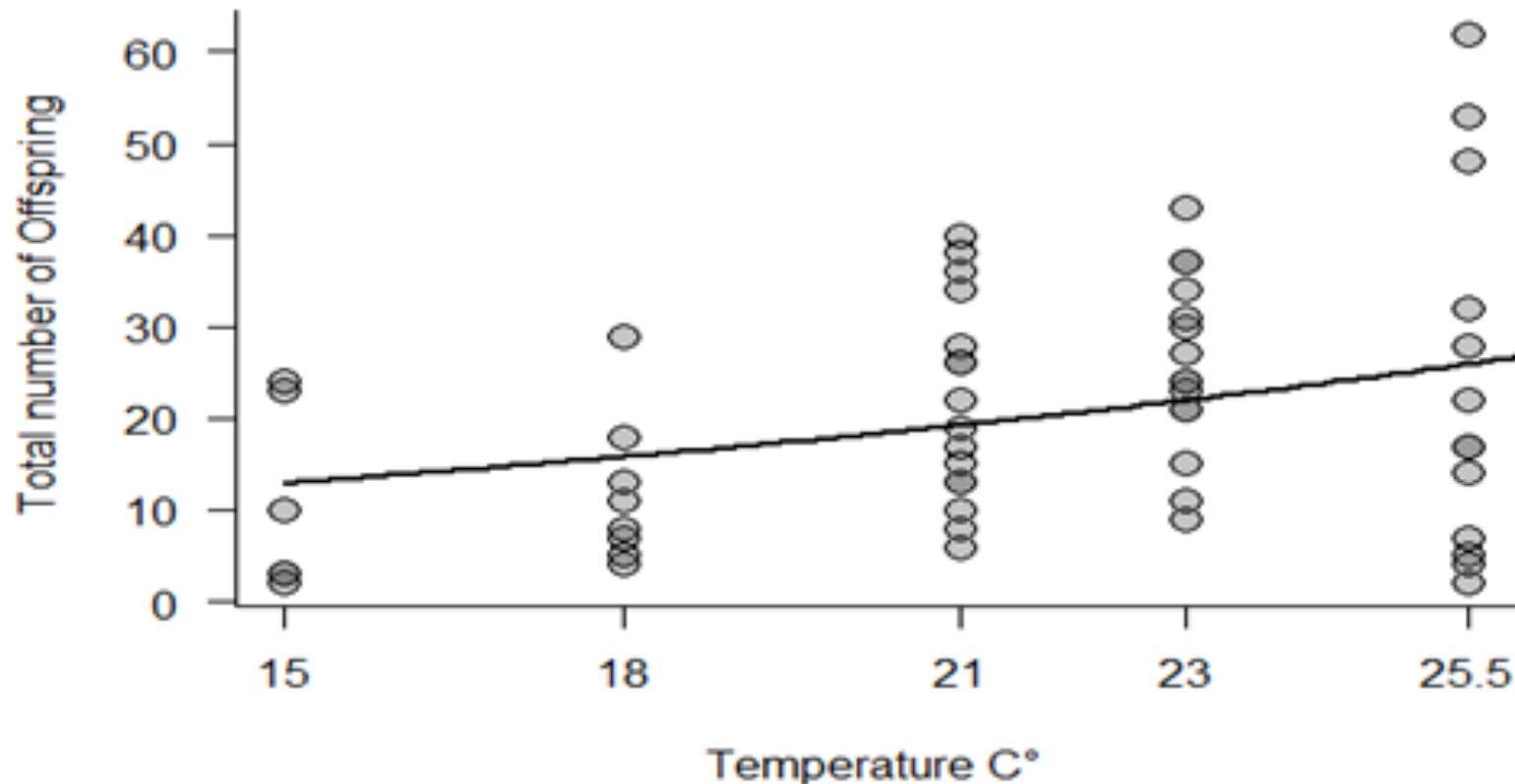
Dernière émergence: 678 ± 59



Estimation du voltinisme en Aquitaine (depuis 1996)

Effets de la température sur le développement du sténographe, *Ips sexdentatus*

Effets positifs de la température de développement sur le nombre de descendants adultes / femelle



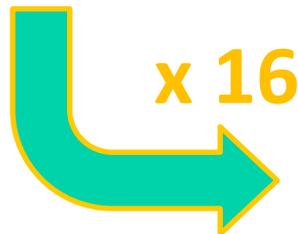
Effets de la température sur le développement du sténographe, *Ips sexdentatus*

Un exemple pour illustrer l'effet des températures sur la dynamique des populations de sténographe en Aquitaine

2002 (Tmoy = 13°C)

- 1^{ère} génération → 105 j
Tmoy=15 : 6 adultes/femelle = (3M/3F)
- 2nd génération → 55 j
Tmoy=19: 16 adultes /femelle= (8M/8F)

TOTAL : 3 x 8 = 24 adultes femelles



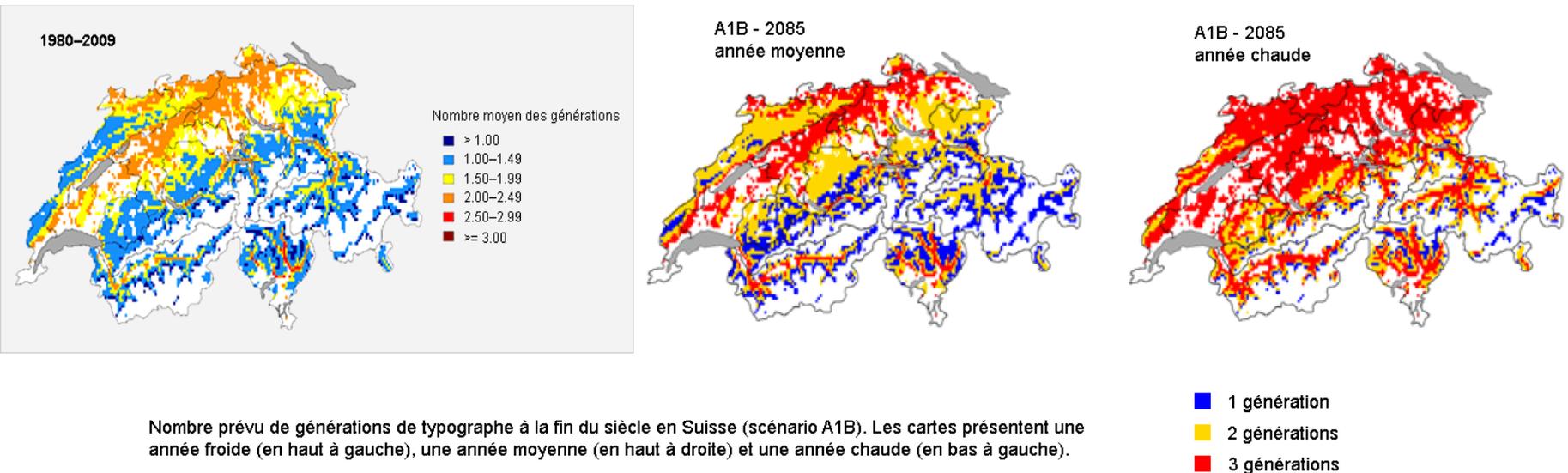
2003 (Tmoy = 14°C)

- 1^{ère} génération → 96 j
Tmoy=15 : 6 adultes/femelle = (3M/3F)
- 2nd génération → 43 j
Tmoy=21: 21 adultes /femelle= (11M/10F)
- 3^{ème} génération → 35 j
Tmoy=23: 26 adultes/femelle=(13M/13F)

TOTAL : 3 x 10 x 13 = 390 adultes femelles
S. Peter et al, 2015, Inra

Nombre de générations et température

Augmentation du nombre de générations des scolytes = une préoccupation majeure en zone de montagne ou boréale à dominante résineuse



A PLUSIEURS ECHELLES :

→ Arbre

→ Peuplement :

. exposition versant nord - versant sud

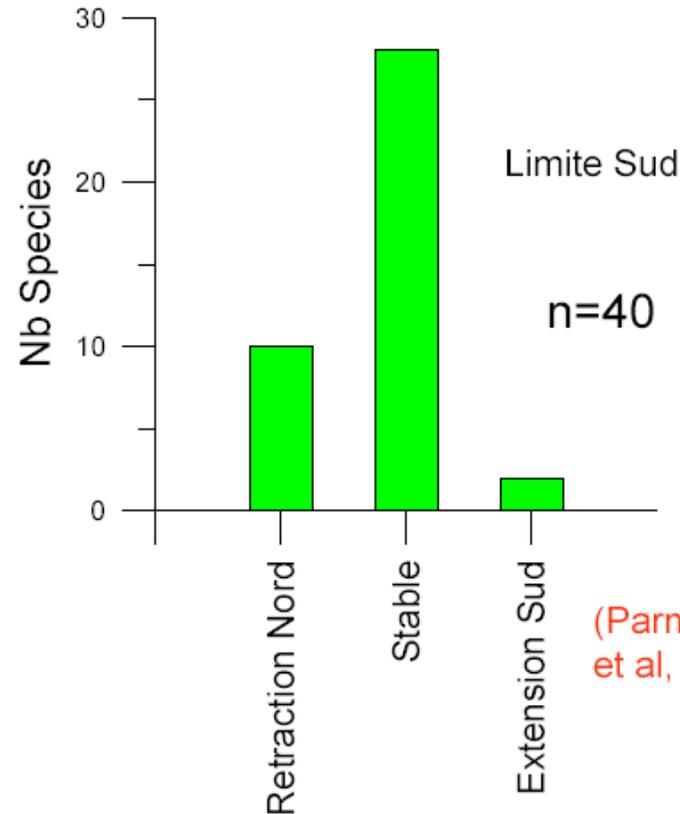
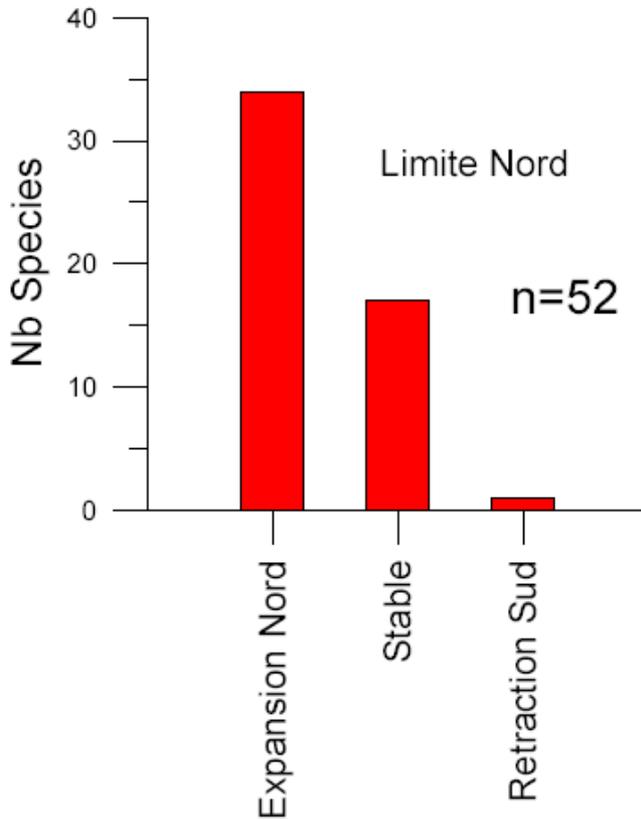
. lisière - intérieur du peuplement

→ **Macro géographique :**

. **latitude**

. **altitude**

Beaucoup d'observations (& publications) d'extension d'espèces du sud vers le nord



(Parmesan et al, 1999)

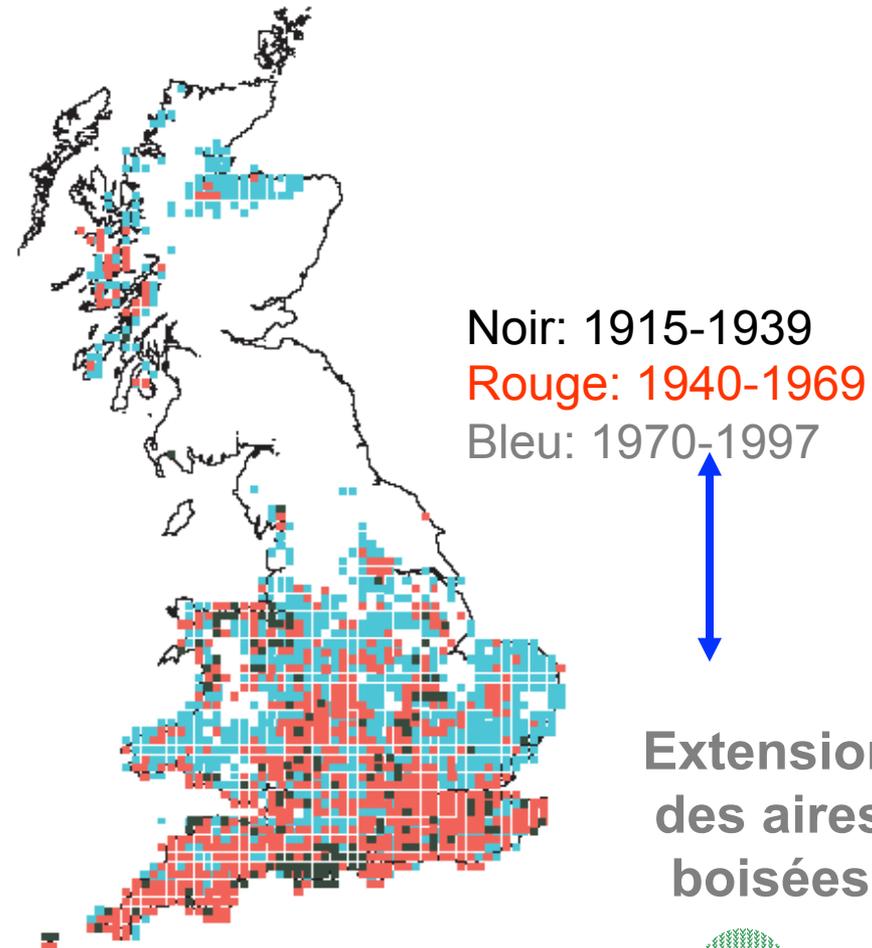
35-240 km d'avancée vers le Nord pour 65% des espèces de papillons européens au 20ème siècle, juxtaposée à un déplacement de 120 km des isothermes vers le pôle.

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

Une combinaison possible: expansion et rétraction d'aire

Démêler l'effet propre au changement climatique
de celui de la modification des habitats

Changement dans l'aire du papillon
Pararge aegeria en Grande-
Bretagne durant le 20ème siècle



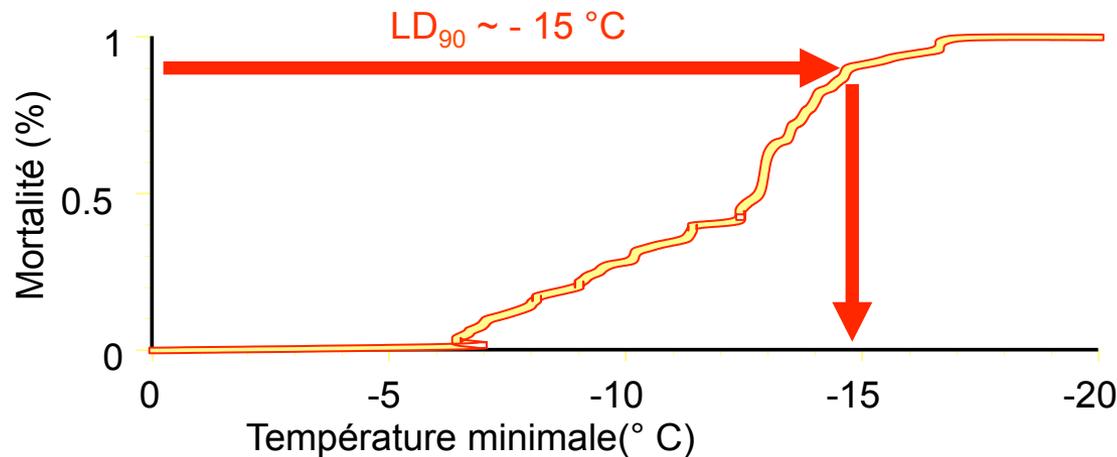
(Parmesan et al, 1999)

Asymétrie dans les évolutions des températures en fonction des saisons

Hausse des températures estivales → atteinte des seuils de mortalité

Canicule 2003 et processionnaire du pin en région Centre (limite Nord de l'aire)

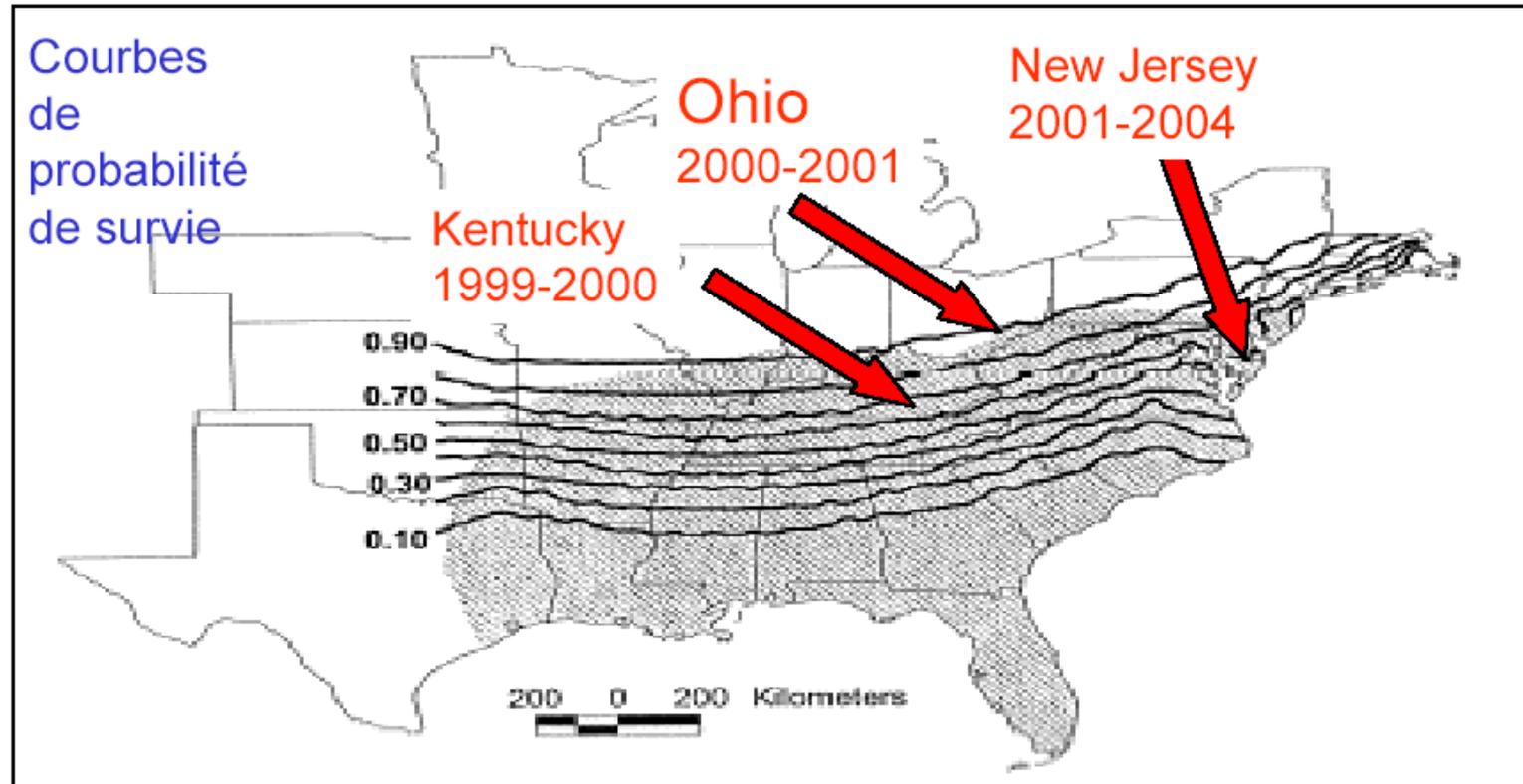
Hausse des températures hivernales → levée des seuils létaux



Température létale hivernale chez *Dendroctonus frontalis*

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

(Ayres et
Lombardero,
2000)

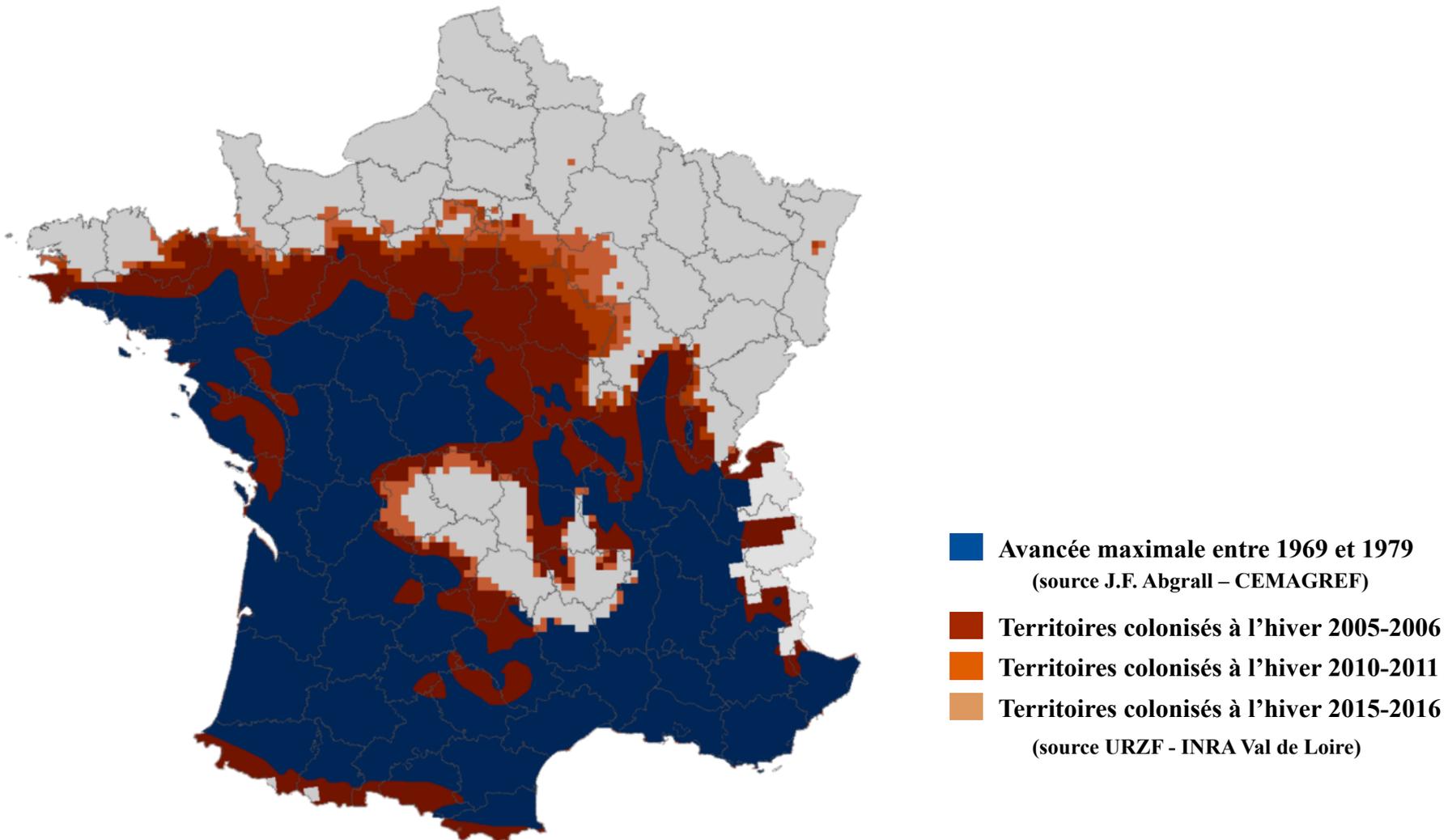


Le déplacement des isothermes correspondant aux seuils létaux minimaux vers le nord et en altitude peut induire une expansion concomitante des insectes

Un modèle d'étude exemplaire de l'effet du réchauffement La processionnaire du Pin



Processionnaire du pin : Expansion importante en latitude observée à partir des années 1990



Processionnaire du pin : Définition d'u

Contraintes identifiées 1960-1970:

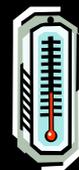
- Moyenne des minima de Janvier >
- LTT -16°C
- Radiation solaire annuelle > 1800 h

Nouvelle contrainte identifiée au cours
La survie des larves est liée à l'alimentation
laquelle la moyenne hebdomadaire de



T nid > 9°C
(jour)
T° Activation

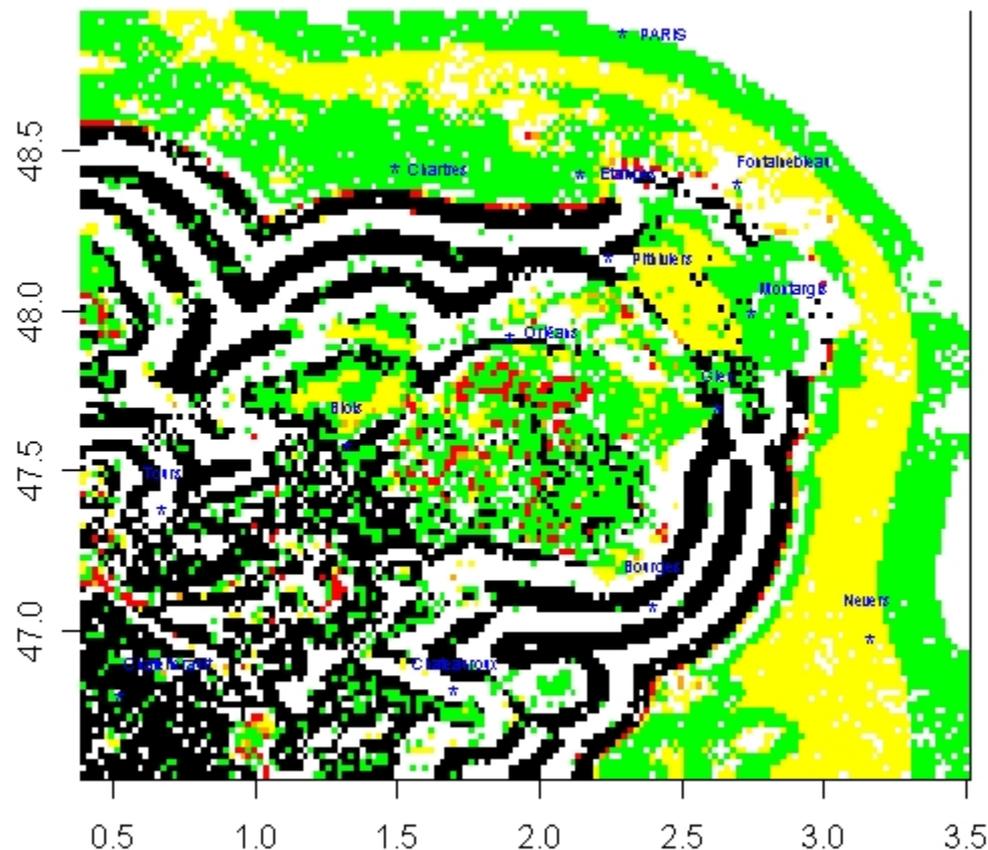
+



T air > 0°C
(nuit suivante)
T° Alimentation
Potentielle



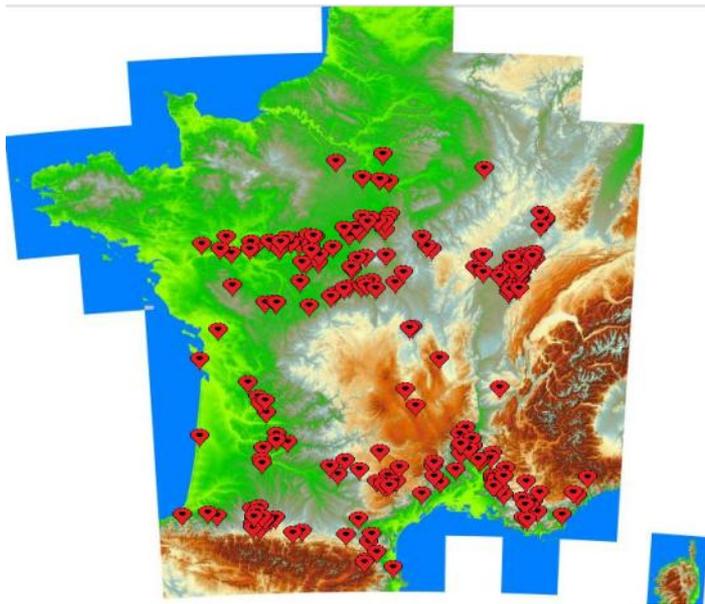
nests/pine
2025



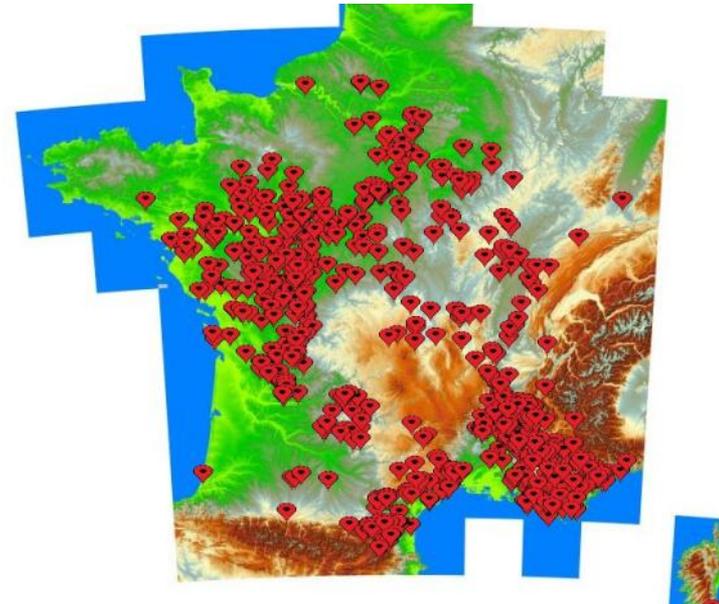
➔ Modèle d'extension latitudinale et altitudinale

➔ Paris colonisé intra muros en 2025

Bupreste du chêne (*Coroebus florentinus*= *C. bifasciatus*)



Signalements 1989-2006



Signalements depuis 2006

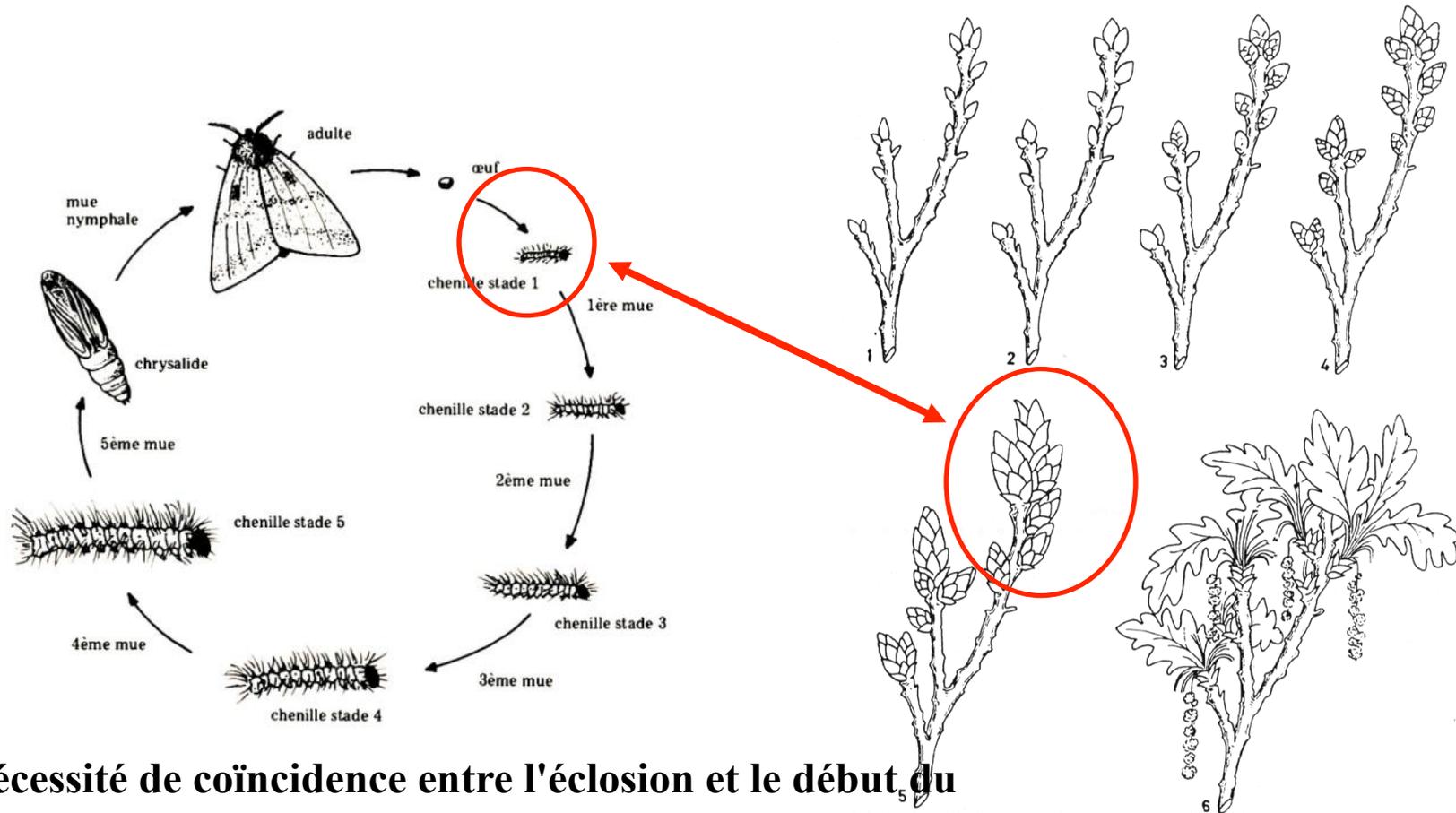
Biodivers Conserv (2013) 22:1115-1131
DOI 10.1007/s10531-012-0395-y

ORIGINAL PAPER

Rising temperatures explain past immigration of the thermophilic oak-inhabiting beetle *Coroebus florentinus* (Coleoptera: Buprestidae) in south-west Germany

Jörn Buse · Eva Maria Griebeler · Manfred Niehuis

Température printanière : interaction phénologie hôte et phénologie bioagresseur



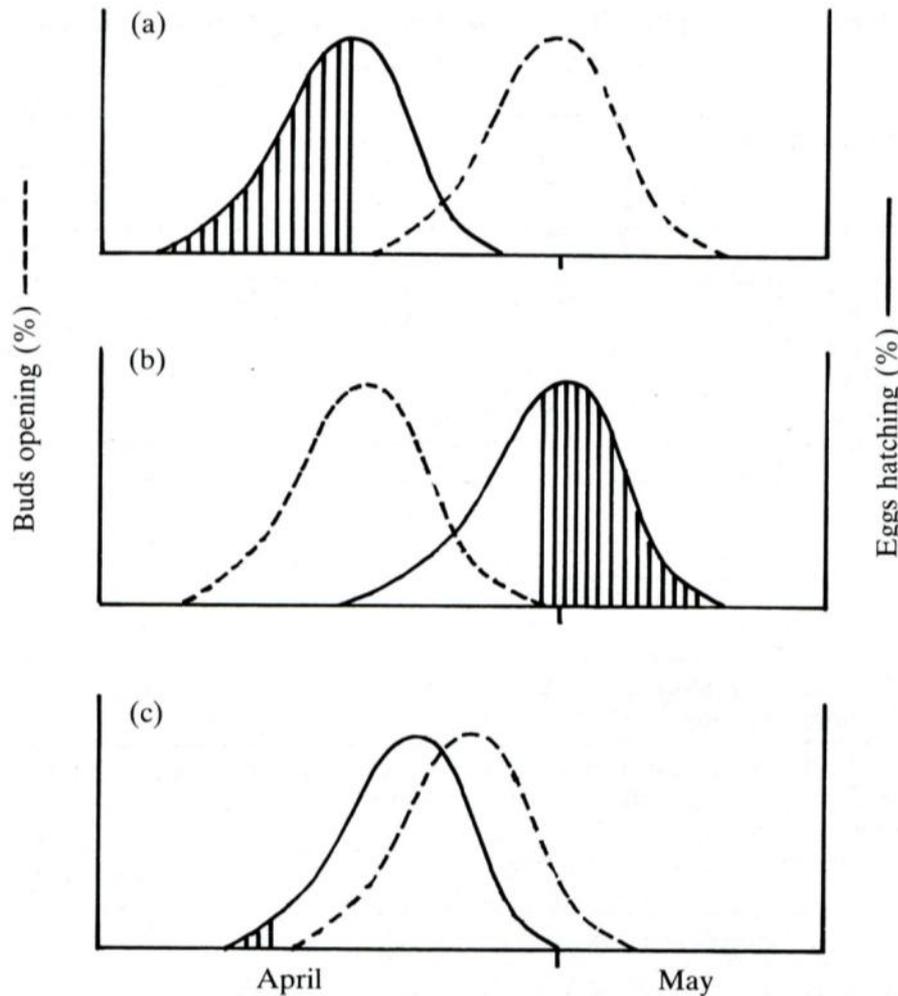
↪ Nécessité de coïncidence entre l'éclosion et le début du débourrement (gonflement des bourgeons)

↪ Date d'éclosion : déterminisme génétique des conditions de levée de diapause

↪ Coévolution de la tordeuse et de l'espèce-hôte



Température printanière : interaction phénologie hôte et phénologie bioagresseur



Rôle des gels tardifs

**Destruction des feuilles →
Mortalité des jeunes chenilles par
famine**

**Plusieurs exemples de pullulation
« cassée » par un gel tardif**

**1991,1997: processionnaire du chêne
2017: géométrides**

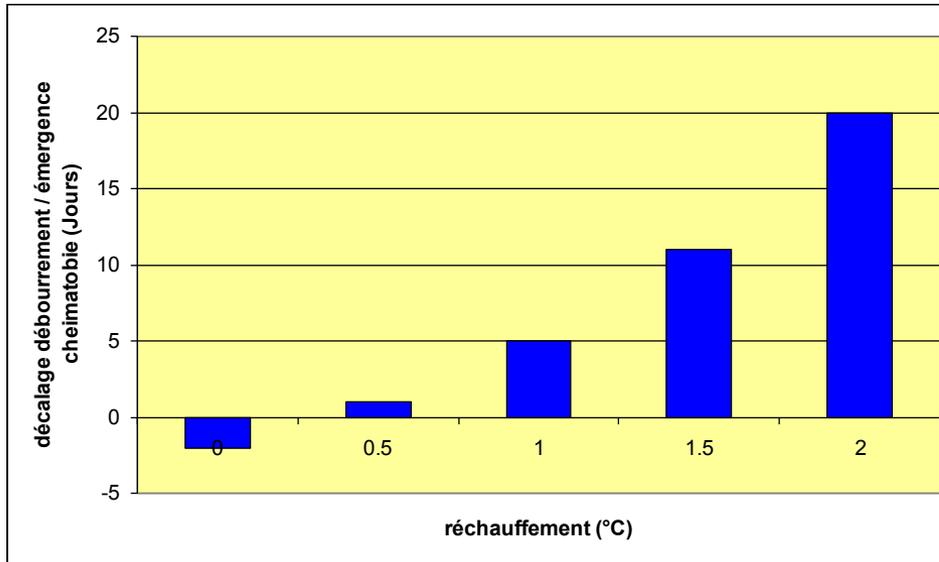
Nécessité de coïncidence phénologique pour certaines espèces

Apparition des L1 trop tôt → mort par absence de nourriture

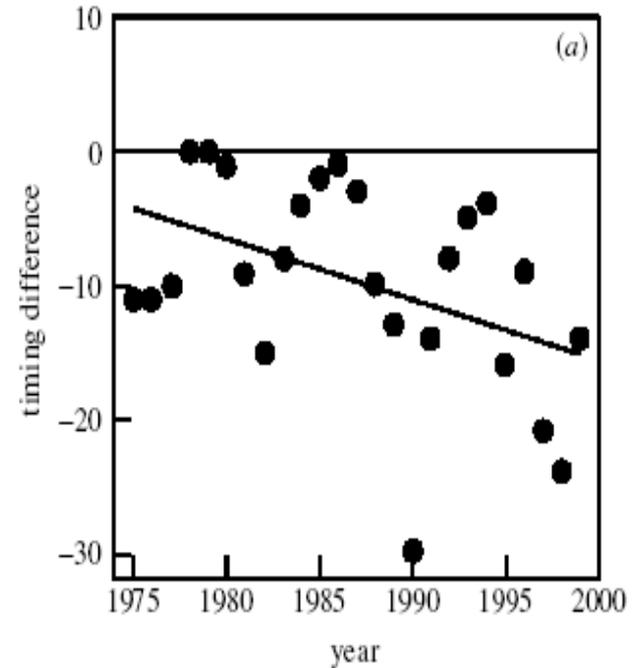
Apparition des L1 trop tard → feuilles trop dures pour être consommées → mor

Température printanière : interaction phénologie hôte et phénologie bioagresseur

Augmentation des températures →
Risque d'asynchronie phénologique entre hôte et parasite:
Ex: Cheimatobie



Nb de jours de décalage entre débournement de l'épicéa de sitka et émergence cheimatobie en fonction d'une augmentation de la température (Dewarr et Watt, 1992)



Evolution annuelle entre 1975 et 2000 du degré de synchronie entre éclosion printanière des œufs de la géométride *Operophtera brumata* et débourrage des chênes aux Pays-Bas (Visser & Holleman, 2001)

Température et activités humaines

Conséquences attendues du **réchauffement global** sur les insectes parasites des forêts en lien avec **activités humaines (commerce international)**

→ **Facilitation de l'établissement d'espèces exotiques**

Les seuils thermiques létaux sont partiellement levés, même pour des espèces d'origine tropicale

Quelques exemples récents:

- ***Paysandisia archon*** du Palmier en provenance d'Amérique du Sud



- Lycène du géranium ***Cacyreus marshalli*** en provenance d'Afrique du sud



Effets directs de la sécheresse sur les parasites:

Difficile de les dissocier des températures élevées

Vol du typographe de l'épicea

favorisé par absence de pluie,

perturbé lors des épisodes les plus chauds

Printemps sec (et chaud) favorable aux pucerons

Précocité d'émergence

Plus de générations parthénogénétiques

Moins de parasitisme

Automne sec favorable à la cochenille du hêtre

Effets indirects de la sécheresse sur parasites

via la physiologie de l'hôte



✓ *Altération des mécanismes de défense*

✓ *Modification de la qualité nutritive des tissus*

N ↗ ; Sucres ↗ ; H₂O ↘

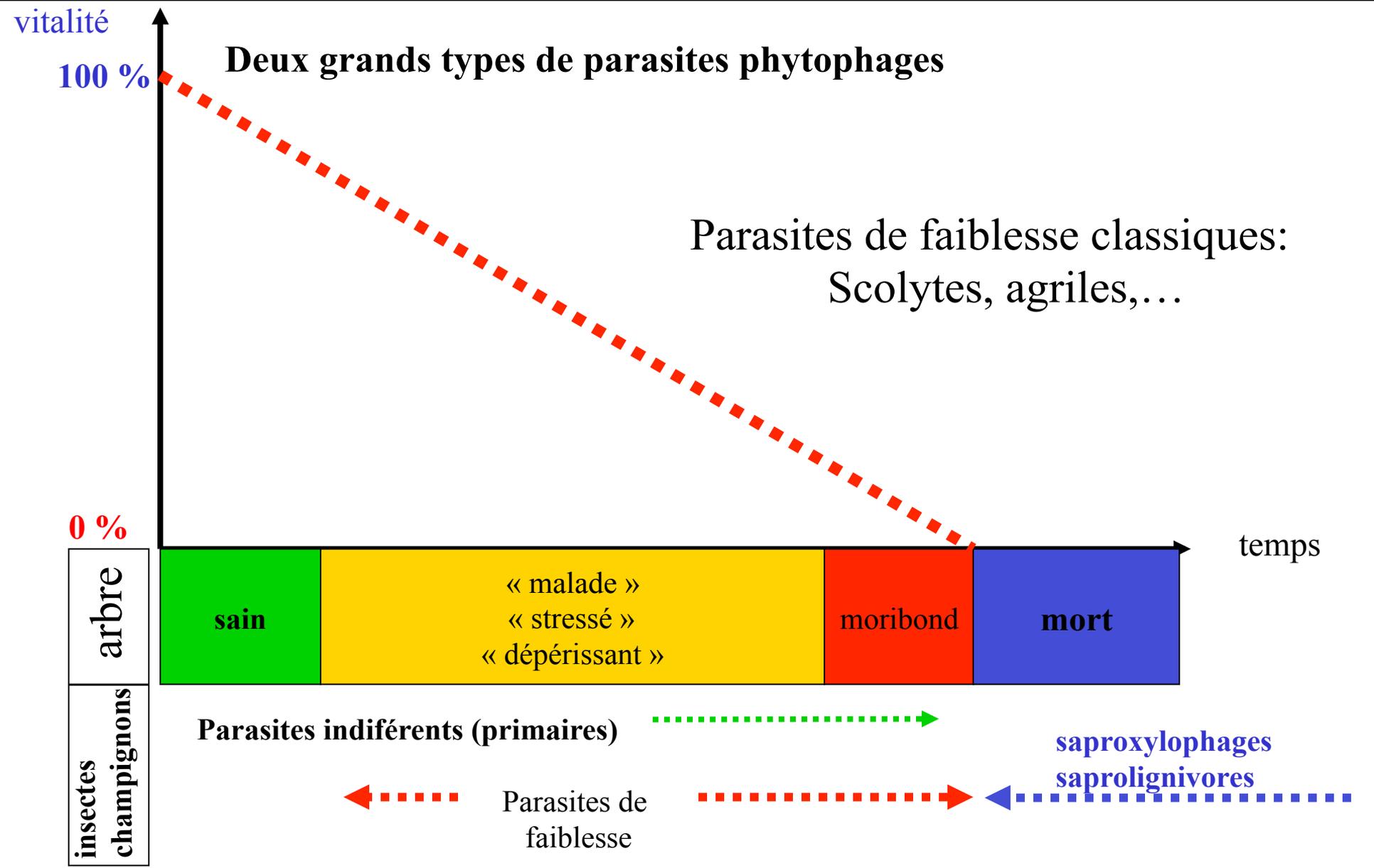


Effets variables

✓ *suivant les guildes*

✓ *suivant l'intensité du stress*

sécheresse



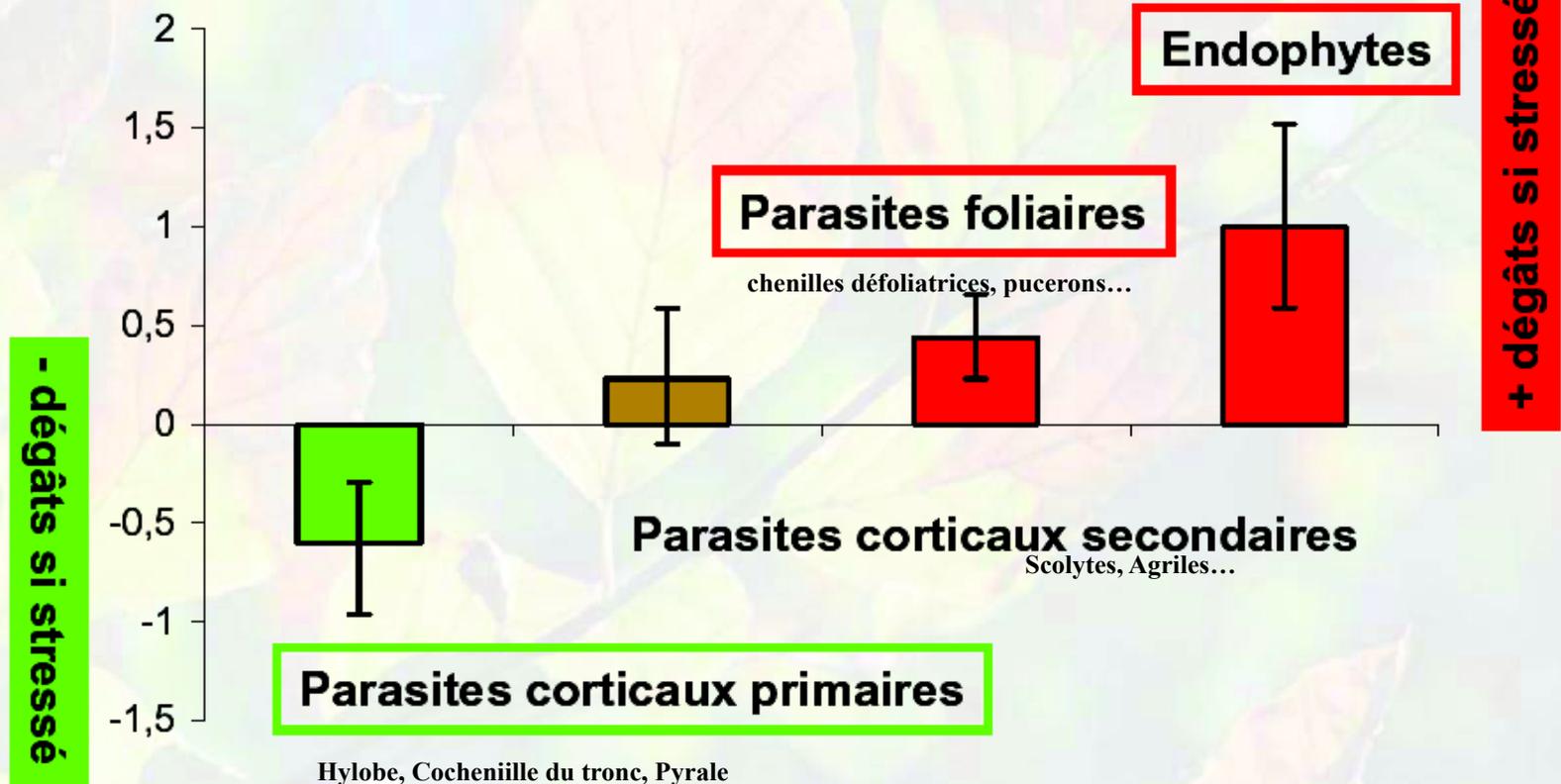
Les sécheresses permettent aux parasites de faiblesse de s'installer...

Impact d'un stress hydrique sur les parasites: méta-analyse Jactel, 2005

Réponse identique pour:

- feuillus vs. conifères
- jeunes vs. vieux arbres
- insectes vs. champignons

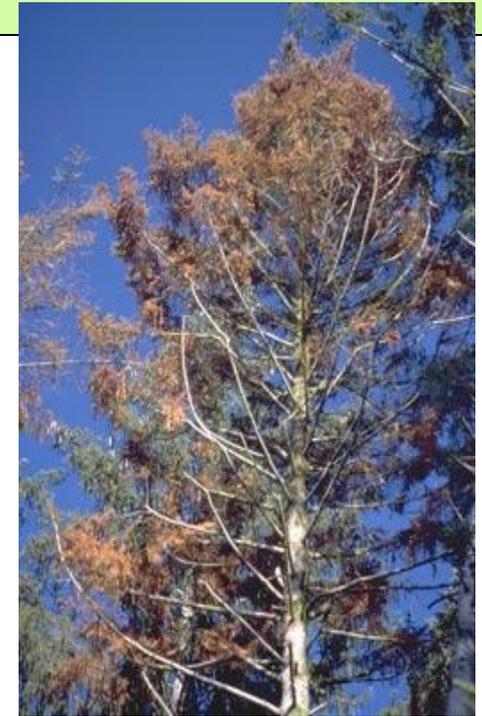
Effet très significatif de la guildes



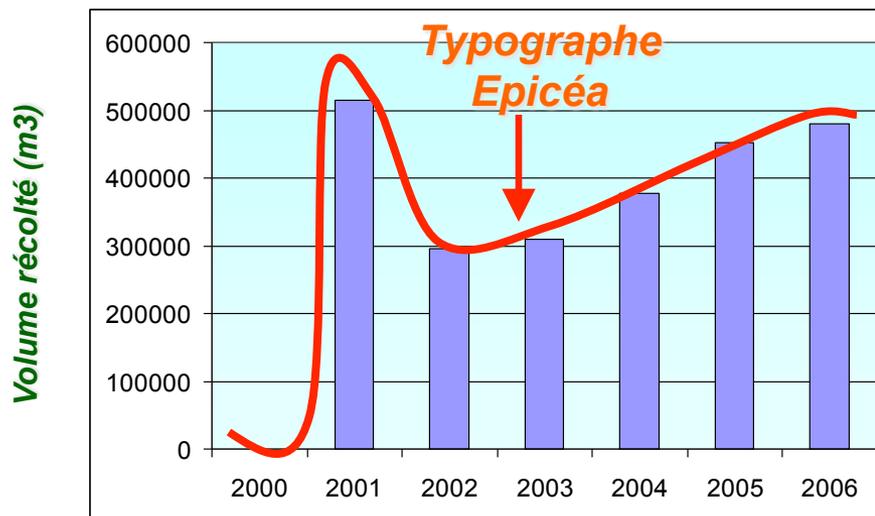
✓ Les "sous corticaux" des conifères et xylophages

Bibliographie massive, cohérente, Mécanismes en partie clarifiés

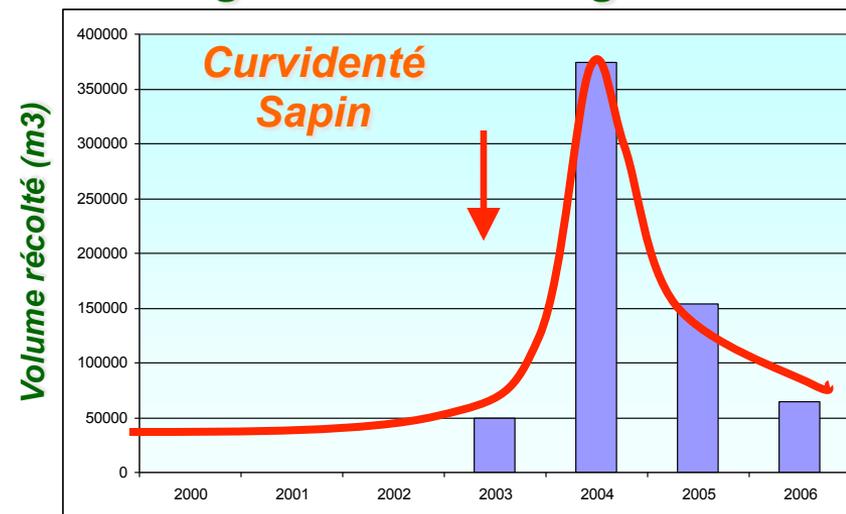
Effets combinés directs et indirects, Effets "seuil" fonction de l'intensité du stress et des niveaux de populations



"Entretien" de gradations anciennes



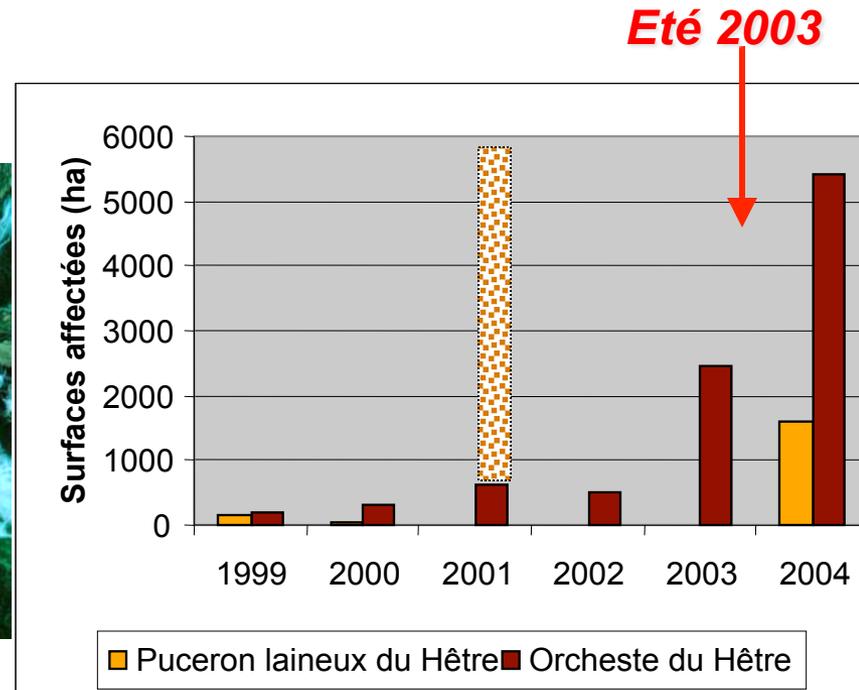
Démarrage de nouvelles gradations



✓ Les piqueurs suceurs

**Des résultats
contradictoires,
Mécanismes non
clairement établis,**

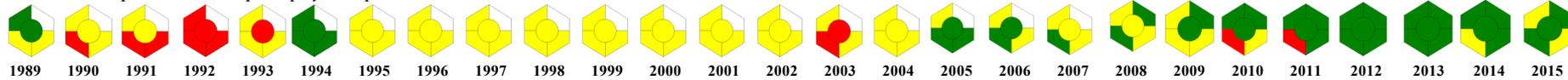
**Très peu d'articles sur interactions
sécheresse / cortège parasitaire**



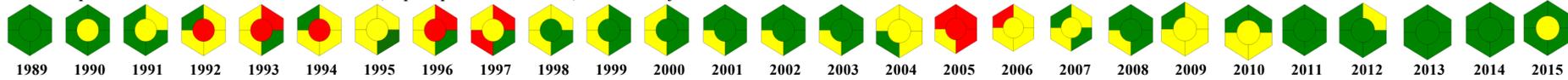
✓ Les défoliateurs

**Des résultats contradictoires, Mécanismes non clairement établis,
Peu d'éléments concrets sur les mécanismes de pullulation**

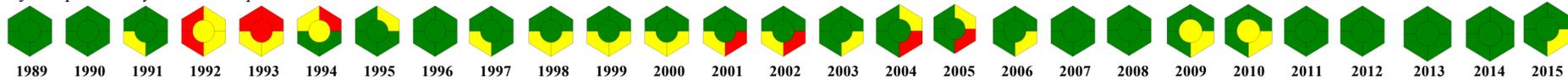
La processionnaire du pin – *Thaumetopoea pityocampa*



Les défoliateurs précoces du chêne – *Tortrix viridana*, *Operophtera brumata*, *Erannis defoliaria* ...



Le bombyx disparate – *Lymantria dispar*



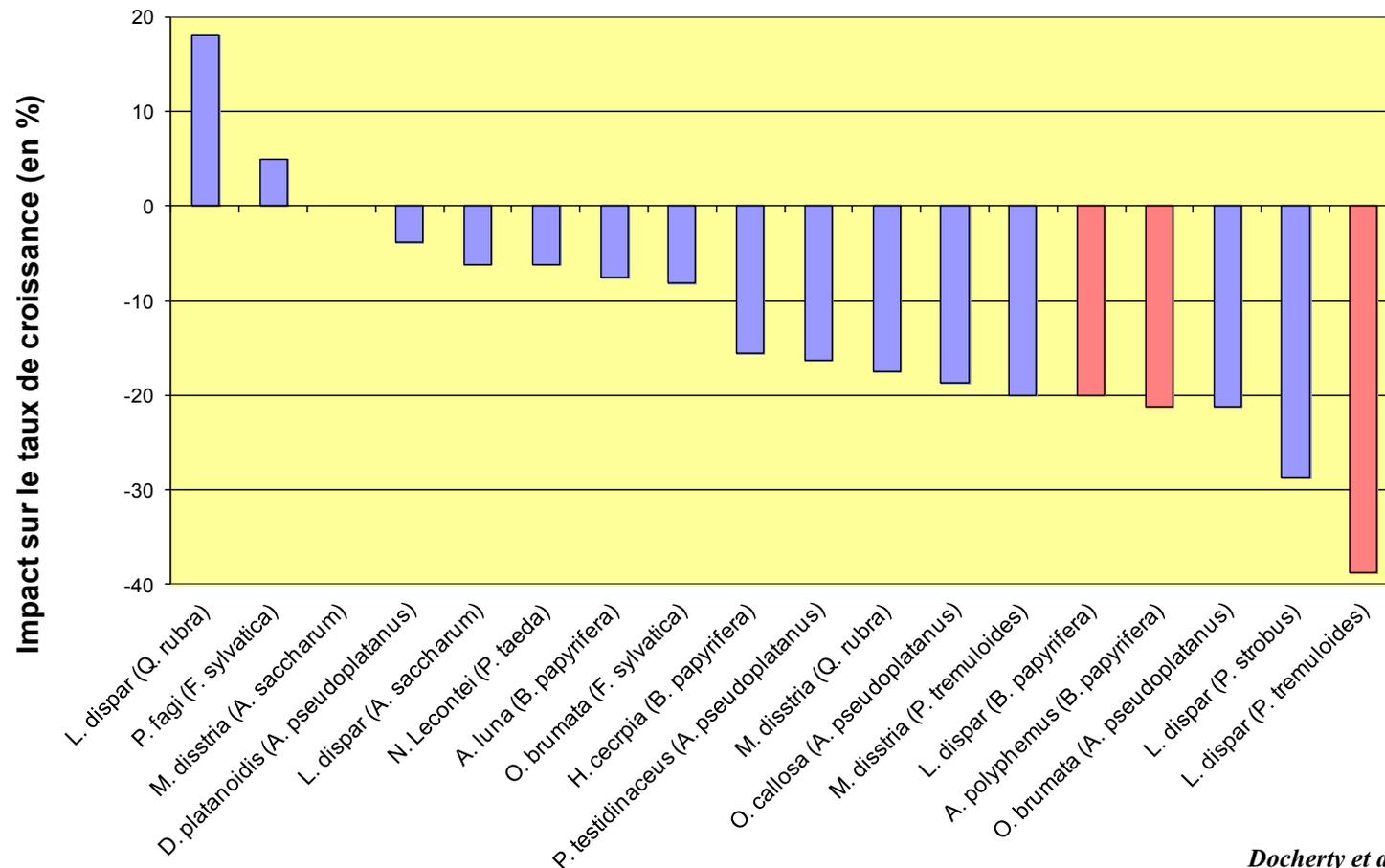
Processionnaire du pin

**Forte mortalité des jeunes larves dans
centre France en août 2003**

Changement de la composition de l'atmosphère

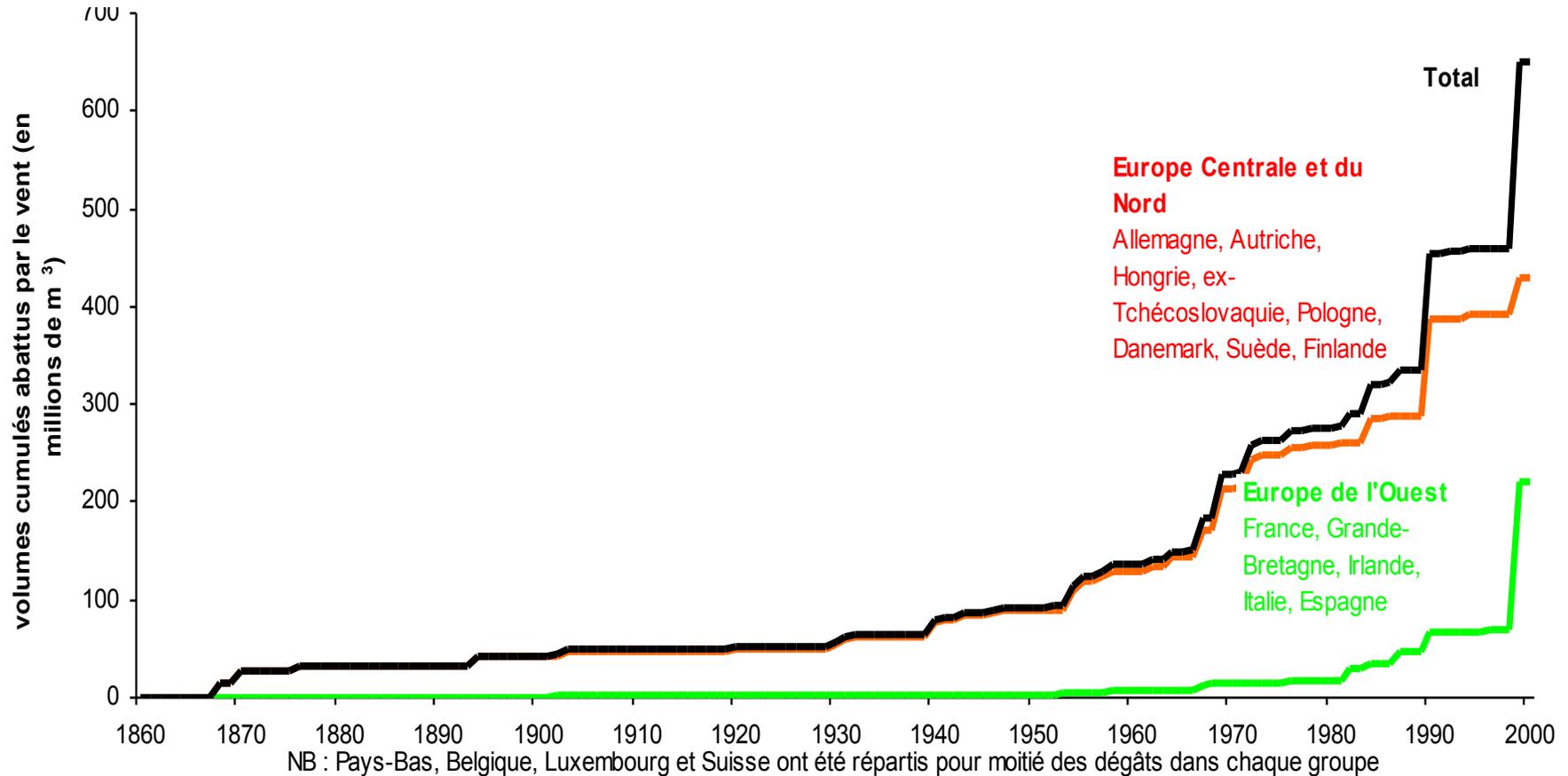
CO₂, CH₄, Nox... Changement de qualité nutritive des feuilles

Impact de l'élévation du taux de CO₂ sur le taux de croissance d'insectes phytophages



Tempêtes : principale cause de dommages forestiers jusqu'à présent!

Augmentation de fréquence?
Pas observée jusqu'à présent en zone tempérée

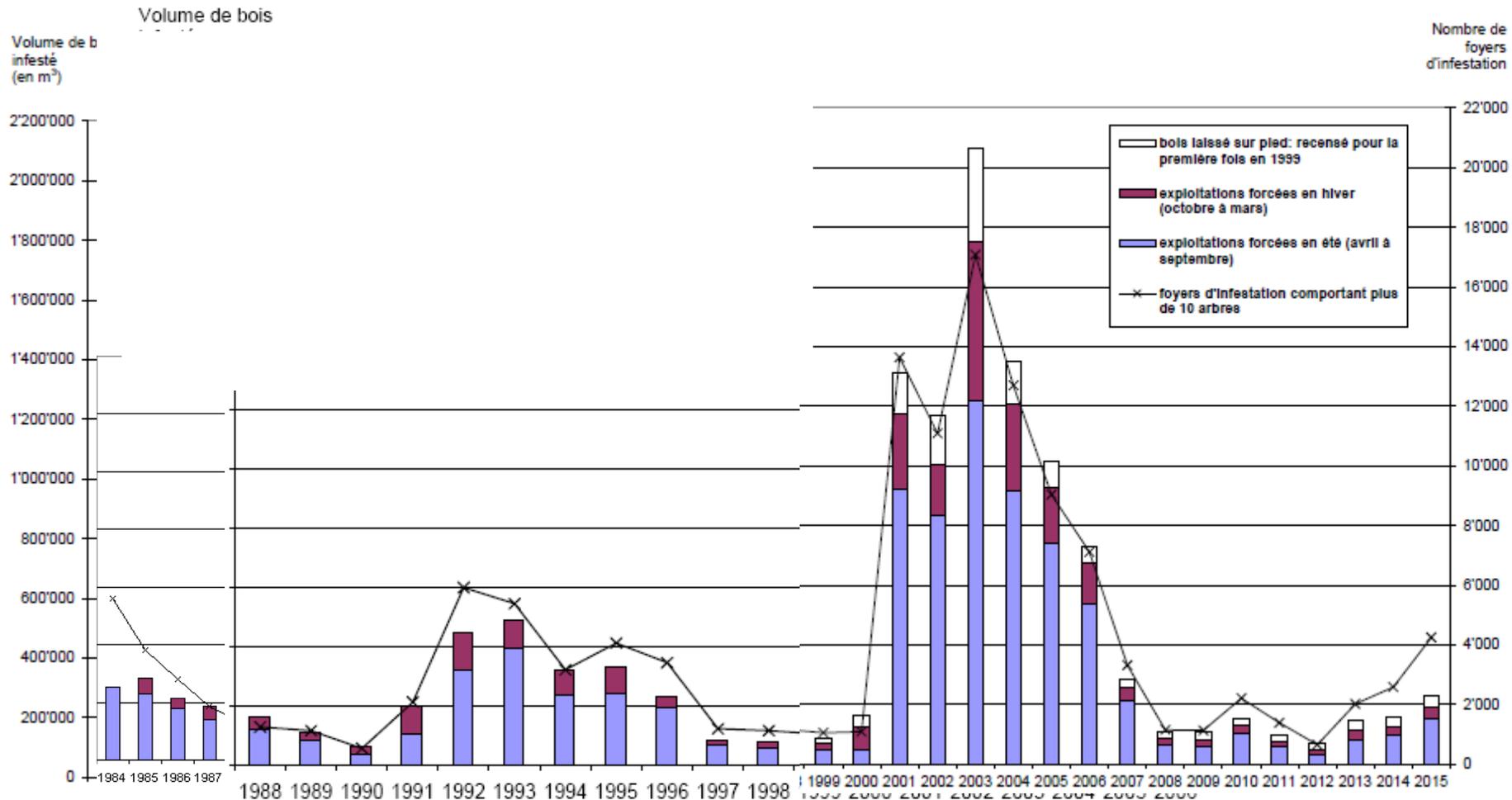


Les chablis concernent essentiellement l'Europe Centrale jusqu'en 1967, l'Europe de l'Ouest est de plus en plus touchée depuis 1982 d'après D.Doll (2000)

Tempêtes et scolytes

Scolytes des résineux

Les tempêtes (→ chablis) sont la cause première des pullulations de scolytes



Tempêtes d'automne
1982 et 1983



Vivian

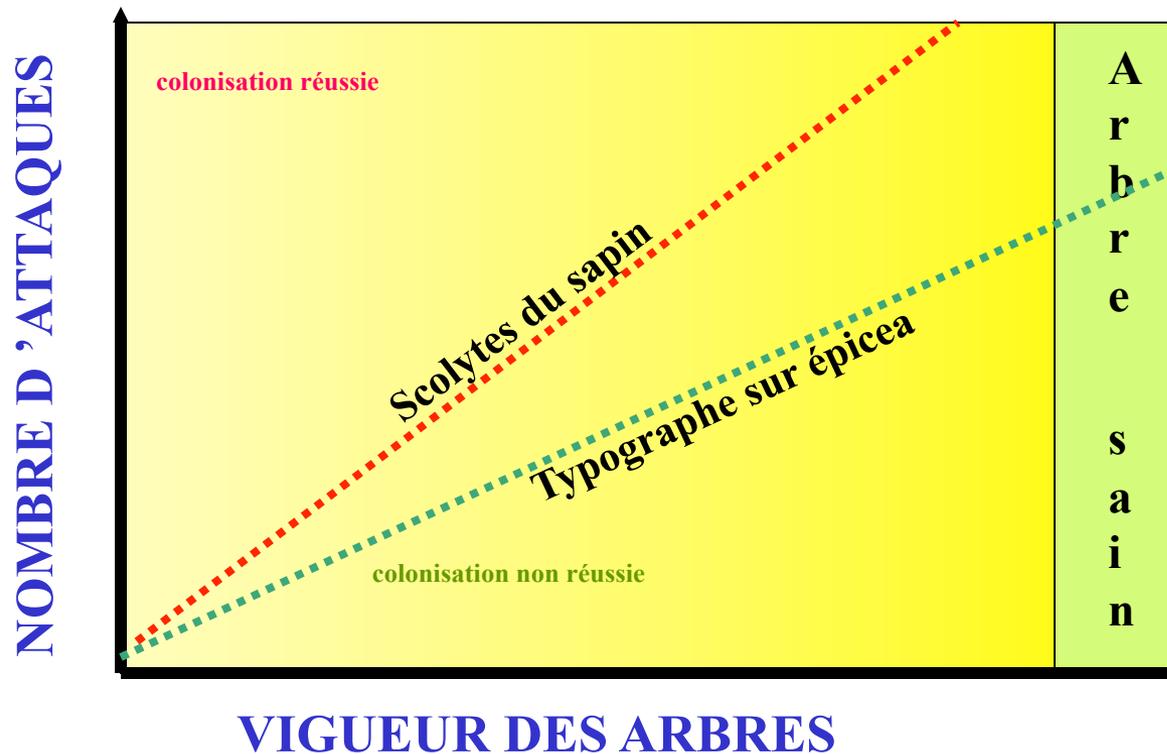


Lothar

Suisse

WSL, 2016

Tempêtes et scolytes & sécheresse!



LA REUSSITE DES ATTAQUES DE SCOLYTES: IMPORTANCE DE LA POPULATION ET VIGUEUR DES ARBRES

Le typographe est un parasite de faiblesse mais qui peut devenir agressifs pour les arbres sains en cas de pullulation

Les cambiohages du sapin sont des parasites de faiblesse peu agressifs, révélateurs de l'état de stress du peuplement

Insectes = espèces à cycle court ... une à plusieurs générations annuelles

→ sélection, multiplication

→ adaptation très rapide à nouvelles conditions

Un autre effet du changement climatique ?
Différenciation récente d'une population d'été de
processionnaire du pin au Portugal

PROCEEDINGS
— OF —
THE ROYAL
SOCIETY **B**

Proc. R. Soc. B (2007) 274, 935–941

doi:10.1098/rspb.2006.3767

Published online 16 January 2007

Genetic isolation through time: allochronic differentiation of a phenologically atypical population of the pine processionary moth

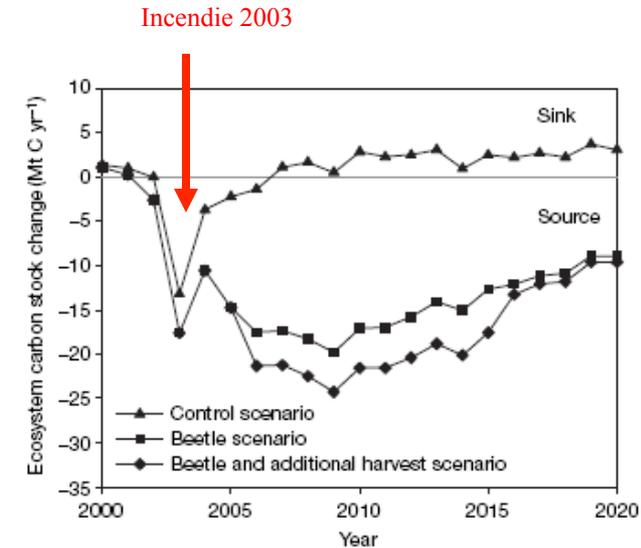
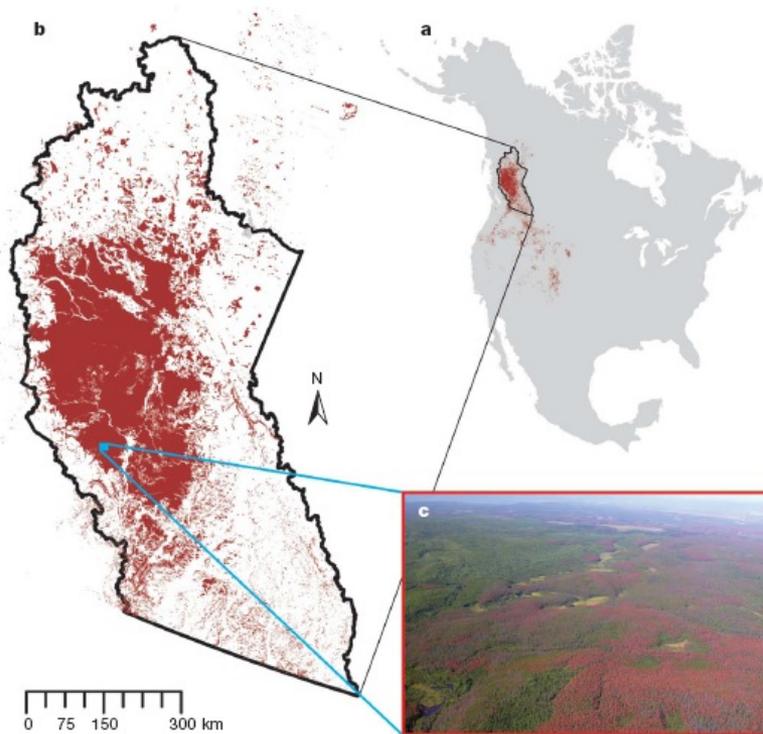
Helena Santos¹, Jérôme Rousselet², Emmanuelle Magnoux²,
Maria-Rosa Paiva³, Manuela Branco¹ and Carole Kerdelhué^{4,*}

Incidence des insectes sur le climat????

Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change

Vol 452 | 24 April 2008 | doi:10.1038/nature06777

W. A. Kurz¹, C. C. Dymond¹, G. Stinson¹, G. J. Rampley¹, E. T. Neilson¹, A. L. Carroll¹, T. Ebata² & L. Safranyik¹



Répartition des dommages de *Dendroctonus ponderosae* en 2006

Prévision :

370 000 km² atteint d'ici 2020 → relargage de 270 Mégatonnes de Carbone!

Réduction de production nette équivalente à l'augmentation due au changement global

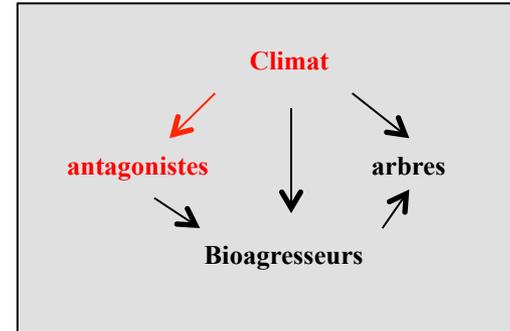
Les insectes phytophages ne sont pas seuls!!

Quel impact du changement climatique sur les antagonistes

Impact of Extreme Temperatures on Parasitoids in a Climate Change Perspective

Thierry Hance,¹ Joan van Baaren,²
Philippe Vernon,² and Guy Boivin³

Annu. Rev. Entomol. 2007.52:107-126. Downloaded from arjournals.annualreviews.org



Co-évolution parasites – hôtes

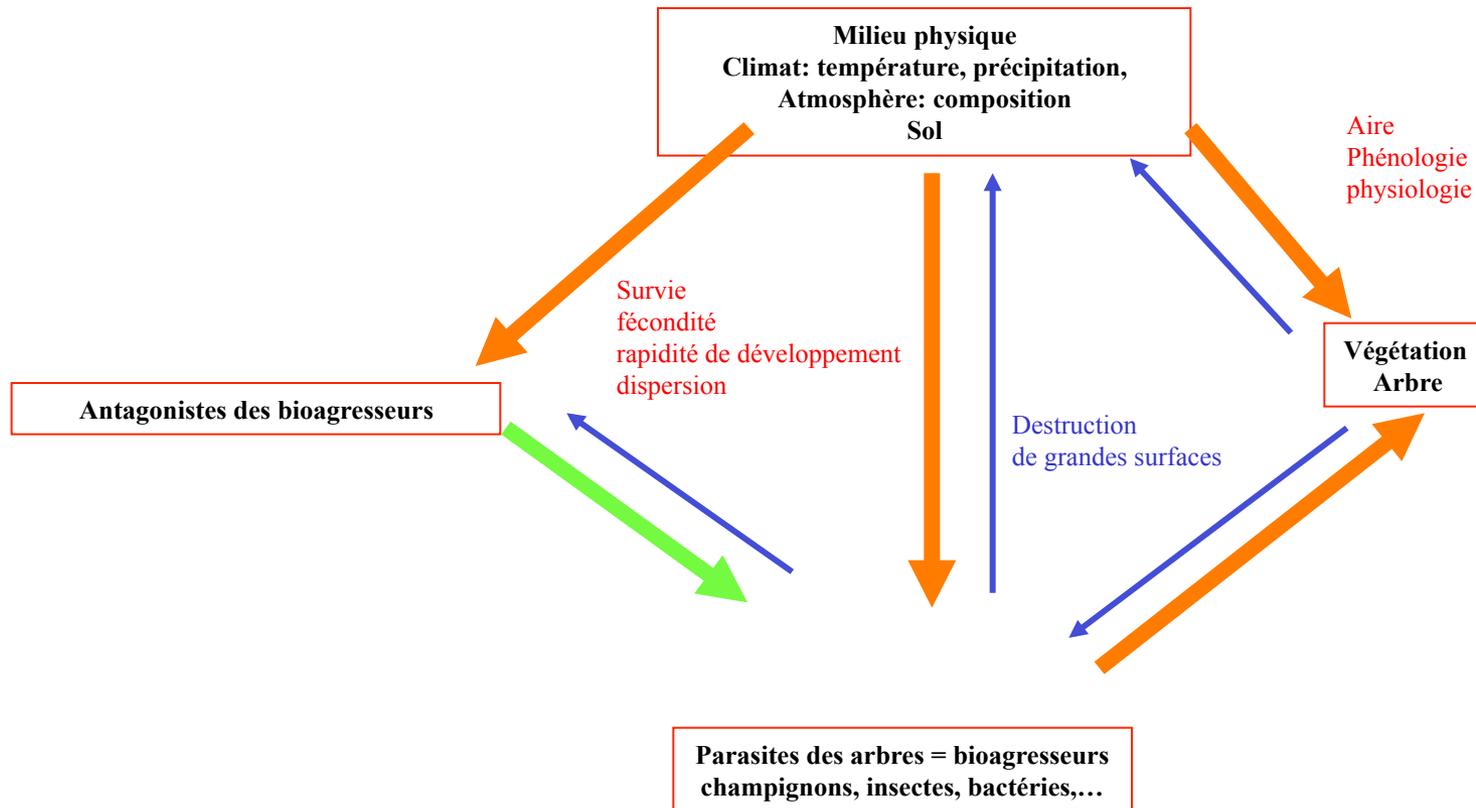
Sensibilité des antagonistes à température du même ordre que les insectes hôtes

Endoparasites plus sensibles aux hautes températures (hôte doit rester vivant!)

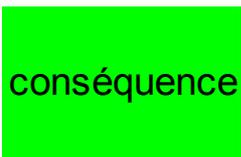
Nombreux cas : différences de préférence thermique entre parasite et hôtes → mauvaise coïncidence → moins de contrôle de l'hôte

Impacts des changements climatiques sur les insectes phytophages

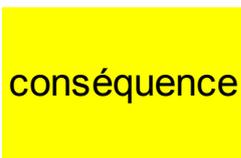
Beaucoup d'inconnues... beaucoup d'interactions complexes



légende

 conséquence positive pour les arbres

 conséquence négative pour les arbres

 conséquence mitigée: certains aspects positifs, d'autres négatifs

paramètres	évolution		arbre	insectes	champignons
CO2		+	augmentation croissance; chgt de composition chimique des feuilles	selon espèces/essences : effet + ou - sur le développement	
Ozone		+	perte de croissance; dépérissement		

T	hiver	+	moins de gel	moins de gélivure; pb de levée de dormance bourgeons, graines??	moins de mortalité hivernale (cf. Dendroctonus ponderosae) extension des insectes thermorégulés (processionnaire du pin...)	extension des pathogènes thermorégulés (phytophthora cinnamomi...)	
	printemps	+		débourrement plus précoce	désynchronisation des couples insectes/arbres (tordeuses, géométrides);	meilleure synchronisation pathogènes/arbre (oidium du chêne)	
	été	+	risque de canicule	risque accru de dommages de gel tardif	chute des feuilles plus précoces; mortalité sur station sensible	plus de génération de pucerons	moins de dommages de parasites foliaires
	automne	+		activité physiologique plus longue	risque gel précoce	mortalité si seuil léthal supérieur atteint	
	moyenne	+		allongement de la saison de végétation		plus grande rapidité de développement; augmentation du nombre de génération pour les plurivoltins	extension des pathogènes thermorégulés (phytophthora cinnamomi...)

pluie	été	-	plus de sécheresse	affaiblissement; altération des mécanismes de défense	réussite de colonisation des parasites de faiblesse	réussite de colonisation des parasites de faiblesse
	hiver	+	risque inondation	risque asphyxie racinaire si perdure; dépérissement		

combinaison de évolutions de plusieurs causes	température, pluie, ..			déplacement des aires optimales (niche écologique)	migration des phytophages oligophages	emergence de maladie
---	------------------------	--	--	--	---------------------------------------	----------------------

tempête		+		plus de chablis volés	pullulation scolytes récurrents	extension fomes et autres lignivores
---------	--	---	--	-----------------------	---------------------------------	--------------------------------------

Conséquences attendues du réchauffement global sur les insectes parasites des forêts

Augmentation des minima hivernaux

- meilleur survie hivernale
- extension vers le nord (processionnaire du pin...)

Précocité des printemps, conditions hivernales plus tardives :

- plus grande période d'activité
- plus grand nombre de génération (pucerons, scolytes)...
- (dé)couplage de synchronie hôte - parasite au printemps

Plus grande chaleur estivale

- période optimale de développement plus longue
- mort de certains stades d'insectes (processionnaires, scolytes...)

Mais

- 1) valable aussi pour les antagonistes...
- 2) grande capacité adaptative des populations d'insectes
- 3) interaction entre espèces qui ont les mêmes niches