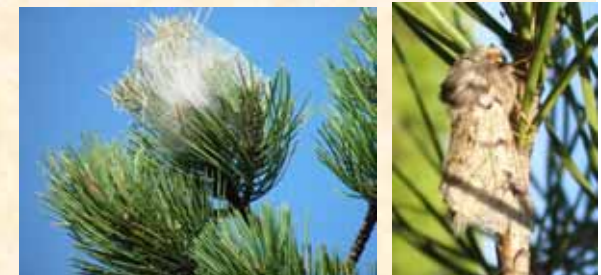


DIFFÉRENTIATION ALLOCHRONIQUE CHEZ LA PROCESSIONNAIRE DU PIN: PASSÉ, PRÉSENT ET FUTUR D'UNE POPULATION ATYPIQUE

C. Kerdelhué

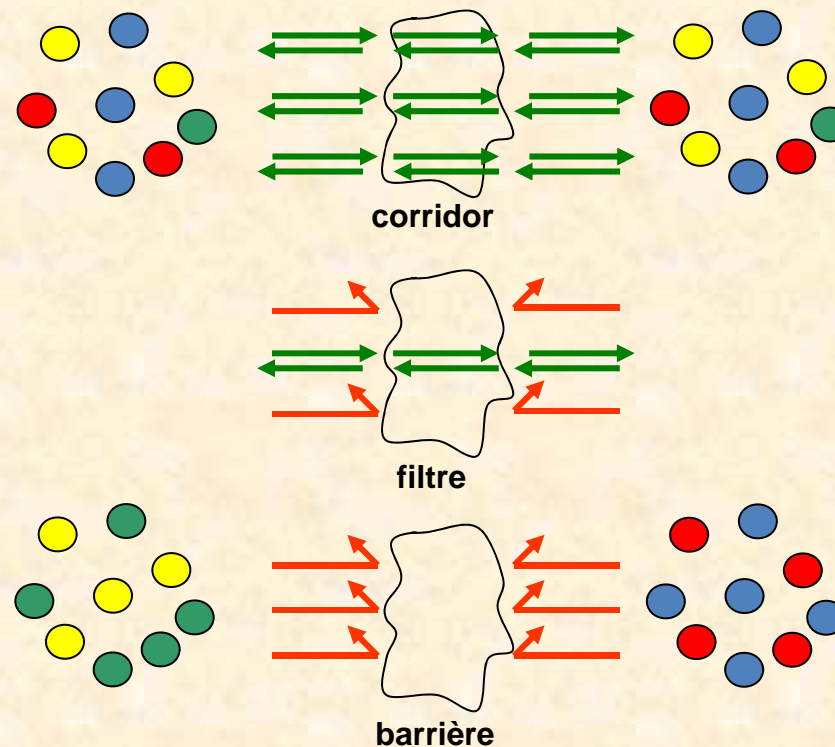
Carole.Kerdelhue@inra.fr

INRA CBGP, Montpellier, France
INRA BIOGECO, Bordeaux, France
CEF, ISA, Univ. Lisbonne, Portugal



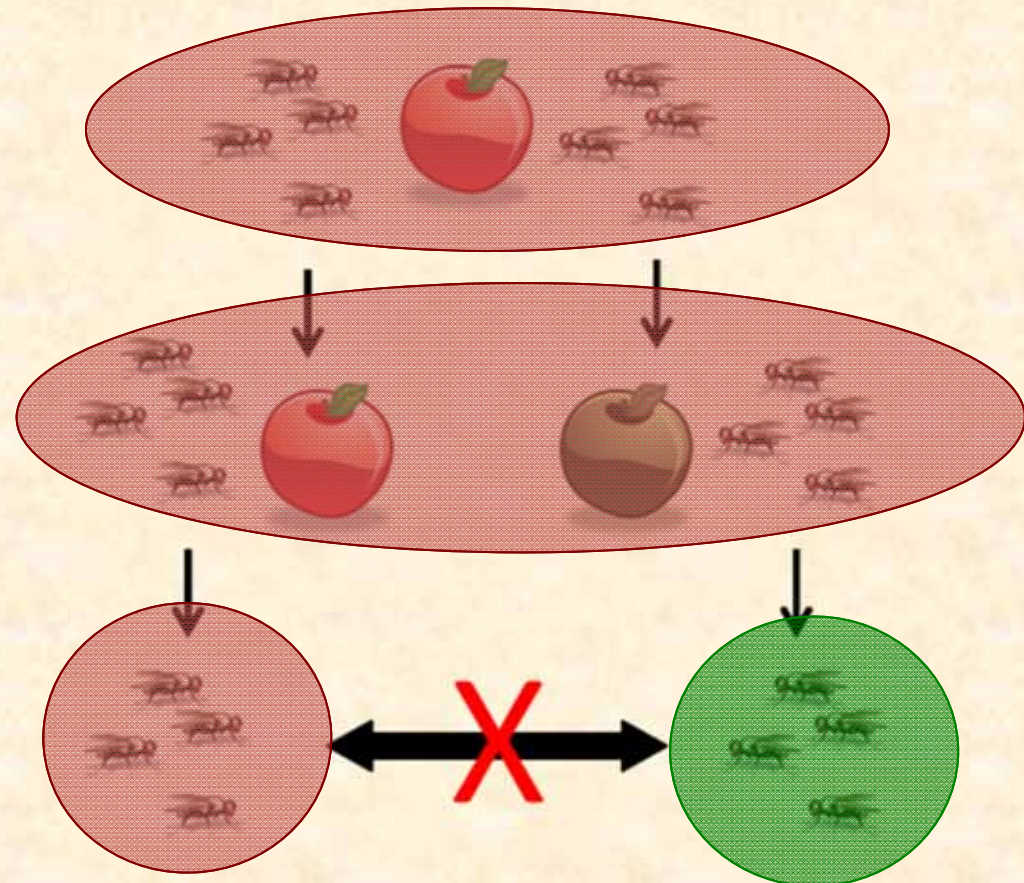
CAS CLASSIQUE: les barrières aux flux de gènes sont géographiques

Différentiation allopatrique: cas de figure allant d'un simple filtre (flux de gènes éventuellement réduits) à une barrière étanche



CAS #2 : les barrières aux flux de gènes sont écologiques

Differentiation sympatrique: des spécialisations écologiques vont séparer le pool d'individus initial en deux groupes, la reproduction ayant lieu au sein de chaque groupe (ex: plante-hôte)



Classical host race formation in phytophagous insects

CAS #3 : les barrières aux flux de gènes sont temporelles

Différentiation allochronique: les individus se reproduisent préférentiellement avec les partenaires actifs à la même heure / saison / année



Magicicada spp.

Variation cycles annuels
(13 vs. 17 ans)



Gryllus veletis

Variation saisonnière



Bactrocera cucurbitae

Variation du rythme
journalier

Peut venir renforcer une spécialisation à la plante-hôte si phénologie du nouvel hôte décalée; une différenciation géographique (climat par ex)

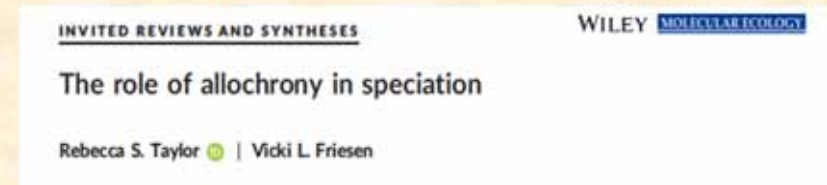
Définition de la "vraie" allochronie

La "vraie" différenciation allochronique: “all speciation resulting **initially** from temporal separation” of populations (Alexander & Bigelow, 1960)

D'après revue de Taylor & Friesen 2017:

To demonstrate true allochronic speciation, studies need to demonstrate three key things:

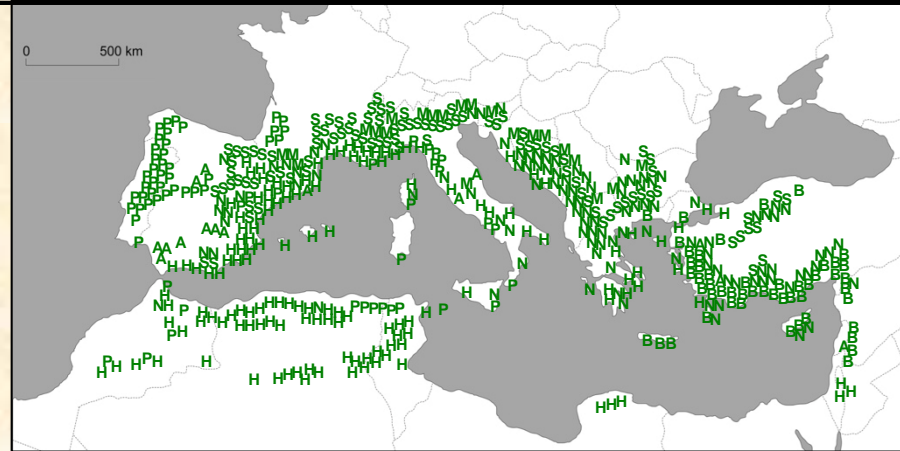
1. The species, or incipient species, were/are sister taxa, at least at the time of speciation. This can be tested through phylogenetics.
2. Allochrony was the initial cause of divergence.
3. Breeding time must have a heritable component



"One that best satisfies the criteria for true allochronic speciation is the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*)."

La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*

Une espèce Méditerranéenne
Lepidoptera, Notodontidae



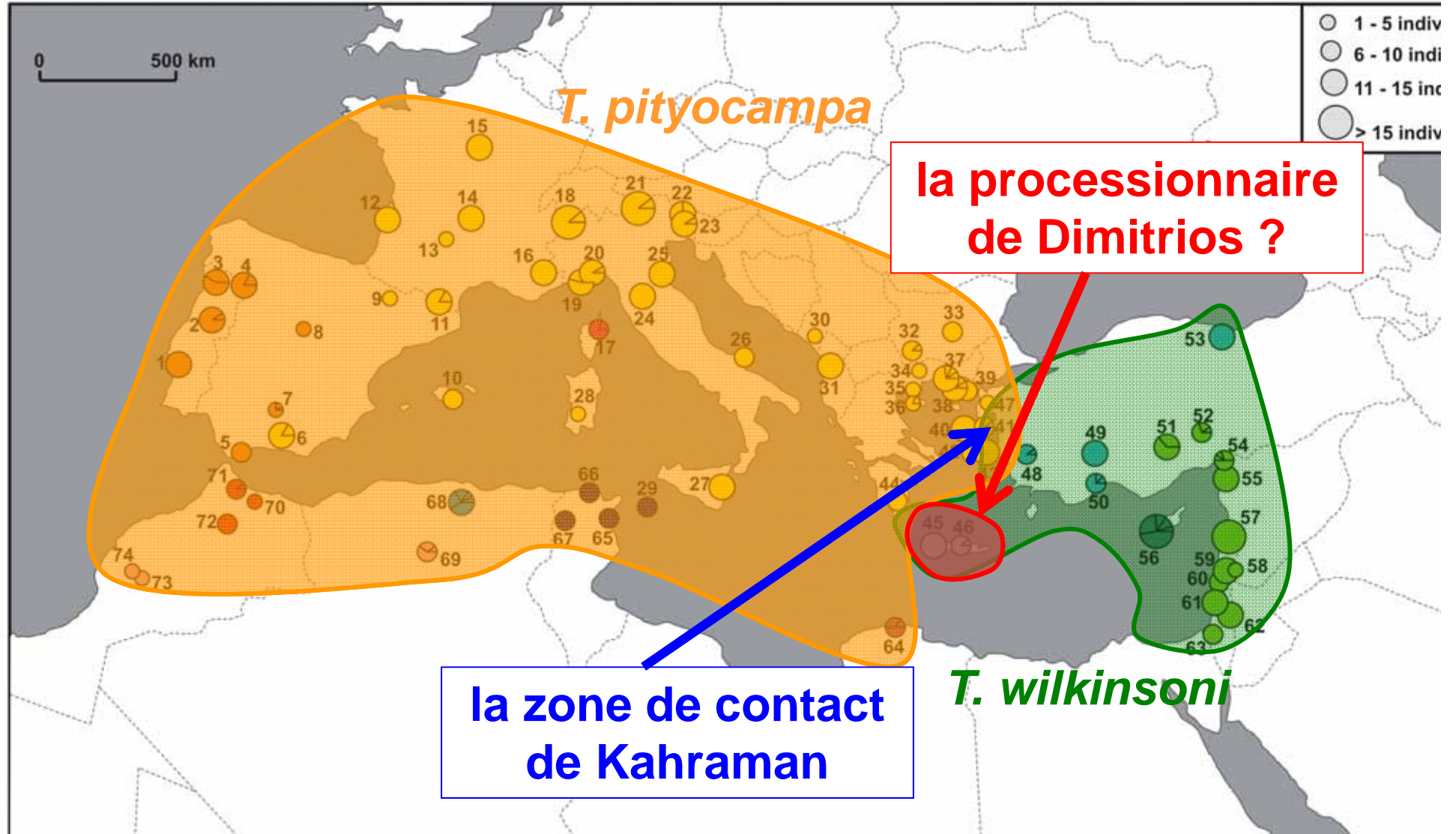
Ses larves urticantes se développent dans des nids caractéristiques (hiver)



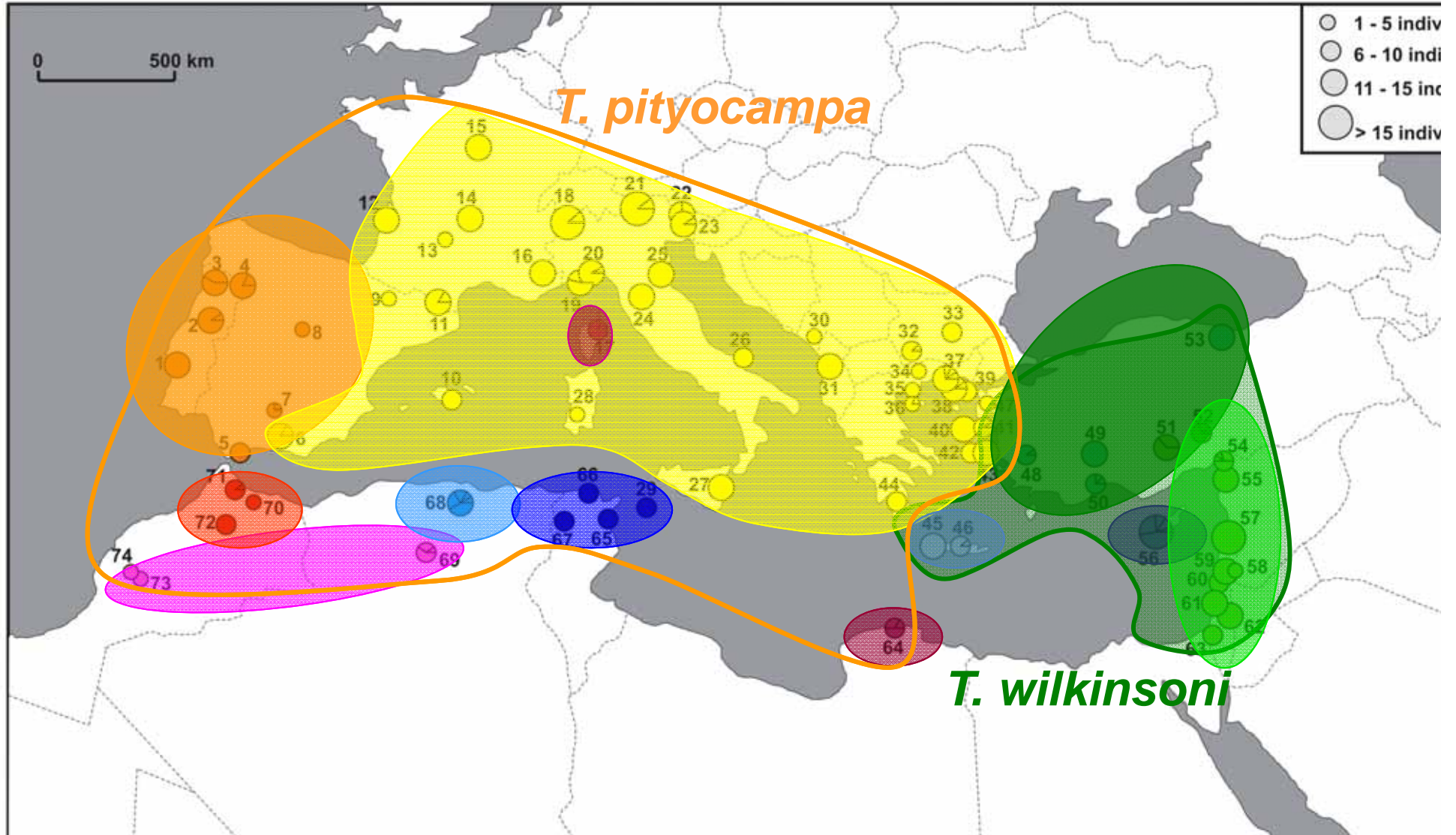
Procession de nymphose typique en fin de développement



Deux (ou trois?) espèces dans le bassin méditerranéen...



De fortes différentiations intra-spécifiques (mt DNA)



Dégâts et risques associés

Dégâts sur les arbres (défoliation, perte de croissance)



Affaiblissement des arbres face à d'autres ravageurs (scolytes)



Dégâts et risques associés

Risques importants pour la santé humaine et animale



**soies urticantes
microscopiques, allergènes**



**Risques dermatiques,
oculaires, respiratoires...
Allergies**

Dégâts et risques associés

Risques importants pour la santé humaine et animale



**soies urticantes
microscopiques, allergènes**



**Nécroses de la langue
(chiens, troupeaux)**

Cycle biologique

Une génération par an :

Emergence des papillons en été → ponte sur les aiguilles



Cycle biologique

**5 étapes (stades) dans le développement de la chenille (mue)
Particularité: se nourrissent des aiguilles en hiver et la nuit !**



Cycle biologique

Chenilles grégaires ; nid d'hiver tissé si froid



**Processions typiques à la fin du développement larvaire
(souvent entre janvier et avril)**



Cycle biologique

Enfouissement des chenilles et métamorphose sous le sol



Cycle biologique

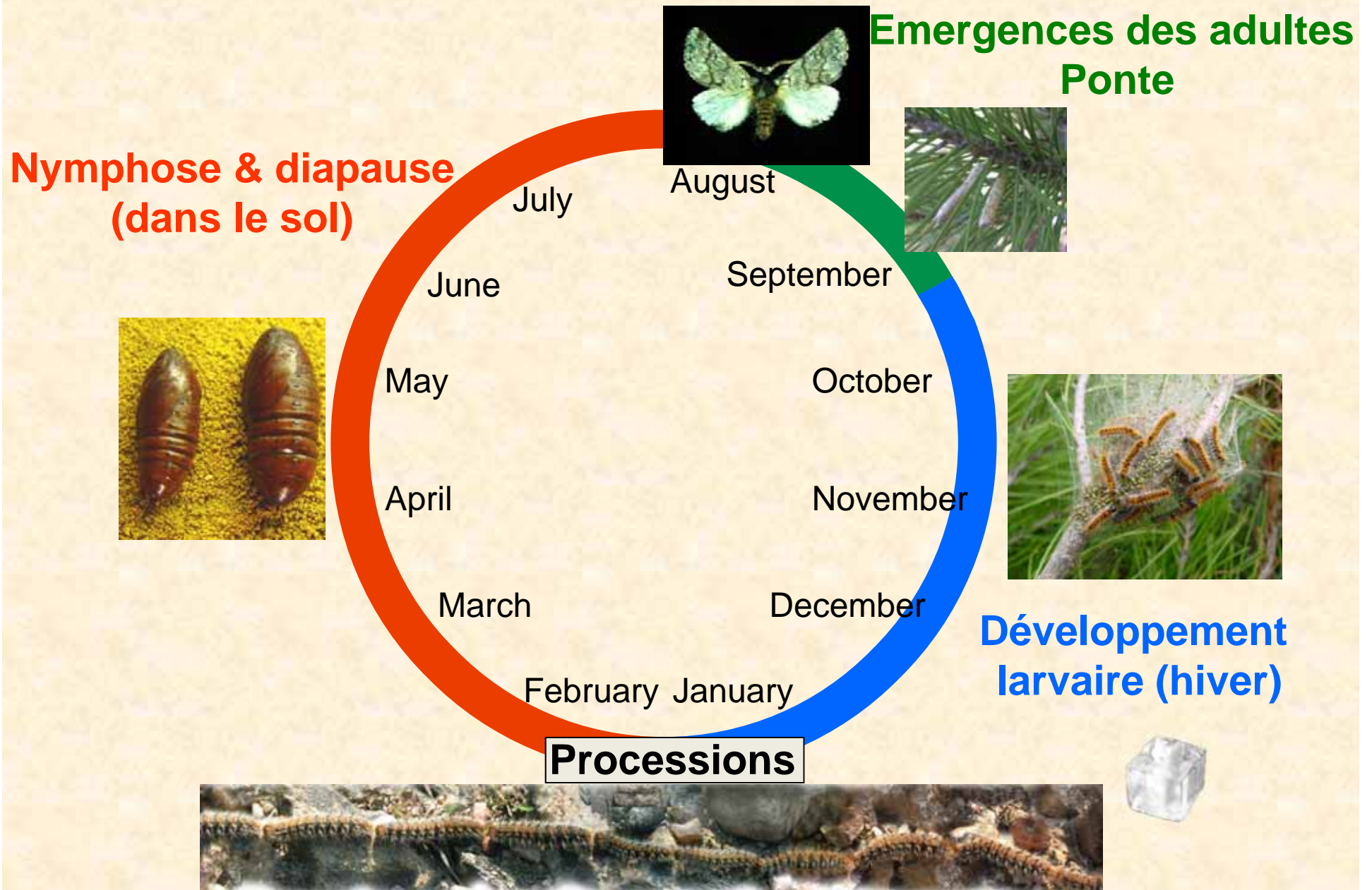
Enfouissement des chenilles et métamorphose sous le sol



Emergence des papillons année N+1



Cycle biologique classique



Cycle biologique : contraintes thermiques

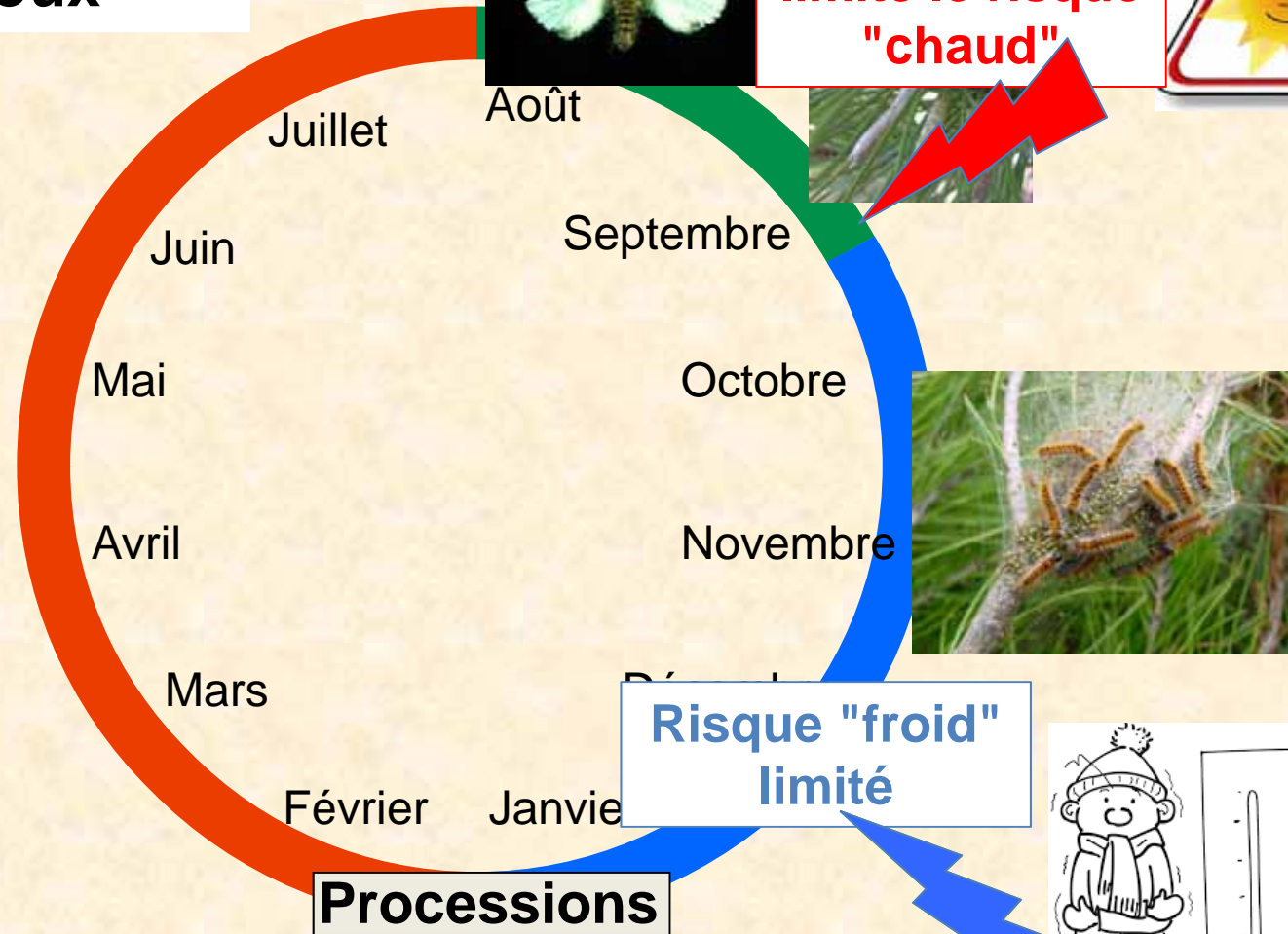


Variabilité du cycle de vie

Régions à été chaud
et hiver doux



Ponte tardive
limite le risque
"chaud"



Risque "froid"
limité



Variabilité du cycle de vie

Régions à été
tempéré et hiver froid

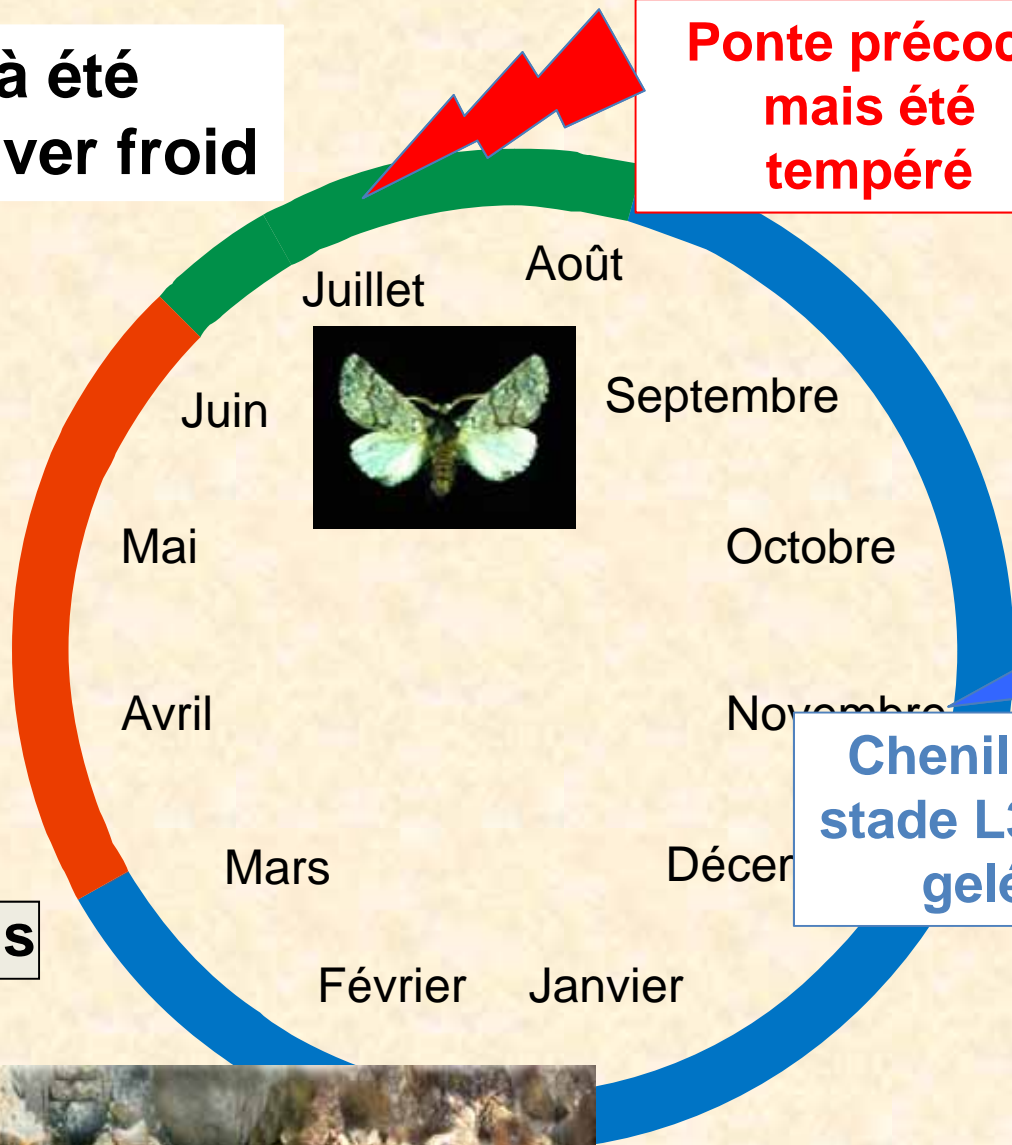
Ponte précoce
mais été
tempéré



Processions



Chenilles en
stade L3 avant
gelées



**Un cas de différenciation allochronique
complètement improbable**

OU

**Quel scénario pour expliquer l'inattendu
???**

Une « population d'été » découverte au Portugal

Août 1997, Parc de Leiria : découverte d'une population atypique
(M.R. Paiva, M. Branco, Univ. Lisbon)

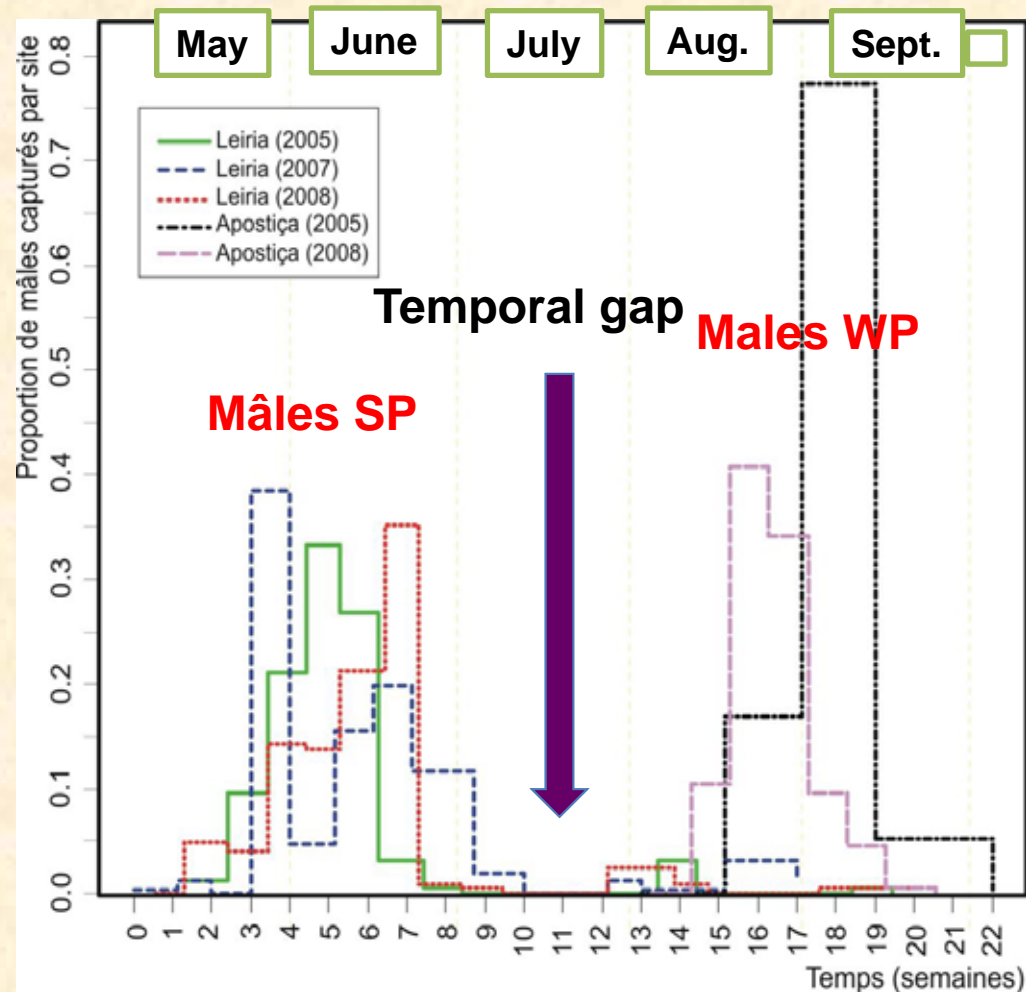


- **Développement larvaire en été** (vs. hiver)
- **Processions en Septembre** (vs. Février)
- **Co-existence en sympatrie** d'individus à **cycle classique**

Summer (atypical) population: **SP**
Winter (typical) population: **WP**

Suivi de l'émergence des adultes à Leiria

Piégeage des mâles par phéromone



Dates de reproduction des deux populations sympatriques distinctes sur le terrain → Différentiation génétique ? Ecologique?

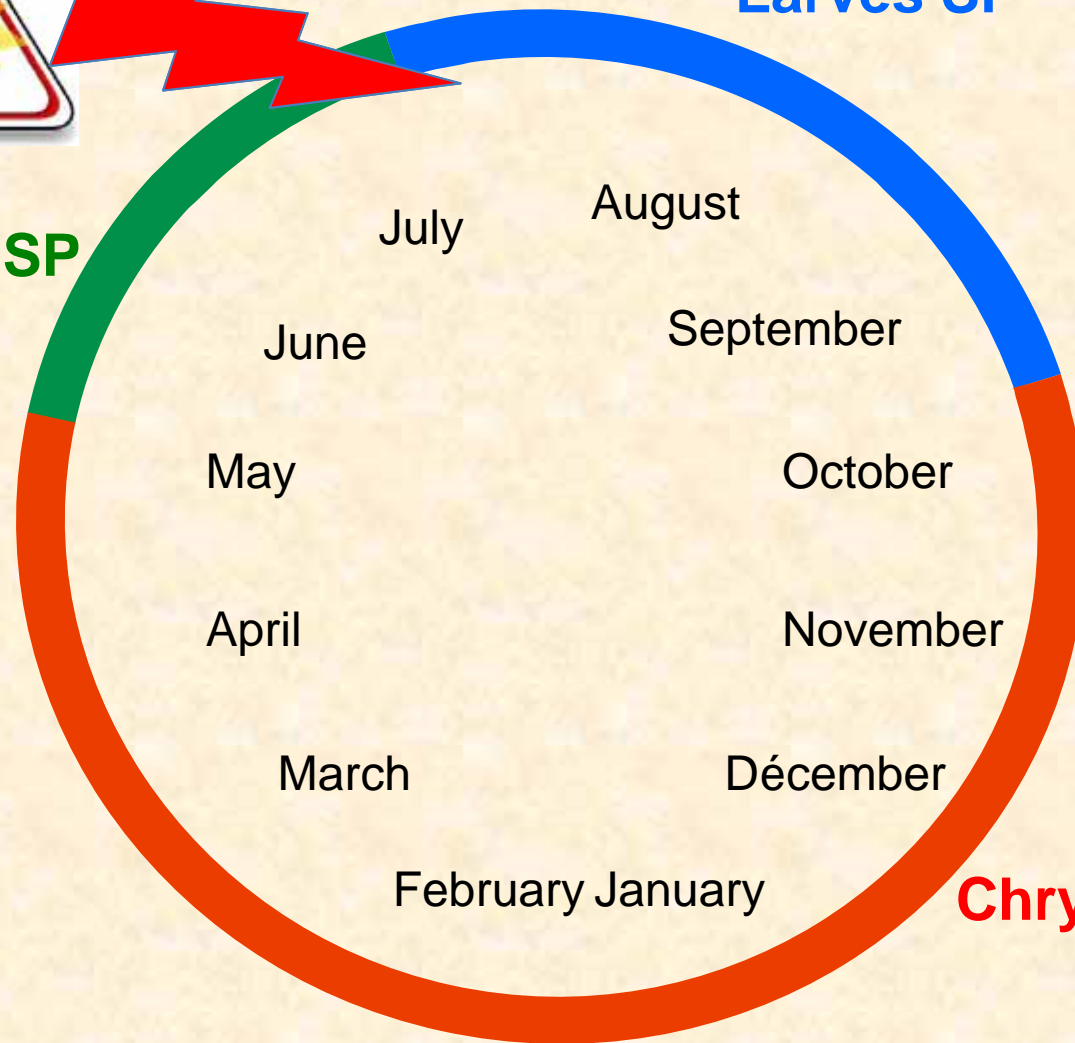
Un cycle de vie inadapté au Portugal !



stress maximal

Larves SP

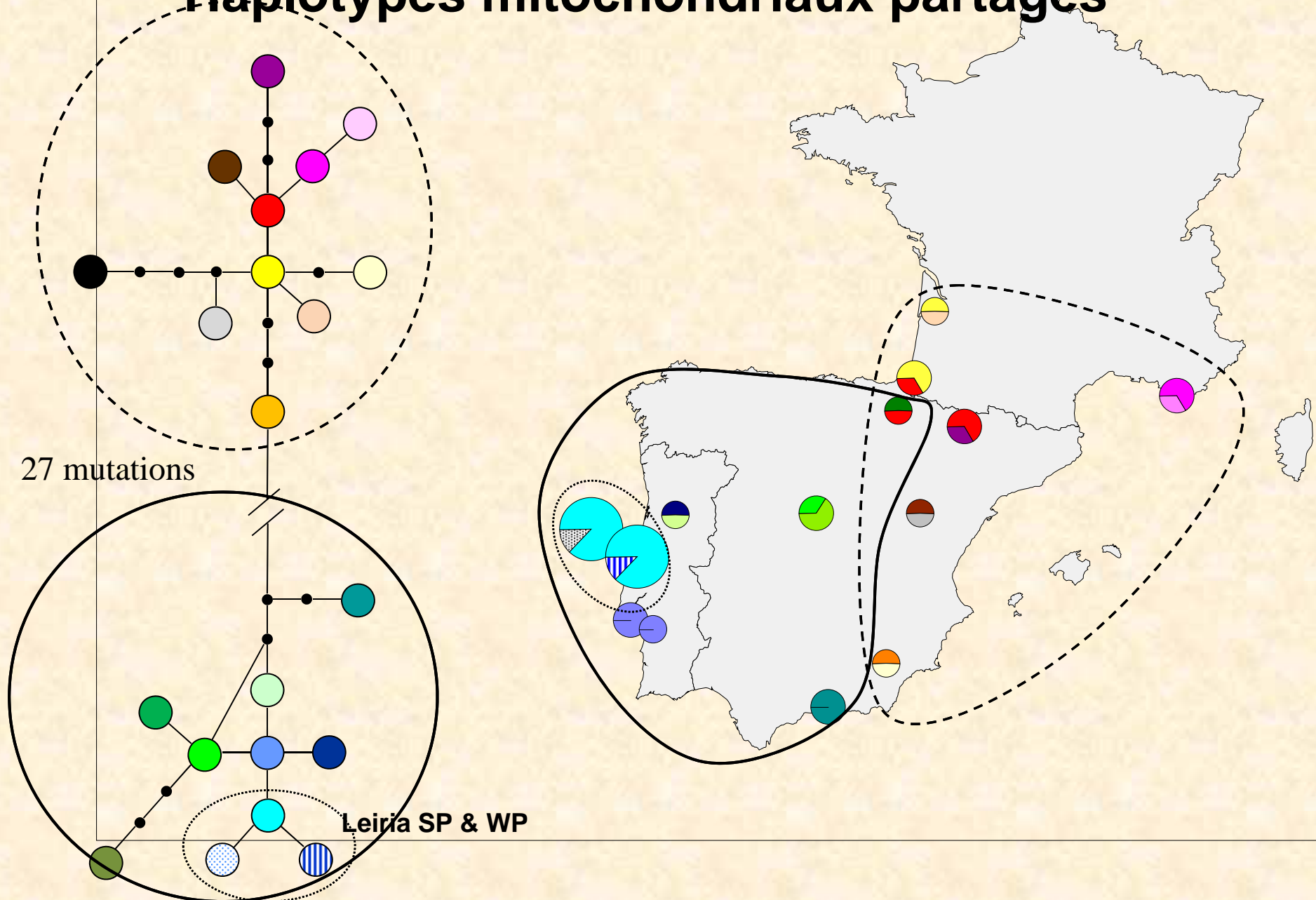
Pontes SP



Chrysalides SP

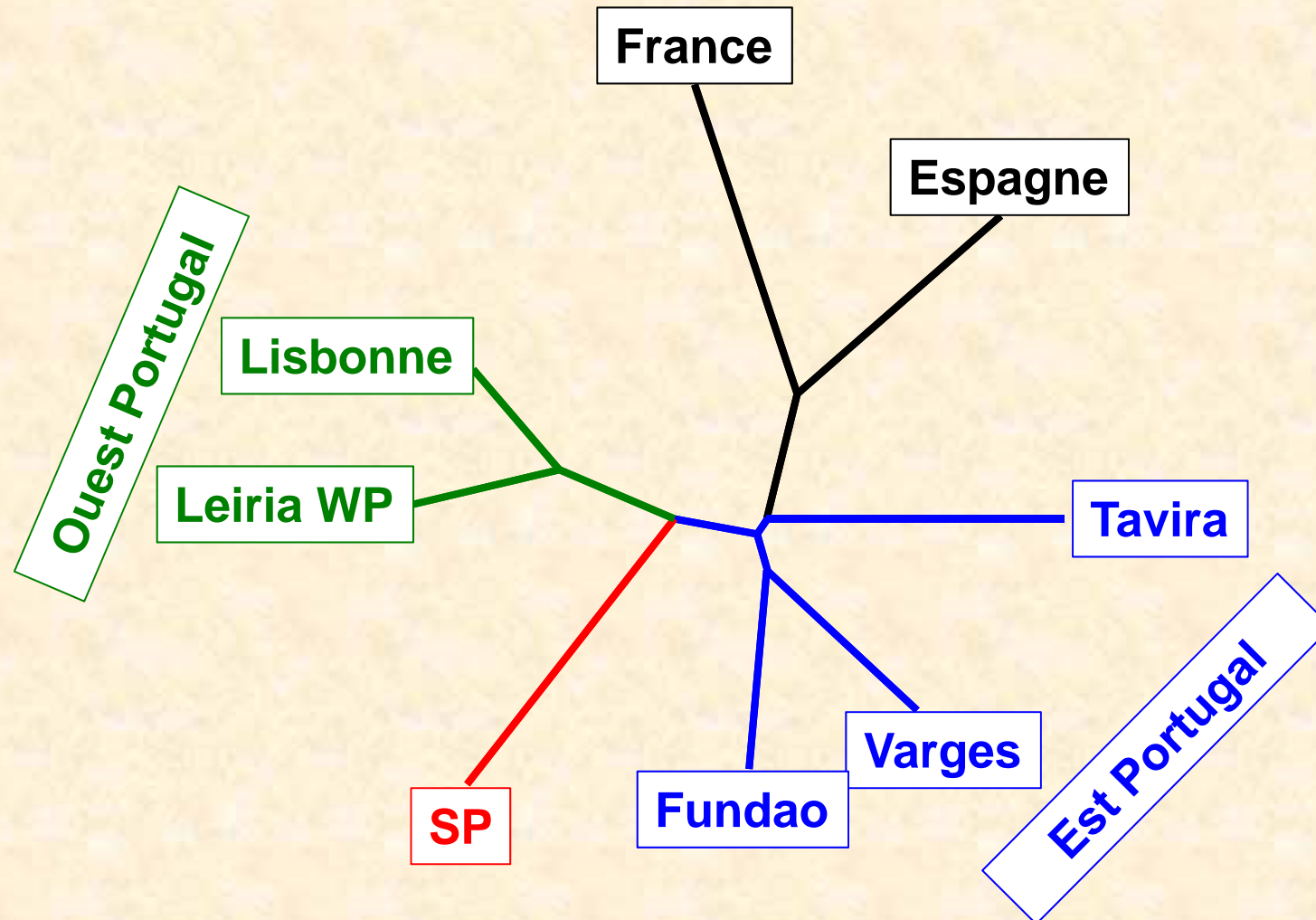
Comment cette population "décalée" a-t-elle pu apparaitre et se maintenir ? Quelles projections pour le futur ?

Différentiation génétique de la SP: Haplotypes mitochondriaux partagés

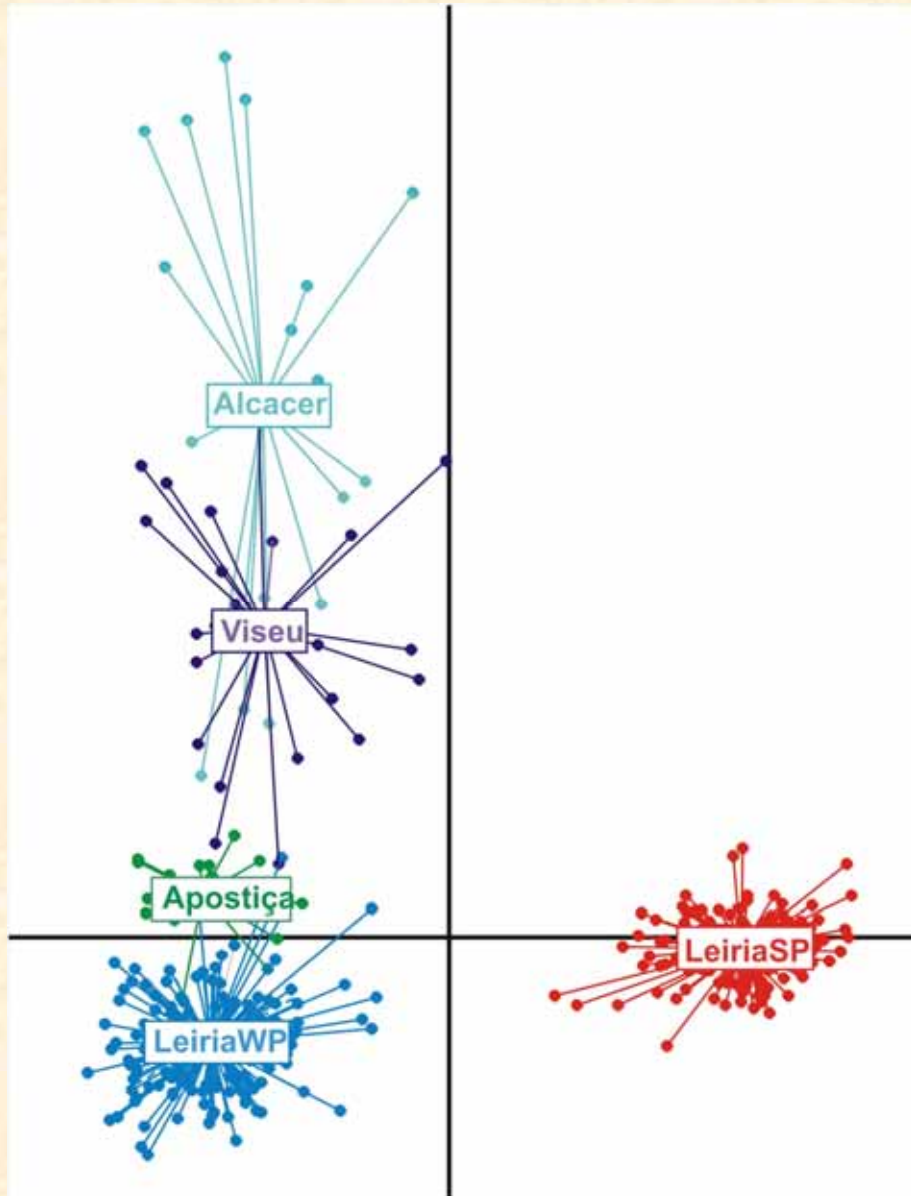


Différentiation génétique de la SP:

La SP se positionne dans un clade "centre-ouest Portugal" avec marqueurs nucléaires



Forte différenciation avec marqueurs nucléaires (microsatellites, SNPs)



ACP sur données génétiques
(16 loci)

Le 1^{er} axe sépare la SP des
WP portugaises (dont WP
Leiria)

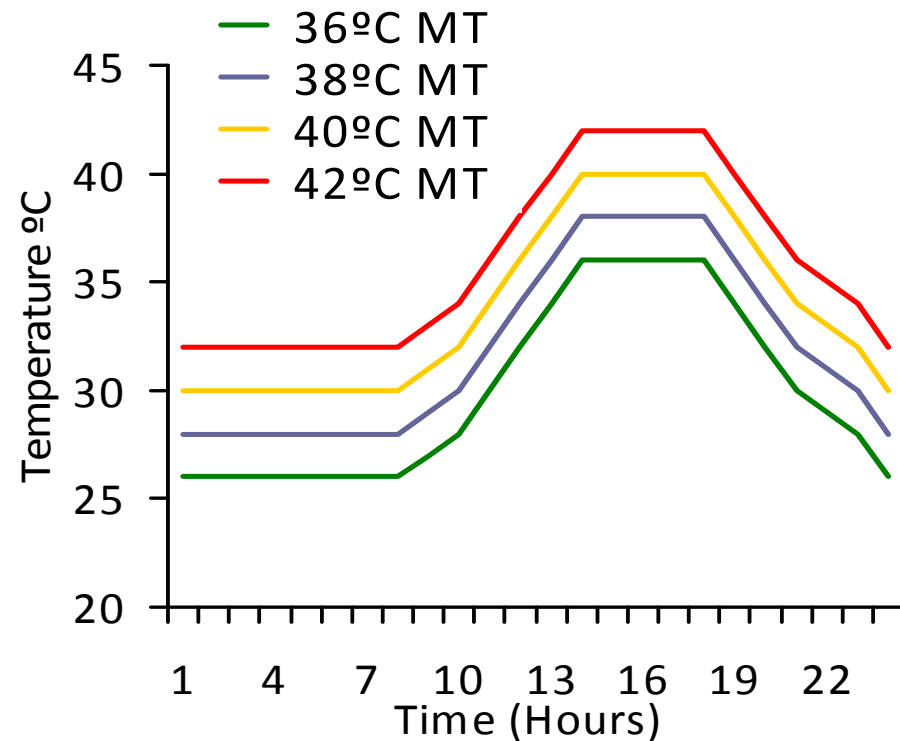
Origine locale et forte
différenciation (?)

**Différentiation phénotypique:
Survie larvaire à haute température et
caractéristique des pontes**

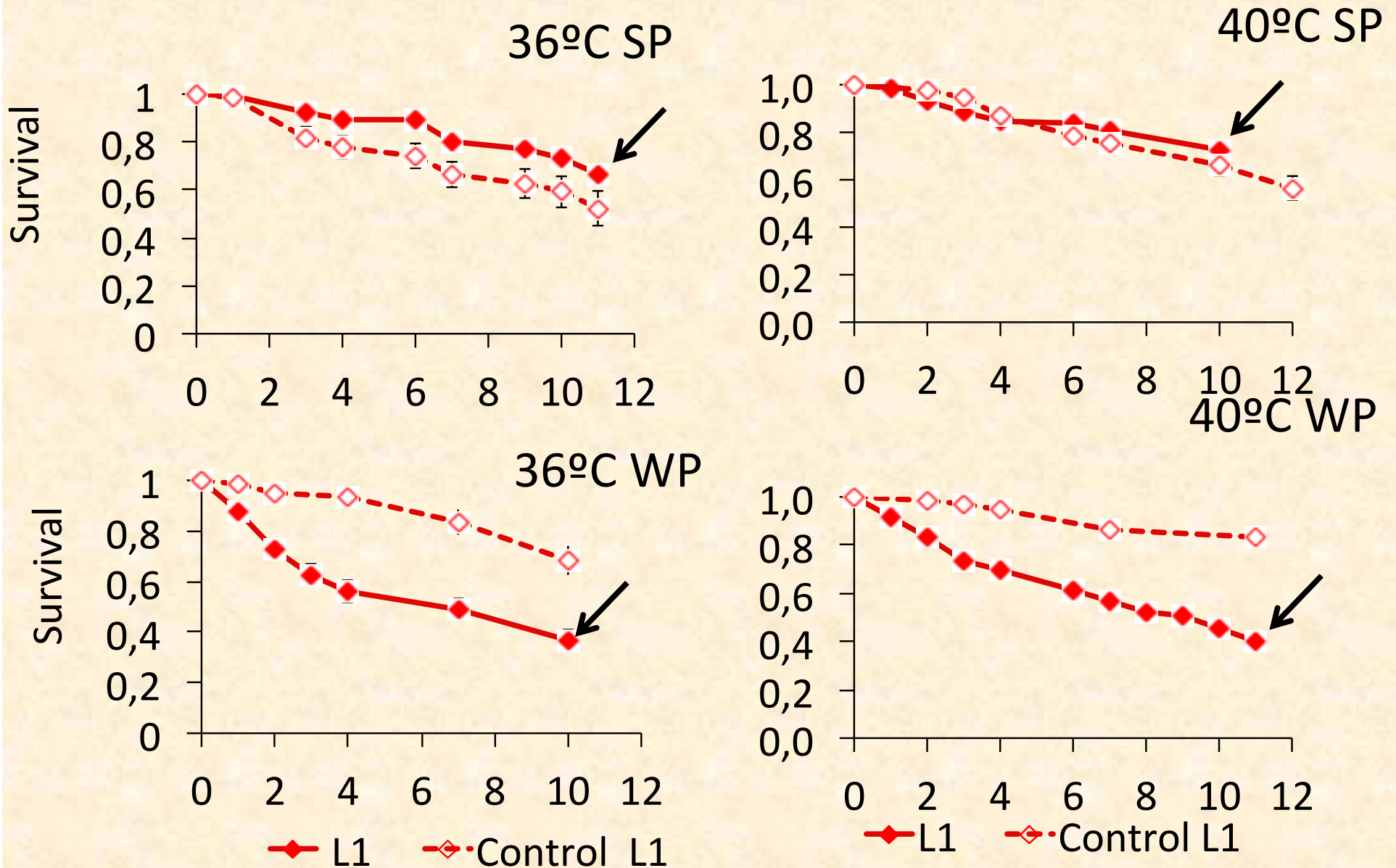


II- Différentiation phénotypique: Survie larvaire à haute température

Exposition des larves L1 et L2 (SP et WP) à des cycles mimant des journées chaudes



Différentiation phénotypique: Survie larvaire à haute température









Différentiation phénotypique: Survie larvaire à haute température

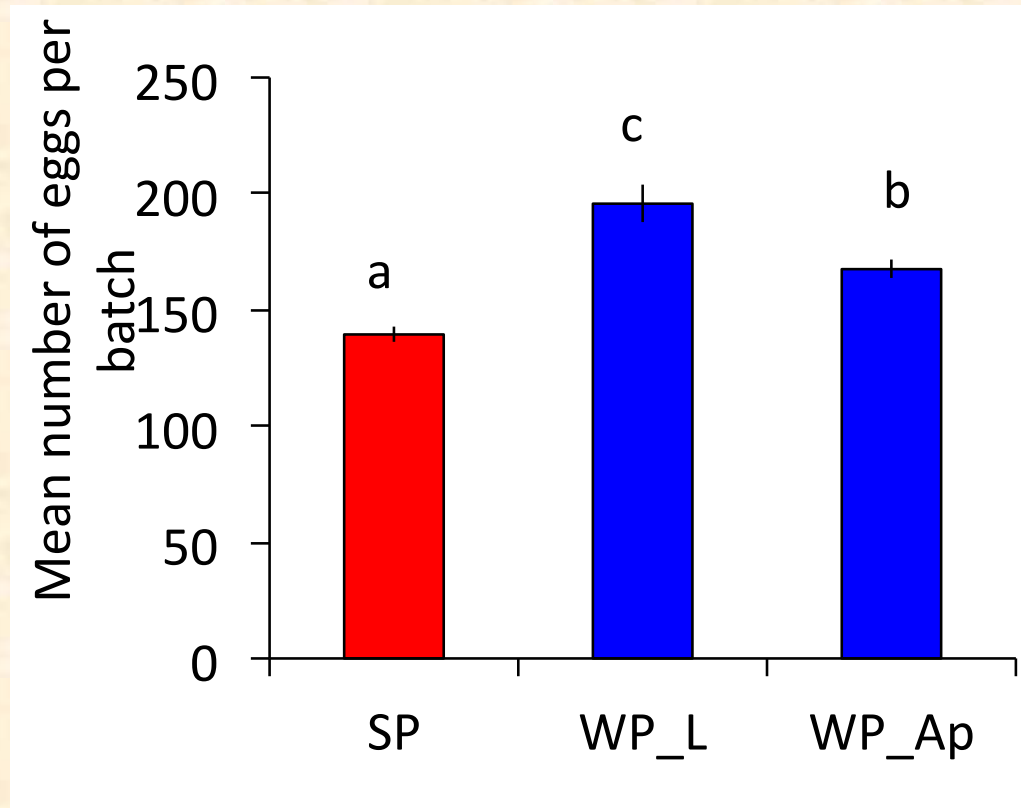
- Meilleure survie des L1 de la SP à partir de 36°C :
adaptation in situ
- Meilleure survie des L2 par rapport aux L1 dans
toutes les populations
- Forte variabilité inter-individuelle
(capacité d'adaptation)



Différentiation phénotypique: Protection de la ponte (écailles)

	Dominant scale colour	Scale form	Egg batch
WP			
SP			

Différentiation phénotypique: Nombre / taille des oeufs



Les œufs des pontes SP sont significativement moins nombreux et plus gros

Différentiation phénotypique: Reproduction

CONCLUSIONS

Ecailles de la SP plus sombres mais peu « tuilées »:

- Rôle du hasard possible
- Pas de contre-sélection car faible parasitisme local (possibilité de lutte biologique par généralistes?)
- Impact positif possible sur la survie embryonnaire (↗ de la température des œufs) ???

Œufs plus gros et moins nombreux par ponte:

- Favorise la survie des embryons & jeunes larves
- Pas de pression sur la taille du nid comme chez les WP (survie hivernale)

Scénarios passés et futurs ?

Meilleure survie de la SP à des températures extrêmes: **adaptation in situ**

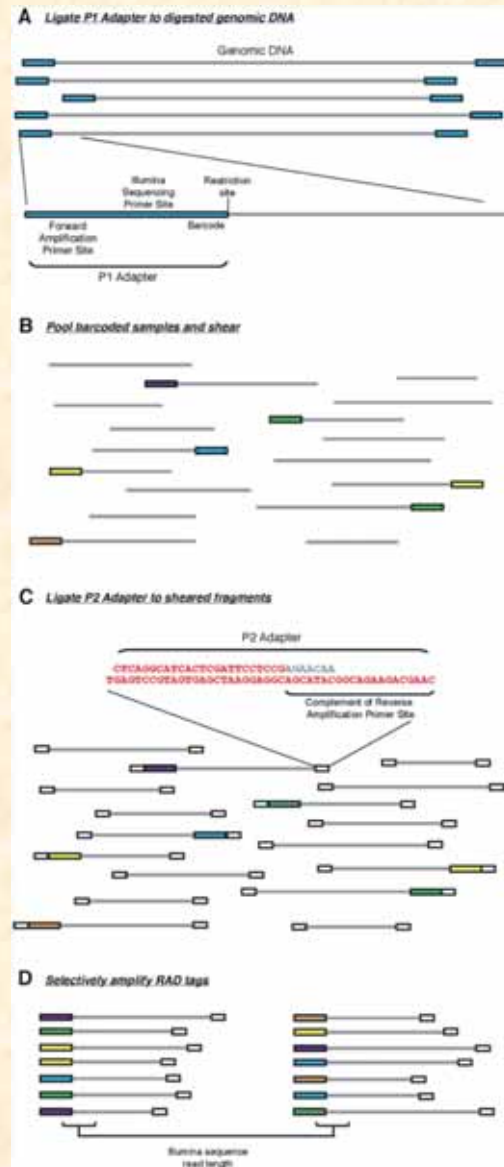
1- En combien de générations ?

2- Comment expliquer le maintien des premiers individus ?

3- Quid de son avenir face au dérèglement climatique ?



Scénarios passés et futurs ?

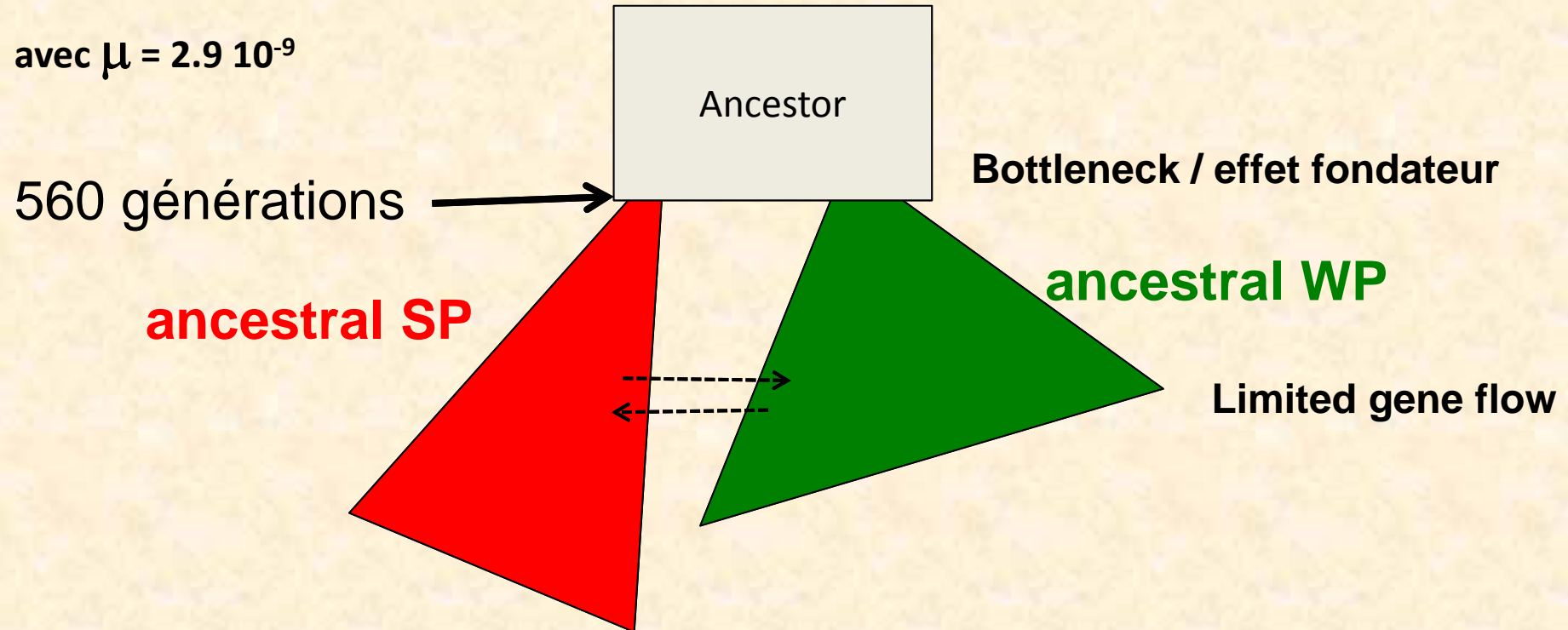


Restriction-site **A**ssociated **D**NA sequencing (RAD-seq)

- données acquises sur pools
- **94 000 sites de restriction, 50 à 60 000 SNPs** identifiés
- **Test de scénarios avec FastSimCoal**, complexité croissante (changements démographiques / migration / les 2)

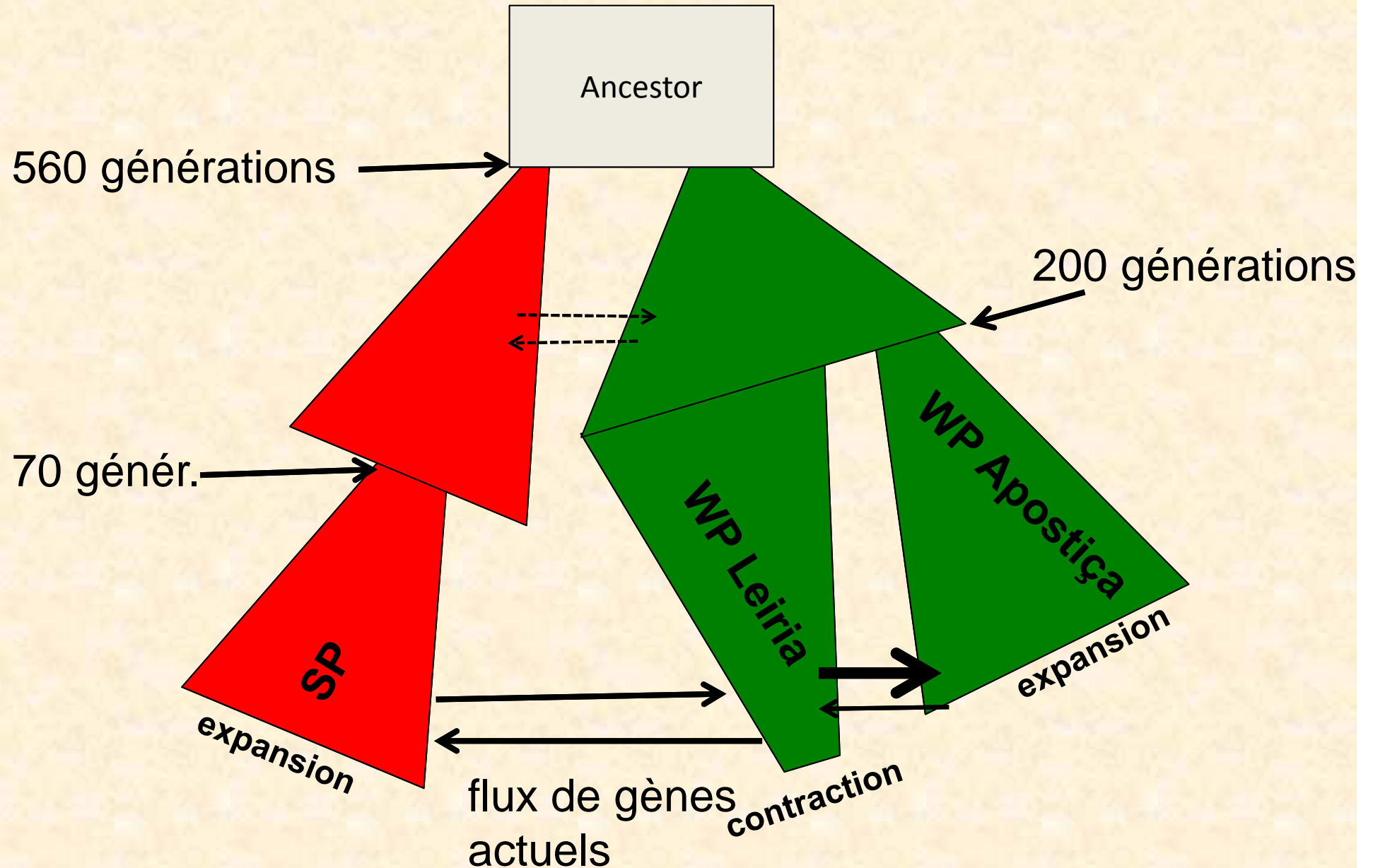
Leblois R., Gautier M., Rohfritsch A., Foucaud J., Burban C., Galan M., Loiseau A., Sauné L., Branco M., Gharbi K., Vitalis R. & Kerdelhué C. 2018. *Mol Ecol* 27(1): 264-278

Le scénario le plus probable : étape 1



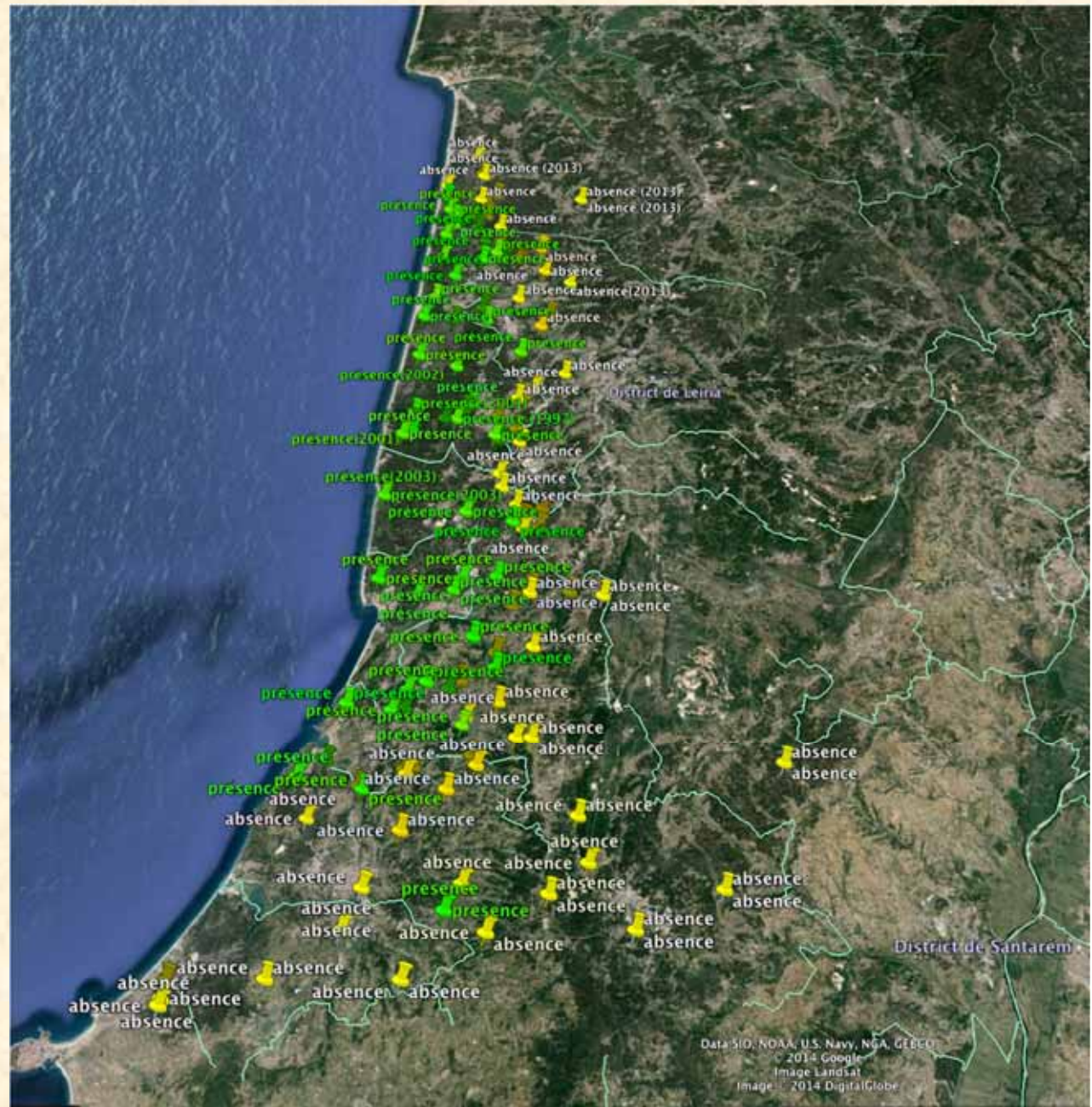
- Rupture abrupte des flux de gènes
- L'âge estimé de la différenciation correspondrait au **Petit Age Glaciaire: températures favorables à cet événement d'allochronie ?**
- L'adaptation locale se serait mise en place en qq centaines de générations

Le scénario le plus probable : étape 2



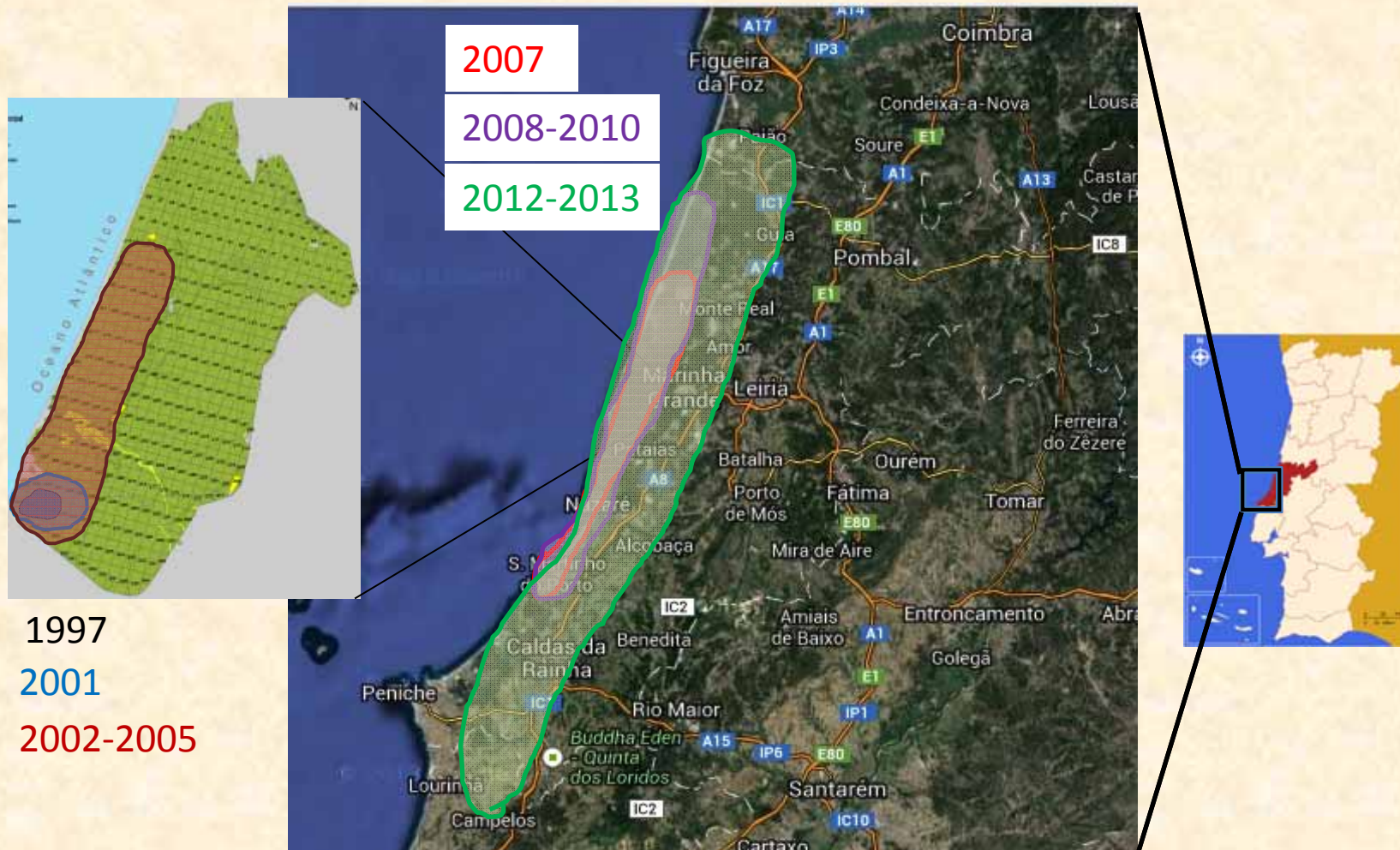
Et l'avenir ??

**Etude de terrain en
septembre 2014
(Martin G.) pour
enregistrer
présences /
absences et réaliser
une analyse SDM**



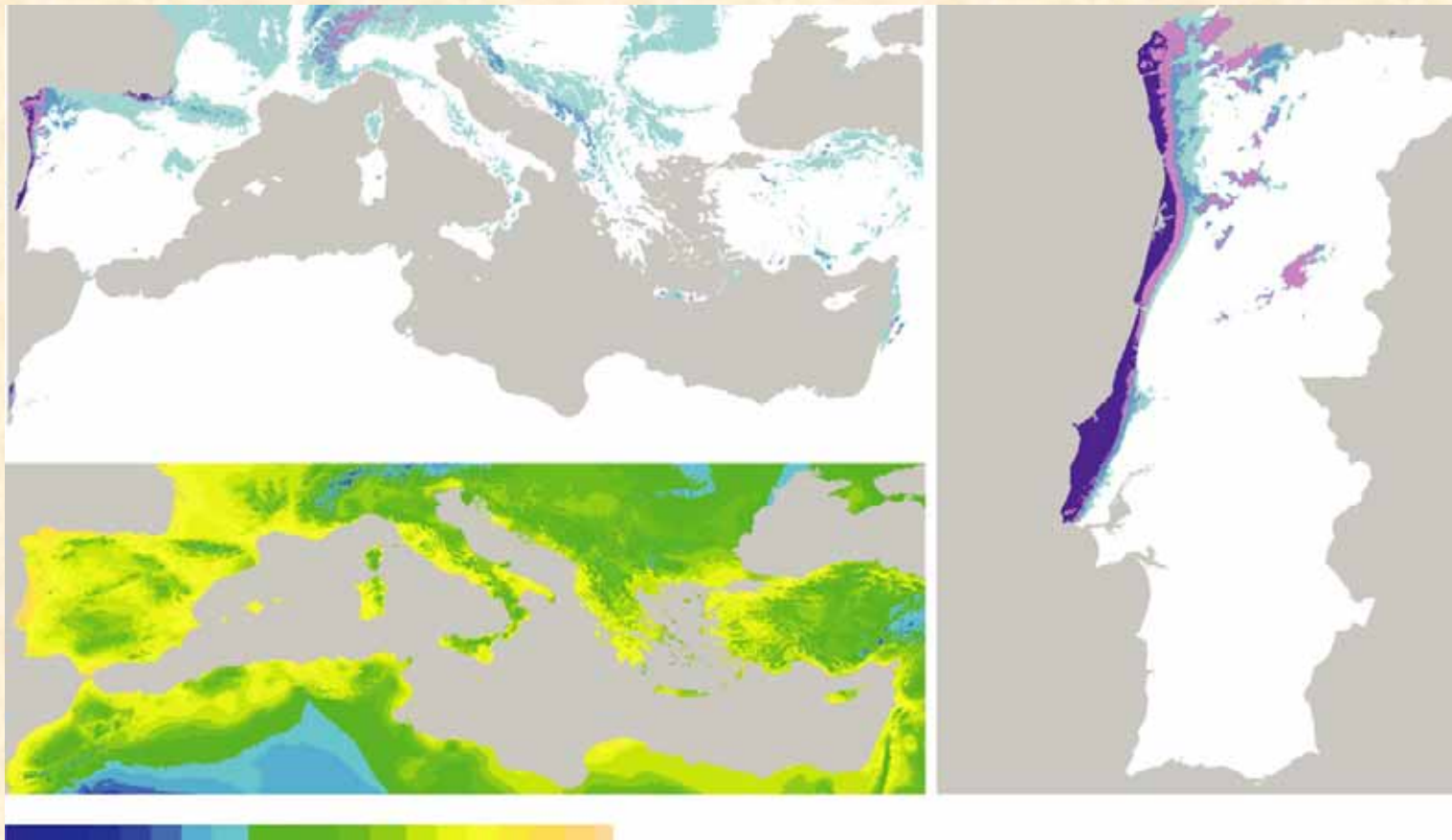
Et l'avenir ??

L'évolution récente de la distribution de la SP suggère une gamme restreinte de conditions climatiques acceptables



Et l'avenir ??

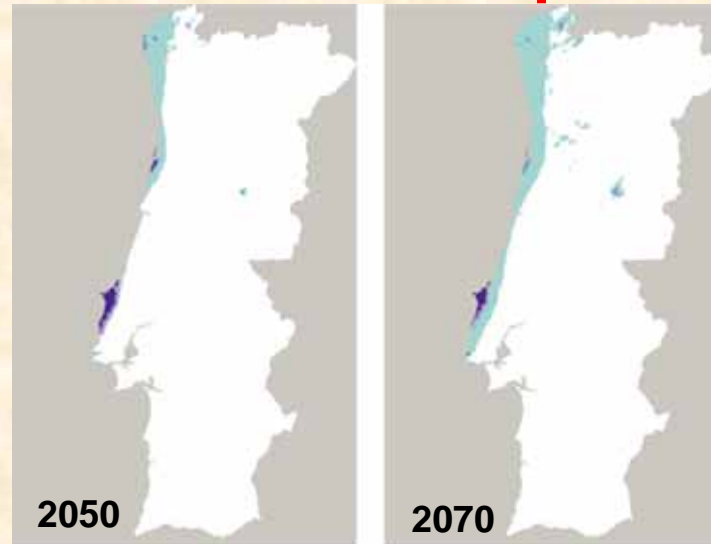
Le climat local est très particulier, limité à une fine bande littorale



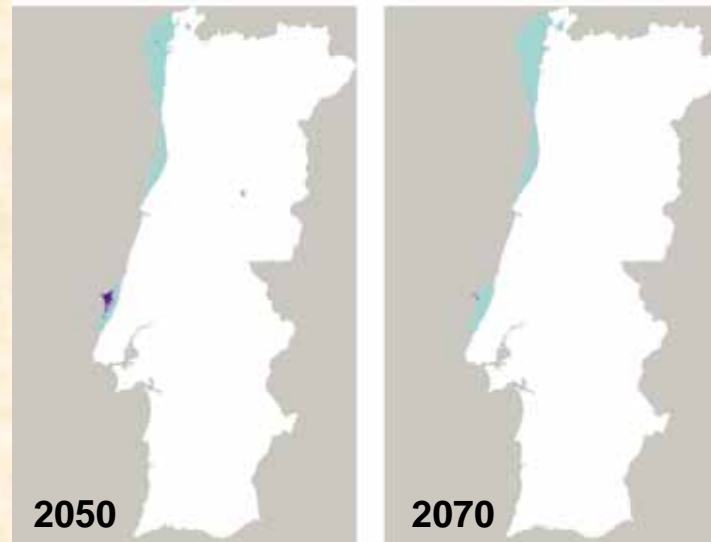
Et l'avenir ??

Les modèles de niche appliqués aux scénarios climatiques futurs sont assez pessimistes...

**Scénarios
"optimistes" 4.5**



**Scénarios
"pessimiste" 8.5**



**... sans adaptation
supplémentaire !**

En conclusion

- **Une différenciation allochronique à l'opposé des attendus** (phénologie ne respecte pas les attendus vu le climat local!)
- La population "décalée" aurait **profité d'un changement climatique passé** (petit âge de glace, étés tempérés)
- **De fortes capacités d'adaptation aux stress thermiques**
- **L'avenir de la SP face au changement climatique est incertain**, alors que les pops "classiques" sont en expansion (mais c'est une autre histoire... dont on peut discuter aussi !)

Remerciements

CBGP

L. Sauné
J.-P. Rossi F. Dorkeld
M. Godefroid B. Gschoessl
M. Gautier R. Leblois
A. Rohfritsch R. Vitalis

Collaboratrices de l' U. Lisbonne, Portugal

M. Branco H. Santos
M.-R. Paiva S. Rocha

BIOGECO (INRA Bordeaux)

C. Burban

Et toutes ces chenilles
sacrifiées....



MERCI DE VOTRE ATTENTION !

