Résistance au gel. Conditions d'acclimatation au froid

Isabelle I. Lejeune-Henaut, Christophe Lecomte

▶ **To cite this version:**

Isabelle I. Lejeune-Henaut, Christophe Lecomte. Résistance au gel. Conditions d'acclimatation au froid. Agrophysiologie des Protéagineux. Mise à Jour des Connaissances, Dec 2012, Paris, France. hal-02804533

HAL Id: hal-02804533
https://hal.inrae.fr/hal-02804533

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Résistance au gel
Conditions d'acclimatation au froid

Isabelle Lejeune-Hénaut (INRA, UMR SADV)
Christophe Lecomte (INRA, UMR Agroécologie)

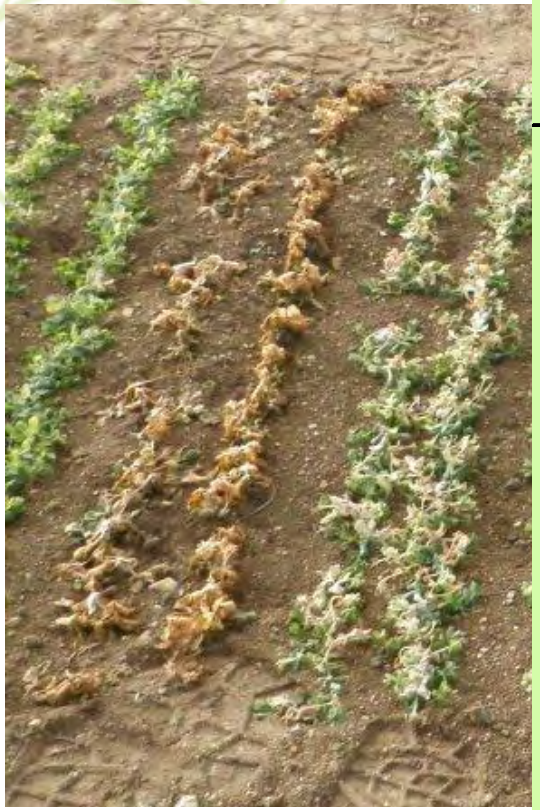
Comment améliorer la résistance au gel du pois d'hiver ?

Chez le pois, la variabilité génétique de la résistance au gel est importante …

Térèse Lucy Enduro Victor 886/01 Isard China
Cameor Cheyenne Dove Cartouche Cherokee Blixt 195 Champagne

Variabilité des dégâts de gel observés à Chaux-des-Prés sur une gamme témoin (observation du 10 février 2012)

Chez le pois, la variabilité génétique de la résistance au gel est importante …



	Variété	Note de résistance au gel (de 1 à 9)	Seuil de résistance (°C)
1	Térèse	**1**	**-8.0**
2	Caméor	**1.5**	**-9.0**
3	Lucy	**2.5**	**-11.5**
4	Cheyenne	**3**	**-12.5**
5	Enduro	**3.5**	**-13.0**
6	Dove	**4.5**	**-15.0**
7	Victor	**4.5**	**-15.5**
8	Cartouche	**5.5**	**-17.5**
9	886-01	**5.5**	**-17.5**
10	James	**5.5**	**-17.5**
11	Cherokee	**5.5**	**-17.5**
12	Isard	**6.5**	**-19.5**
13	Blixt 195	**7.5**	**-22.5**
14	China	**8**	**-23.0**
15	Champagne	**8**	**-23.0**

Des observations pluri-annuelles à Chaux-des Prés ont permis d'évaluer la gamme des seuils de résistance chez le pois : -8°C à -23°C

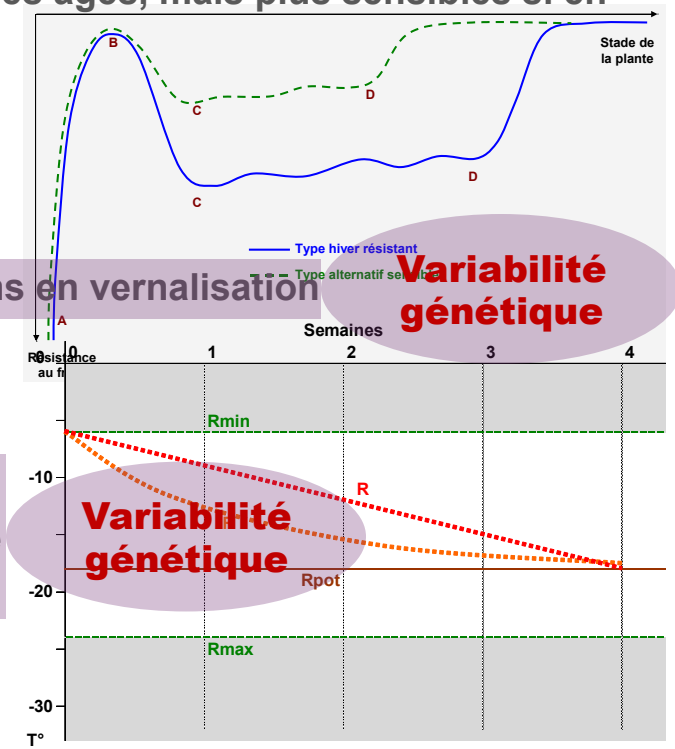
… mais de nombreux facteurs interagissent pour déterminer le niveau final de la résistance

- **Organe concerné**
  - Sensibilité nettement plus élevée des parties souterraines
  - Organes jeunes capables de mieux s'endurcir que les organes âgés, mais plus sensibles si en croissance active

- **Stade de la plante**
  - Sensibilité maximale au stade germination – levée
  - Résistance maximale possible à partir de 1.5 feuilles
  - Approche du stade initiation florale, satisfaction des besoins en vernalisation

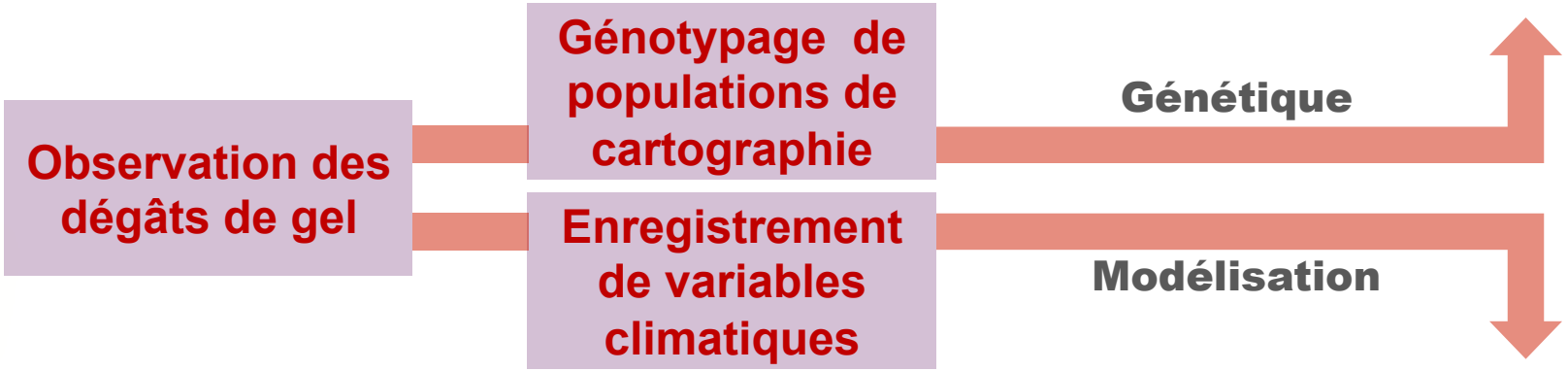
- **Endurcissement**
  - Régime de températures précédant le gel
  - Vitesses d'endurcissement et de désendurcissement
  - Aptitude à maintenir longtemps un haut degré de résistance
  - Aptitude à se réendurcir après désendurcissement

- **Autres facteurs externes à la plante**
  - Humidité du sol (effet retardant puis aggravant)
  - Recouvrement des plantes par la glace (relèvement du seuil de résistance de 2°C et diminution rapide de la résistance)
  - Présence ou non de neige (protectrice, mais favorise le plaquage des plantes au sol et les maladies)



Une stratégie pluri-disciplinaire pour améliorer la résistance au gel

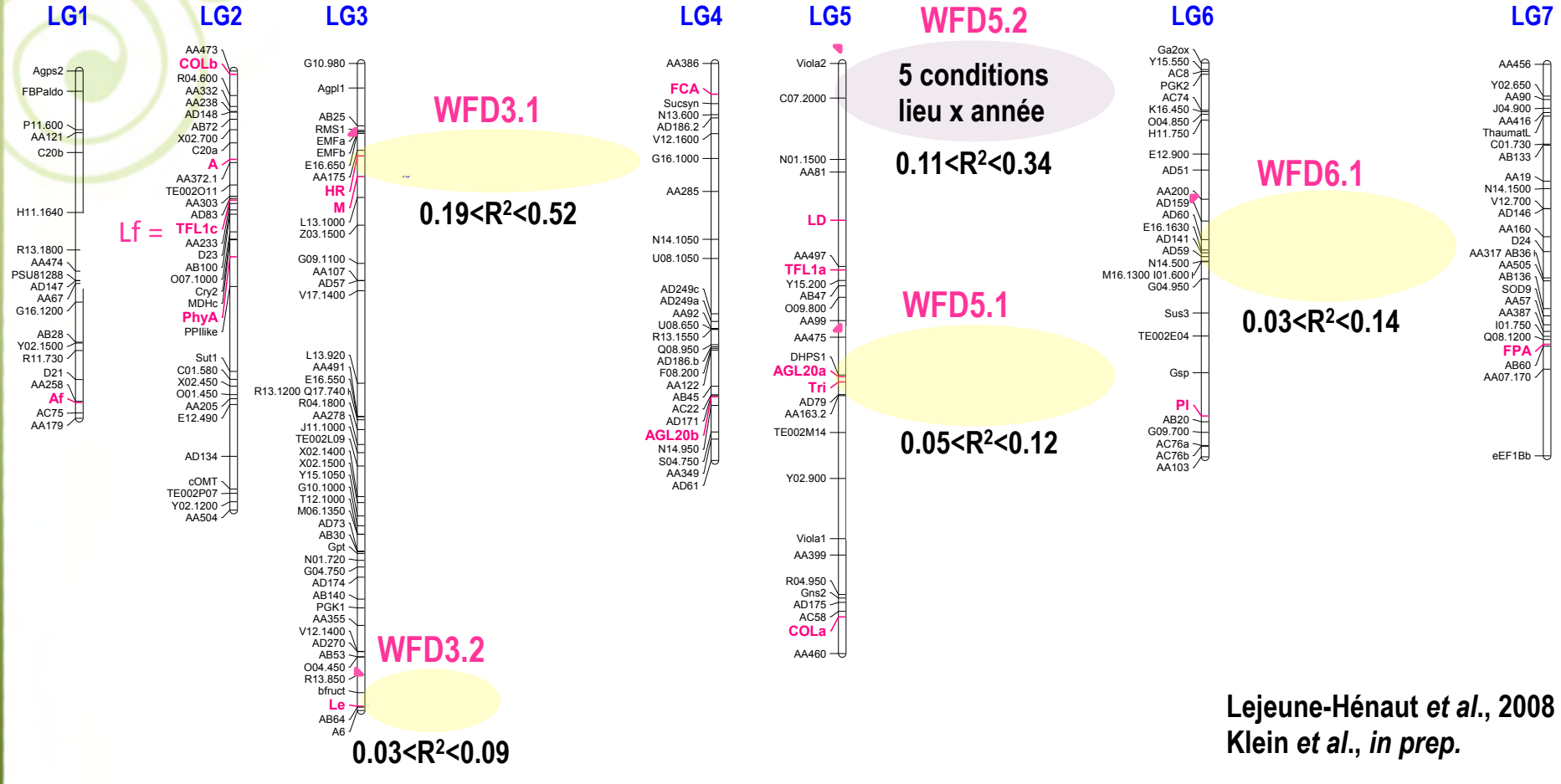
- **Identifier la composante génétique de la résistance pour faciliter la sélection**



- **Hiérarchiser les facteurs explicatifs des dégâts de gel pour orienter la sélection**

Les apports de la génétique

Identification de régions du génome du pois responsables de la résistance au gel

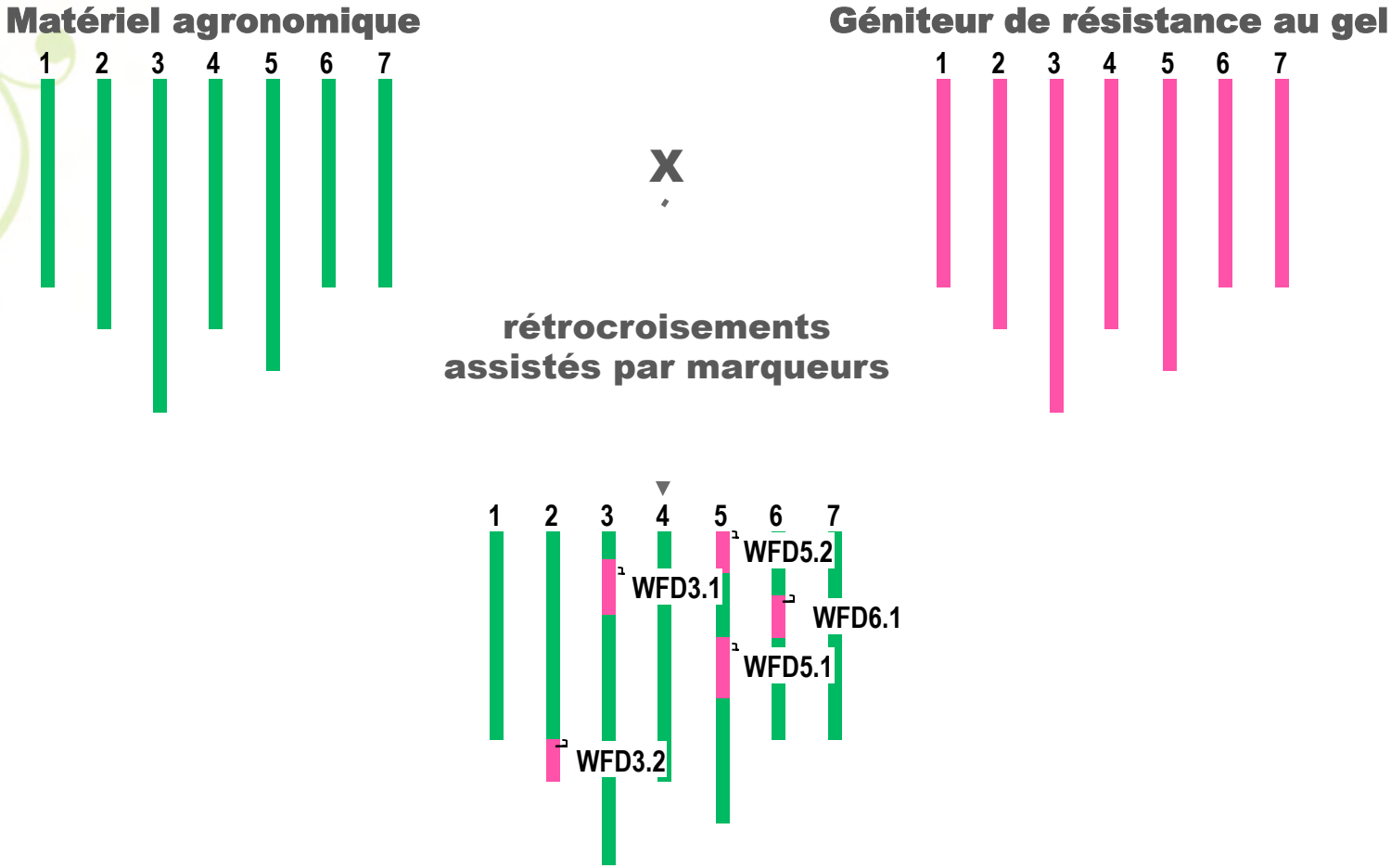


Lejeune-Hénaut *et al.*, 2008
Klein *et al.*, *in prep.*

5 régions génomiques (QTL) stables détectées pour la tolérance au gel

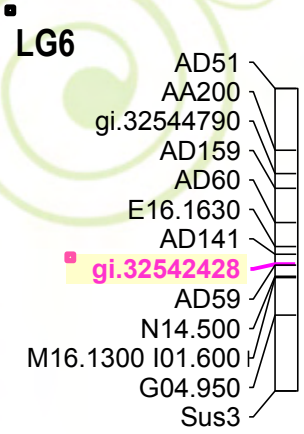
- 4 régions concordantes entre populations (Champagne x Térèse, China x Caméor)
- 1 région spécifique à la population China x Caméor

Application en sélection



Mise en œuvre d'une sélection assistée par marqueurs, qui permet de contrôler l'introgression des QTL et le retour à un fonds génétique de bonne valeur agronomique (projets SAMPOIS et PEAMUST)

Identification des mécanismes et gènes sous-jacents



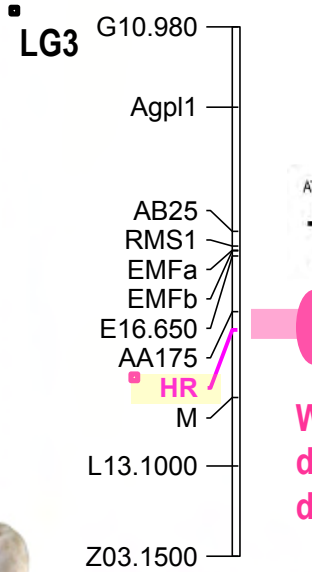
Dumont *et al.*, 2009
Legrand *et al.*, *in prep.*

WFD6.1: dégâts de gel

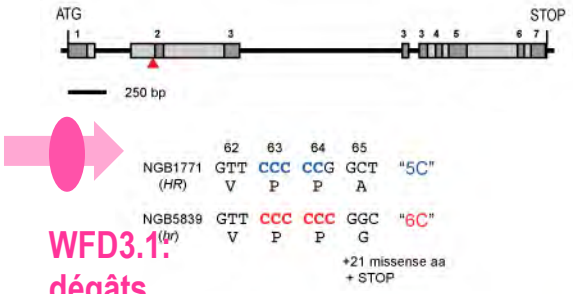
fuite électrolytes, teneurs en sucres, teneurs en protéines …

WFD6.1 colocalise avec :

- **QTL de l'acclimatation au froid**
- **séquences de pois différentiellement exprimées au cours de l'acclimatation au froid**



Lejeune-Hénaut et al., 2008
Weller *et al.*, 2012



WFD3.1: dégâts de gel

WFD3.1 colocalise avec locus HR : implication du stade de la plante (initiation florale) dans la résistance au gel

Identification de la séquence du gène HR

Applications en sélection

Identifier précisément le(s) gène(s) sous-jacent(s) à un QTL permet de :

- Trouver de la variabilité allélique dans les collections de ressources génétiques (nouveaux géniteurs)

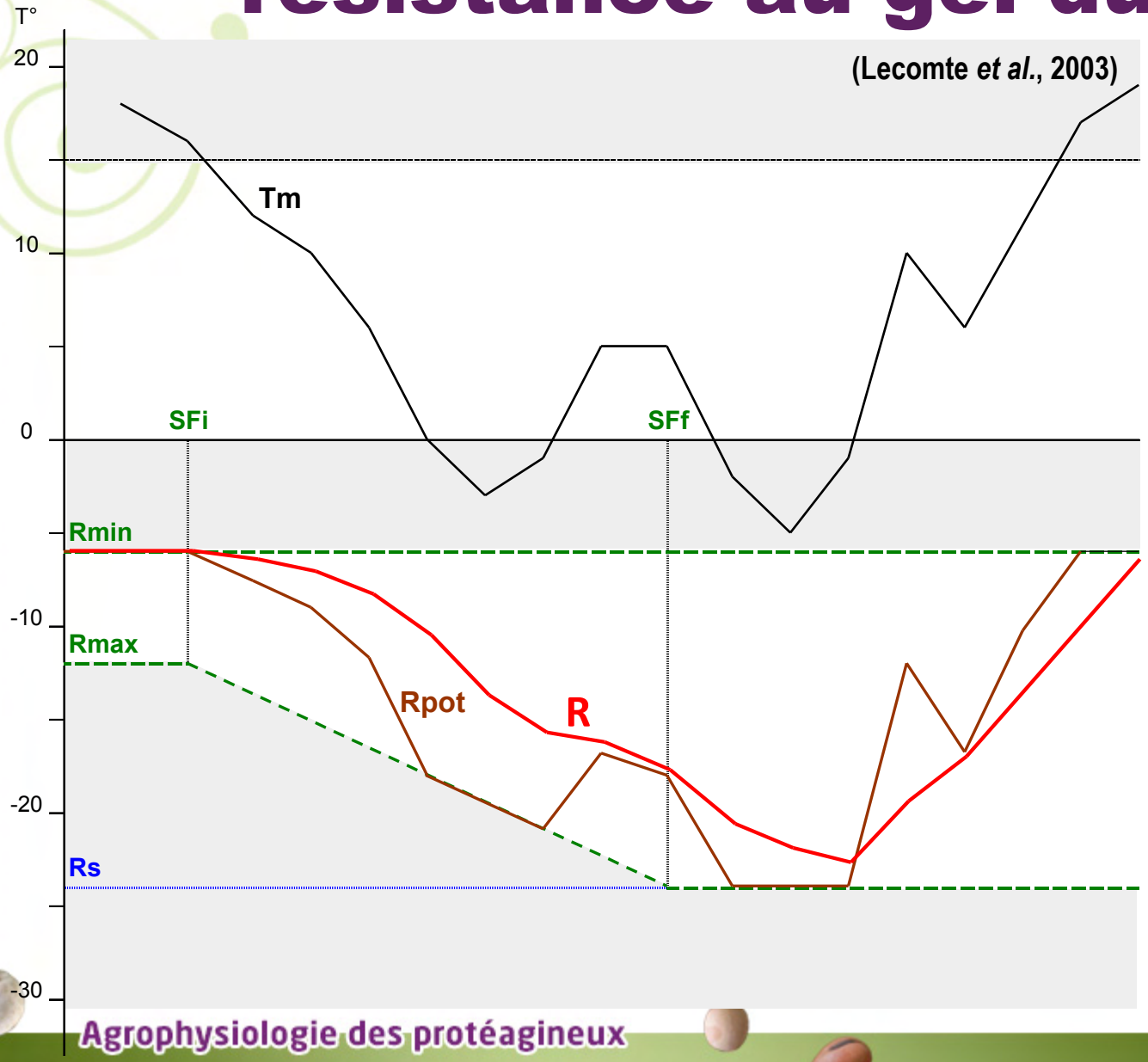
- Développer des marqueurs allèles-spécifiques (éviter de perdre les QTL en sélection assistée par marqueurs)

Mais la relation n'est pas encore établie avec les composantes :
- "seuil de résistance"
- et "vitesse d'endurcissement"

Les apports de la modélisation

- **Mieux comprendre ce qu'il s'est passé**
- **Anticiper le risque de gel à venir pour adapter les variétés**

Un modèle pour calculer la résistance au gel du pois



Rs dépend de la variété

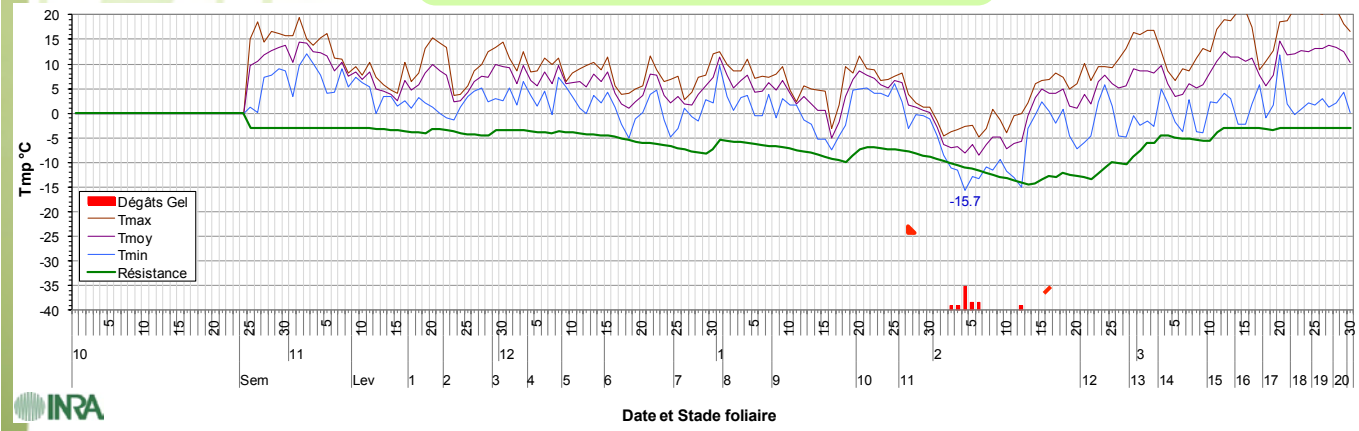
Rmax dépend de Rs et du stade

Rpot dépend de Rmax et de la température moyenne journalière

R tend à rejoindre Rpot avec un certain délai (endurcissement et désendurcissement)

Calcul dans deux sites contrastés

Dijon – Bretenière (21)
Tmp mini au sol : -15.7° le 5/02

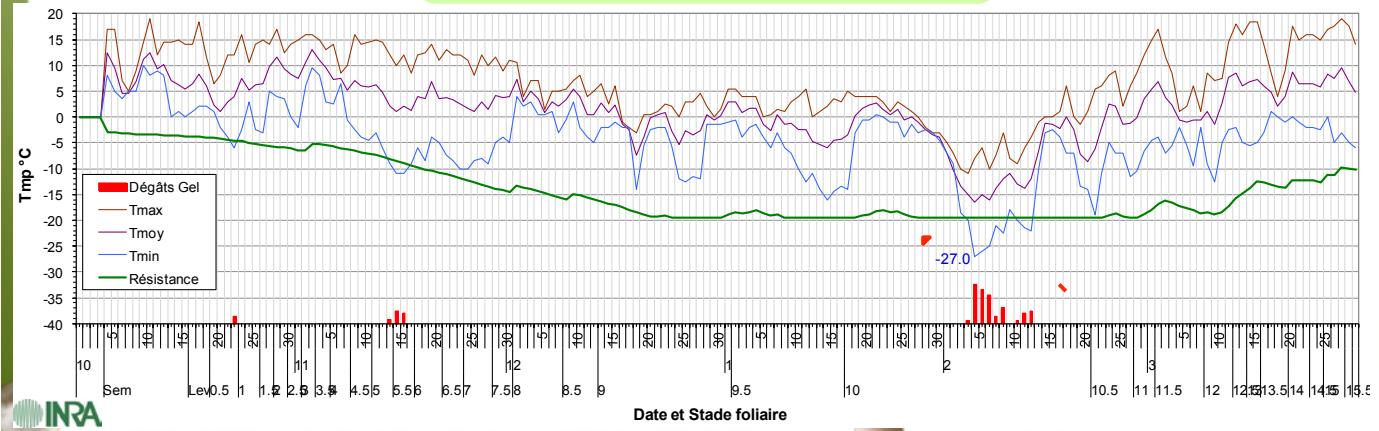


Variété Isard
seuil = -19.5°
durée endur. = 42 ou 35j

6 jours de dégâts estimés
Ecart maxi : 4.8°
Stress cumulé : 10.7°
Dégâts marqués, survie > à 50%

Endurcissement incomplet
(R = -10.9°)

Chaux-des-Prés (39)
Tmp mini au sol : -27° le 5/02



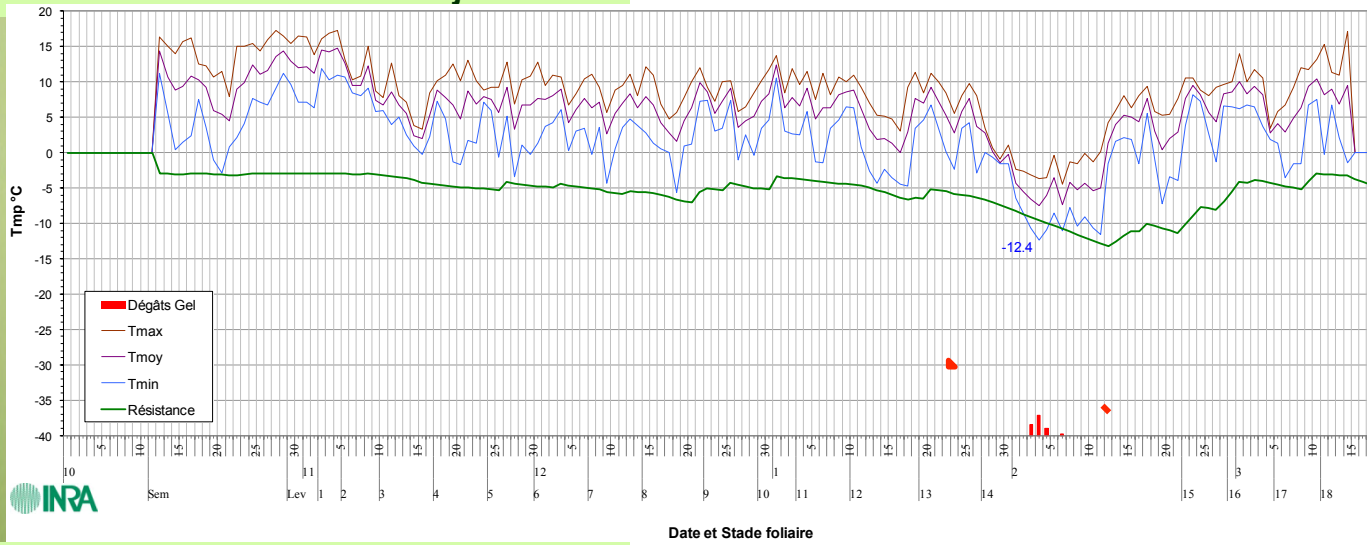
13 jours de dégâts estimés
Ecart maxi : 7.5°
Stress cumulé : 36.3°
Dégâts très marqués, 29% de survie

Endurcissement complet
(R = Rseuil = -19.5°)

Effet de la vitesse d'endurcissement

Seuil = -17.5°; Date de semis : 12 octobre 2011 - Mons (80)

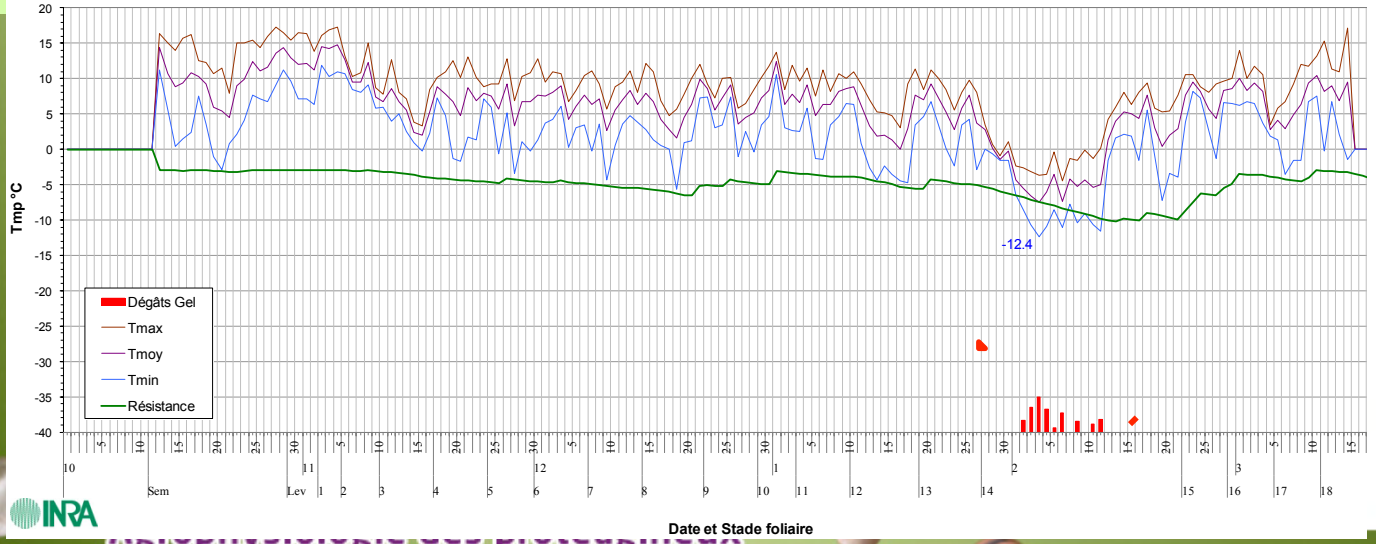
Durée d'endurcissement : 35 jours



4 jours de dégâts
Ecart maxi : 2.9°
Stress cumulé : 5.6°

Le fait de passer d'une durée d'endurcissement de 35 jours à une durée de 49 jours augmente nettement l'estimation de dégâts.
→ L'effet durée (ou vitesse) d'endurcissement a fortement joué en 2012

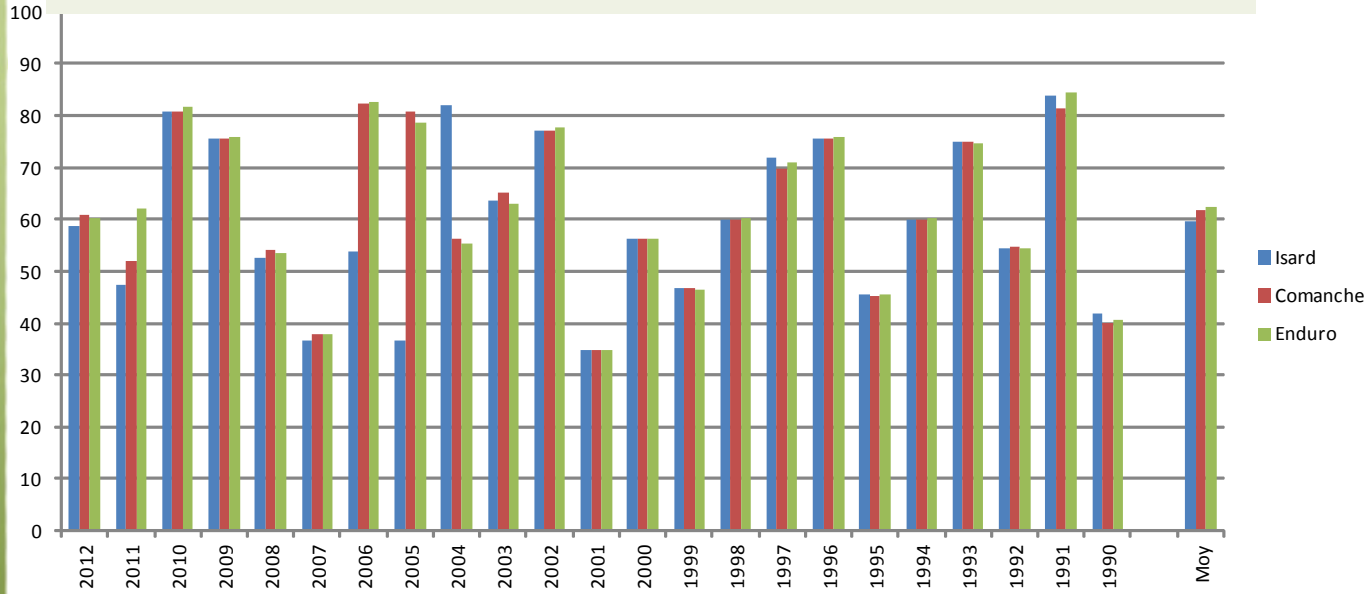
Durée d'endurcissement : 49 jours

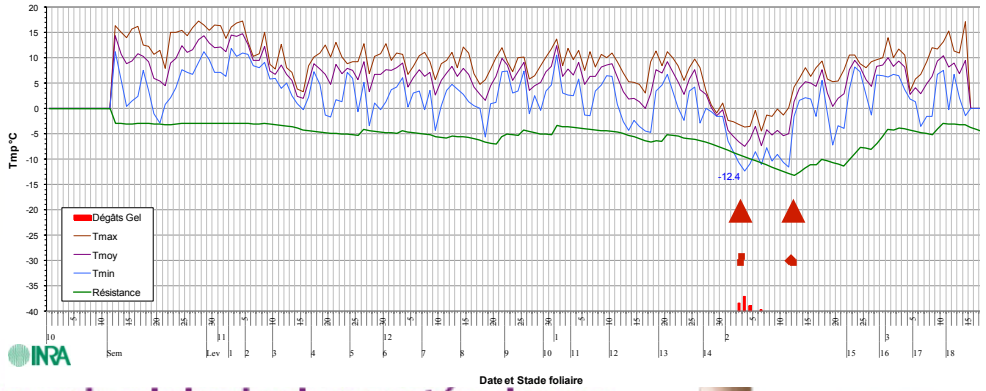


9 jours de dégâts
Ecart maxi : 5.0°
Stress cumulé : 21.2°

Quel degré de résistance dans les situations agricoles?

Résistance maximale acquise en % de Rseuil pour 3 variétés de pois d'hiver en Champagne (station de Chalons en Champagne) de 1990 à 2012
(F. Boizet, I. Chaillet, Arvalis)





Au mieux, la résistance atteinte est de **80% de la résistance seuil**

En moyenne, **elle est de 60%**

Certaines années, elle n'est **que de 30 à 40%**

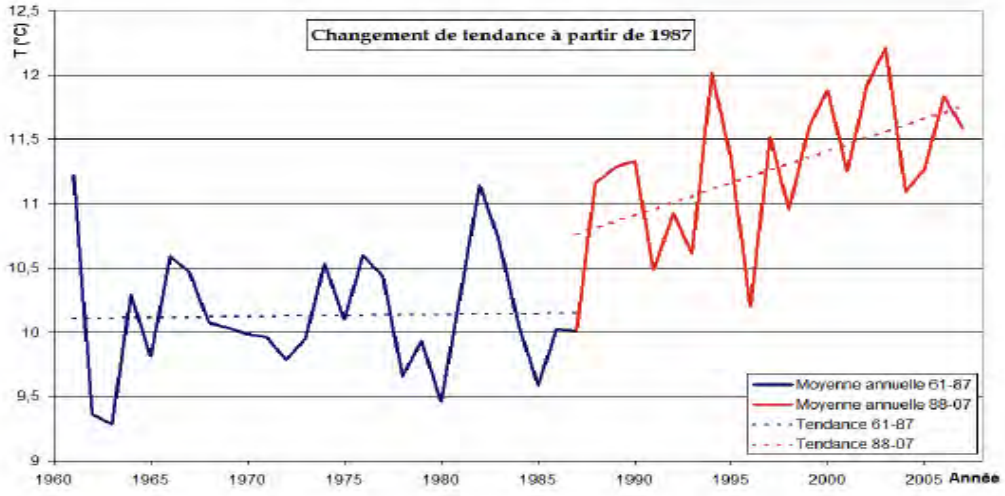
Le plus souvent, la résistance la plus élevée est atteinte **après le coup de gel**

Quel idéotype pour les années à venir ?

Réalité du réchauffement climatique

(exemple de la Bourgogne)

CRC (CNRS/UB)



Rupture dans l'évolution des tmp moyennes annuelles en 1987 :

+ 0.5°C tous les 10 ans

En fait : réchauffement par paliers de 1° tous les 20 ans

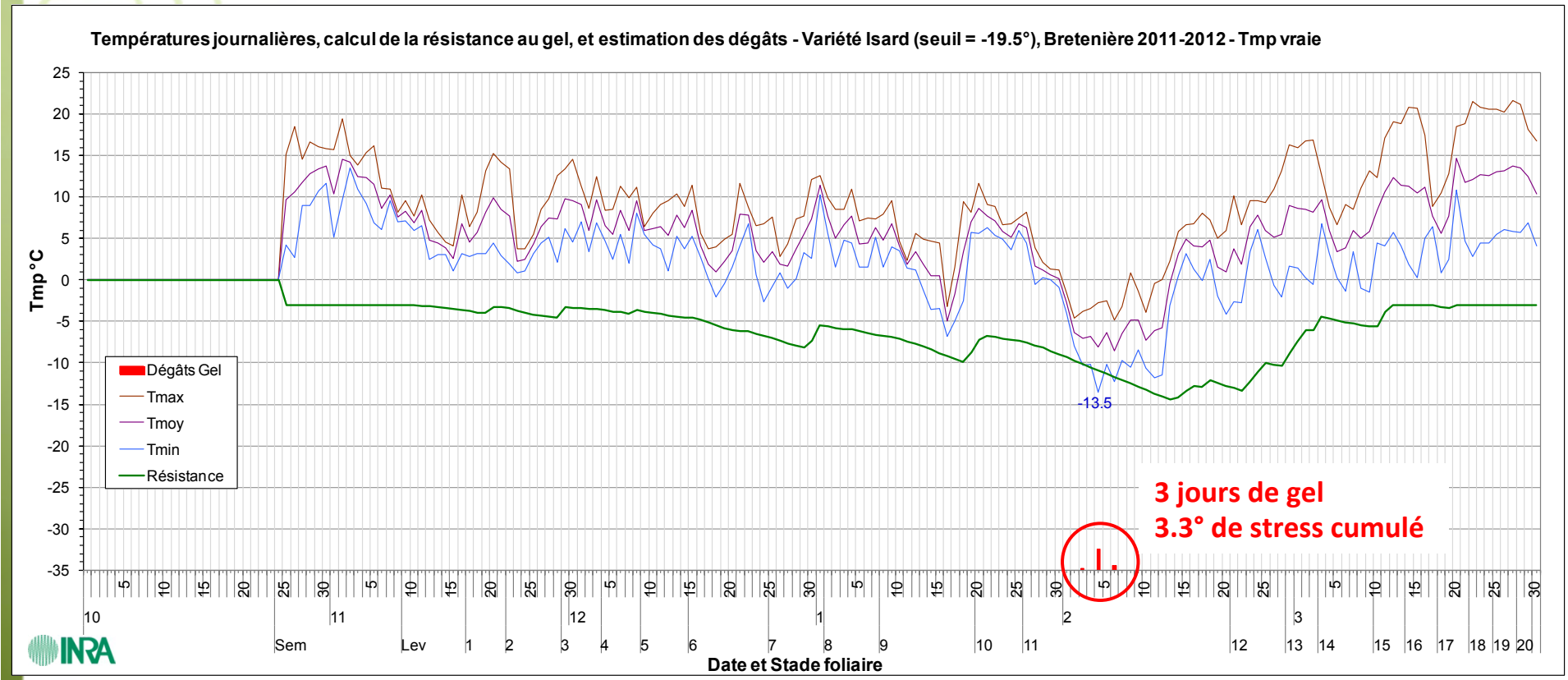
- **Augmentation des Tmax plus important que celui des Tmin**

- Réchauffement **plus fort en hiver, printemps et été**, moins fort en automne

--> Estimation des **dégâts potentiels sous différents scénarios climatiques** avec le modèle de calcul de la résistance au gel

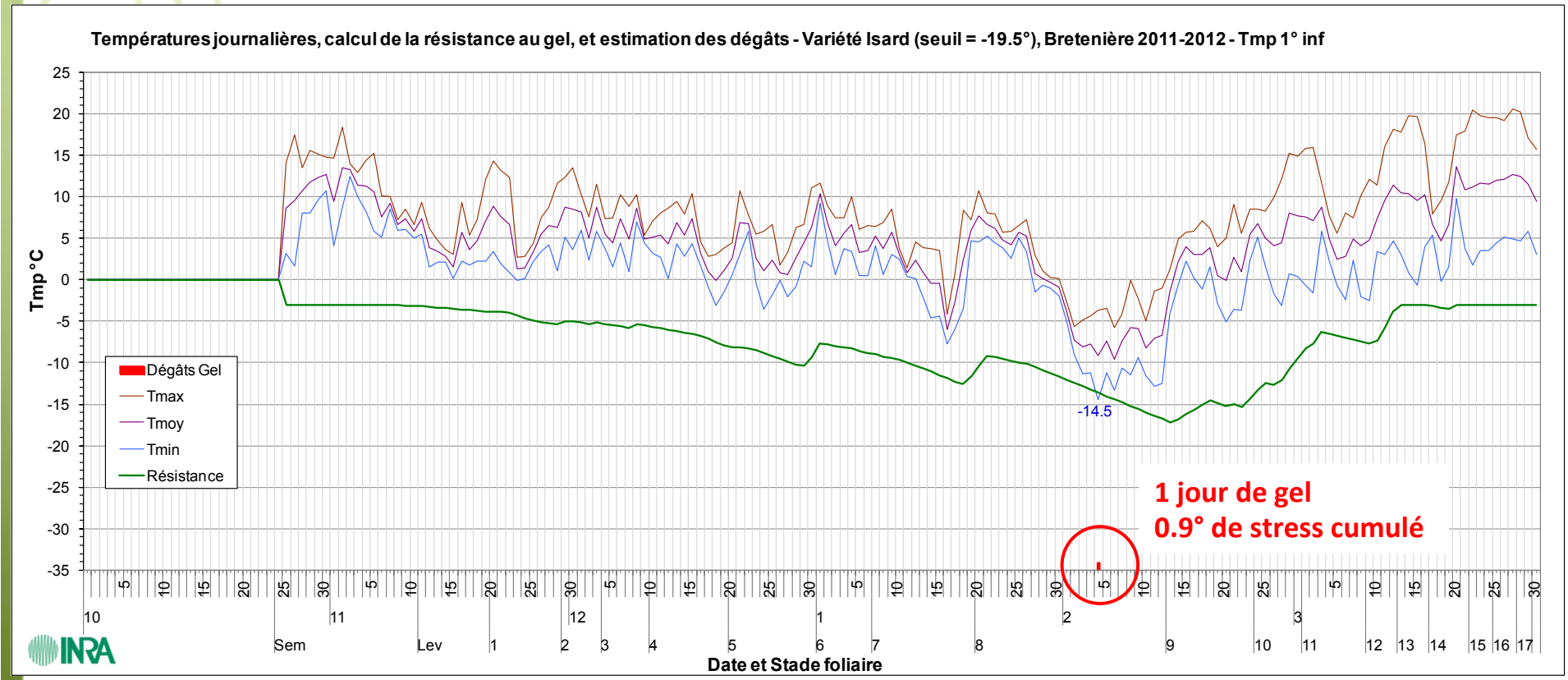
Simulation dégâts de gel sur pois hiver 2011-2012 - Dijon

1- Températures réellement observées



Simulation dégâts de gel sur pois hiver 2011-2012 - Dijon

2- Décalage des températures réelles de -1°C (simulation du climat passé)

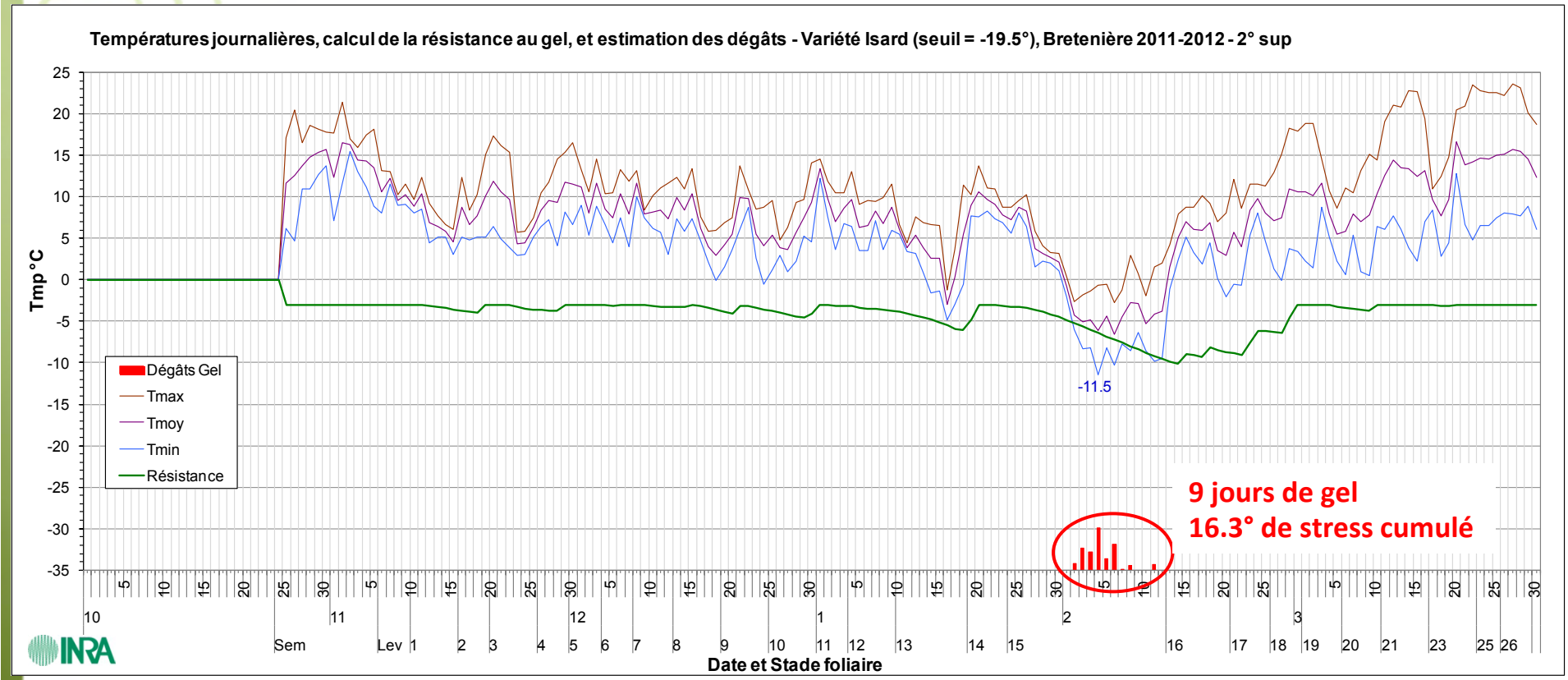


Avec 1° de moins par rapport aux températures de 2012,

on aurait moins de dégâts de gel

Simulation dégâts de gel sur pois hiver 2011-2012 - Dijon

2- Décalage des températures réelles de +2°C (simulation du climat à venir)



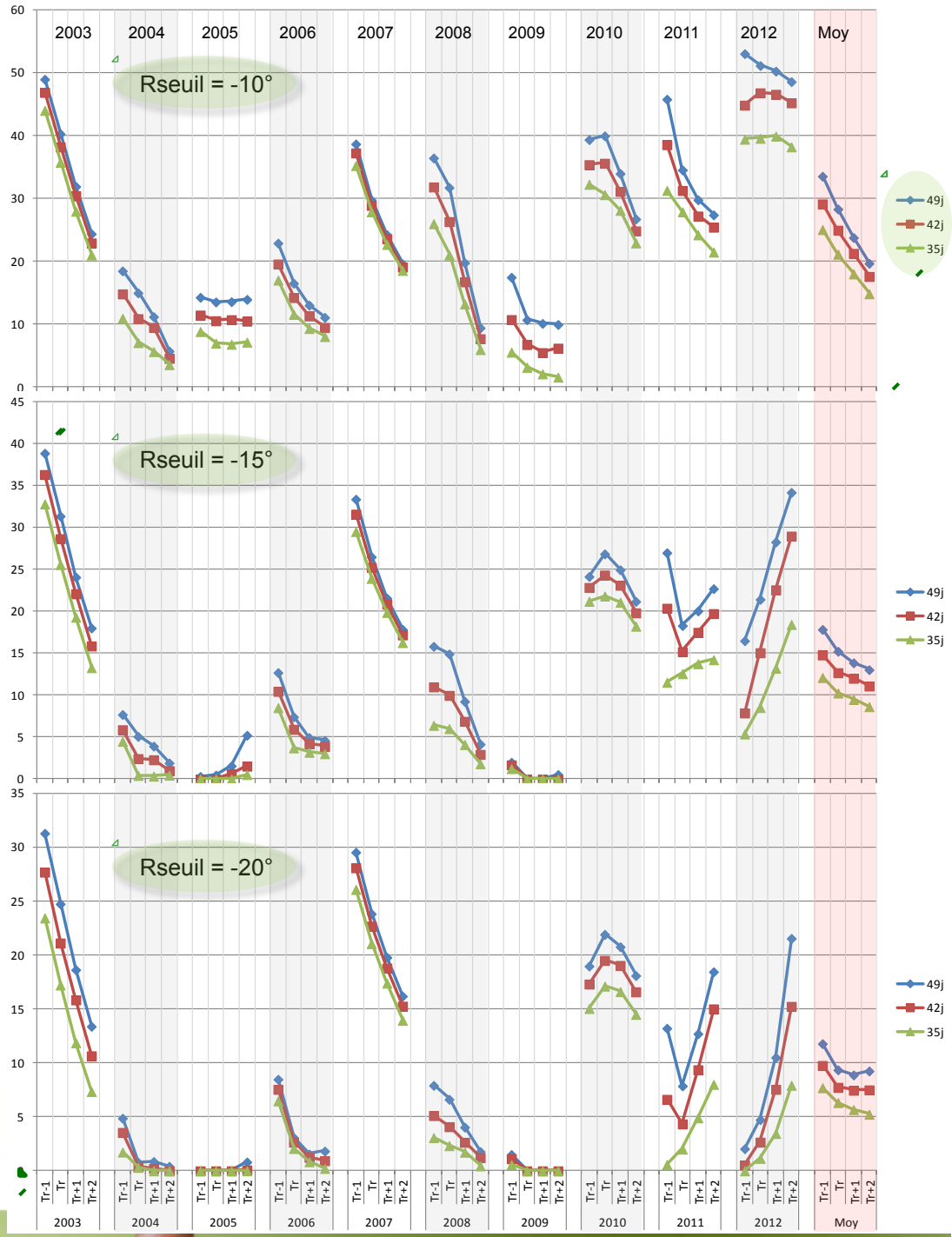
Avec 2° de plus par rapport aux températures de 2012,
on aurait plus de dégâts de gel

Evolution des dégâts de gel estimés pour :
- 9 types variétaux
- 4 scénarii climatiques
déduits de **10 années** d'observations

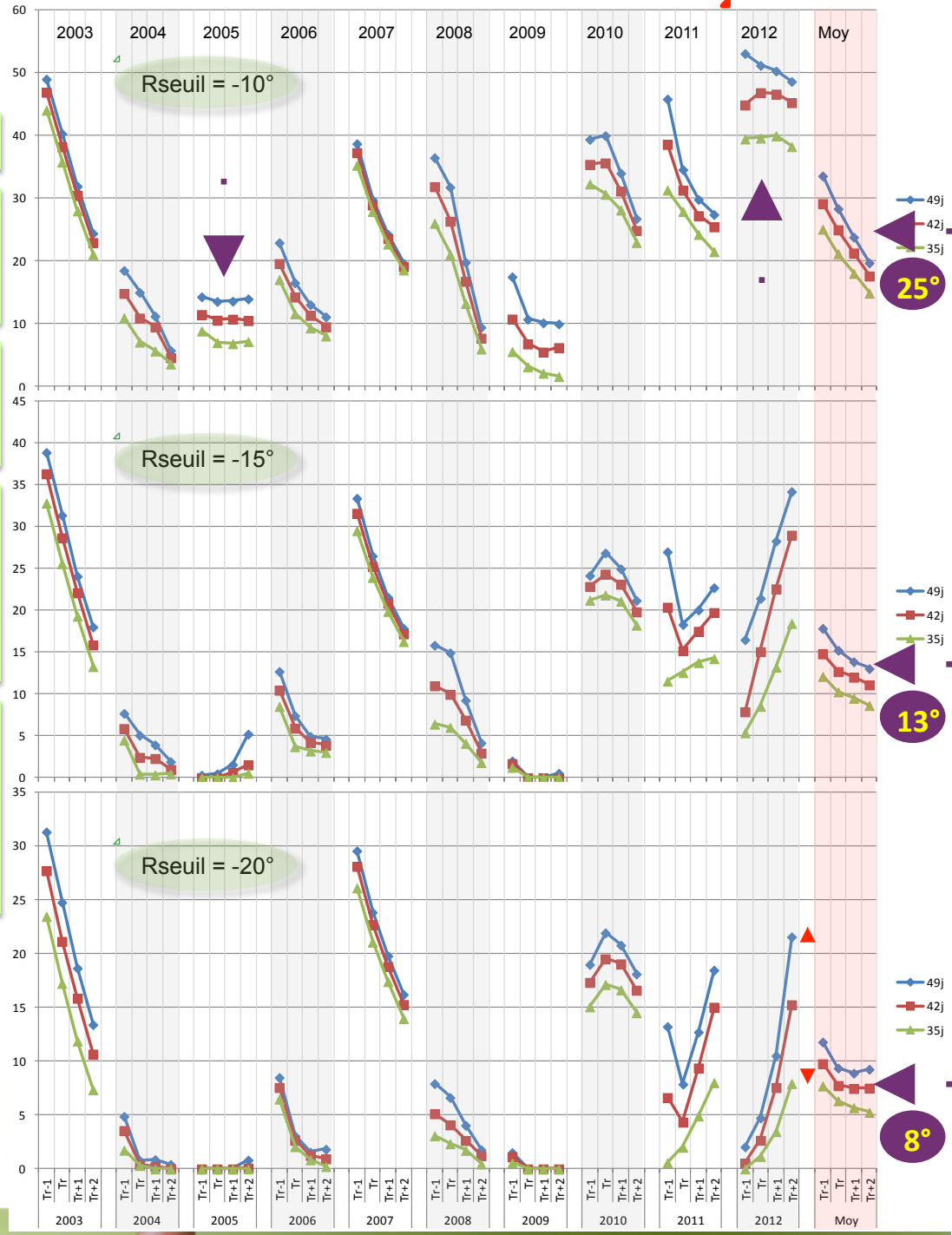
Données de Dijon (21)

9 types variétaux combinant :
3 seuils de résistance
(Rseuil = -10, -15, -20°)
et 3 durées d'endurcissement
(49, 42 et 35 j)

4 scénarii climatiques sur 10 années (de 2003 à 2012) :
- Tr-1 (tmp réelles – 1°)
- Tr (tmp réellement observées)
- Tr+1 (tmp réelles + 1°)
- Tr+2 (tmp réelles + 2°)



Cumul des dégâts de gel (en °C)



→ Fortes différences interannuelles

→ Le seuil de résistance a un effet fort, plus marqué en moyenne que celui de la vitesse d'endurcissement

→ L'année 2012 est très particulière
- Dégâts élevés sur les variétés peu résistantes
- Fort effet de la vitesse d'endurcissement

→ En moyenne, le risque de dégâts de gel va plutôt diminuer
- c'est net pour un pois sensible au gel,
- moins marqué pour un pois moyen[t] résistant
- faible, ou légère augmentation pour un pois résistant

→ Pour des pois de résist moyenne ou élevée, **nette augmentation des dégâts de gel 2 années sur 10**.
Augmentation modérée si la variété endurcit vite

Idéotype :
Malgré 2012, rechercher un seuil de résistance élevé reste prioritaire, même s'il ne faut pas négliger la vitesse d'endurcissement

Conclusions

Le pois est capable de résister à des températures très basses
Certains fonds génétiques supportent -23°C ou moins, mais il faut que les plantes soient endurcies

→ Il faut se donner les moyens de **sélectionner pour cette résistance maximale**

Il existe des différences de vitesses d'endurcissement entre variétés
- La comparaison des classements entre une situation très endurcie (Chaux-des-Prés → seuil de résistance maxi) et une situation peu endurcie (plaine) permet de visualiser ces différences

- Peut-on séparer seuil de résistance et vitesse d'endurcissement sur le plan génétique ?
  → Nécessité de **tests en conditions contrôlées** pour identifier les déterminants génétiques de ces deux paramètres

Les dégâts de 2012 ont un caractère exceptionnel, mais illustrent bien un scénario d'avenir
- Très peu d'endurcissement
- Froid tardif sur des variétés qui étaient proches ou avaient dépassé le stade initiation florale

Dans le contexte du réchauffement climatique, nécessité de nouveaux idéotypes
(toutes espèces de grandes cultures)
- Diminution moyenne du risque de dégâts de gel hivernal
- L'élévation des températures s'accompagne :
  d'un moindre endurcissement : risque d'augmentation des dégâts 1 année sur 5
  → Intérêt de **variétés à seuil de résistance élevée et qui endurcissent rapidement**
  d'un développement plus rapide
  → Intérêt de **types variétaux dont la date de floraison dépend de la durée du jour**