



**HAL**  
open science

# Pourquoi le stress gel hivernal ne disparaît pas chez le pois dans un climat qui se réchauffe? Comment s'y adapter? Projet PSDR ProSys, Bourgogne-Franche-Comté

M Prudhon, Thierry Castel, Christophe Lecomte, Yves Richard, Veronique Biarnes, Mathieu Chanis, E Brulebois, Annabelle Larmure

## ► To cite this version:

M Prudhon, Thierry Castel, Christophe Lecomte, Yves Richard, Veronique Biarnes, et al.. Pourquoi le stress gel hivernal ne disparaît pas chez le pois dans un climat qui se réchauffe? Comment s'y adapter? Projet PSDR ProSys, Bourgogne-Franche-Comté. [Rapport Technique] Inrae; Conseil Régional bourgogne Franche Comté; AgroSup Dijon. 2020, pp.1-8. hal-03563215

**HAL Id: hal-03563215**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03563215v1>**

Submitted on 1 Dec 2023

**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.

# ÉTUDE SUR L'ÉVOLUTION DES DÉGÂTS DE GEL DANS LE PROGRAMME PSDR PROSYS

*Pourquoi le stress gel hivernal ne disparaît pas chez le pois dans un climat qui se réchauffe ? Comment s'y adapter ?*





# Le paradoxe des dégâts de gel hivernal sur les cultures dans un climat qui se réchauffe

Le changement climatique se manifeste principalement par une augmentation des températures (GIEC, 2013). Cependant, malgré ce réchauffement, on peut encore observer **des dégâts importants dus au gel dans les cultures**. L'hiver 2011-2012 en France en témoigne : malgré un hiver doux (Tableau 1), les températures gélives ont provoqué la **destruction de cultures d'hiver** telles que le blé, l'orge ou le pois (dans le quart Nord-Est de la France). Pourquoi observe-t-on encore des dégâts dus au gel dans les cultures alors que le climat se réchauffe ?



Période	Températures moyennes hivernales (°C)	Indice de stress gel moyen (°C.j)
1962-2014	5.20	17.31
1962-1987	4.51	23.16
1988-2014	5.86	11.67
Hiver 2011-2012	6.55	26.87

**Tableau 1 :** Températures moyennes hivernales (octobre-mars) et indices de stress gel moyens à Bretenièrre pour les périodes 1962-2014, 1962-1987, 1988-2014 et pour l'hiver 2011-2012. Date de semis du pois d'hiver 10 octobre, durée d'acclimatation de 42 jours et résistance-seuil de -13°C. Indice de stress gel = Nombre de jours de stress gel x Intensité journalière moyenne du stress gel

## Un modèle de simulation pour calculer le stress gel hivernal des cultures

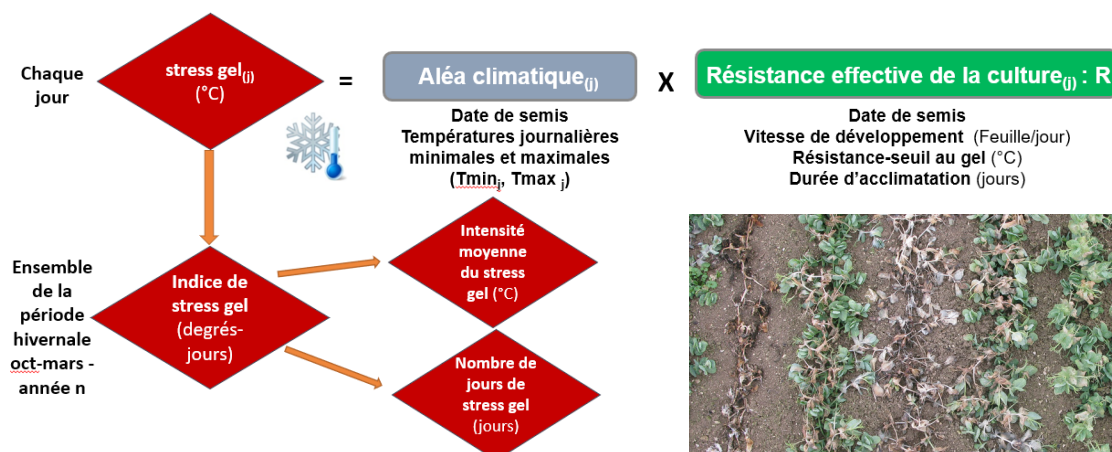
Chaque jour de la période hivernale (du 1er Octobre au 31 Mars), le modèle (Figure 1) calcule avec des équations mathématiques un **stress gel** grâce à deux éléments :

- » **L'aléa climatique** qui dépend des températures **minimales (Tmin)** et **maximales (Tmax)** journalières. Elles permettent de calculer une température **moyenne** journalière à partir de la date de semis.
- » La température de **résistance effective au gel journalière de la culture (R)** qui se calcule à partir de la date de semis grâce à des caractéristiques variétales : 1) la **résistance-seuil** (exprimée en degrés) qui correspond à la température minimale à laquelle une variété peut résister en fonction du **stade de développement** et lorsqu'elle est complètement acclimatée et 2) la **durée d'acclimatation** (exprimée en jours) qui correspond au temps nécessaire pour atteindre la résistance-seuil.



Lorsque la température minimale journalière est inférieure à la température de résistance effective au gel de la culture, il y a stress gel. Ainsi, chaque jour, le modèle calcule le stress gel de la culture (nombre de degrés entre R et Tmin).

Sur l'ensemble de la période hivernale, le modèle calcule un **indice de stress gel** exprimé en degrés-jours (°C.j), qui correspond au cumul des stress gel journaliers. Cet indice cumulé est un bon indicateur des dégâts de gel (Castel et al., 2017) qui peut se décomposer en **nombre de jours de stress gel** (jours) et **intensité moyenne du stress gel** (°C).



**Figure 1 :** Fonctionnement du modèle simulant le stress gel hivernal (d'après Lecomte et al., 2003)



Ainsi, pour résister à un épisode de gel, une culture d'hiver doit s'acclimater (par exposition à des températures moyennes fraîches) afin d'atteindre une résistance effective suffisante, proche de la résistance-seuil. Il est à noter que toutes les espèces, même acclimatées, n'ont pas la même sensibilité au gel hivernal. La culture de pois par exemple, est une espèce de sensibilité au gel moyenne avec des résistances-seuil qui s'échelonnent de -8°C à -23°C (Figure 2).

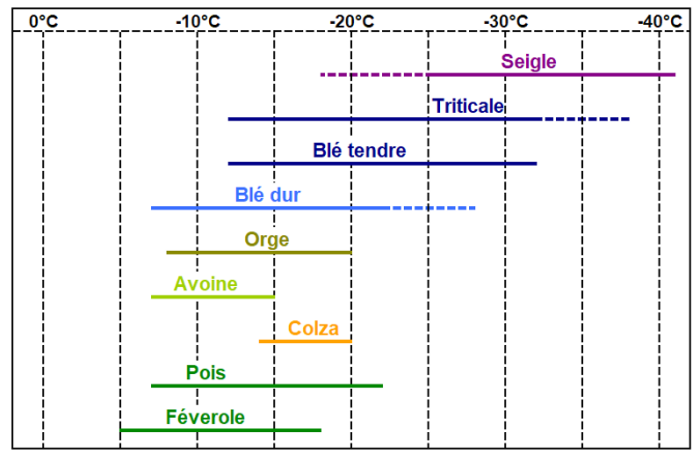


Figure 2 : Résistances-seuil de quelques espèces cultivées lorsque le stade permettant de l'exprimer est atteint et que l'acclimatation est complète. La plage de résistance présentée pour chaque espèce correspond à la variabilité génétique de chaque espèce (C. Lecomte Com. perso.)



## Pourquoi nous intéressons-nous à la culture de pois d'hiver ?

Tableau 2 : Atouts, freins et enjeux de la culture de pois (plante légumineuse) et plus spécifiquement du pois d'hiver (source : Terres Inovia)

ATOUTS	FREINS ET ENJEUX
<b>Le pois protéagineux (<i>Pisum sativum</i> L.) : une légumineuse à graines</b>	
<p><u>Nutritionnels</u> : Production de graines riches en protéines pour l'alimentation humaine et animale.</p> <p><u>Agronomiques et environnementaux</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique : pas d'apports d'engrais azotés sur la culture ;</li> <li>- Bon précédent : apports d'engrais azotés réduits et augmentation du rendement pour la culture suivante ; rupture du cycle des adventices et des maladies (réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires) ;</li> <li>- Allongement des rotations et diversification de l'assolement.</li> </ul>	<p><u>Production</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surfaces actuelles faibles (Figure 4) ;</li> <li>- Rendements variables, tendant à diminuer (Figure 4).</li> </ul> <p><u>Sensibilité aux facteurs limitants</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En fin de cycle : déficit hydrique, fortes températures (Figure 3) ;</li> <li>- Maladies ;</li> <li>- Risques accentués par le changement climatique.</li> </ul>
<b>Spécificités du pois d'hiver</b>	
<p><b>Cycle cultural plus long et récolte plus précoce</b> (Figure 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meilleur potentiel de rendement ;</li> <li>- Limitation des stress hydriques et thermiques de fin de cycle par évitement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu cultivé mais en progression constante (21 % des surfaces en pois protéagineux en France en 2020).</li> <li>- <b>Risques de dégâts dus au gel hivernal</b> (quand les températures minimales sont inférieures à la résistance effective des plantes).</li> </ul>

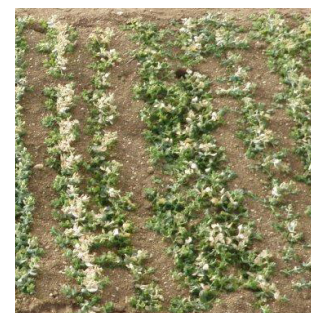
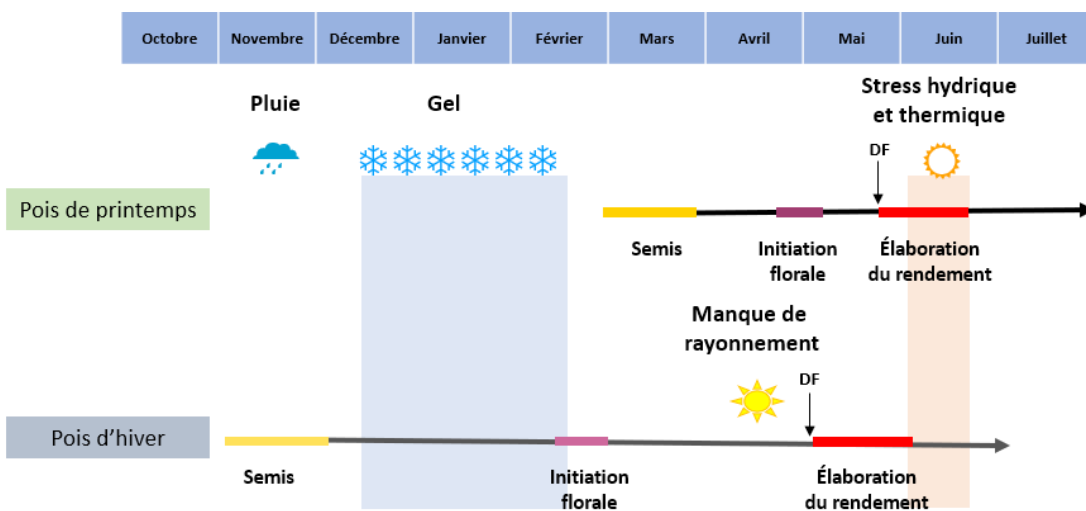
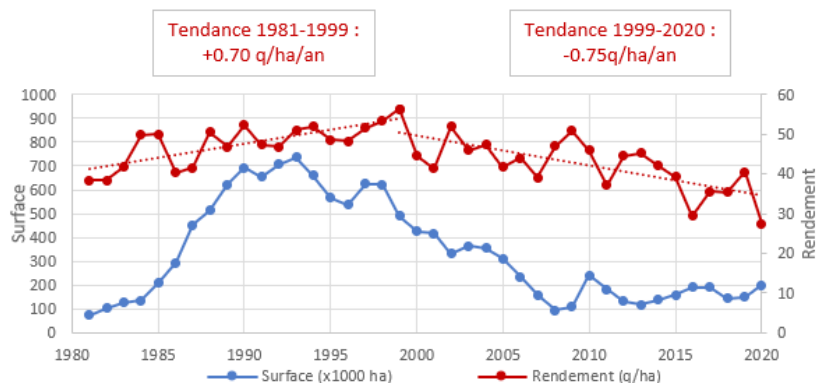


Figure 3 : Positionnement des cycles du pois de printemps et d'hiver en lien avec différents stress climatiques. DF : Début Floraison (Lecomte Com. perso)



**Figure 4 :** Evolution des surfaces et des rendements du pois protéagineux en France de 1981 à 2020 (Sources : Agreste, Terres Inovia, UNIP)



Pour faire bénéficier les assolements et rotations des nombreux atouts du pois, une piste prometteuse pour de meilleurs rendements plus stables serait de développer le pois d'hiver. **Pour cela, il est nécessaire de limiter les risques de dégâts dus au gel hivernal chez le pois dans un climat qui se réchauffe.**

### La Bourgogne-Franche-Comté : une région particulièrement concernée par le gel hivernal sur pois

C'est une région agricole importante du quart Nord-Est de la France avec :



Des hivers régulièrement froids



2,5 millions d'hectares destinés à l'agriculture (cultures et surfaces enherbées), représentant la moitié de la surface totale du territoire



26 000 exploitations agricoles

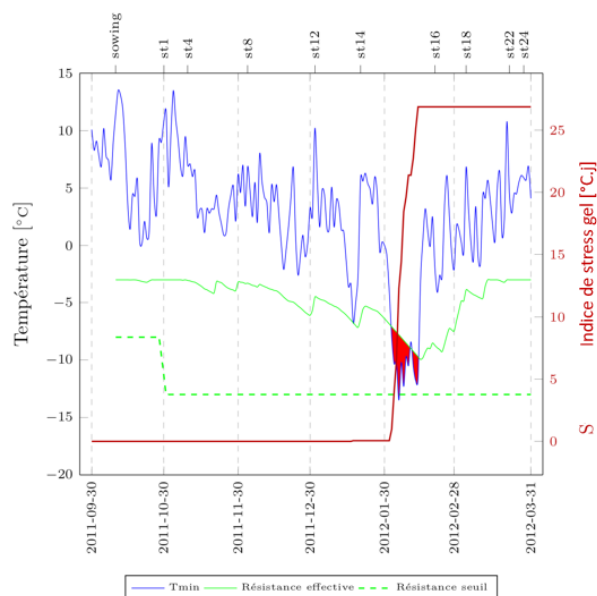
Les principales espèces cultivées sont : le blé ( $\approx 375\ 000$  ha), l'orge ( $\approx 220\ 000$  ha), le colza ( $\approx 190\ 000$  ha) et le maïs ( $\approx 123\ 000$  ha). La surface en pois protéagineux est actuellement de 17 000 ha environ (avec 54% de ces surfaces en pois d'hiver pour la période 2014-2018) (Agreste Bourgogne-Franche-Comté, 2019 ; 2020).

## Comprendre le passé pour appréhender le présent et le futur

### ➔ Quelle a été l'évolution des températures dans le passé en Bourgogne-Franche-Comté ?

Le réchauffement climatique est déjà engagé : on observe une rupture climatique en 1987/88 qui sépare deux périodes aux climats significativement différents (1962-1987, d'une part et 1988-2014, d'autre part) (Tableau 1). La rupture se traduit par une augmentation des températures moyennes annuelles d'environ  $+1^\circ\text{C}$  entre ces deux périodes en Bourgogne-Franche-Comté (Brulebois *et al.*, 2015). Elle est également observée dans toute la façade ouest de l'Europe.

### ➔ Que s'est-il passé pour le pois pendant l'hiver 2011-2012 ?



**Figure 5 :** Calcul du gel hivernal chez le pois durant l'hiver 2011-2012 à Bretenière (21). Date de semis 10 octobre, durée d'acclimatation de 42 jours et résistance-seuil de  $-13^\circ\text{C}$  (Castel *et al.*, 2019)

Grâce au modèle « stress gel hivernal », une simulation a été réalisée au cours de l'hiver 2011-2012 à Bretenière (près de Dijon-21). Pour cette simulation, la date de semis choisie est le 10 octobre 2011 et les caractéristiques variétales du pois d'hiver sont : **durée d'acclimatation** de 42 jours et **résistance-seuil** de  $-13^\circ\text{C}$ . Les **données de températures** sont issues de la station météorologique du domaine expérimental INRAE de Bretenière. La figure 5 montre que la culture est en stress gel (aire rouge) pendant 11 jours : du 2 au 9 février et du 11 au 13 février 2012 lorsque les températures minimales (courbe bleue) sont inférieures à la résistance effective au gel de la culture (courbe verte continue). Les simulations montrent également que l'**indice de stress gel** pour l'hiver 2011-2012 (courbe rouge) a été de 26.9 degrés-jours ce qui correspond à des dégâts sévères sur les cultures d'après Castel *et al.* (2017). Cette valeur est bien supérieure à l'indice de stress gel moyen obtenu pour Bretenière pour la période la plus fraîche (1962-1987) pour les mêmes caractéristiques variétales et date de semis (Tableau 1).



Le tableau 1 montre que la période 1988-2014 est plus chaude que la période 1962-1987 et que l'indice de stress gel moyen est plus faible pendant la période la plus chaude (1988-2014). Néanmoins, l'exemple de l'hiver 2011-2012 montre que malgré ce climat qui se réchauffe, des situations provoquant des dégâts de gel importants peuvent encore survenir. L'utilisation du modèle « stress gel hivernal » nous permet de comprendre pourquoi. Les températures moyennes douces du début de l'hiver 2011-2012 dans le quart Nord-Est de la France n'ont pas permis aux cultures de pois d'hiver de suffisamment s'acclimater et d'atteindre leur résistance-seuil au gel. Les cultures étaient donc très vulnérables et sans protection d'une couche de neige au moment de l'arrivée de la vague de gel. Les températures minimales comprises entre  $-8^{\circ}\text{C}$  et  $-13^{\circ}\text{C}$  « classiques » pour un hiver dans cette zone ont représenté un indice de stress gel élevé (comme simulé par le modèle) provoquant des dégâts importants sur les cultures.

➔ **A l'échelle de la Bourgogne-Franche-Comté, comment a évolué le risque de stress gel hivernal chez le pois dans un climat plus chaud ?**

Pour une analyse de l'évolution passée du gel hivernal à une échelle agricole, les données de **températures minimales et maximales** journalières, ont été régionalisées : produites pour des mailles de 8 kilomètres de résolution (8km x 8km) sur toute la région Bourgogne-Franche-Comté de 1958 à 2015 (Castel et al., 2017).

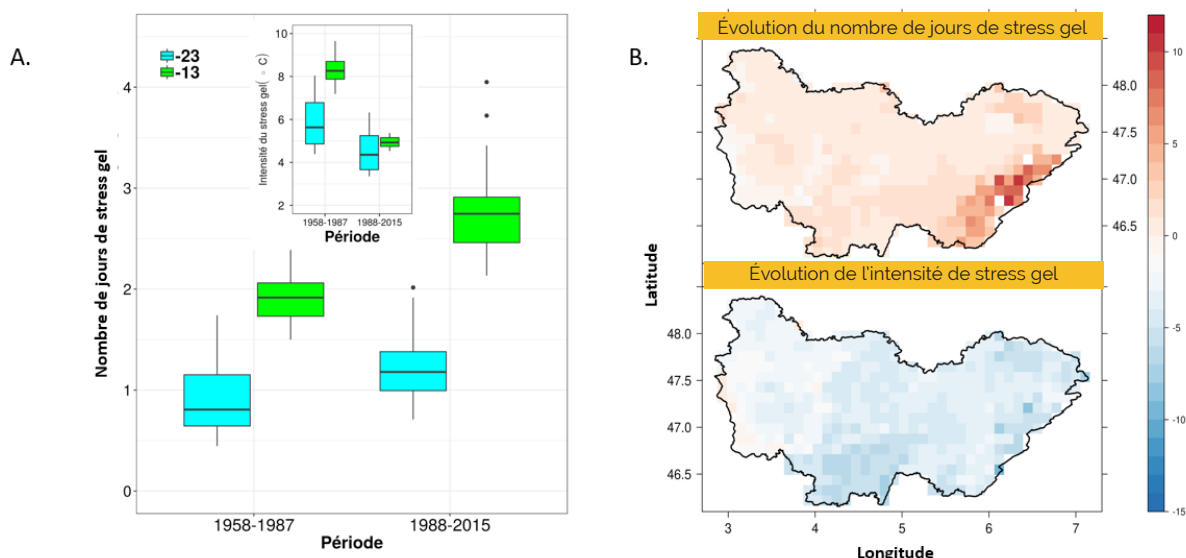
Le stress gel hivernal a été calculé chez le pois, grâce au modèle « stress gel hivernal », sur deux périodes temporelles 1958-1987 et 1988-2015 (avant et après la rupture climatique de 1987/1988) pour chaque maille de la région Bourgogne-Franche-Comté ; pour différentes **caractéristiques variétales** et dates de semis (Tableau 3).



Critères variétaux & culturaux	Gamme des valeurs
Résistance-seuil ( $^{\circ}\text{C}$ )	-13 et -23
Durée d'acclimation (jours)	35 ... 49 par 2 jours
Date de semis (jours)	2, 10, 21, 31 oct.

**Tableau 3 :** Gamme de valeurs des différentes caractéristiques variétales et culturales utilisées pour les simulations du stress gel hivernal chez le pois en Bourgogne-Franche-Comté avec le modèle « stress gel hivernal » (Castel et al., 2019)

Pour le passé récent, les résultats montrent que le risque gélif a diminué mais n'a pas disparu avec le réchauffement (indice de stress gel moyen plus faible pendant la période la plus récente et la plus chaude, Tableau 1). Malgré la diminution de l'indice de stress gel, on observe une augmentation du nombre de jours de stress gel, d'autant plus importante que la résistance-seuil est faible (Figure 6A). Ainsi, pour  $-13^{\circ}\text{C}$  de résistance-seuil, on passe d'une moyenne d'environ 2 jours de stress gel par hiver au cours de la période 1958-1987 à presque 3 jours par hiver au cours de la période 1988-2015. L'augmentation du nombre de jours de stress gel est moins importante pour  $-23^{\circ}\text{C}$  de résistance-seuil mais elle suit la même tendance, statistiquement significative. A l'opposé, on observe une diminution significative de l'intensité journalière moyenne du stress gel pour la période 1988-2015 par rapport à 1958-1987, et cela pour les deux résistances-seuil (avec une diminution plus marquée pour  $-13^{\circ}\text{C}$  de résistance-seuil). Ainsi, la diminution de l'indice de stress gel moyen s'explique par la diminution de l'intensité journalière moyenne du stress gel. Par ailleurs, les résultats moyens obtenus à l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté masquent des différences infrarégionales (Figure 6B).



**Figure 6A :** Au premier plan les boîtes à moustaches représentent l'évolution de la moyenne du nombre de jours de stress gel entre les 2 périodes pour chaque résistance-seuil. L'encart au 2ème plan représente l'évolution de l'intensité journalière moyenne du stress gel.

**Figure 6B :** Carte de l'évolution (i.e. différence) de la moyenne du nombre de jours de stress gel (en haut), et de l'intensité journalière moyenne du stress gel (en bas), entre les périodes avant et après 1987/1988 (Castel et al., 2019)

## ➔ Et dans le futur, quelles pourraient être les conséquences du climat qui se réchauffe sur le risque de gel hivernal en Bourgogne-Franche-Comté ?

### • Quelle sera l'évolution des températures dans le futur en Bourgogne-Franche-Comté ?

Afin d'appréhender l'évolution future du gel hivernal, l'évolution des températures minimales et maximales journalières a été simulée sur des mailles de 8 kilomètres de résolution couvrant la région Bourgogne-Franche-Comté pour :

- Deux **trajectoires** d'évolutions possibles du réchauffement climatique principalement dépendantes de la quantité des gaz à effet de serre qui sera émise par la population mondiale : la trajectoire la plus vertueuse encore envisageable (trajectoire 4.5) et la moins vertueuse (trajectoire 8.5), trajectoire sur laquelle nous sommes actuellement engagés (GIEC, 2013).
- Trois **périodes** : la période historique de 1980 à 2005 ; le futur proche de 2006 à 2049 et le futur lointain de 2050 à 2100.

La Figure 7 montre les évolutions des températures moyennes par période et pour chaque trajectoire :

1

Dans le **futur proche**, les températures moyennes augmentent légèrement (moins d'1°C) par rapport à la période historique ; cette augmentation est semblable pour les deux trajectoires .

2

Dans le **futur lointain**, une plus forte augmentation des températures moyennes est observée pour la trajectoire 8.5 (de 3°C) tandis que pour la trajectoire 4.5 les températures moyennes augmentent de 1.5°C par rapport à la période historique.



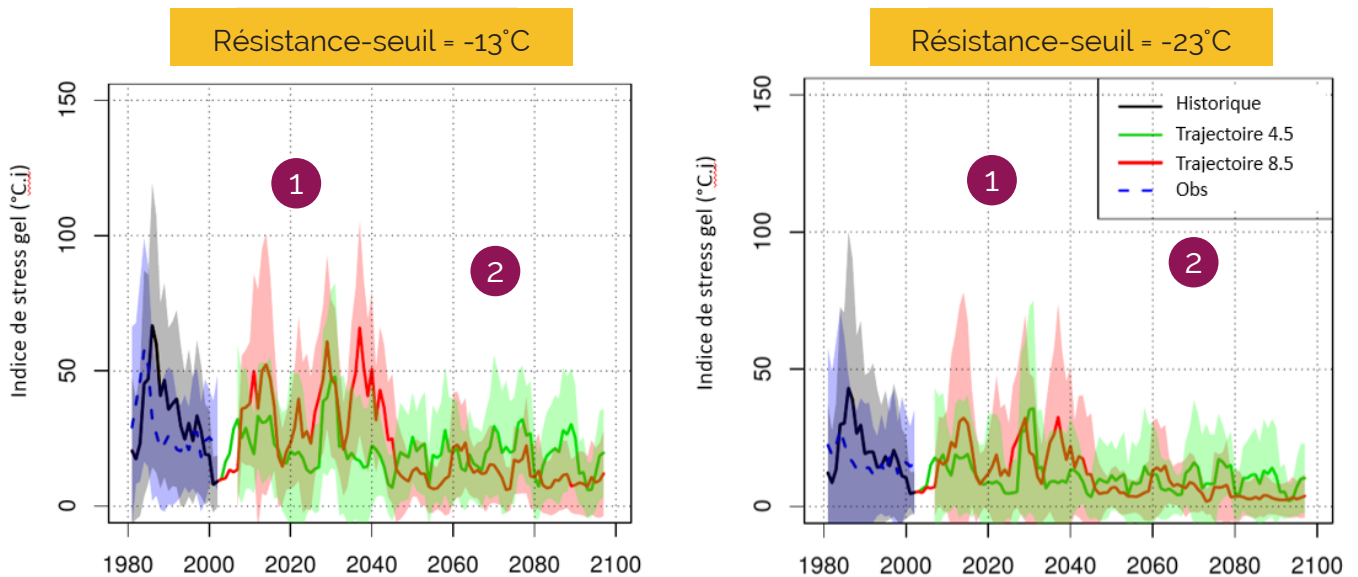
**Figure 7** : Evolution des températures moyennes de toutes les mailles Bourgogne-Franche-Comté par période (historique - ① futur proche - ② futur lointain) et pour les trajectoires 4.5 et 8.5. Le trait plein horizontal du milieu de la boîte correspond à la médiane alors que les traits horizontaux qui délimitent la boîte correspondent au 1er et au 3ème quartile. La limite basse des « moustaches » correspond au 1er percentile tandis que la limite haute correspond au 99e percentile

### • Quel sera l'impact du réchauffement climatique futur sur l'évolution du stress gel hivernal chez le pois en Bourgogne-Franche-Comté ?

A partir des données de **températures** de Bourgogne-Franche-Comté pour les trois périodes (historique, futur proche et futur lointain) selon 2 trajectoires, le stress gel hivernal chez le pois a été simulé grâce au modèle « stress gel hivernal » pour les **caractéristiques variétales** et dates de semis présentées dans le Tableau 3. **Les résultats montrent que le risque de stress gel hivernal est toujours présent dans le futur proche (jusqu'en 2050) ①** pour les deux trajectoires (Figure 8), et ce malgré l'augmentation des températures (Figure 7). Cette tendance est observée pour les deux résistances-seuil étudiées de -13°C et -23°C. Les indices de stress gel sont plus forts pour les variétés avec la résistance-seuil la plus faible, quelle que soit la durée d'acclimatation.

De plus, dans le futur proche, il est à noter également que ces valeurs d'**indices de stress gel** sont proches des indices de la période historique (Figure 8). Ainsi, avec l'augmentation des températures dans un futur proche, le phénomène d'acclimatation des cultures (acquisition de résistance au gel par exposition à des températures fraîches) va être perturbé. La culture de pois risque donc d'être plus vulnérable au stress gel.

**En revanche, dans le futur lointain ②**, le risque de stress gel hivernal devrait s'atténuer avec le réchauffement sans disparaître complètement (Figure 8).



**Figure 8** : Evolution de l'indice de stress gel hivernal moyen chez le pois en Bourgogne-Franche-Comté de 1980 à 2100 pour les 2 trajectoires (4.5 et 8.5) et pour chaque résistance-seuil. ① période de futur proche et ② période de futur lointain. La valeur moyenne obtenue correspond à la moyenne des indices de stress gel pour toutes les gammes de durées d'acclimatation, de dates de semis et pour toutes les mailles. La valeur haute de l'enveloppe autour de la moyenne correspond à l'indice de stress gel maximal tandis que la valeur basse correspond à l'indice de stress gel minimal. La courbe bleue discontinue correspond aux indices de stress gel calculés à partir de données observées réelles sur la période historique

## Quels sont les leviers à mettre en place pour s'adapter ?

Nos résultats démontrent que, malgré le réchauffement climatique en cours, le risque de dégâts sur les cultures de pois dus au stress gel hivernal est toujours présent et restera comparable à ce qu'il est aujourd'hui jusqu'en 2050 environ. La structure de ce risque a été modifiée (plus de jours de stress gel, mais des intensités généralement moindres). Paradoxalement, l'hiver 2011-2012 montre la possibilité de survenue de stress provoquant des dégâts dus au gel hivernal majeurs dans les cultures.

Pour développer le pois d'hiver, les solutions pour limiter les dégâts dus au gel hivernal sont à rechercher dans le choix et la sélection de variétés aux caractéristiques (résistance-seuil et durée d'acclimatation) adaptées à chaque situation de risque de gel. Dans les situations où le risque de gel hivernal est élevé, il faudra privilégier les variétés avec une durée d'acclimatation courte et une résistance-seuil élevée. Ces spécificités sont donc indispensables à renseigner dans les fiches variétales afin d'éclairer les choix des agriculteurs.

En plus de s'adapter au gel hivernal, d'autres défis sont à relever pour permettre l'adaptation du pois au changement climatique. Il s'agira notamment, pour permettre le développement de cette culture de diversification, de bien positionner la floraison (par le choix de la date de semis et/ou de la variété) afin d'éviter les stress de fin de cycle et le gel sur appareil reproducteur.

## Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes impliquées dans la tâche 1 du projet PSDR Prosys ainsi que Isabelle Lejeune-Hénaut (INRAE de Lille-Mons) et Valérie Dufayet (INRAE, domaine expérimental d'Époisses, 21). Nous remercions également Annick Auffray, Agnès Tamburini et Denis Thévenin des directions régionale et départementale de Météo-France pour la mise à disposition des données climatiques. Les simulations ont été effectuées en utilisant les ressources HPC de DNUM CCUB (Centre de Calcul de l'Université de Bourgogne).

Crédit photos : Valérie DUFAYET, Anthony KLEIN, Christophe LECOMTE

## Pour aller plus loin...

AGRESTE Bourgogne-Franche-Comté, (2019). Mémento de la statistique agricole, n°70. [https://draaf.bourgogne-franche-comte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Memento2019\\_cle4fd7e7.pdf](https://draaf.bourgogne-franche-comte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Memento2019_cle4fd7e7.pdf)  
 AGRESTE Bourgogne-Franche-Comté, (2020). Etudes : Campagnes grandes cultures 2018/2019, n°1. [https://draaf.bourgogne-franche-comte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/CampagneCulturale\\_VF\\_cle0bed1b-1.pdf](https://draaf.bourgogne-franche-comte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/CampagneCulturale_VF_cle0bed1b-1.pdf)  
 BIARNÉS Véronique, LECOMTE Christophe, LEJEUNE-HENAUT Isabelle, (2016). Pois d'hiver. La résistance au froid bientôt décryptée. Perspectives Agricoles, n°436, p. 32-35 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01602479/document>  
 BIARNÉS Véronique, LECOMTE Vincent, (2019). Les atouts du pois. <https://www.terresinovia.fr/-/les-atouts-du-pois-1>  
 BRULEBOIS Etienne, CASTEL Thierry, RICHARD Yves, CHATEAU-SMITH Carmela, AMIOTTE-SUCHET Philippe, (2015). Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88. Journal of Hydrology, vol. 531, p. 892-901.  
 CASTEL Thierry, LECOMTE Christophe, RICHARD Yves, LEJEUNE-HENAUT Isabelle, LARMURE Annabelle, (2017). Frost stress evolution and winter pea ideotype in the context of climate warming at a regional scale. OCL, vol. 24, no 1, p. D106. [https://www6.inrae.fr/psdr-bourgogne/content/download/3771/37279/version/1/file/2017\\_Castel%20et%20al%202017%20OCL.pdf](https://www6.inrae.fr/psdr-bourgogne/content/download/3771/37279/version/1/file/2017_Castel%20et%20al%202017%20OCL.pdf)

CASTEL Thierry, LECOMTE Christophe, RICHARD Yves, LEJEUNE-HENAUT Isabelle, LARMURE Annabelle, (2019). Evolution rétrospective du risque gélif hivernal en climat tempéré suite au réchauffement climatique. Bourgogne-Franche-Comté Nature, n° 29, p. 325-334.  
 GIEC, (2013). Résumé à l'intention des décideurs. Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), Etats-Unis d'Amérique. [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_fr.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf)  
 LAROCHE Candice, LECOMTE Christophe, UBERTOSI Marjorie, (2020). L'adaptation pédoclimatique, les impacts environnementaux positifs et la valeur économique de nouveaux systèmes de culture durables producteurs de protéines. Projet PSDR ProSys, Bourgogne-Franche-Comté. Les 4 pages résultats PSDR4.  
 LECOMTE Christophe, GIRAUD Alex, et AUBERT Véronique, (2003). Testing a predicting model for frost resistance of winter wheat under natural conditions. Agronomie, vol. 23, p. 51-66. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885970/document>  
 RICHARD Yves, PETIT Sandrine, VERGOTE Marie-Hélène, CASTEL Thierry, (2019). Le changement climatique : ou en sommes-nous ? Bourgogne-Franche-Comté Nature, n° 29, p. 149-155. [https://www.researchgate.net/publication/334534251\\_Le\\_changement\\_climatique\\_ou\\_en\\_sommes-nous](https://www.researchgate.net/publication/334534251_Le_changement_climatique_ou_en_sommes-nous)





## Scannez et découvrez la version numérique !

Pour scanner, utilisez l'appareil photo de votre smartphone ou téléchargez l'application gratuite Unitag disponible sur PlayStore et AppleStore

*Si vous ne parvenez pas à accéder au contenu, rendez-vous directement sur :*  
<https://www6.inrae.fr/psdr-bourgogne/>



### CONTACT

Annabelle LARMURE (UMR Agroécologie, AgroSup Dijon)  
[annabelle.larmure@agrosupdijon.fr](mailto:annabelle.larmure@agrosupdijon.fr)



### ANIMATION

Candice LAROCHE ([candice.laroche@inrae.fr](mailto:candice.laroche@inrae.fr))  
Marie-Claude LEMOINE ([marie-claude.lemoine@inrae.fr](mailto:marie-claude.lemoine@inrae.fr))



### CRÉATION GRAPHIQUE

Manon PEYRARD ([manon.peyrard@inrae.fr](mailto:manon.peyrard@inrae.fr))

PLUS D'INFORMATIONS SUR LE PROGRAMME PSDR ET LE PROJET  
[www.psd.fr](http://www.psd.fr)  
<http://www6.inrae.fr/psdr-bourgogne>

Pour citer ce document : PRUDHON M., CASTEL T., LECOMTE C., RICHARD Y., BIARNES V., CHANIS M., BRULEBOIS E., LARMURE A. Pourquoi le stress gel hivernal ne disparaît pas chez le pois dans un climat qui se réchauffe ? Comment s'y adapter ? (2020). Projet PSDR ProSys, Bourgogne-Franche-Comté