

Après l'hiver exceptionnel qu'on a connu, comment ne pas faire un zoom sur la résistance au froid des variétés ! La gravité des dégâts et les conditions climatiques particulières rendent cet hiver riche en enseignements. Comment expliquer ces dégâts ? Très marquants l'année où ils se produisent, les dégâts de gel hivernaux sont en fait peu fréquents (1985, 1979, 1963 et 1956 !). Donc ne condamnons pas certaines variétés sur ce seul critère de résistance au froid. Il serait dommage de se priver de la résistance aux maladies et au piétin verse de la PR22R28, de la qualité d'Aubusson... Et respectons les périodes optimales de semis, en évitant de semer trop tôt les variétés non hiver.

Hiver 2003

Une combinaison de facteurs très

Nous n'avions encore jamais connu un tel scénario. Dans certaines régions, le gel a fait beaucoup de dégâts cet hiver car beaucoup de conditions défavorables étaient réunies. Il s'agit maintenant d'en tirer les enseignements.



Un premier gel-dégel très marqué

Dans les zones les plus touchées par le gel, l'abaissement des températures a été très rapide, puisqu'en quelques heures les températures sont généralement passées de + 6 à - 3 °C (sous abri) pendant la matinée, puis le froid a progressé en fin d'après-midi pour atteindre des minimas proches de - 6 °C.

Dans quelques zones, cet

abaissement s'est opéré avec des chutes de neige, le plus souvent insuffisantes car elle ne recouvrait qu'une partie de la plante. Cette insuffisance de hauteur de neige était d'autant plus significative que les blés étaient bien développés, ce qui correspond à des parcelles semées tôt. La neige a surtout été significative dans le Bassin Parisien et dans les zones limitrophes. Plus à l'Est (Troyes), plus à l'Ouest (Chartres) et plus au Sud (Orléans), la neige est tombée plus tardivement, postérieurement à l'installation du gel.

Par ailleurs, cet événement neigeux a été particulièrement atypique dans la mesure où les chutes de neige sont le plus souvent synonymes d'un redoux.

Les jours suivants ont été marqués par un gel persistant d'environ une semaine, sans température positive, y compris le jour, avec des températures minimales se aux alentours de - 10 °C.

Par la suite, le dégel a été exceptionnellement rapide dans les régions les plus pénalisées puisqu'en 24 heures, la température est devenue positive, sans étape préalable à une température proche de 0 °C.

Cette alternance de gel-dégel a été très pénalisante

Ce qui caractérise donc ce premier épisode est d'une part un abaissement très rapide des températures (3-4 jours) puis

Philippe Gate
pgate@itcf.fr
Laurent Vignier
lvignier@itcf.fr
ARVALIS-
Institut du végétal
avec la collaboration des
équipes régionales

exceptionnelle défavorables

un dégel encore plus rapide (une seule journée).

A l'échelle de la France, on peut classer les évolutions de la température en trois grands types (figures 1, 2 et 3 correspondant à trois catégories de scénarios).

- Pour les régions les plus exposées au gel (figure 1), on note que les températures minimales sont passées de +10 °C à -10 °C (sous abri), en trois ou quatre jours. Les températures minimales sont restées proches de -12 à -14°C durant une semaine puis on a assisté à une remontée très brusque en une journée (de -10 °C à +2 °C, environ). Ce scénario concerne les départements de l'Ile-de-France, Nord Beauce et du Nord-Est (Champagne, Lorraine et Bourgogne).

- La figure 2 rassemble les départements pour lesquels l'abaissement de la température a été moins rapide avec également une intensité des gelées moins marquée.

- Enfin, la figure 3 correspond à un scénario plus clément (régions du sud de la France) : plus faibles gelées, abaissement et redoux plus lents. Cette dernière indication permet d'identifier des situations plus sensibilisées par cet excès que d'autres, comme par exemple l'Auxerrois pour le scénario 1.

Des plantes riches en eau et peu endurcies

Les pluies cumulées depuis les semis ont fréquemment été en

excès. Ceci s'est traduit par des plantes particulièrement riches en eau, donc plus exposées aux pénalités consécutives au cycle gel-dégel (entrées et sorties d'eau). En effet, le gel et le dégel occasionnent respectivement des départs et des entrées d'eau au niveau cellulaire avec des incidences d'autant plus importantes que les quantités mises en jeu sont élevées et que les membranes des cellules n'ont pas pu adapter leur structure en conséquence (par quasi-absence d'endurcissement au froid, présence de températures élevées avant l'arrivée du gel ayant par ailleurs pu « désendurcir » certaines cultures).

Parallèlement à ces pluies, les températures cumulées jusqu'à l'arrivée des gelées ont été exceptionnellement douces. Ce régime favorable à la croissance des talles s'est traduit, outre l'absence d'endurcissement au gel, par une surface foliaire déployée importante.

Les membranes cellulaires ont donc conservé pour la plupart des variétés sensibles, à faible besoins en vernalisation (variétés alternatives) ou déjà vernalisées (implantations précoces de variétés à exigences modérées), une structure sensible aux gelées, sensibilité amplifiée avec la teneur en eau des cellules, cette campagne.

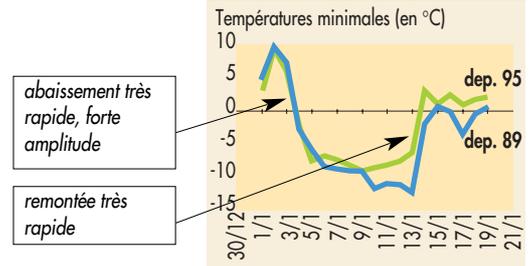
Ainsi, les semis précoces de cultures sensibles (variétés de blé tendre de type très alternatif ou *a fortiori* les types printemps comme les blés durs) constituaient les situations à

plus haut risque et effectivement les plus pénalisées.

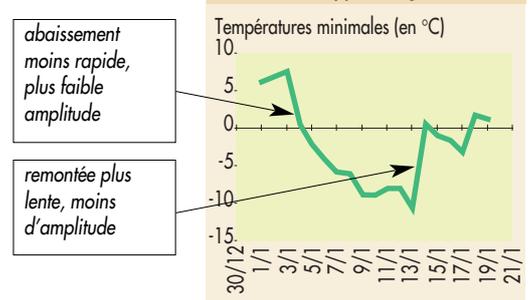
Des pénalités renforcées par des phases gel-dégel successives

Après ce premier épisode qui s'est achevé par un dégel extrêmement rapide, on a pu compter par la suite entre trois et quatre cycles de gel-dégel avec des minimas franchissant la barre de -10 °C, voire -15 °C. Même en analysant les 30 dernières années, on ne retrouve pas un scénario tel que celui que nous avons vécu en 2003. Ainsi, après le premier cycle, ↷

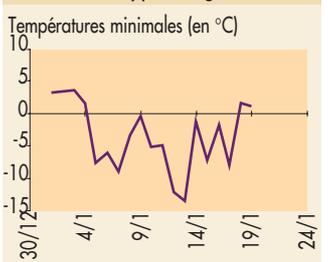
Evolution des températures minimales entre le 1^{er} et le 19 janvier 2003 en Ile-de-France. Scénario de type 1 (figure 1)



Evolution des températures minimales entre le 1^{er} et le 19 janvier 2003 en Picardie. Scénario de type 2 (figure 2)



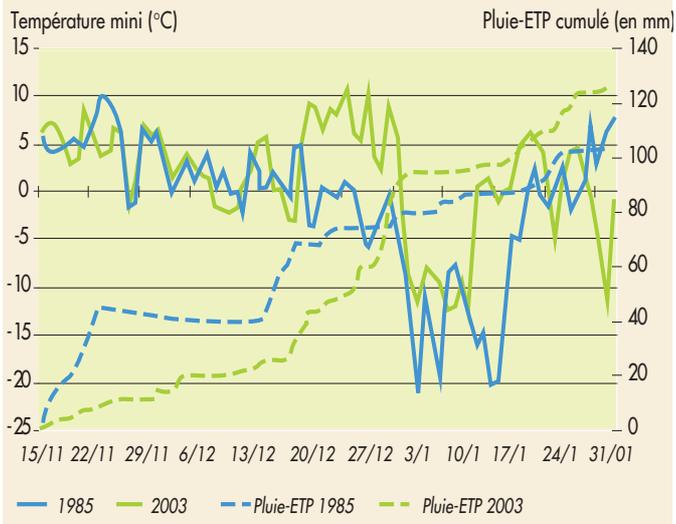
Evolution des températures minimales entre le 1^{er} et le 19 janvier 2003 en Dordogne. Scénario de type 3 (figure 3)



Symptômes sur feuilles sur variétés sensibles



Comparaison des températures minimales et des précipitations entre le 15 novembre et le 31 janvier 1985 et 2003 (figure 4)



⇨ les observations pouvaient laisser présager des pénalités relatives, avec des récupérations possibles sur un certain nombre de parcelles.

Cependant, les diagnostics parcellaires ultérieurs étaient en tendance de plus en plus pessimistes, pour un certain nombre de parcelles.

Ceci confirme que le niveau de température n'est pas le facteur déterminant absolu des pénalités occasionnées par le gel. L'endurcissement préalable et l'alternance de cycles gel-dégel (nombre de cycles et amplitudes de ces cycles) sont en plaine des facteurs prioritairement importants.

La comparaison de la campagne 2003 avec la campagne 1985 est à ce titre particulièrement intéressante.

En 1985, la température franchit allègrement la barre des -20, voire -25 °C sous abri. A cette époque, les avis des experts sur le devenir des céréales sont plus que pessimistes. Au bout du compte, les dégâts s'avèrent marginaux en regard de ceux enregistrés cette année en 2003.

Sur la figure 4, on constate qu'en 1985, l'abaissement des températures est très régulier, permettant un endurcissement probablement très efficace au

gel. Par ailleurs, les précipitations ne sont pas excessives. Le gel intervient donc sur des sols et des plantes moins riches en eau. Et surtout, le dégel est lui aussi très lent, les cultures séjournant préalablement à des niveaux proches de 0 °C, avant de passer à des niveaux de températures plus poussant. De plus, suite à ce premier cycle, il n'y aura plus d'alternance gel-dégel...

Les plantes bien développées ont en tendance le plus souffert

L'endurcissement ayant été probablement marginal ou inexistant, les dégâts observés dans le contexte 2003 selon les variétés sont liés à leur tolérance intrinsèque au froid ainsi qu'à leur stade de développement (état d'avancement) au moment du gel et du dégel. Le classement ici présenté correspond donc à un scénario pessimiste : apparition du gel sans endurcissement sur des plantes riches en eau, suivi de cycles gel-dégel, en nombre important.

Dans l'ensemble, ce sont visuellement les parcelles les plus développées qui ont présenté le plus de symptômes. En effet, les parcelles bien dé-

Rappel des effets du gel sur la physiologie des céréales

Les dégâts apparents du gel sont toujours la conséquence d'effets internes se manifestant au niveau cellulaire. Ces perturbations internes peuvent être d'ordre physique ou biochimique. Dans un cas comme dans l'autre, ces perturbations peuvent être plus ou moins réversibles selon l'intensité et la brutalité du gel.

Les dégâts du gel peuvent être issus d'effets strictement physiques. En ce cas, ce sont les entrées et surtout les sorties d'eau au travers des membranes qui sont mises en jeu. Le gel s'accompagne également d'effets biochimiques dont certains d'entre eux permettent la mise en place de mécanismes adaptatifs.

Les membranes cellulaires ont leurs limites...

Le site d'action primaire du gel est localisé dans les membranes cellulaires. En premier lieu, le processus de tolérance au gel repose sur l'installation de mécanismes permettant de conserver la structure initiale des membranes. Au cours des phases de gel et de dégel, les membranes doivent assurer leur fonction essentielle de barrière de perméabilité et de maintien des différents compartiments, pour maintenir la vie de la cellule.

Au cours du gel, l'eau quitte d'abord les cellules puis les premiers cristaux de glace se forment entre les parois des cellules et les membranes se rétractent, engendrant une diminution des volumes cellulaires. En règle générale, la cellule résiste à cette sortie d'eau et à la formation de glace sauf si le choc hydrique est très violent. La violence de ce choc dépend de la vitesse d'abaissement de la température, des quantités d'eau présentes dans les tissus ainsi que du niveau d'endurcissement de la plante. Les dégâts réels sont surtout occasionnés lors du dégel car la cellule est le plus souvent incapable de retrouver rapidement son volume initial, et ce d'autant plus que le dégel est rapide et mettant en jeu des masses d'eau importantes. Ainsi, l'expansion de la membrane s'accompagne le plus souvent de déchirures qui provoquent des dérèglements irréversibles au niveau du fonctionnement des cellules et des tissus. Ces graves perturbations se traduisent à leur tour par des nécroses d'organes (souvent les feuilles et les gaines de feuille, car exposées au froid et riches en eau) puis la mort de ces organes ou de la plante entière. La mort étant induite par des départs d'eau, les symptômes liés au froid s'apparentent le plus souvent aux effets de la sécheresse.

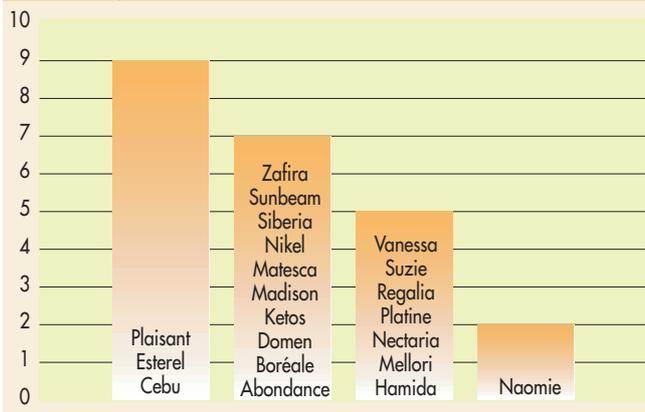
...Mais l'endurcissement renforce leur potentiel

Suite à l'endurcissement, des possibilités d'adaptation d'ordre physiologique peuvent se mettre en place. La composition des membranes peut être modifiée lors de l'endurcissement, avec en conséquence la possibilité pour la plante de conserver à basses températures une structure fonctionnelle de ses membranes (structure « fluide » fonctionnant en opposition à une structure « rigide » plus sensible). Cette modification résulte en premier lieu de la richesse des membranes en lipides insaturés, synthétisés lors de l'endurcissement au gel.

Parallèlement à cette action sur les biomembranes, l'endurcissement se manifeste aussi par la synthèse de nouvelles protéines ou de substances cryoprotectrices, (sucres solubles, certains acides aminés dont la proline). Le rôle de ces agents est avant tout de diminuer le niveau de température en dessous duquel l'eau se transforme en glace dans les tissus. La proline a un rôle particulier dans le sens où elle possède d'importantes propriétés de protection des protéines, en maintenant un niveau d'hydratation compatible avec le déroulement de leur fonction.

Esterel se montre la variété d'orge la plus sensible au froid.

Classement relatif des variétés d'orges face au gel dans le contexte 2003 (regroupements d'essais ARVALIS, note de 0 = indemne à 9 = 100 % détruite) (figure 5)



semées tôt sont des variétés précoces, à faibles besoins en vernalisation.

Concernant les orges, ils ont eu en fréquence les symptômes les plus marqués, surtout Esterel car elle est largement cultivée et s'avère la plus sensible au gel. La figure 5 classe les variétés d'orges d'hiver, selon le pourcentage de surface nécrosée : de 9 = 100 % à 1 = 0 %.

Concernant les blés tendres, à l'exception des variétés connues pour leur extrême sensibilité (Courtôt, Galibier, Arche..), on peut mentionner

veloppées, semées tôt, correspondent à des cultures dont les plantes ne sont plus en état de vernalisation (donc plus sensibles au gel), avec une surface sensible (feuilles) déployée plus importante. Ceci est d'autant plus vrai, que les variétés

également de forts dégâts sur les variétés Aubusson, Limes, Aztec, Tapidor mais aussi PR22r28, Claire et Orvantis.

Les enseignements à tirer

Les observations et l'analyse climatique du contexte 2003 confirment que l'intensité du gel n'est pas le facteur absolu qui perturbe la plante.

En plaine, les modalités de températures préalables au gel (possibilité ou non d'endurcissement, désendurcissement par un épisode de températures élevées avant l'arrivée du gel) exercent un rôle sur la fixation du niveau de tolérance, en dessous duquel les cellules peuvent être perturbées par le froid.

En outre, l'analyse de cette campagne confirme le rôle majeur exercé par le dégel et par les épisodes d'alternance gel-dégel, en terme de nombre de cycles et d'amplitude ther-

mique par cycle. En complément, face à un tel scénario, il ne faut pas négliger, le facteur humidité qui aggrave les effets des entrées et des sorties d'eau dans les tissus.

Ce constat pêche en la faveur de mesures complémentaires pour bien classer les variétés, notamment dans de tels contextes, qui risquent d'être, - compte tenu du changement climatique-, probablement de moins en moins rares.

L'enrichissement des informations données lors de l'inscription des variétés pourrait être effectué par des tests en conditions contrôlées, mettant en jeu des cycles successifs gel-dégel. De tels tests sont en effet pratiqués dans d'autres pays, où ce type de risque est bien plus fréquent, comme par exemple le Canada. Les tests consistent à observer combien de cycles une variété est capable de subir sans conséquence ultérieure sur sa croissance. ■

Aubusson et Courtot ont été les plus touchées par les vagues de froid.

Résistance des variétés au froid (figure 6)

les plus résistantes

HYBRED	MITCHEL	MERCURY	
CHARGER	MARCHEVAL		
PERCEVAL			
CAPHORN	LANCELOT		
VIVANT	NIRVANA		
VERGAIN	PR22R18	PR22R20	FORBAN
SCORPION 25	PARADOR	CALISTO	LEVAINDOR
ISIDOR	ROYSSAC	ORATORIO	
SHANGO	VOLTIGE		
APACHE	EVEIL	TREMIE	
RASPAIL			
ASTRAKAN	ISENGRAIN	PR22R35	
AURELE			
SEQUOIA	ALLUSTER		
ORVANTIS			
EQUILIBRE	SOISSONS	CEZANNE	
PYTAGOR	AUTAN		
SEMAFOR	AMERIGO		
BASTIDE			
TAPIDOR	OCCITAN	CATALAN	
LIMES	PR22R28	AZTEC	
ANDALOU			
AUBUSSON			
COURTOT			

en vert les variétés présentes dans tous les lieux
en italique peu de lieux
Sources = 11 essais d'ARVALIS

les plus touchées par les froids de 2003