

Face au gel

Quels sont les facteurs de résistance au froid ?

Pour expliquer un tel phénomène...

Au cours de l'hiver passé, de nombreuses parcelles de blé tendre ont été sérieusement endommagées par le gel hivernal, par exemple dans le sud du Bassin parisien ou en Champagne, après les périodes de froid de janvier et février, où les températures ont été inférieures à -10 ou -12° sous abri (-13° à Dijon le 13 janvier). Ces valeurs ne sont pas particulièrement basses, mais les dégâts sont parfois allés jusqu'à la destruction quasiment complète des parcelles, même sur des variétés dont la résistance est considérée comme bonne (présentant par exemple une note officielle de résistance de l'ordre de 7 sur l'échelle de 1 à 9 utilisée par le GEVES). Ces constats sont surprenants au premier abord, mais ils

**Ch. Lecomte,
A. Giraud, V. Aubert
INRA**

Cet hiver, même les variétés classées "résistantes au froid" ont subi des dégâts. Beaucoup de variétés n'ont pas pu s'endurcir suffisamment pour résister aux périodes gélives de cet hiver.

Les chercheurs de l'INRA nous donnent leur avis sur ce phénomène.

peuvent être expliqués par les conditions hivernales particulières de cet hiver 2002-2003, qui nécessitent de prendre en compte d'autres caractéristiques variétales que la seule note officielle de résistance au froid. La résistance acquise était nettement inférieure à la résistance maximale, et les caractéristiques de vitesse d'endurcissement et d'aptitude à maintenir durablement une résistance au froid élevée ont joué un rôle important cet hiver. Malheureusement, ces caractéristiques ne sont pas faciles à évaluer.

La variété n'est pas le seul facteur de résistance au froid...

Le stade de la plante

A à des stades très jeunes (coléoptile, apparition de la première feuille), le seuil de résistance ne dépasse pas -12°C dans le meilleur des cas, quelle que soit la variété. A partir d'une feuille et demie, la résistance peut être élevée si les conditions d'adaptation (d'endurcissement) ont été remplies, mais elle dépend de la variété, et

les possibilités de rattrapage en cas de dégâts sont limitées car le tallage n'est pas commencé. A partir du début du tallage (stades 3 à 4 feuilles), la résistance peut être très élevée si les conditions d'adaptation ont été remplies. Mais elle dépend fortement de la variété, certaines d'entre elles commençant déjà à perdre leurs facultés d'endurcissement au froid.

Les conditions d'endurcissement

Quand les plantes ne sont pas endurcies, on considère que le seuil de température minimale à partir duquel des dégâts peuvent apparaître est de -6°, sans différences variétales notables. L'endurcissement est donc essentiel pour que la résistance au froid s'exprime. Il n'est possible qu'après une période de croissance suffisante qui permet à la plante d'accumuler des réserves (ce qui en pratique est quasiment toujours réalisé). Il faut que les températures auxquelles les plantes sont soumises soient suffisamment basses, la résistance acquise étant d'autant

Echelle de sensibilité au froid du GEVES et variétés témoins. Les seuils de sensibilité indiqués correspondent aux températures d'apparition des premières nécroses foliaires. Ils ont été établis à la station d'altitude de Chaux-des-Prés (Jura), en conditions optimales d'endurcissement (tableau 1)

Témoin officiel	REX	MAG	CHA	CPL	CPI	MOI	ARM	COM	CHE
Note Geves	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Seuil de résistance maximale	-12	-14	-15	-18	-21	-24	-26	-28	-32

Légende : ARM = Arminda ; CPL = Cappelle ; CHA = Champlain ; CHE = Cheyenne ; COM = Comtal ; CPI = Capitole ; MAG = Magali ; MOI = Moisson ; REX = Rex ;

plus importante que cette température est faible. On considère ainsi qu'en dessous d'une température moyenne journalière de 15°C, l'endurcissement commence, mais qu'il ne peut être poussé jusqu'à son maximum (acquisition de la résistance maximale) qu'en dessous de 0°C. Entre les deux, la résistance qui peut être atteinte est d'autant plus importante que la température s'abaisse vers 0°C. De plus, il faut en moyenne quatre semaines pour qu'une plante de blé atteigne la résistance permise par la température moyenne extérieure à laquelle elle est exposée, mais ce délai fluctue entre trois et cinq semaines selon la variété.

La durée de la période de froid susceptible d'entraîner des dégâts

Quand les températures auxquelles les plantes sont exposées sont faiblement négatives, la résistance au froid peut se maintenir durablement à des valeurs très élevées, mais quand les froids sont intenses, proches du seuil de résistance des plantes, celles-ci ne sont pas capables de maintenir très longtemps cette résistance. La durée des coups de froid est donc un facteur d'apparition des dégâts, mais là encore, cela dépend de la variété.

La succession de périodes de gel et de dégel

Les périodes de gel entraînent l'endurcissement au froid. Les

périodes de dégel entraînent le désendurcissement. Celui-ci est d'autant plus important et rapide que les températures auxquelles les plantes sont exposées sont élevées. Si le désendurcissement est important, certaines variétés ne sont plus capables de réendurcir ensuite d'une façon aussi poussée qu'initialement. La succession de périodes de gel et de dégel s'accompagne donc d'une diminution progressive, plus ou moins marquée selon les variétés, de l'aptitude à exprimer un haut degré de résistance au froid.

La couverture neigeuse et les autres facteurs

Elle exerce un effet protecteur très important, sensible même pour des épaisseurs très faibles (inférieures à 5 cm). C'est quand il n'y a pas de couverture neigeuse que les dégâts peuvent être les plus importants.

D'autres facteurs comme l'humidité et la texture du sol, les parasites, la fertilisation, jouent un rôle dans l'aggravation ou la limitation des dégâts de froid. Certains peuvent agir fortement dans des conditions particulières (par exemple : effet de déchaussement des plantes à cause du gel, dans les sols à forte composante argileuse). Mais ces rôles sont en général plutôt secondaires, ils peuvent aussi être contradictoires (par exemple, l'humidité du sol a un effet protecteur au début de la vague de froid,

↳ mais un sol humide gelé aggrave les dégâts sur les plantes).

... mais c'est le plus important

Dans la plupart des points évoqués ci-dessus on constate que la variété joue un rôle très important, rôle qui va donc bien au delà de la seule résistance maximale au froid qui sert habituellement à caractériser le comportement des variétés vis-à-vis de cette agression climatique.

La résistance maximale

Le premier effet variétal est donc la résistance maximale au froid que la variété peut exprimer. C'est l'effet le plus important. Chez le blé tendre, on a pu estimer les seuils de résistance maximale au froid à -12°C pour les variétés les moins résistantes, -32°C et même moins, pour les variétés les plus résistantes. On a pu établir que la gamme de variation des notes de résistance au froid du GEVES correspond assez bien aux seuils de -12°C pour la note de 1 et de -28°C pour la note de 9 (tableau 1). Mais comme nous l'avons rappelé ci-dessus, cette résistance maximale ne peut s'exprimer que si le stade de développement de la plante est suffisant, et si les conditions d'endurcissement ont été remplies.

La vitesse d'endurcissement

Comme indiqué ci-dessus, les variétés diffèrent ensuite pour leur vitesse d'endurcissement. La durée nécessaire pour atteindre la résistance maximale varie ainsi entre trois et cinq semaines. Ces différences ont des conséquences importantes pour des coups de froid précoces qui surviennent à l'issue de périodes d'endurcissement courtes : les variétés qui endurent vite peuvent exprimer leur résis-

Notes de résistances attribuées au cours de trois hivers (tableau 2)

Variété	Note 2000	Note 2002	Note 2003
Agami	7,5	8	8
Balance	7	7	7
Calisto	6,5	6	7,5
Caphorn	6,5	7	6,5
Forban		7	8,5
Frelon		4,5	6,5
Grisby	7	6,5	6,5
Hamac	6,5	4	<= 4,5
Nectar	4,5	6	6,5
Nirvana	7	7,5	6
Occitan	7	7,5	6,5
Orvanis	5	4	<= 4,5
Parador	6,5	8	7
PR22R28	5	5	<= 4,5
Raspail	7,5	7	<= 4,5
Semafor	4,5	6	6,5
Sequoia	7,5	7	<= 4,5
Vercors	8	8,5	9
Allister		8	6,5
Astrakan		8,5	6,5
Aurèle		7,5	<= 4,5
Equilibre		4	<= 4,5
Eveil		6	<= 4,5
Limes		3,5	<= 4,5
Charger	7	7,5	7
Isengrain	3,5	5	<= 4,5
Apache		7	5
Soissons	3,5	5,5	6

tance maximale, celles qui endurent lentement n'ont acquis dans certains cas que la moitié de leur résistance maximale. L'effet de la vitesse d'endurcissement intervient aussi pour des coups de froid plus tardifs qui surviennent après des périodes de redoux ayant entraîné un désendurcissement. Dans ce cas la distinction des variétés repose sur les différences de vitesses d'endurcissement, mais aussi sur leur aptitude à garder leur résistance et sur leur aptitude à réendurcir.

L'aptitude à garder la résistance

Il est difficile dans la réalité de distinguer l'aptitude des variétés à garder durablement une résistance élevée et l'aptitude à réendurcir après désendurcissement, mais ces deux caractéristiques peuvent entraîner des différences de comportement très impor-

tantes entre deux variétés de résistance maximale équivalente, en particulier à la fin de l'hiver. Ainsi, parmi les variétés témoins utilisées pour effectuer les notations de résistance au froid, la variété Arminda (variété de type très hiver, qui a une note de résistance maximale de 8 (tableau 1) montre des valeurs de résistance nettement plus faibles, proches ou même inférieures à celles du témoin

Capitole (qui a une note de 6), quand les coups de froid se produisent tardivement, après des périodes de redoux en cours d'hiver.

A quoi correspond la note officielle attribuée par le GEVES ?

La note officielle de résistance au froid est attribuée à la station INRA de Chaux-des-Prés (Jura) située dans une région très exposée au froid hivernal, ce qui permet d'observer des dégâts importants presque chaque hiver. Le principe des notations est de classer les variétés évaluées par rapport à la gamme-témoin de neuf variétés dont la résistance est bien connue et correspond à une note de l'échelle officielle (tableau 1). Ces variétés témoins sont décrites après chaque coup de froid par le pourcentage de surface foliaire détruite, et en fin d'hiver par leur pourcentage de survie (en comparant le nombre de plantes survivantes avec le nombre de plantes levées). Pour les autres génotypes, les dégâts foliaires sont notés après chaque coup de froid par rapport à la gamme des témoins, et le pourcentage de survie est déterminé de la même façon que pour les témoins. La note finale est attribuée par correspondance avec les témoins les plus proches, en considérant d'abord le pourcentage de survie, puis





⇨ l'importance des dégâts foliaires. Dans les cas où il n'y a pas de mortalité de plantes (variétés très résistantes ou hiver peu rigoureux), seuls les dégâts foliaires sont pris en compte.

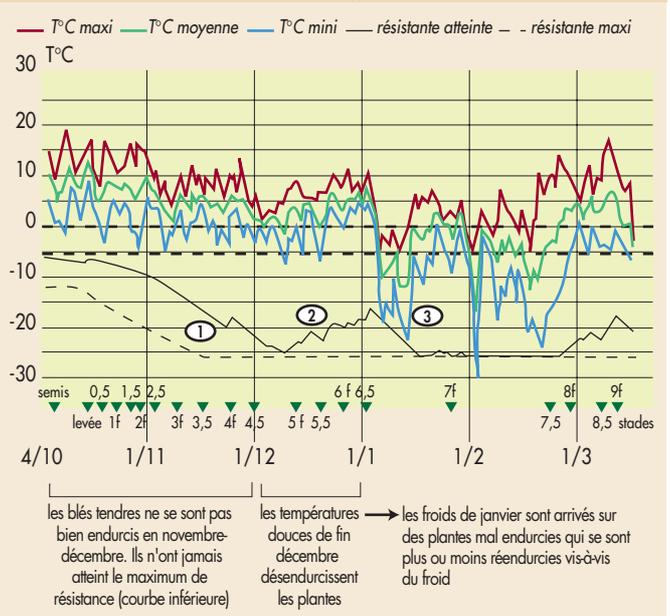
Même si les témoins ont été choisis en partie pour leur stabilité de comportement, on constate que les classements observés peuvent fluctuer selon les années, et selon le mode d'apparition du froid. Cette fluctuation des classements est encore plus apparente quand on considère l'ensemble des variétés observées lors d'une campagne d'évaluation, certaines d'entre elles s'avérant particulièrement instables. Le tableau 2 illustre ces différences, pour une grande partie des variétés dernièrement inscrites.

L'année 2000 a été caractérisée à Chaux-des-Prés par un coup de froid précoce (au mois de novembre), ayant entraîné des dégâts jusqu'à la variété Comtal (note de 9 dans l'échelle officielle), qui présentait des nécroses sur les pointes de feuilles. Les variétés dont l'appréciation est supérieure à la moyenne de leurs propres notes sur plusieurs années sont donc des variétés qui endurent rapidement. À l'inverse, celles qui endurent lentement ont été pénalisées cette année, et leur note est inférieure à la moyenne observée sur plusieurs années.

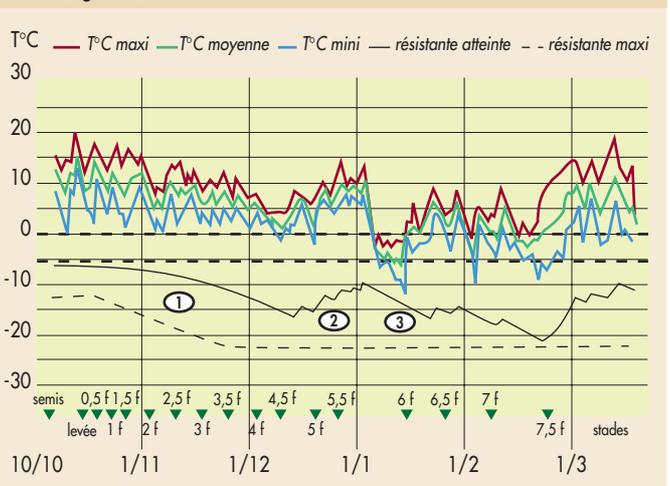
En 2001, il n'y a pas eu de dégâts de froid suffisamment importants pour réaliser des observations discriminantes. En 2002, les conditions d'endurcissement ont été normales, le froid est apparu fin décembre et a été intense (-28°C le 24/12). Les dégâts ont atteint le témoin Comtal (avec 10 % environ de la surface des feuilles nécrosées). Cette année peut être considérée comme une année de référence pour estimer la résistance maximale au froid des variétés.

L'évolution des températures au cours de l'hiver 2002-2003 est présentée sur la figure 1 pour le Jura et sur la figure 2 pour la plaine dijonnaise. Cette année se caractérise par une longue période sans coup de froid intense, qui a permis un endurcissement progressif mais incomplet jusqu'au début du mois de décembre, suivie d'une période de redoux important qui a culminé début janvier. Ici près de la moitié de la résistance initialement acquise a été perdue (la résistance calculée par la modélisation est présentée sur les figures 1 et 2), et les plantes avaient repris une croissance assez active. Une période de froid intense est apparue ensuite très rapidement, du 5 au 17 janvier, puis une seconde plus longue et plus rigoureuse du 31 janvier au 25 février (mini enregistré sous abri à Chaux-des-

Evolution des températures et de la résistance au froid calculée pour une variété dont la note de résistance est de 8 (ex. Arminda) à Chaux-des-Prés, au cours de l'hiver 2002-2003 (figure 1)



Evolution des températures et de la résistance au froid calculée pour une variété dont la note de résistance est de 6 et dont la durée d'endurcissement est de 5 semaines, à Dijon au cours de l'hiver 2002-2003 (figure 2)



Prés: -31,1°C le 1/02). Dans cette configuration ont été touchées à la fois les variétés qui n'ont pas de bonnes capacités à réendurcir après une période de redoux, celles qui n'endurcissent pas rapidement, et compte-tenu de la durée de la vague de froid, celles qui ne peuvent pas maintenir durablement une résistance au froid élevée.

L'attribution de la note officielle de résistance au froid s'appuie sur les résultats des deux années d'évaluation que du-

rent les épreuves de VAT. On peut considérer que la majorité des hivers à Chaux-des-Prés permet de révéler la résistance maximale au froid des variétés, car les coups de froid occasionnant des dégâts se produisent le plus souvent après une période prolongée d'abaissement des températures, permettant un endurcissement poussé. La note officielle décrit donc plutôt la résistance maximale des plantes du fait que la majorité des hivers permet de révéler cette caractéristique, ⇨

↳ mais elle intègre aussi les fluctuations dues à des années atypiques. Selon les années au cours desquelles les variétés sont évaluées pour leur inscription, la note officielle peut donc davantage refléter une moyenne de comportements, et il a déjà été nécessaire de corriger la note, quand l'estimation initiale s'est avérée biaisée.

Vitesse d'endurcissement et aptitude à maintenir la résistance des variétés récemment inscrites

Il serait idéal de pouvoir juger séparément la résistance maximale en se basant sur les hivers qui permettent un endurcissement complet, la vitesse d'endurcissement lors de coups de froids précoces (comme au cours de l'hiver 1999-2000) par l'observation des différences entre les notes obtenues et celles qui correspondent à la résistance maximale, l'aptitude à réendurcir et l'aptitude à maintenir de façon durable une résistance élevée au cours d'hivers du type de 2002-2003. Mais en absence de tests systématiques (en conditions contrôlées), il est difficile de chiffrer rigoureusement ces indications. Elles ne peuvent être recueillies que fortuitement, en tirant parti d'hivers dont les caractéristiques sont assez différentes. Nous avons eu la chance d'avoir des années très différentes depuis la campagne 1999-2000, qui nous ont permis de porter un jugement sur la vitesse d'endurcissement et sur l'aptitude à maintenir une résistance élevée tout au long de l'hiver pour les variétés récemment inscrites. Ces caractéristiques peuvent être regroupées selon trois classes comme présenté dans le tableau 3.

Vitesse d'endurcissement et aptitude à garder un haut niveau de résistance au froid de quelques variétés actuelles de blé tendre (tableau 3)

Vitesse d'endurcissement		Lente		Moyenne			Rapide		Indéterminée	
Aptitude à garder la résistance	Faible	Cardos Isengrain Parador	Trend Vivant	Ami Apache Gascogne	Macro Nirvana Occitan	Raspail Sequoia Swing	PR22R35 Qualital	Arminda	Allister Astrakan Eveil Exalto	Grévin Intense Levaindor XXL
	Moyenne	Aligre Apollo Audace Folio Nectar	Orqual Semafor Soissons Sponsor	Agami Balance Boston Brando Caphorn Capnor	Charger Chianti Colbert Forby Grisby	Market Oracle Oratorio Toréador Vulcain	Biscay Mitchel Orvantis	Stainton Cappelle Magali	Lancelot PR22R18	PR22R20 Voltige
	Elevée	Bastille Génial	Rossini Moisson	Altria Calisto Ormil	Shango Somme Swindy	Tilbury Tribor Vercors	Balthazar Paindor	Rumba Virtuose	Forban Frelon	Marcheval
	Indéterm.			PR22R28			Hamac			

Conclusions sur l'hiver 2002-2003

Les dégâts de froid importants observés au cours de l'hiver 2002-03 s'expliquent d'abord par le manque d'endurcissement des plantes au moment de l'arrivée du froid. A Chaux-des-Prés, les dégâts de froid ont touché toutes les variétés, même les plus résistantes, avec des nécroses sur les feuilles plus jeunes (feuilles centrales), ce qui témoigne de plantes en croissance, donc non correctement endurcies. Dans de telles situations, nous avons vu que la résistance des plantes peut être assez éloignée de la résistance maximale reflétée par la note officielle.

A titre d'exemple, la figure 2 montre l'évolution des températures et de la résistance au froid d'une variété dont la note de résistance est de 6 et qui enduret en cinq semaines, dans le milieu naturel de Dijon, pour un semis du 10 octobre. On constate qu'à la date du coup de froid (-12,9°C sous abri le 13 janvier, sans couverture de neige), la résistance acquise est à peine la moitié de la résistance maximale de la variété (estimée ici à -22°C) et que la température minimale enregistrée a atteint le seuil de résistance. Si de plus cette variété a du mal à réendurcir après le redoux important de la fin du mois de décembre, il n'est pas éton-

nant qu'elle ait subi des dégâts supérieurs à ce que laisserait prévoir sa note officielle de résistance. A Dijon, les variétés dont le niveau de résistance est de 4,5 ont été détruites en moyenne à 50 %, celles qui sont de niveau 3 et en-dessous ont été totalement détruites. Le Centre-Est présente un climat de type semi-continental, relativement favorable en général à une bonne adaptation au froid. Dans les régions où les conditions sont moins favorables à l'endurcissement, des dégâts marqués sur des variétés plus résistantes encore étaient inévitables, même éventuellement avec des températures minimales moins rigoureuses. ■

