

L'unité de physiologie végétale de l'université de Liège (Belgique) dispose de 12 enceintes en conditions contrôlées, les phytotrons, pour étudier la croissance des plantes.

Pourquoi le maïs doit-il résister au froid ?

► Pour réduire l'impact des stress hydriques de l'été sur la production des maïs, la stratégie d'évitement consiste à semer plus tôt, au risque que les plantes souffrent non plus du chaud en fin de cycle, mais du froid en début de cycle. D'où l'importance de bien comprendre leurs mécanismes de résistance au froid.

Par Yanne Boloh

Le changement climatique ne s'accompagne pas uniquement d'un réchauffement global mais aussi d'une augmentation des événements climatiques extrêmes. Fort de ce constat, la production agricole met en place des stratégies pour contourner au mieux leurs impacts. C'est le cas avec le maïs, semé plus tôt pour éviter l'impact des trop forts stress estivaux. A contrario, les plantes doivent savoir résister, jeunes, à d'éventuels coups de froid alors qu'il semblait initialement logique de les sélectionner sur leur résistance à la chaleur...

Pour aider les sélectionneurs à proposer des variétés adaptées à cette stratégie dite d'esquive, les chercheurs de l'Université de Liège, en collaboration avec Arvalis et l'Inra, ont travaillé sur la manière dont les maïs réagissent au froid printanier. Si les travaux de recherche sont évidemment toujours très en amont d'une offre commerciale finale, ils permettent déjà de donner aux agriculteurs des clés dans l'observation de leurs parcelles. Ainsi, un maïs qui rougit pendant une période de froid printanier ne perdra pas forcément en rendement.

Le froid influence les processus cellulaires

La croissance de la feuille de maïs démarre à la base, dans une zone où les divisions cellulaires sont très nombreuses. Puis, dans la zone suivante, ce sont les élongations cellulaires qui prédominent. Enfin, à la sortie du cornet, la zone de maturation photosynthétique précède la zone mature qui s'étale jusqu'à la pointe de la feuille. Le froid modifie les processus en place dans chacune de ces zones : la division et l'élongation cellulaires sont stoppées mais les gènes impliqués restent actifs ce qui suggère une mise en veille des tissus cellulaires dans l'attente d'une reprise rapide après le stress thermique.

Le maïs est-il semé de plus en plus tôt ?

OUI Depuis les années soixante-dix, les dates de semis de maïs ont été, en France, avancées d'une vingtaine de jours grâce à l'augmentation des sommes de températures.

Cet avancement est également volontaire : semés plus tôt, les maïs sont moins soumis aux plus forts stress estivaux ce qui constitue une stratégie dite d'esquive. Cependant il augmente l'exposition au froid des jeunes plantes. C'est pourquoi les sélectionneurs et toute la chaîne de R&D s'intéressent de plus en plus à la tolérance des variétés de maïs, non plus seulement au chaud en milieu ou fin de cycle, mais aussi au froid en début de cycle.

Les mécanismes de la tolérance au froid sont-ils bien connus ?

OUI et **NON** ... On connaît beaucoup de choses sur les effets du froid sur la photosynthèse mais pas sur les mécanismes de la croissance des plantes, d'où l'intérêt de projets de recherche. Le programme Thermomaïs, conduit en partenariat entre

Arvalis, l'Université de Liège (thèse de Laëtitia Riva-Roveda) et l'Inra d'Estrées-Mons, s'est intéressé au froid d'intensité modérée et de durée assez courte que les cultures subissent parfois au printemps. Les hybrides de maïs étudiés, issus de lignées aux comportements différenciés, ont été soumis pendant une semaine à des températures de 10°C le jour et 4°C la nuit au stade « 6 feuilles visibles ». Ils ont ensuite été suivis jusqu'au stade 12 feuilles et comparés avec des maïs poussant dans d'autres conditions (témoins). La période a été choisie pour éviter d'une part les stades très précoces où la qualité de la semence est déterminante, et d'autre part la transition florale.

Le maïs qui arrête de pousser ne repart-il plus ?

NON Au contraire, la croissance des feuilles subit un arrêt presque instantané même si cet arrêt est plus ou moins marqué selon les variétés. La reprise de la croissance est également très rapide après le stress. Il semble même qu'une plante qui a totalement stoppé sa

croissance reparte mieux ensuite. Cela pourrait être dû au fait que les gènes activés normalement lors de la division cellulaire, et donc la croissance de la plante, restent actifs. La plante stocke également un maximum de sucre dans les feuilles matures au début du froid. Concrètement, après un stress au froid, les feuilles sont moins longues mais plus denses. La plante produit également toujours les protéines impliquées dans l'élongation. Les tissus se mettent en veille mais se préparent à la reprise. Ce qui donne à penser que nous prenions jusqu'à présent probablement le problème à l'envers : les plantes les plus performantes pour résister à ces périodes de froid seraient peut-être celles qui s'arrêtent de croître !

La plante signale-t-elle visuellement le stress ?

OUI Le rougissement des feuilles est ainsi un système de protection efficace contre le stress lumineux associé au froid. La photosynthèse se produit toujours mais à un niveau moindre. Au niveau pigmentaire, la baisse de la quantité de chlorophylle est visible à l'œil nu

dans les champs car la chlorose s'installe. Si le froid s'accompagne d'une forte luminosité, les feuilles se mettent à rougir car les pigments protecteurs tels que les anthocyanes s'y accumulent.

Le jeune maïs est-il plutôt bien armé contre le froid ?

OUI Thermomaïs a permis de constater que la tolérance des maïs au froid est supérieure à ce que l'on imaginait. Il existe donc une réelle marge de manœuvre malgré les froids printaniers. Lorsque certains hybrides cessent totalement leur croissance pendant un froid modéré comme celui appliqué dans le projet, ils repartent de plus belle une fois le froid levé. Cependant, si le froid s'installe durablement, les maïs les plus productifs sont ceux qui conservent une croissance modérée durant le stress. Dans tous les cas, les sélectionneurs peuvent intégrer ces nouveaux paramètres pour passer en revue leurs variétés et proposer celles qui sont les mieux adaptées à des semis précoces. L'intérêt de ces recherches est de poser la question de la tolérance d'une autre manière, en creusant les mécanismes mis en œuvre.

Point de vue

Claire Périlleux
«La physiologie végétale s'intéresse aux mécanismes en œuvre dans les plantes et leurs cellules.»

> Quelles sont vos activités en matière végétale au sein de l'Université de Liège ?

Dans notre unité de recherche InBioS – PhytoSYSTEMS (Integrative Biological Sciences), nous sommes une soixantaine de chercheurs, répartis en plusieurs laboratoires, à travailler sur les végétaux. En physiologie végétale nous sommes par exemple une dizaine, auxquels s'ajoutent les groupes en génomique fonctionnelle des plantes et en biotechnologies végétales. C'est ici, en 1995, que j'ai soutenu ma thèse sur les mécanismes moléculaires de l'induction florale. A l'époque nous étudions des modèles physiologiques comme le Lolium (ray-grass). Celui-ci constitue un bon modèle d'étude pour le blé car il s'agit d'une plante diploïde, c'est à dire que chacune de ses cellules à deux exemplaires de chaque chromosome. Son génome est donc plus aisé à analyser que le blé qui lui est hexaploïde, c'est à dire que chacune de ses cellules possède six exemplaires de ses chromosomes. La complexité et la taille du génome des plantes cultivées rendent d'ailleurs souvent difficile son analyse. De plus, au fur et à mesure du temps, l'Homme a éliminé beaucoup de contraintes pour que l'induction de la floraison ne soit plus dépendante des conditions de l'environnement. C'est pourquoi nous utilisons des plantes modèles, plus faciles à maîtriser. A la fin des années 90, avec la montée des outils de séquençage, l'Arabidopsis (ou arabette) a pris une place croissante dans les recherches en génétique. Cette plante possède un petit génome, est facile à cultiver et se développe rapidement tout en n'ayant pas d'intérêt économique ce qui évite les conflits d'intérêt en matière de recherche. Mais actuellement, de plus en plus d'agences de recherche veulent revenir en arrière et soutiennent des projets sur des plantes à intérêt économique.

> Mais les recherches en physiologie végétale sont tout à fait différentes des recherches en génomique ?

Effectivement, nous sommes complémentaires et c'est d'autant plus flagrant aujourd'hui avec les outils de séquençage à haut débit qui permettent des études génomiques sur de grandes populations de plantes alors que nous travaillons en laboratoire à décortiquer les processus dans des conditions parfaitement contrôlées. Evidemment, il n'est ensuite pas toujours aisé de faire la transition entre ces deux échelles, du laboratoire et du plein champ. La génomique cherche à identifier les



Claire Périlleux,
directrice du
laboratoire de
physiologie
végétale, Université
de Liège (Belgique)

Les plantes qui cessent totalement de croître pendant une période de froid (plante de droite – les deux plantes ont le même âge) seraient les plus résistantes.

plantes qui expriment tel ou tel caractère, nous cherchons à comprendre les mécanismes. Aujourd'hui, un des sujets les plus pressants en biologie végétale concerne l'amélioration de la résistance des plantes aux stress.

> Quels sont vos outils ?

Nous disposons notamment de 12 enceintes à conditions contrôlées, les phytotrons. Chacun d'entre eux couvre une surface utile de 3m² et peut accueillir jusqu'à 80 plants de maïs pour la durée du programme Thermomaïs. S'il fallait conduire tout le cycle de la plante, nous n'aurions que 20 plantes par enceinte. La culture est conduite en semi-hydroponie, c'est-à-dire quasiment sans sol, la plante étant nourrie par une solution nutritionnelle. Ces enceintes de culture, complètement climatisées, permettent de s'affranchir de la variabilité naturelle des conditions telles que la lumière, la température et l'humidité. Toutes les conditions sont donc contrôlées. Actuellement nous travaillons sur le maïs, mais aussi sur la tomate, sur l'Arabidopsis qui reste une plante modèle et sur la chicorée. Nous travaillons sur la floraison maïs en lien avec des questions concrètes car elle a une influence tant sur l'épi du maïs que sur la taille de la racine de chicorée ou de betterave.

> Quelles sont les principales contraintes pour les plantes ?

En tant que chercheuse, je ne perçois pas forcément l'augmentation de température générale comme extrêmement dramatique en tant que telle. Je pense que globalement, les plantes peuvent s'adapter tout comme les hommes qui les cultivent. Ce que je crains, c'est le fait que cette augmentation de température s'accompagne d'événements totalement imprévisibles, d'accidents climatiques d'une brutalité parfois extrême. C'est ce point là qui me semble réellement délétère. Avec une interrogation particulière pour les plantes qui nécessitent une période de froid hivernal

pour fleurir (la vernalisation). Dans le cadre du réchauffement climatique, si le réchauffement printanier est trop précoce, il manque cette période de froid. Au final, pour des espèces comme le blé d'hiver ou la betterave, le fait qu'il n'y ait plus d'hiver pourrait être au moins aussi problématique que des étés trop chauds.

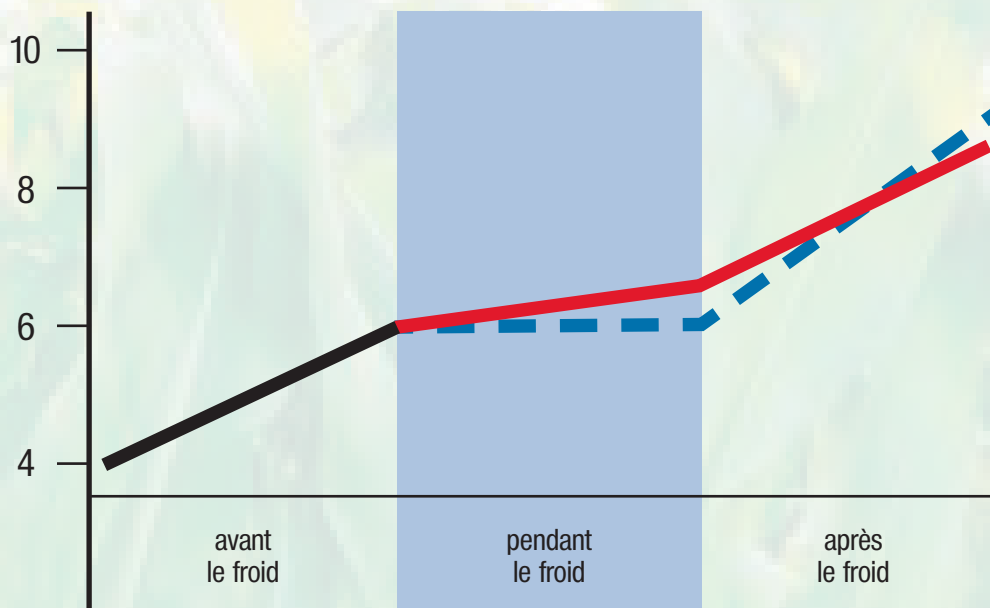
> Comment fournir des leviers aux professionnels ?

Nos travaux en physiologie végétale cherchent à comprendre comment les plantes s'adaptent à de tels événements. Je suis personnellement spécialisée dans les mécanismes fondamentaux de la floraison. Mon prédécesseur au laboratoire avait engagé avec Arvalis, dès 1991, des travaux pour répondre aux observations de producteurs de maïs sur leurs cultures comme l'avortement des épis ou la non ouverture des fleurs. Ils voulaient identifier, dans les conditions contrôlées dont nous bénéficions ici avec nos phytotrons, les facteurs explicatifs et les stades auxquelles les plantes y sont le plus sensibles. La résistance au froid des jeunes plants de maïs est un peu différente. Arvalis m'a fait sortir de ma zone de confort puisque la question porte sur un stade plus précoce que la floraison. Nous avons mis en place cette thèse, financée par Arvalis, pendant quatre ans. Il y aurait évidemment encore beaucoup à faire mais le dispositif, avec une exposition des plantes à un froid contrôlé dans nos enceintes durant une semaine au stade 6 feuilles, nous a déjà beaucoup appris. Cette période de froid a été déterminée de façon réaliste en fonction des courbes de relevés climatiques. Les analyses physiologiques, moléculaires et biochimiques montrent que les plantes s'arrêtent simplement de pousser dans cette période puis elles reprennent leur croissance lorsque l'épisode se termine. Dans nos conditions, aucun mécanisme n'a été altéré par le froid au point d'handicaper la reprise de la croissance.

► Quesako ? **UNE REPRISE DE CROISSANCE PLUS RAPIDE APRÈS UN ARRÊT TOTAL**

La plante de maïs s'arrête de croître pendant un froid printanier modéré. Puis elle reprend sa croissance dès que l'épisode de froid cesse. Les variétés d'hybrides réagissent différemment en stoppant plus ou moins complètement leur croissance. Cette différence se ressentira lors de la reprise de la croissance. Ainsi, la variété qui a le mieux stoppé sa croissance reprendra plus vite ce qui peut, au final, intervenir sur le rendement.

Stade foliaire



— — — Arrêt total de la croissance pendant le froid
Reprise de la croissance plus rapide qu'avant

— Croissance très ralentie pendant le froid
Croissance après le froid identique à avant le froid

Figure 1 : Effet d'une semaine de froid sur la croissance de jeunes maïs au stade "6 feuilles" (deux types de réactions).

Thèse ARVALIS - ULG - INRA de L. Riva-Roveda.