## CHANGEMENT CLIMATIQUE

# MIEUX COMPRENDRE LA PHYSIOLOGIE GRÂCE AUX CAPTEURS

Un des leviers identifiés face au changement climatique est le variétal. Caractériser les traits physiologiques qui permettent une meilleure tolérance aux divers stress abiotiques, et notamment hydrique, est donc nécessaire. Pour cela, une des réponses d'Arvalis est de disposer d'outils démultipliant les mesures *via* les capteurs.



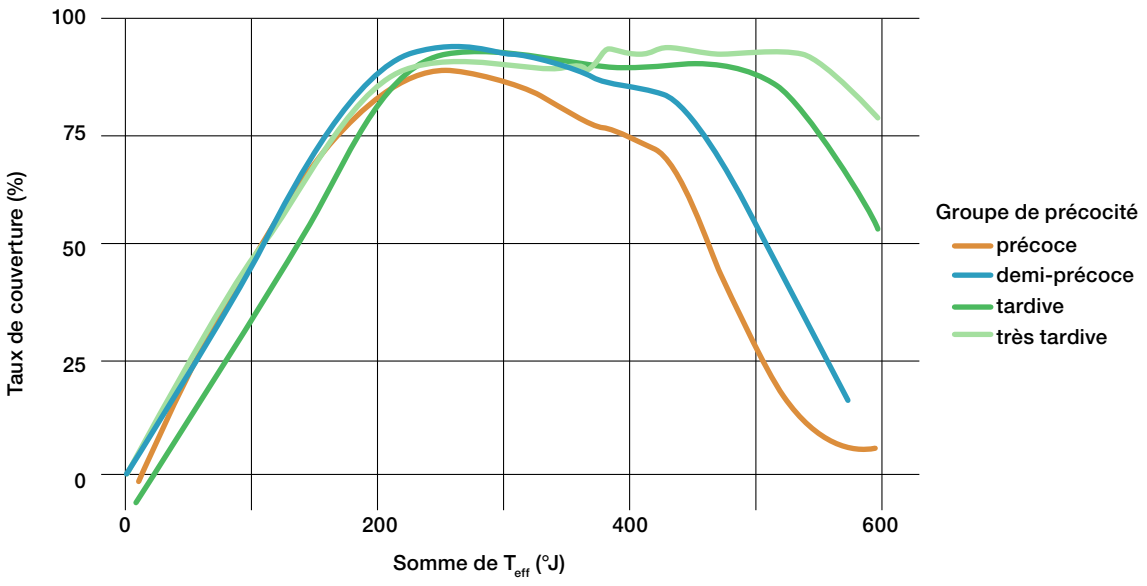
Alphi est une arche légère de phénotypage innovant à haut débit.

La pomme de terre se montre tout aussi sensible au manque d'eau qu'aux températures élevées. Au-delà de 28-30 °C, elle ralentit voire stoppe son développement. Même avec suffisamment d'eau, la chaleur perturbe la tubérisation, limite l'accumulation de matière sèche et peut accentuer l'hétérogénéité des calibres. La pomme de terre augmente aussi la demande évaporative proportionnellement à son taux de couverture, renforçant indirectement les tensions sur l'alimentation hydrique.

Les études fondées sur des modèles climatiques et de culture tendent à montrer que les rendements vont être affectés par des aléas climatiques de plus en plus extrêmes. Selon la région d'Europe, ces aléas pourront entraîner des baisses moyennes de rendements de l'ordre de 30 %. Adapter les systèmes agricoles est donc nécessaire.

La phénologie est un indicateur sensible des conditions climatiques. Des variations de température, de rayonnement ou de disponibilité en eau peuvent modifier la durée ou la séquence des phases du cycle, affectant le rendement et la qualité des tubercules. Dans ce contexte, l'élaboration de modèles phénologiques prédictifs (pour mieux prédire les stades clés et la dynamique de développement de la culture) s'impose comme un levier à la fois tactique (OAD) et stratégique (projections climatiques et modélisation) pour anticiper les effets du changement climatique. Ainsi, pouvoir caractériser les spécificités variétales est indispensable, tant d'un point de vue aérien que souterrain. C'est pourquoi Arvalis mobilise dans ses essais divers outils de phénotypage fondés pour la plupart sur des capteurs.

***Fig. 1.*** **DYNAMIQUE MOYENNE DU COUVERT VÉGÉTAL PAR GROUPE DE PRÉCOCITÉ SELON LA SOMME DE DEGRÉS JOURS DEPUIS LA LEVÉE** ***(taux de couverture en fonction de la somme de $T_{eff}$)***




Arvalis

# PROJET BISSAPP

## DES OUTILS INNOVANTS AUSSI EN PLANT

La sécheresse et la température élevée de l'environnement sont deux facteurs de stress abiotique qui ont un impact très négatif sur la physiologie de la pomme de terre, notamment en induisant une entrée en sénescence plus précoce, mais aussi en limitant son rendement et la qualité de sa récolte. En plus de ces atteintes directes, une plante fragilisée par ces stress pourrait avoir une capacité réduite à lutter contre les maladies telles que les infections virales, voire être plus sensible. C'est pourquoi la FN3PT et la section Plants de pommes de terre de Semae se sont associées pour cofinancer un projet intitulé Bissapp porté par Inov3PT (*LPTF* 666, p. 40-41). Son objectif est de mesurer l'impact de la sécheresse et d'un apport déséquilibré en azote, sur le niveau de sensibilité de la plante face aux infections du virus Y (PVY). Depuis 2025, des essais ont été conduits en conditions semi-contrôlées. Différentes modalités ont été mises en place : déficit/excès d'azote à la plantation, stress hydrique, associés ou non à la présence du PVY. Afin d'évaluer l'impact de ces stress sur la plante elle-même, une batterie d'analyses a été déployée, incluant des capteurs innovants. Des analyses non destructives, basées sur l'utilisation de capteurs à ultrason fixes (**photos ci-dessus**), ont permis de suivre la dynamique de croissance des plantes en temps réel selon les modalités appliquées et d'obtenir une estimation fiable de l'évolution du couvert végétal complétant et confirmant les résultats d'un précédent projet appelé Canopy (*LPTF* 633, p. 37).




***Fig. 3.*** Différents outils utilisés pour suivre l'état de santé de la plante selon le stress induit. À gauche, des capteurs à ultrasons permettant de mesurer en temps réel la croissance des plantes. À droite, un spectromètre pour connaître le contenu nutritionnel des plantes (Nutriscope, Senseen).

En parallèle, des spectromètres portables (Foodscan, Nutriscope, société Senseen) ont été utilisés chaque semaine pour suivre des indicateurs de la physiologie des plantes (pH, redox, conductivité) ainsi que leur contenu nutritionnel en minéraux (**Figure 3**). Des analyses destructives ont été menées par prélèvement de folioles une fois par semaine et analyse de la sève au laboratoire (Novacrop) afin de définir la composition chimique des plantes selon les différentes modalités appliquées. Des suivis ont été effectués pour évaluer les niveaux d'interactions entre les plantes avec le virus et les pucerons vecteurs de la maladie selon le stress abiotique induit. Ainsi, la vitesse de migration du virus du point d'inoculation à l'apex des plantes et sa capacité à s'accumuler dans les parties aériennes ont été mesurées pour évaluer l'effet d'un stress abiotique sur le développement du virus dans les plantes. Par ailleurs, la vitesse de développement des colonies de pucerons, leur capacité à acquérir et transmettre le PVY, et le niveau d'attractivité des plantes pour les pucerons ont été caractérisés afin d'évaluer le comportement des pucerons en fonction des stress étudiés.

Le projet comprend également des essais en parcelles expérimentales dans les trois organisations régionales de producteurs (Bretagne-Plants, Comité Nord, Comité Centre et Sud) ainsi qu'en conditions contrôlées (Inov3PT à l'université de Picardie Jules Verne, à Amiens). Ces essais vont être répétés au minimum une campagne supplémentaire pour en tirer des conclusions. / **Laurent Glais, Inov3PT**

### CARACTÉRISATION DE GROUPES DE PRÉCOCITÉ

Le suivi des stades phénologiques de la pomme de terre permet notamment d'ajuster les pratiques culturales aux besoins de la plante selon les stades : irrigation optimisée, fractionnement raisonné de la fertilisation azotée, ou encore positionnement efficace des traitements. Arvalis se doit de disposer de la capacité de les prédire précisément en vue d'améliorer ses outils d'aide à la décision, tel Irré-Lis pour l'irrigation.

Un réseau d'essais (Varclim) a ainsi été mis en place depuis 2023 sur les sites expérimentaux d'Audeville (45), de Villers-Saint-Christophe (02) en 2024 et de Montans (81) cette année. Pour ce dernier, l'objectif est de mieux anticiper l'effet croisé du stress hydrique et thermique. Ces essais comparent un lot de variétés de différents débouchés et précocités en conditions irriguée et pluviale. La phénologie de la pomme de terre étant fondée sur le taux de couverture, des mesures sont réali-

sées de manière hebdomadaire de la levée jusqu'au défanage. Afin de rendre répétable et reproductible la mesure entre les sites et les années, des capteurs tels qu'Alphi (une arche de phénotypage légère, voir **photo d'ouverture**), ou encore la perche Literal sont mobilisées respectivement sur le site de Villers-Saint-Christophe et l'ensemble des sites expérimentaux.
Les mesures obtenues ont permis à Arvalis de caractériser la dynamique de développement du couvert aérien selon des groupes de précocités variétales fondés sur le taux de couverture (**Figure 1 page 28**). Dans des conditions non limitantes en eau, la phase de mise en place du couvert est assez semblable entre variétés, mais l'entrée en sénescence les distingue majoritairement.
À ce jour, ces mesures conduites de manière hebdomadaire nous permettent de disposer non seulement d'un outil de prédiction des stades clés de la pomme de terre (50 % de fermeture de rangs, 100 %, début de sénescence et 50 %) fondé sur une somme de degrés jours (cumul des températures effectives quotidiennes, $T_{eff}$) revue et corrigée, mais aussi d'en modéliser totalement la dynamique depuis la levée jusqu'au défanage avec de très bonnes performances, quels que soient les groupes variétaux et la phase du cycle.
Ces essais montrent également que le stress hydrique hâte la sénescence et l'accélère. La prise en compte d'un facteur de stress hydrique est donc primordiale pour modéliser la phénologie dans des conditions limitantes en eau. Les travaux en cours permettront d'améliorer les modèles de culture ainsi que les OAD, tout en envisageant d'utiliser ces mesures comme un outil de caractérisation de la tolérance variétale au stress hydrique.

> "La prise en compte d'un facteur de stress hydrique est primordiale pour modéliser la phénologie."

***Fig. 2.*** **HYPOTHÈSES SUR LE SYSTÈME RACINAIRE POUR UNE MEILLEURE RÉSILIENCE DE LA POMME DE TERRE AUX STRESS ENVIRONNEMENTAUX ET LIEN AVEC LES MÉTHODES DE MESURE POUR LES ÉVALUER**

Root2Res — Root phenotyping and genetic improvement for rotational crops resilient to environmental change
Funded by the European Union

| Hypothèses sur les traits racinaires pour une meilleure résilience | Méthodes de phénotypage racinaire | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Bêche « Shovelomic » | Carrotage | Minirhizotron | Profil racinaire |
| Plus grande biomasse racinaire | Sur 0-20 cm de profondeur | Sur 0-80 cm de profondeur | -- | -- |
| Exploration racinaire plus profonde | -- | | | |
| Augmentation du nombre de racines latérales | | -- | -- | -- |
| Vigueur racinaire précoce | | -- | | -- |
| Augmentation de la distribution racinaire en profondeur | -- | | | |
| Surface racinaire plus importante | Sur 0-20 cm de profondeur | | *Développement possible* | -- |
| Augmentation de la densité racinaire | -- | En cm par cm³ | En mm par cm² | -- |

Traits racinaires accessibles avec la méthode proposée — Non accessibles

## PHÉNOTYPAGES DU SYSTÈME RACINAIRE

En dehors de la caractérisation des traits phénotypiques aériens, Arvalis mène des travaux sur le système racinaire. Par définition souterraine, l'étude de ce dernier est plus compliquée que celle des parties aériennes. Elle nécessite des méthodes de phénotypage adaptées pour les caractériser et déterminer les traits racinaires qui répondent à ces enjeux. C'est dans le cadre du projet européen Root2Res, financé par le programme Horizon Europe, que différentes techniques de mesure, notamment sur pomme de terre, sont évaluées (LPTF 658, p. 36-37).
Quatre méthodes de phénotypage sont étudiées : le prélèvement à l'aide d'une bêche dit "Shovelomic", d'un préleveur de carottes de sol, par l'acquisition d'imageries racinaires (*via* minirhizotron) et par la réalisation d'un profil racinaire. Ces différentes méthodes ont pour objectif d'identifier quels sont les traits racinaires qui permettent une meilleure tolérance à des stress abiotiques, entre autres hydrique, comme résumé dans la **Figure 2** ci-contre. /

**Florent Chlebowski et Marilou Anty, Arvalis**