

Compte tenu des évolutions actuelles dans le secteur agricole, il est nécessaire de porter un regard critique sur la manière dont les variétés de pommes de terre sont évaluées. En collaborant et en échangeant nos connaissances entre différentes régions, nous pouvons répondre plus efficacement aux besoins tant des producteurs que des consommateurs. À cet égard, il est important de ne pas se concentrer uniquement sur la résistance aux maladies, mais également de prendre en compte d'autres facteurs tels que le rendement, la qualité et la résilience dans diverses conditions.

Introduction

Dans un contexte agricole marqué par des enjeux croissants de durabilité et de réduction de l'utilisation des intrants chimiques, le développement de variétés de pommes de terre plus robustes est devenu une priorité. Ces variétés doivent non seulement être résistantes aux maladies, en particulier au mildiou, mais également offrir des rendements élevés et une bonne qualité pour répondre aux besoins des producteurs et des consommateurs.

L'évaluation des performances des variétés de pommes de terre dans des conditions réelles de culture est essentielle pour guider les choix variétaux vers des solutions durables. Ces évaluations permettent de mieux comprendre le comportement des variétés face aux pressions naturelles des maladies et de sélectionner celles qui offriront une plus grande résistance, tout en maintenant une productivité élevée.

Le micro-projet « PROROB » (Interreg France–Wallonie–Vlaanderen) a pour objectif d'harmoniser, à l'échelle transfrontalière, les méthodes d'évaluation des variétés de pommes de terre. Dans ce cadre, le CRA-W, Inagro et la Chambre d'Agriculture du Nord–Pas-de-Calais collaborent étroitement pour mettre en place des protocoles communs.

Ces protocoles ont vocation à s'appliquer à un même essai commun : celui des variétés de pommes de terre robustes. Ainsi, chaque protocole élaboré dans le cadre de PROROB devra contribuer à l'évaluation de plusieurs dimensions clés de la robustesse variétale. En particulier, ils viseront à :

- caractériser la résistance au mildiou en conditions sans traitements fongiques,
- estimer le rendement et ses composantes,
- évaluer l'efficacité de l'utilisation de l'azote
- et observer la résilience face au stress hydrique, dans la mesure où les conditions climatiques ou les dispositifs le permettent.

Le présent protocole s'inscrit dans cette démarche de collaboration transdisciplinaire et vise à :

- faciliter l'organisation et le suivi des essais d'évaluation des variétés entre les partenaires du projet,
- assurer une cohérence dans la collecte et l'analyse des données, notamment de rendement,
- améliorer la comparabilité et la valorisation des résultats à l'échelle transfrontalière,
- et contribuer à l'identification de variétés plus robustes, adaptées à des systèmes de culture plus durables.

1. Matériel végétal

1.1. Variétés testées

Les essais de rendement seront réalisés à partir des mêmes variétés robustes évaluées pour la résistance au mildiou, à savoir l'ensemble des variétés de la liste robustes de l'année en cours. Cette liste est disponible sur les sites internet des différents partenaires du groupe de travail « Variétés robustes ». Chaque variété testée est caractérisée (maison plant, obtenteur,...) et particulièrement par rapport au groupe d'utilisation (GU) (Tableau 1) et groupe de maturité (GM) (Tableau 2).

Tableau 1 : Identification de la destination de la variété candidate

GU	Groupe d'utilisation de la variété
1	Variété chair ferme
2	Variété chair tendre
3	Variété frites
4	Variété chips

Tableau 2: Identification de la précocité de la variété candidate

GM	Groupe de maturité de la variété	Nombre de jours moyen de culture (calculé à partir du stade levée)
1	Variété hâtive (arrachage précoce)	< 110 j
2	Variété mi-hâtive (semi-précoce)	110 - 140 j
3	Variété mi-tardive et tardive (semi-tardif)	> 140 j

1.2. Variétés de référence

Les quatre variétés de référence utilisées pour l'évaluation de la résistance au mildiou seront également incluses dans l'évaluation du rendement. Ces variétés, choisies pour représenter un gradient de sensibilité au mildiou (notes de 2, 5, 7 et 9), permettent également de calibrer les rendements observés selon différents niveaux de résistance.

1.3. Plants utilisés

Les plants de pommes de terre utilisés doivent être entiers, c'est-à-dire non coupés, certifiés et exempts de maladies. Ils doivent présenter un calibre homogène, généralement compris entre 28 mm et 45 mm. Dans le cas où les plants ne proviennent pas de l'agriculture biologique, cette information doit être explicitement mentionnée dans la section « Matériel et méthodes » du rapport d'essai.

2. Conduite culturale

2.1. Densité de plantation

La densité de plantation est standardisée afin de garantir une évaluation équitable entre les variétés. Elle est généralement d'environ **44 000 plants/ha**, correspondant à un espacement de **75 cm entre lignes** et **30 à 35 cm entre plants sur la ligne**.

2.2. Fertilisation

Les apports en éléments fertilisants doivent être réalisés de manière uniforme sur l'ensemble de l'essai. La fertilisation respecte les pratiques autorisées en agriculture biologique. Le niveau de fertilisation est ajusté en fonction des analyses de sol préalables. Dans tous les cas, la quantité totale d'azote disponible (incluant les apports organiques et la minéralisation estimée), ainsi que la nature, la dose et les dates d'application des fertilisants doivent être rigoureusement consignées.

3. Caractérisation des conditions climatiques locales

Ces conditions sont caractérisées à partir des données recueillies par une station météo installée directement dans la parcelle expérimentale. En l'absence de station sur site, les données issues de la station météorologique de référence la plus proche sont utilisées. Les paramètres relevés incluent notamment les précipitations et la température.

Les quantités d'eau effectivement reçues par la parcelle doivent également être renseignées, qu'elles proviennent de précipitations naturelles ou d'irrigation artificielle (dans le cas où un système d'irrigation est mis en place pour stimuler le développement du mildiou). Ces apports peuvent être mesurés au moyen de pluviomètres disposés de manière homogène sur le site expérimental.

Cette caractérisation climatique est essentielle pour interpréter la pression pathogène exercée pendant l'essai, et pour analyser l'impact indirect de cette pression sur les rendements mesurés.

4. Dispositif expérimental

4.1. Taille des parcelles

Le rendement sera estimé à partir des parcelles, composées de 25 à 30 plants répartis généralement sur 2 à 4 lignes de culture, en fonction de l'espace disponible. Cette taille permet une estimation représentative, tout en restant adaptée à des essais multi-variétaux avec répétitions. Selon Mountier (1964), la taille de parcelle la plus efficace pour l'évaluation des variétés de pomme de terre est de 4 rangs sur environ 5 mètres de longueur. Cette configuration permet un bon compromis entre précision statistique et gestion pratique des essais.

4.2. Conception expérimentale

L'estimation du rendement sera réalisée dans le cadre de l'essai en plein champ qui suit un plan expérimental avec répétitions (3 à 4). Les designs expérimentaux classiques sont acceptés. Cependant, selon De Haan et al. (2014) l'utilisation d'un plan en blocs complets randomisés avec quatre répétitions est recommandée pour les essais standards incluant une évaluation du rendement. Ce type de dispositif permet de réduire l'erreur expérimentale en neutralisant les sources d'hétérogénéité, telles que la fertilité du sol ou la pente du terrain. Dans ce type de plan, tous les traitements (clones ou variétés avancés) sont répartis dans des blocs de taille égale, chaque bloc contenant une répétition complète de l'ensemble des

variétés. Lorsque la variabilité du champ est prévisible (ex. : pente ou gradient de sol unidirectionnel), on recommande d'utiliser des blocs longs et étroits, orientés selon ce gradient. Si la variabilité est imprévisible, les blocs doivent être aussi carrés que possible, pour minimiser les biais (De Haan et al., 2014). Chaque parcelle est définie par des repères visuels : des plantes rouges si la variété à tester est blanche, ou blanches dans le cas contraire. Cette configuration permet de bien séparer les tubercules de chaque parcelle lors de la récolte. Si cette méthode n'est pas envisageable, des espacements supplémentaires entre chaque parcelle peuvent être ajoutés. Cela facilite également la circulation entre les parcelles.



Figure 1: La récolte de deux variétés différentes de pommes de terre blanches est clairement mise en valeur par la présence de quelques pommes de terre d'une variété rouge.

4.3. Effet des bordures sensibles sur le développement du mildiou et l'estimation du rendement

Dans le cas de l'évaluation conjointe de la résistance au mildiou et du rendement, chaque parcelle expérimentale est bordée latéralement par des lignes de variétés sensibles au mildiou. L'objectif principal de ces bordures est de favoriser et d'homogénéiser le développement du mildiou dans l'essai, en augmentant la pression pathogène afin de mieux discriminer les niveaux de résistance entre les variétés testées.

Toutefois, l'inclusion de ces bordures sensibles peut également avoir un effet indirect sur les rendements. En cas de forte épidémie, les variétés voisines peu résistantes peuvent être davantage infectées, ce qui entraîne une réduction de leur rendement par destruction prématurée du feuillage. Lorsque toutes les parcelles ne sont pas uniformément entourées de variétés sensibles, la pression pathogène peut varier selon la position des parcelles dans le bloc. Cette configuration crée un effet bordure asymétrique, qui peut introduire un biais dans l'estimation du rendement.

Pour limiter ce biais, une solution consiste à insérer des plantes inocultrices entre chaque rangée de test, assurant ainsi une exposition homogène à l'inoculum pour toutes les variétés évaluées. Toutefois, cette méthode double la surface nécessaire à l'expérimentation, ce qui engendre des contraintes logistiques importantes, notamment en termes de surface disponible et de main-d'œuvre. Une alternative plus réaliste consiste à s'assurer que chaque

variété soit positionnée, dans au moins une des répétitions, à proximité immédiate d'une ligne infectrice. Cette approche permet de garantir une exposition comparable entre les variétés tout en maîtrisant la taille du dispositif expérimental.

Cet effet bordure doit être pris en compte lors de l'analyse statistique, soit en intégrant la position spatiale des parcelles (par exemple, la distance aux bordures sensibles ou la position en rang/colonne), soit en utilisant des modèles mixtes à structure spatiale, afin de corriger cette variabilité dans l'interprétation des résultats.

5. Critères de suivi et mesures

Plusieurs types de mesures ou d'observations peuvent être réalisés en cours de saison afin de suivre l'état physiologique et le développement des plantes tout au long du cycle de culture. Les données collectées, en relation avec les conditions environnementales et les pratiques culturales, permettent d'anticiper et de prédire le rendement potentiel de la culture de pomme de terre.

5.1. La levée

La levée des pommes de terre est une étape cruciale pour assurer une croissance homogène et optimiser le rendement. Afin de vérifier que toutes les plantes ont émergé correctement et uniformément, des contrôles visuels réguliers doivent être effectués pendant la période de levée. Il est recommandé de réaliser ces observations tous les 2 à 3 jours, en se concentrant sur les deux lignes centrales de chaque parcelle ou sur l'intégralité des lignes, selon la taille de la parcelle et les ressources disponibles.

Lors de chaque contrôle, il est essentiel d'utiliser une fiche de suivi pour noter les sections observées, les dates des inspections et les observations spécifiques, telles que des zones présentant une levée inégale ou absente. Ces informations permettent d'identifier rapidement les éventuels problèmes de levée.

En cas de détection de zones problématiques, il est important de les marquer clairement pour un suivi ultérieur. Si ces zones concernent plus de 10 % de la parcelle, il est recommandé de procéder à un déclassement de la parcelle ou d'ajuster le rendement en fonction du nombre de plantes effectivement levées. Cette approche permet d'obtenir une estimation plus précise du rendement potentiel, en tenant compte des pertes dues à une levée inégale ou insuffisante.

5.2. La vigueur

La vigueur de la parcelle est estimée pour chaque variété en tenant compte de son GM. Cette évaluation est réalisée une fois que toutes les plantes d'un même GM ont atteint au moins 50 % de levée. La vigueur est ensuite cotée sur une échelle de 1 à 9, où :

- 1 correspond à une parcelle ayant la plus faible vigueur,
- 9 correspond à la parcelle ayant la vigueur la plus élevée.

5.3. Fermeture des lignes

Cette cotation est relative et doit être effectuée à une même date pour les variétés d'un même GM afin d'assurer la cohérence des évaluations.

Un autre critère visuel important à prendre en compte est la fermeture des lignes, qui reflète la progression de la couverture du sol par le feuillage. Elle est estimée en pourcentage, selon des seuils visuels :

- Lorsque le feuillage recouvre la butte, on estime une fermeture de 50 %,
- Lorsque les plantes de deux buttes voisines commencent à se toucher, on estime une fermeture de 75 %,
- Enfin, lorsque les lignes sont complètement fermées, on indique une fermeture de 100 %.

5.4. Prélèvements d'échantillons de plantes

Des prélèvements d'échantillons peuvent être réalisés à différents stades de développement pour analyser des paramètres tels que la biomasse fraîche et sèche des différentes parties du végétal (Partie aérienne, racines, tubercules). Ces données permettent d'évaluer l'allocation des ressources entre les parties aériennes et souterraines de la plante. Les échantillons servent aussi à caractériser la croissance des tubercules, en mesurant notamment leur calibre, leur matière sèche (MS), ou encore leur poids sous eau (PSE). Ces indicateurs sont particulièrement utiles pour déterminer la date optimale de défanage, en fonction de l'atteinte des objectifs de rendement et de qualité.

5.5. Observations visuelles

Les observations visuelles sur le terrain sont essentielles pour détecter les symptômes de stress abiotiques, tels que la sécheresse ou les carences en nutriments, ainsi que les stress biotiques, comme les maladies ou les attaques de ravageurs.

5.6. Mesures optiques – couvert végétal et indices structuraux

L'intégration de capteurs optiques et d'outils d'imagerie constitue un levier important pour obtenir des données objectives et en temps réel sur l'état des plantes. Parmi ces outils :

- Les photos prises via l'application mobile Canopeo permettent d'estimer le % de couverture végétale (canopy cover) (Figure 2). Pour cela, on procède avec des photos orientées vers le bas ("downward-facing") centrées sur le sillon entre deux buttes, et à une hauteur standardisée afin d'assurer la reproductibilité. L'application analyse les pixels verts de l'image pour calculer le pourcentage de surface végétale vivante qui couvre le sol.

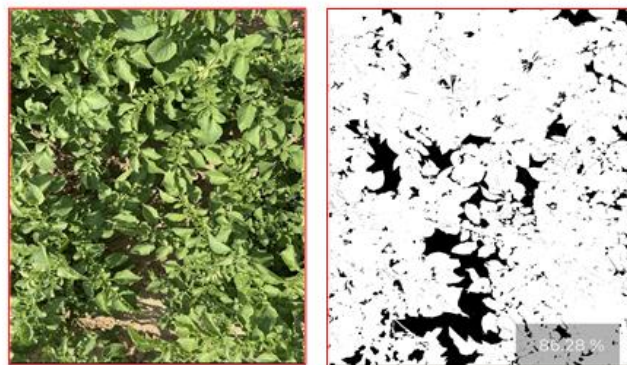


Figure 2 Prise d'image par Canopeo.

- Les photographies hémisphériques (digital hemispherical photography, DHP) offrent des informations plus détaillées : non seulement le pourcentage de végétation et du sol, mais aussi des indices structuraux comme le LAI (Leaf Area Index) ou le PAI (Plant Area Index). Ces images permettent d'analyser la distribution du feuillage, la densité foliaire effective, etc.
- Des capteurs comme le GreenSeeker, le SPAD-502, ou le N-sensor ALS mesurent des indicateurs tels que le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), la concentration en chlorophylle, ou encore la vigueur végétative.

6. Méthodologie de mesure du rendement

6.1. Date de défanage

La date de défanage est décidée en fonction de plusieurs critères reliés à la sénescence de la culture, à la teneur en matière sèche (MS) ou poids sous eau (PSE) (Tableau 3) et au calibre des tubercules issus des prélèvements intermédiaires lorsque ceux-ci sont possibles. Le défanage consiste à détruire les parties aériennes de la plante, typiquement à l'aide d'un outil mécanique de broyage, afin de limiter la croissance des fanes et de favoriser le mûrissement des tubercules.

Tableau 3. Valeurs "type" de P.S.E. en fonction des groupes d'utilisation (GU) et de maturité (GM)

	GU1		GU2		GU3		GU4	
	GM1	GM2,3	GM1	GM2,3	GM1	GM2,3	GM1	GM2,3
P.S.E. (g)	310-360	330-380	320-370	330-400	345-420	360-460	370-440	400-500

Dans le protocole, on peut prévoir 2 ou 3 dates de défanage différentes, selon la maturité des cultures (Tableau 2). Si plusieurs dates ne sont pas envisageables, une seule date de défanage moyenne est définie pour toute les variétés.

6.2. Méthodologie de récolte et calibrage

6.2.1. Récolte au champ

Il est essentiel de récolter l'intégralité de la parcelle. Cette opération peut être réalisée à l'aide d'une souleuse ou d'une récolteuse adaptée. Chaque parcelle récoltée doit être pesée immédiatement sur le terrain ou, au plus tard, le jour suivant afin d'estimer le poids à la sortie du champ. Cette pesée permet de déterminer le rendement brut total. Il est impératif de séparer les tubercules présentant des symptômes de mildiou ou de pourritures (telles que la pourriture rose ou molle) et de les peser séparément. Cette distinction permet d'obtenir une estimation précise du rendement brut total, excluant les pertes dues aux maladies.

6.2.2. Stockage des échantillons

Après la récolte, les échantillons seront stockés dans un local adapté (par exemple un hangar) à une température comprise entre 5 et 10 °C, aéré et en l'absence de lumière, afin de préserver la qualité des tubercules et limiter la germination.

6.2.3. Mesure du poids brut

Après un délai de 2 à 3 semaines de stockage, le poids de chaque parcelle est de nouveau mesuré. Cette mesure correspond au poids total avant calibrage.

6.2.4. Calibrage des tubercules

Les tubercules de chaque parcelle sont ensuite calibrés selon leur diamètre, à l'aide de tamis standards, d'une calibreuse optique ou de tout autre équipement approprié permettant un tri précis par taille.

Les classes de calibres à déterminer dépendent du groupe d'utilisation (GU) de la variété et sont définies dans le Tableau 4 du protocole. Chaque classe de calibre est pesée séparément afin de permettre le calcul des rendements par catégorie.

Le nombre de tubercules par classe et par parcelle peut également être enregistré à titre indicatif, bien qu'il ne soit pas utilisé pour le calcul du rendement.

Tableau 4. Calibres utilisés pour la détermination du rendement (maille carrée)

GU	Destination	Calibres pesés (mm)
1	Variété chair ferme	< 30, 30-60 et > 60
2	Variété chair tendre	< 35, 35-70 et > 70
3	Variété frites	< 35, 35-50 et > 50
4	Variété chips	< 35, 35-70 et > 70

6.2.5. Calcul du rendement

La somme des poids des différentes catégories permet de déterminer le rendement total de chaque parcelle, exprimé en tonnes par hectare (t/ha). La somme des poids des différentes catégories permet de déterminer le poids total calibré de chaque parcelle.

Le rendement des parcelles peut être calculé par unité de surface, à partir de la superficie récoltée, selon la formule :

$$\text{Rendement (t/ha)} = \left(\frac{\sum \text{Poids des tubercules (kg)}}{\text{Surface récoltée (m}^2\text{)}} \right) \times 10$$

Si moins de 10 % des plants ne sont pas levés, la surface récoltée doit être ajustée en fonction du nombre de plants effectivement présents. En revanche, comme expliqué précédemment, si le taux de levée est inférieur à 90 %, la parcelle est considérée comme non représentative, et les résultats ne sont pas pris en compte dans l'analyse des rendements.

Le rendement >35 mm est calculé à partir de la somme des poids de tous les tubercules dont le calibre est supérieur à 35 mm, en utilisant la même formule que pour le rendement total :

$$\text{Rendement >35 mm (t/ha)} = \left(\frac{\sum \text{Poids des tubercules >35 mm (kg)}}{\text{Surface récoltée (m}^2\text{)}} \right) \times 10$$

Ce rendement est généralement utilisé comme indicateur principal, car il représente la part commercialisable de la récolte.

7. Analyses statistiques

Pour analyser les données de rendement, un modèle linéaire mixte sera utilisé afin de tenir compte à la fois des effets fixes (notamment l'effet variété) et des effets aléatoires (bloc, répétition, site le cas échéant). Ce type de modèle permet de gérer la structure expérimentale et d'augmenter la robustesse des comparaisons. Lorsque la structure des données le permet, une analyse de la variance (ANOVA) simple ou à deux facteurs pourra également être réalisée. Les comparaisons multiples entre variétés seront effectuées à l'aide de tests post-hoc appropriés (ex. test de Tukey) afin de distinguer les groupes significativement différents.

Les analyses statistiques seront principalement réalisées sous le logiciel **R**, à l'aide des packages lme4 (modèles mixtes), emmeans (comparaisons de moyennes) et ggplot2 (visualisation). Dans les cas plus simples, ou pour un traitement rapide des données, Excel pourra être utilisé à titre complémentaire. Le seuil de signification retenu pour les tests statistiques est **$\alpha = 0,05$** . Les résultats seront interprétés en tenant compte de cette limite, avec une attention particulière portée à la cohérence des résultats entre répétitions et sites.

8. Résultats attendus et indicateurs clés

Parmi les critères agronomiques majeurs, le rendement net total (exprimé en t/ha) constitue une base de comparaison entre variétés, mais ne suffit pas à lui seul pour juger de la valeur agronomique d'une variété. Ainsi, une attention particulière est portée au rendement commercialisable dont le calibre est supérieur à 35 mm. Toutefois, le rendement par classe de

calibre constitue un indicateur encore plus pertinent, car il permet de relier la performance variétale à l'usage visé. En effet, selon le groupe d'utilisation :

- les variétés à chair ferme sont principalement évaluées sur le calibre 35–50 mm,
- les variétés à chair tendre et à chips sur le calibre 35–70 mm,
- les variétés à frites sur le calibre 50 mm et plus.

Le rendement commercial par classe est donc un indicateur clé à croiser avec l'usage prévu, afin de juger de l'adéquation entre profil variétal et débouché.

Par ailleurs, l'évaluation doit être multicritère et multiannuelle. Une variété dite « robuste » ne doit pas seulement atteindre de bons rendements dans des conditions optimales, mais maintenir un niveau de production satisfaisant quelle que soit l'année. Cela suppose une bonne tolérance aux stress biotiques (notamment mildiou) et abiotiques (sécheresse, chaleur...). C'est pourquoi les résultats sont analysés sur plusieurs années ou sites, avec une attention portée à la stabilité des performances. Une variété véritablement robuste doit offrir un rendement commercial stable et adapté à son usage, même sous fortes contraintes climatiques ou sanitaires.

9. Bibliographie

De Haan, S., Forbes, A., Amoros, W., Gastelo, M., Salas, E., Hualla, V., ... & Bonierbale, M. (2014). *Procedures for Standard Evaluation and Data Management of Advanced Potato Clones. Module 2: Healthy Tuber Yield Trials.: International Cooperators Guide*. International Potato Center.

Mountier NS (1964) Plot size and guard rows in potato experiments. *N Z J Agric Res* 7:180–197. <https://doi.org/10.1080/00288233.1964.10418150>