



MEDIEVAL

Méthodes et dispositifs innovants pour l'évaluation du matériel végétal fruitier

Axe de travail : Stress abiotiques et adaptation aux changements climatiques

Annexe 15

Rédacteur : V. Mathieu (Ctifl)

1 - DISPOSITIFS, METHODES ET CRITERES EXISTANTS

1. 1 - ETAT DES LIEUX

L'état des lieux s'attache à décrire les cas les plus fréquents. Il existe des particularismes liés aux espèces, expérimentateurs et centres ou stations.

1.1.1 - Critères/observations réalisés à partir des vergers niveau 1 et 2

- **Phénologie :**

- Floraison : date début, milieu et fin.
- Maturité : date début, fin selon les espèces (pêcher, abricotier) ou le niveau (2)

Pour ces deux critères, l'écart par rapport à un témoin est calculé systématiquement. Le témoin est présent dans toutes les tranches de plantation ce qui risque de disparaître avec les évolutions Charte. L'ensemble est archivé dans une base de données dédiée.

Les données du/des témoins sont également capitalisées à part et font l'objet d'un jeu traité par tableur.

- **Besoins en froid et risques associés**

L'enregistrement des désordres physiologiques en lien avec le changement climatique est variable et adapté selon les espèces. Ce sont les fruits à noyau qui sont le plus sujets à l'apparition de ces désordres. Des observations sont généralisées sur les critères suivants et font l'objet d'une notation qualitative selon la logique : 1 = valeur négative - 5 ou 9 = valeur positive :

- Chute ou nécroses de bourgeons
- Anomalies florales
- Fruits doubles (cerisier)
- Date de débourrement des bougeons à bois chez le pêcher : critère cependant plus en lien avec la protection du verger car c'est plus une caractéristique génétique qu'une dérive climatique.

- **Autres observations**

Les coups de soleil ont été enregistrés quelques années sur les variétés du niveau 2. Les économies de temps demandées ont entraîné l'arrêt de ce type d'observation.

1.1.2 - Critères/observations réalisés à partir des vergers spécifiques

Les projets Phenoclim, puis Arviclim ont débouché sur la mise en place de parcelles spécifiques qui sont essentiellement utilisées pour des notations phénologiques. Ces parcelles pérennes, regroupent un ensemble de variétés choisies pour être représentatives de la variabilité d'une espèce en floraison et maturité. Pour les fruits à noyau, ces variétés présentent également une variabilité de réponse aux besoins en froid. Sur ces parcelles, les notations sont remplacées par des comptages pour quantifier plus précisément les désordres :

- Chute de bourgeons
- Nécroses et anomalies florales

Ces parcelles permettent également de suivre la levée de dormance d'un nombre réduit de variétés par la méthode Tabuenca.

Ces variétés peuvent faire l'objet d'un suivi complet de phénologie (stades Fleckinger ou Baggiolini) et d'une caractérisation plus complète de la maturité. L'échelle BBCH n'est pas utilisée mais la conversion est aisée pour la majorité des stades.

Il faut noter que l'on ne peut pas tout tirer de ces parcelles et que certains critères sont antagonistes (par ex suivi maturité *versus* chute des fruits ou développement de la coloration).

Par ailleurs, certaines techniques prophylactiques sont antagonistes des observations : traitement cuprique ou uréique par exemple sur pommier et date de chute des feuilles.

A noter, à l'initiative du projet INRA Accaf Perpheclim, l'implantation de parcelles dédiées aux observations phénologiques pour étendre les données à une plus grande diversité climatique.

1.1.3 - Dispositif expérimental spécifique

Dans les 2 cas cités précédemment, la dominante reste le matériel végétal (niveau 1 et 2) sur lequel est standardisée l'observation de critères en lien avec le changement climatique. Cependant, des parcelles ou des dispositifs/méthodes peuvent être mis en place spécifiquement lorsque la thématique "stress abiotique" devient prioritaire.

- **Besoin en froid du pommier**

Un ensemble d'arbres en pot permet sur le centre Ctifl de Balandran de suivre le comportement des principales variétés de pommier face à des satisfactions de besoin en froid différentes. Ce travail a permis dans un premier temps de hiérarchiser les variétés entre elles à partir d'une dé-saisonnalisation en cellule réfrigérée (froid constant 2°C et obscurité) puis en serre (T° 14-25°C).

Dans un second temps (à partir de 2015-16), les arbres restent en condition de froid naturel (photopériode et variation quotidienne de la température) et sont ensuite mis en serre. Cette évolution de protocole permet également de hiérarchiser les variétés entre elles mais surtout d'être en capacité d'utiliser les données obtenues pour la modélisation.

L'intérêt des arbres en pot est de caractériser précisément les anomalies florales et de déterminer la date de levée de dormance à partir de plusieurs critères : absence d'anomalies florales, floraison bois de un an et croissance de la pousse de bourse.

- **Sensibilité au gel**

Pour le pêcher et le pommier, les axes de travail ont porté sur i) l'évaluation de l'incidence de la présence d'eau et de la durée des températures négatives sur la sensibilité au gel, ii) la vérification et le complément des références de seuils critiques (10 et 90% de dégâts). Les valeurs manquantes pour certains stades phénologiques ont également été recherchées. Les travaux ont été conduits en enceintes climatiques et les seuils vérifiés en extérieur chaque fois que possible.

- **Autres stress**

Les dispositifs niveau 1 ou très axée matériel végétal se concentrent essentiellement sur la phénologie, la dormance et les désordres associés soit nécroses et anomalies florales.

D'autres stress abiotiques apparaissent soit avec le changement climatique soit avec le vieillissement du verger.

- Stress hydrique

La gestion du stress hydrique répond à deux contraintes, le coût de l'eau et sa raréfaction probable dans certaines régions avec le changement climatique.

Là encore la variété est un facteur déterminant car la génétique conditionne le comportement physiologique en cas de manque d'eau.

Une approche à l'initiative de JL Regnard fait le lien entre la variété et des techniques innovantes d'imagerie aéroportée par drone permettant d'évaluer le comportement de la plante face à la contrainte hydrique (Projet Casdar Aliage), entre autres variables fonctionnelles. Le dispositif basé sur le verger de niveau 2 permet de comparer les variétés entre elles, puis d'élargir ensuite la méthode à d'autres cultivars tout en recherchant une approche haut débit qui permettrait à terme de compléter les observations classiques en y associant de l'image aérienne traitée informatiquement.

- Stress thermique (forte température)

L'effet des fortes températures sur les arbres fruitiers est appréhendé pour partie dans le cadre des observations niveau 1 et 2 mais ne fait pas l'objet de notations systématiques ni d'expérimentations spécifiques (chute de fruit, dégradation de texture, accélération de la maturation ...). Néanmoins, l'impact de ce type de température est sûrement l'un des moins connus. Une action préalable serait la définition précise de seuils de température soit le remplacement de "forte" par des degrés Celsius. L'année 2003 a montré que des températures excessives pouvaient modifier fortement le comportement de certaines variétés (Gala notamment).

A noter qu'il existe déjà un modèle de prédiction d'apparition des coups de soleil réalisé dans l'état du Washington.

- Fatigue de sol

La plupart des travaux remontent à une vingtaine d'années et les essais sur la désinfection. Actuellement, les travaux sont plus des études de faisabilité techniques et financières (remplacement sol, plantation dans du terreau ...) que de la recherche sensu stricto. Les possibilités de désinfection efficace n'ont pas incité les efforts pendant de nombreuses années.

Cette thématique demande plus de caractérisation : quels sont les critères qui indiquent qu'un sol est fatigué. Aucun diagnostic n'existe actuellement (présences fongiques, bactériennes, virales, quantification chimique ...).

Les expérimentations sur cette thématique sont peu courantes car exigeantes en surface de verger.

- Asphyxie racinaire

La thématique « porte greffe » a considérablement réduit sa voilure toutes espèces confondues et les points de comportement spécifiques sont souvent délaissés au profit de la seule observation agronomique. Pourtant, un des buts du porte greffe est d'étendre l'aire de répartition d'une espèce dans des conditions pédo-climatiques moins favorables.

En ce sens, une expérimentation a été conduite sur cerisier à partir de porte-greffes micro greffés et élevés en pot. Leur comportement a été observé suite à leur maintien en présence d'eau. Une première hiérarchie a pu être établie mais de façon très classique. Des outils pour expliquer les perturbations de fonctionnement manquent, notamment pour faire le lien entre dégâts et mortalité.

- Chute avant récolte

Un gradient de sensibilité variétale est connu ainsi que le rôle des températures durant le mois précédant la maturité. Cependant, ces connaissances manquent de précision tant pour gérer l'année N que pour prévoir les risques avec un climat futur.

- Déficit de coloration sur la pomme

Le rôle des températures est également partiellement connu mais il n'y a pas d'application concrète et d'outils d'aide à la décision pour la gestion de la récolte ni pour faire des travaux prospectifs sur l'obsolescence possible de variétés avec un climat futur. Une caractérisation objective des variétés serait nécessaire. Ce point peut se rapprocher de travaux plus fondamentaux. Des techniques, via la biologie moléculaire ou des diagnostics de teneur en anthocyanes sont à rechercher.

- Besoins en éléments nutritifs / efficacité des intrants

Les besoins globaux en éléments minéraux des principales espèces fruitières sont connus mais l'efficacité des intrants soit pour une variété, soit pour un porte greffe donné n'ont pas fait l'objet de travaux. On rentre cependant dans des caractérisations très fines dont la priorité reste à définir. Ce point est à rapprocher des zones/bassins où des restrictions sont exigées pour protéger la qualité des eaux souterraines.

1.1.4 - Critères émergents

Quelques critères émergent et sont susceptibles d'impacter la production avec le changement climatique. La prise en compte de ces changements peut amener la mise en place de travaux spécifiques.

- Caractérisation de la variabilité

La variabilité présente sur une espèce et pour un critère donné n'est pas toujours connue. La connaissance de cette variabilité orientera l'adaptation soit vers la génétique soit vers une modification des techniques culturales. Cette connaissance peut également orienter les sélectionneurs obtenteurs pour le choix des parentés des futures variétés.

A noter qu'un travail de ce type a déjà été réalisé sur pommier à partir des observations du niveau 1.

- Modélisation

La modélisation et la mise en place d'outils d'aide à la décision est essentielle pour la gestion de l'année culturale en cours et pour des études prospectives sur l'obsolescence climatique. Ce point intègre plus particulièrement la prédiction du risque nécrose/anomalies florales qui

impacte particulièrement les fruits à noyau. Il devrait être élargi à d'autres thèmes : chute avant récolte, rugosité, coloration, désordres physiologiques ...

- Vitesse de maturation

Le changement climatique impacte la maturité à la fois au plan de la phénologie mais également dans sa durée. Des maturations très rapides entraînent des pertes qualitatives et doivent être prise en compte par les producteurs dans la gestion de leur chantier de récolte. Un travail initial pourrait être réalisé à partir des données existantes. Des notations de fin de maturité pourraient faire parties des notations de phénologie dans les vergers dédiés. Sur les vergers niveau 1 et 2, la date de fin maturité n'est pas systématiquement disponible.

1.2 - CAPITALISATION ET DIFFUSION DES RESULTATS

1.2.1 Capitalisation

La capitalisation des résultats a commencé de manière très variable. Elle peut être discontinuée car l'acquisition de données pour une valorisation 15 ans plus tard était peu vendable auprès de décideurs. Les jeux de données conséquents datent de la fin des années 1990 lorsque le changement climatique est apparu plus clairement. Les plus complets sont essentiellement des observations dérivées d'autres thématiques sauf dans le cas des expérimentations spécifiques indiquées précédemment mais qui sont plus récentes.

Concernant l'expérimentation variétale, les jeux de données remontent aux années 60 pour l'INRA et aux années 1970 pour le Ctifl. Ces observations, sur les principales espèces fruitières concernent essentiellement la phénologie de base (date de floraison, date de maturité).

Des observations plus systématiques à partir de vergers dédiés ont commencé en 2007 et ont été réactivées dans le cadre du métaprogramme INRA Accaf Perpheclim.

Les jeux de données sont très variables dans leur amplitude car liés à l'expérimentateur, à l'espèce, voire à la politique de gestion d'une espèce sur un centre/station.

Les notations plus spécifiques, bien qu'adossées aux variétés, ont débuté à la fin des années 1990 et sont également dépendantes de l'espèce et de l'expérimentateur. On peut noter à titre d'exemple les suivis de dormance chez l'abricotier (test Tabuenca) ou les suivis de maturité chez le pommier (écart entre les stades amidon 5 et 8).

Des expérimentations plus classiques, réalisées avec ou sans répétition, portent sur la dormance du pommier ou l'initiation florale fraisier ; elles sont plus récentes et calées sur des cycles de 3 ou 4 ans d'essai (mise au point du protocole, robustesse des résultats, ...).

Plus récemment, les travaux sur le stress hydrique s'inscrivent dans le même pas de temps entre période de mise au point et période d'essais en « routine ».

Les essais sont parfois adossés à un financement, parfois réalisés sur fond propre notamment dans le cas de capitalisation juste sur un critère ou de réutilisation d'une donnée pour un dessein différent de celui d'origine.

1.2.2 - Diffusion des résultats

La diffusion des résultats est très variable également. Un premier travail de valorisation des données phénologiques des vergers d'évaluation variétale a été fait dans le cadre des projets Phenoclim/Arviclim.

Des articles dans des revues à comité de lecture ont également été réalisés (JM. Legave, ...).

Les expérimentations plus classiques ont débouché sur des comptes rendus d'expérimentation et des articles dans la presse spécialisée. Chaque expérimentateur gère la diffusion en fonction des éléments obtenus après traitement des données (Mathieu : Dormance du pommier, Jay : Dormance de l'abricotier ...).

Différents colloques ont également été organisés par les différents intervenants (INRA, Ctifl, ACTA, RED PACA, ACMG...) sur la thématique du changement climatique.

1.3 - ANALYSE CRITIQUE

La thématique du changement climatique est globalement récente dans sa prise en compte en tant que telle. L'ancienneté des données est donc très variable et souvent liée à l'implication de l'expérimentateur.

1.3.1 - Phénologie

C'est sur ce grand groupe d'observations que le plus de données sont disponibles. Des efforts ont été faits pour harmoniser les notations notamment à travers le métaprogramme INRA ACCAF Perpheclim. Ce même dispositif a contribué à la mise en place de parcelles dédiées dans une logique assez proche de celle de Phenoclim/Arviclim. Un réseau est donc en train de se consolider tant sur le matériel disponible que sur la qualité des observations qui y sont effectuées. Des fiches spécifiques ont été éditées pour aider à l'homogénéité des observations. Des séminaires de notations ont également été organisés pour échanger et harmoniser les notations de phénologie (projet INRA Perpheclim).

1.3.2 - Anomalies florales

Sur cette thématique, les données sont essentiellement qualitatives et la capitalisation quantitative a tardé essentiellement pour des raisons de temps disponibles. Les jeux de données souffrent également de la "perte de variétés" sensibles qui ne sont plus multipliées et pour lesquelles la continuité de notation n'est pas assurée. Cette thématique est souvent secondaire par rapport à la dormance. Les jeux de données portent sur une durée souvent inférieure à 10 ans et ne permettent pas encore une confrontation avec les données climatiques.

1.3.3 - Dormance

Les travaux initiés par l'Inra devraient permettre d'avancer sur ce thème en accédant à une caractérisation plus simple que les méthodes traditionnelles. La détermination facilitée de la date de levée de dormance conduira à terme à des progrès dans la modélisation.

1.3.4 - Jeu de données

L'exploitation large des données de phénologie disponibles n'a pas encore été effectuée alors que la solution est simple.

2 – QUESTIONS EMERGENTES

2.1 - QUELLES NOUVELLES METHODES ET QUELS DISPOSITIFS DEVELOPPER

Avant de passer aux nouvelles méthodes, soulignons les efforts faits sur les méthodes actuelles pour homogénéiser les protocoles d'observations et le traitement des données (Métaprogramme INRA ACCAF Perpheclim, plate-forme Adonis, projet socle mobilité...). L'ajout de robustesse dans les méthodes actuelles est important, d'autant plus pour la continuité de certains jeux de données.

2.1.1 - Nouvelles méthodes

- NIRS

Investigué notamment dans le cadre de la dormance, cette piste présente des intérêts. Les résultats des travaux conduits par l'Inra à Clermont Ferrant conditionneront la suite.

- Imagerie multispectrale

Cette technique, sûrement prometteuse reste une boîte noire pour de nombreux expérimentateurs et requiert dans un premier temps des compétences spécifiques pour le traitement informatique des données. L'imagerie aéroportée est encore à l'état de potentialité en attendant que des applications voient le jour. Ce type de mesures devrait déboucher sur une possibilité de travaux pluridisciplinaires de phénotypage, où recherche fondamentale et expérimentation de terrain peuvent se côtoyer autour d'un même objectif, ce qui est réalisé dans le cadre du projet Casdar Aliage-fruits (2014-17)

- Biologie moléculaire

Cette piste est sûrement à explorer plus profondément. Elle l'est déjà par certaines entreprises privées qui se basent sur l'expression des gènes pour détecter des désordres physiologiques ou des étapes physiologiques. Il est évident qu'une approche recherche fondamentale sur la partie moléculaire et une approche recherche appliquée pour les aspects de phénotypage devraient voir le jour. Ce type de travaux existe déjà mais pas au niveau français.

- Caractérisation du stress

Qu'il soit d'origine hydrique ou thermique (cas des fortes températures), la mesure du stress fournit une valeur abstraite, mal quantifiée. Une caractérisation plus précise du stress sous forme de seuils et/ou de plages paraît nécessaire. De la même façon, des moyens de mesure doivent être trouvés pour accompagner les observations et quantifier de manière la plus précise possible les phénomènes.

- Prévision des risques à partir des scénarios probables

La prévision des risques climatiques fait partie des thèmes développés dans le cadre du projet ACCAF Perpheclim et reste le cœur de métier des équipes dédiées de l'INRA d'Avignon. Cette piste reste à poursuivre notamment à l'étendant à d'autres critères que la phénologie. Cette extension est liée aux points cités précédemment et à la disponibilité de données seuil qui permettront de confronter scénarios futurs et comportement physiologique.

2.1.2 - Quels outils?

Ce point paraît le plus important lorsque l'on évoque de futurs travaux. La recherche appliquée en termes de phénotypage est à l'arrêt et ne franchira un nouveau cap qu'avec l'utilisation de nouveaux outils/méthodes.

Les principaux problèmes dans les nouveaux outils sont leur prix, souvent onéreux et l'absence de certitude sur la résolution de la problématique. Ces montants sont prohibitifs pour tous les tests où une idée de départ doit être explorée avant d'être lancée plus largement. Un autre inconvénient vient souvent de la première version des outils qui n'est pas en haut débit. Bien souvent le gain de temps est envisageable sur des versions plus abouties lorsque la demande fait

générer un espoir de développement plus large. Un écueil vient du manque d'universalité des outils et c'est seulement l'utilisation de plusieurs d'entre eux qui permettrait une caractérisation différente et plus aboutie.

Enfin, un des freins à l'utilisation de nouveaux outils est la volonté quasi systématique des utilisateurs de retomber sur des unités de mesures connues alors qu'il faut parfois accepter de repartir sur échelles complètement nouvelles mais pour laquelle nous ne disposons pas de références.

Pour finir, les projets financés ou les politiques internes ne privilégient pas les investissements ce qui finit de conduire dans une impasse.

2.2 - PROJETS A CO-CONSTRUIRE

2.2.1 - Outils

Un projet "nouveaux outils" pour l'expérimentation serait à envisager soit à partir d'informations existantes soit à partir de prospection. En face de chaque outil une utilisation potentielle pourrait être indiquée de façon à élargir si besoin le niveau d'explication autour d'un phénomène. (Exp : baisse de rendement expliqué par une réduction de photosynthèse ou une forte régulation stomatique, ...). Trop d'expérimentations sur la thématique des stress abiotiques se focalisent sur la résultante agronomique sans expliquer les raisons physiologiques.

L'élargissement de la gamme de mesures en recherche appliquée devrait être un facteur de progrès mais pas forcément un gain de temps au départ.

La notion d'outils intègre capteurs et méthodes d'acquisition de données.

2.2.2 - Marqueurs moléculaires

L'avancée dans les connaissances sur le génome des différentes espèces fruitières laisse imaginer des applications pratiques pour prévoir l'apparition de processus physiologiques, positifs comme négatifs. La mise au point de ces outils passe souvent par une recherche de variabilité qui est mise en relation avec l'expression de gènes. L'avantage de cette technique est de lire ses réactions directement au niveau de l'arbre en s'affranchissant de la prise en compte des multiples facteurs qui interagissent. Bien que tous les phénomènes ne soient pas liés simplement à un gène, on peut espérer que certaines étapes soient prévisibles. Certains processus physiologiques pourraient être étudiés si les connaissances préalables le laissent envisager. Bien qu'à vérifier on peut penser que la chute des fruits avant récolte chez le pommier pourrait être prédite en suivant les signaux d'activation de la zone d'abscission.

2.2.3 - Analyse multispectrale, NIR, NIRS ...

Le même type de travaux que celui sur les marqueurs moléculaires peut s'envisager avec d'autres technologies comme c'est le cas dans le cadre du projet Aliage. Les compétences fondamentales s'appuient sur des équipes pluridisciplinaires de phénotypage pour mettre aux points des méthodes innovantes d'observation en analysant la variabilité générée.

2.2.4 - Modélisation

Dans la mesure où ils sont modélisables, les processus physiologiques méritent de l'être soit pour gérer l'année en cours soit pour des démarches plus prospectives sur l'adéquation entre le climat futur et les caractéristiques d'une espèce ou d'une variété. Un certain nombre de modèles existent mais ils sont souvent épars. Un regroupement sur une plate-forme dédiée serait un atout pour la profession. Cet objectif pourrait être un projet spécifique. Pour l'heure, les regroupements sont essentiellement faits par les distributeurs de stations météorologiques. Des

bases de données existent et la concrétisation d'un appel à projet serait l'occasion de mettre à jour des applications existantes qui n'ont pas évolué.

3 - CONCLUSION

La prise en compte des stress abiotiques serait un vrai service rendu à la profession si les alertes pouvaient être formulées avant que les producteurs ne constatent dans leurs vergers et au plan économique les conséquences du changement climatique (réchauffement global, fréquence accrue de phénomènes extrêmes, réduction des précipitations estivales, etc.).

Les enjeux sont importants tant à court terme que sur des échéances prévues à travers des scénarios climatiques.

La programmation des travaux futurs ne pourra résulter que de la volonté de acteurs de la filière recherche développement de travailler ensemble malgré des divergences de point de vue (dormance vs anomalies florales par ex).

Les travaux institutionnels sont récents et la capitalisation de données demandera plusieurs années avant des confrontations avec les données climatiques.

Enfin, des projets ne pourront aboutir que sur des volontés communes de progresser dans un respect mutuel.