



MEDIEVAL

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

Axe de travail : Sensibilité aux bioagresseurs

Annexe 13

Rédacteurs : Jean-Marc Audergon (Inra), Laurent Brun (Inra), Marine Guadagnini (Inra), Julien Ruesch (Ctifl)

Introduction

Dans le contexte du plan Ecophyto « Recenser les systèmes économes et généraliser les moyens connus permettant de réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques », la connaissance du comportement du matériel végétal face aux bioagresseurs¹ apparaît comme un élément central pour concevoir des systèmes de production économes en produits phytopharmaceutiques. Les producteurs qui souhaitent s'impliquer dans cette démarche ont besoin de connaître la sensibilité de leurs variétés aux maladies et ravageurs pour adapter leur stratégie de protection des vergers et définir les combinaisons cohérentes de leviers d'action par rapport à leurs objectifs et à la pression des bioagresseurs dans leurs contextes de production.

Les dispositifs actuels de la Charte, conduits sous protection phytosanitaire, permettent de recueillir une information seulement partielle sur le comportement du matériel végétal vis-à-vis des bioagresseurs principaux. Ils sont de plus en plus adaptés à la prise en compte des sensibilités aux bioagresseurs secondaires dont le contrôle devient majeur dans une logique de réduction d'intrants. Pour répondre aux besoins des professionnels, des essais ciblés sur des maladies dont l'impact technico-économique s'avère prégnant dans des systèmes de culture conventionnels ont été progressivement mis en place : sensibilité variétale au chancre bactérien chez l'abricotier, à la tavelure et aux maladies de conservation chez le pommier, aux monilioses chez le pêcher... Ils illustrent et objectivent l'existence d'une diversité de comportement selon les variétés qui mérite d'être et déjà d'être exploitée.

Hors charte, mais en lien avec les études de comportement, des approches plus intégratives ont été déployées pour appréhender le cortège des bioagresseurs présents et leur impact dans des systèmes de culture sous faibles niveaux d'intrants. Elles délivrent pour les espèces pommier et abricotier des éléments méthodologiques dont la validation est en cours dans les 3 projets Déphy-Ecophyto fruits (Ecopêche, Capred, Expé-ecophyto pomme).

Fort de ces constats, les travaux conduits dans le cadre du GT bioagresseurs ont veillé à assoir une vision générale de la situation sur les espèces fruitières. Ils ont permis d'établir :

- un état des lieux des complexes phyto-parasitaires connus ou attendus en verger pour les espèces fruitières majeures, et d'évaluer l'existence de différences de sensibilités variétales,
- un bilan des méthodes et dispositifs de caractérisation pour cibler les sensibilités variétales, et des démarches de caractérisation dans un cadre multi-bioagresseurs.

¹ Dans la suite du texte le terme de 'bioagresseurs' sera utilisé pour intégrer l'ensemble des maladies et ravageurs

Puis, cet ensemble a été mis en perspective afin d'objectiver les priorisations indispensables dans les caractères devant être pris en compte (niveau et cumul des composantes de résistance attendues) pour répondre à des cultures conduites en conventionnel et/ou sous faibles niveaux d'intrants (dont AB).

A – Dispositifs, méthodes et critères existants

La grande diversité des couples 'espèce fruitière x bioagresseurs', des méthodologies possibles pour évaluer la sensibilité du matériel végétal, ainsi que la multiplicité des acteurs impliqués dans la caractérisation du matériel végétal fruitier nous a conduit à analyser les ressources bibliographiques et les méthodes de caractérisation disponibles de manière aussi exhaustive que possible, au niveau français et international.

1. Méthodes de caractérisation disponibles, outils et techniques mobilisables (=état des lieux)

1.1. *Inventaire bibliographique (WoS), état de l'Art (Pomme, Poire, Pêche, Abricot, Cerise, Prune)*

L'inventaire a été réalisé en s'appuyant sur les bases de données en ligne (WoS®, CABI : CAB Abstracts®...), les documents de l'OILB et de l'OEPP, les livres et monographies, et les revues techniques. Il a été partiellement complété par des interviews à « dire d'expert » (contact avec des experts connus et travaillant sur le sujet (stations d'expérimentations, laboratoires de recherche,...)).

La méthode de recherche mobilisée pour interroger les bases de données est décrite dans *l'Annexe A*. Les tableaux synthétiques référençant les principaux couples 'espèce x pathogène' ainsi que le nombre de publications intégrant le mot clé « évaluation » sont reportés dans *l'Annexe B*. Les publications ont été considérées comme « intéressantes » lorsqu'elles traitaient d'une méthode d'évaluation de la sensibilité (vs résistance) aux bioagresseurs concernés ; et comme « éventuellement intéressantes » lorsqu'elles pouvaient être éventuellement exploitables pour notre sujet. Pour chacun des triplets 'espèce x pathogène x évaluation', les résumés des publications référencées sont disponibles sous forme de fichiers WORD dans *l'Annexe C*.

De manière générale les recherches associées au mot clé « évaluation » dans la base [CABI : CAB Abstracts®](#) ont mis en avant des publications appartenant aux axes thématiques suivants : ressources génétiques, transmission génétique ou hérédité des caractères, mécanismes de résistance, variabilité de l'agent pathogène, épidémiologie, méthodes de détection (phénotypique, génomique, sérologique), biocontrôle, prophylaxie et méthodes d'évaluation de la résistance. Elles rendent compte d'une évolution sensible des activités de recherche qui après avoir été généralistes dans les années 1980 ont aujourd'hui tendance à adresser de manière très ciblée les couples majeurs, et les mécanismes génétiques et moléculaires impliqués dans les relations hôte x bioagresseur. Par voie de conséquence une grande partie des éléments bibliographiques mobilisés dans notre approche, par le fait même qu'ils soient plus généralistes et intégrateurs, font appel à de la littérature grise ancienne et à de l'expertise encore détenue au sein des équipes de recherche et expérimentation.

De manière illustrative et synthétique, le tableau I dresse un bilan des maladies et ravageurs identifiés par espèce et des publications portant potentiellement sur les méthodes destinées à caractériser la diversité variétale. Il rend compte, de manière certainement fragmentaire, de l'étendue du pathosystème et de la multiplicité des cibles à contrôler pour chacune des espèces cibles, mais ne rend pas du tout compte de

l'importance technico-économique de chacun des couples. Le nombre de publications en lien avec chacun d'entre eux, illustre l'effort de recherche et de caractérisation. Là encore une très grande disparité existe entre les couples et, pour nombre d'entre eux, il n'est pas du tout fait référence à des méthodes objectivées de caractérisation.

Maladies & Ravageurs	Nb de maladies ou ravageurs recensés	Nb de publications portant sur l'« évaluation » du matériel végétal	Nb publications intéressantes
Pommier			
Cryptogamiques	21	505	27 (3 maladies)
Bactériennes	1	168	22 (1 maladie)
Virales	5	16	1 (1 maladie)
Phytoplasmes	1	14	0
<i>Sous- total</i>	28	703	50
Ravageurs	53	237	9 (6 ravageurs)
Total	81	940	59
Poirier			
Cryptogamiques	20	143	8 (2 maladies)
Bactériennes	2	191	27 (1 maladie)
Virales	8	7	0
Phytoplasmes	1	1	0
<i>Sous- total</i>	31	342	35
Ravageurs	42	88	2 (1 ravageur)
Total	73	430	37
Pêcher			
Cryptogamiques	18	211	14 (5 maladies)
Bactériennes	3	56	9 (2 maladies)
Virales	6	63	17 (1 maladie)
Phytoplasmes	1	4	0
<i>Sous- total</i>	28	334	40
Ravageurs	42	264	1 ravageur
Total	70	598	41
Abricotier			
Cryptogamiques	18	50	15 (1 maladie)
Bactériennes	5	41	2 (2 maladies)
Virales	4	72	13 (1 maladie)
Phytoplasmes	1	10	2 (1 maladie)
<i>Sous- total</i>	28	173	32
Ravageurs	31	1	0
Total	59	174	32
Prunier			
Cryptogamiques	13	54	5 (2 maladies)
Bactériennes	3	35	2 (2 maladies)
Virales	4	180	8 (1 maladie)
Phytoplasmes	1	6	2 (1 maladie)
<i>Sous- total</i>	21	275	17
Ravageurs	47	15	1 ravageur
Total	68	290	18
Cerisier			
Cryptogamiques	15	27	4 (1 maladie)
Bactériennes	2	31	10 (1 maladie)
Virales	7	17	0
Phytoplasmes	0	0	0
<i>Sous- total</i>	24	75	14
Ravageurs	37	11	1 ravageur

Total	61	86	15
-------	----	----	----

Tableau I – Bilan synthétique des couples plantes pathogènes par espèce et des publications en lien avec l'évaluation variétale

Le tableau II complète les informations précédentes en illustrant dans le cas particulier des maladies de dégénérescence le niveau de généralité et l'importance des couples plantes pathogènes.

	Nom commun	Nom latin	Pommier	Poirier	Pêcher	Abricotier	Prunier	Cerisier
Bactériennes	Feu bactérien	<i>Erwinia amylovora</i>	X	X		x		
	Chancre bactérien	<i>Pseudomonas spp.</i>		x	x	X	x	x
	Maladie des taches bactériennes	<i>Xanthomonas arboricola</i>			X	x	x	
	Xylella fastidiosa	<i>Xylella fastidiosa</i>	?	?	?	x	?	?
	Galle du collet	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>			x	x	x	x
Virus	ACLSV	<i>Apple Chlorotic Leaf Spot Virus</i>	x	x				
	ASGV	<i>Apple stem-grooving capillovirus</i>	x	x				
	ASPV	<i>Apple stem-pitting foveavirus</i>	x	x				
	ApMV	<i>Apple Mosaic Virus</i>	x					
	PSP	<i>Pear story pit</i>		x				
	QsR	<i>Quince sooty ringspot</i>		x				
	PBCVd	<i>Pear Blister Canker Viroid</i>		x				
	Arw	<i>Apple rubbery wood</i>		x				
	sharka	<i>Plum Pox Virus</i>			x	X	x	x
	PNRSV	<i>Prunus Necrotic Ringspot Virus</i>			x	x	x	x
	PIMVd	<i>Peach Latent Mosaic Viroid</i>			x			
	PDV	<i>Prune Dwarf Virus</i>			x	x	x	x
	PSRS	<i>Peach sooty ringspot</i>			x			
	PAS	<i>Peach asteroid spot</i>			x			
	ACLSV	<i>Apple Chlorotic Leaf Spot Virus</i>				x	x	x
	CNRMV	<i>Cherry Necrotic Rusty Mottle</i>						x
	CLRV	<i>Cherry Leaf Roll Virus</i>						x
RpRSV	<i>Raspberry Ring Spot Virus</i>						x	
Phytoplasmes	Prolifération du pommier	<i>Candidatus Phytoplasma mali</i>	x					
	Dépérissement du poirier	<i>Candidatus phytoplasma pyri</i>		x				
	Enroulement chlorotique de l'abricotier	<i>Candidatus phytoplasma prunorum</i>			x	X	X	

Tableau II – Bilan des maladies de dégénérescence identifiées chez les 5 espèces cibles et illustration de leur généralité entre espèce.

Il montre *a minima* la séparation nette des pathosystèmes « fruits à pépins » et « fruits à noyaux », et au-delà de la généralité par groupe d'espèces, pour des raisons scientifiques et technico-économiques on observe un grand niveau de spécificité des couples étudiés.

Cette analyse montre que la France possède une spécificité dans l'étude ciblée des sensibilités aux bioagresseurs. Par contre la Suisse et la Belgique ont certainement développé des approches plus intégrées des pathosystèmes dans des approches orientées Agriculture Biologique.

Au final, seul un nombre très limité de publications correspond donc à notre objet d'étude. Elles concernent majoritairement les couples 'plante x bioagresseurs' les plus prégnants, et font principalement appel à des approches ciblées. Une partie des publications devrait pouvoir être exploitable si elles sont suffisamment détaillées, ce qui devra être vérifié lors d'une seconde étape. La recherche bibliographique sur le WOS est intéressante pour effectuer une veille, elle méritera donc d'être actualisée. La poursuite de cette étude documentaire devra s'orienter vers une analyse critique des informations relevées dans ce premier état des lieux afin de ne sélectionner que les données utiles, et faire valider par des experts les techniques d'évaluation qui pourraient nous être intéressantes.

1.2. Inventaire des dispositifs d'évaluation de la sensibilité variétale aux bioagresseurs en France

L'inventaire a été réalisé sur la base des éléments décrits lors de la première réunion du groupe en juin 2013. Il a été enrichi par des éléments bibliographiques (notamment publiés dans des revues techniques), et par des échanges avec des personnes ressources « espèce » et des personnes ressources en « pathologie » et « entomologie » (phytoplasme, champignon, bactérie, ravageurs, virus). La synthèse du travail d'inventaire est reportée dans les tableaux et présentations en **Annexe D, E et F**, dans la figure 1 et le tableau III.

La figure 1 cartographie les sites aujourd'hui impliqués dans l'évaluation de la sensibilité variétale aux bioagresseurs.

- Ils sont concentrés sur les sites d'évaluation du comportement (Niveaux 1 et 2 de la charte), et mobilisent fortement les unités du Ctifl. Ces dispositifs sont néanmoins complétés en réseau en s'appuyant sur les interactions connues entre les bioagresseurs et les conditions pédoclimatiques (par exemple les sensibilités aux maladies bactériennes : *Xanthomonas*, et Chancre bactérien...),
- Ils sont complétés à des fins d'études méthodologiques par des travaux mis en œuvre à l'INRA ou avec l'INRA, pouvant aller du phénotypage au génotypage des caractères considérés comme dans le cas de la résistance à la tavelure, à la sharka et aux nématodes et/ou à une intégration en réseau dans le cas du réseau « vergers durables ».

Les couples plante x bioagresseurs faisant l'objet d'étude sont les suivant :

Variétés Pommes : tavelure, oïdium, puceron cendré

Variétés Cerises : maladies de conservation

Variétés Abricots : tavelure, oïdium, monilia, sharka, chancre bactérien, maladies de conservation

Variétés Pêches : cloque, oïdium, thrips, pucerons verts, tordeuse, maladies de conservation

Porte-greffe prunus : résistance aux nématodes

Variétés de Châtaignes : cynips

Variétés de Kiwi : bactériose (*Pseudomonas syringae* *Actinidia* - *psa*)

Variétés de Noix : mouche du brou, bactériose

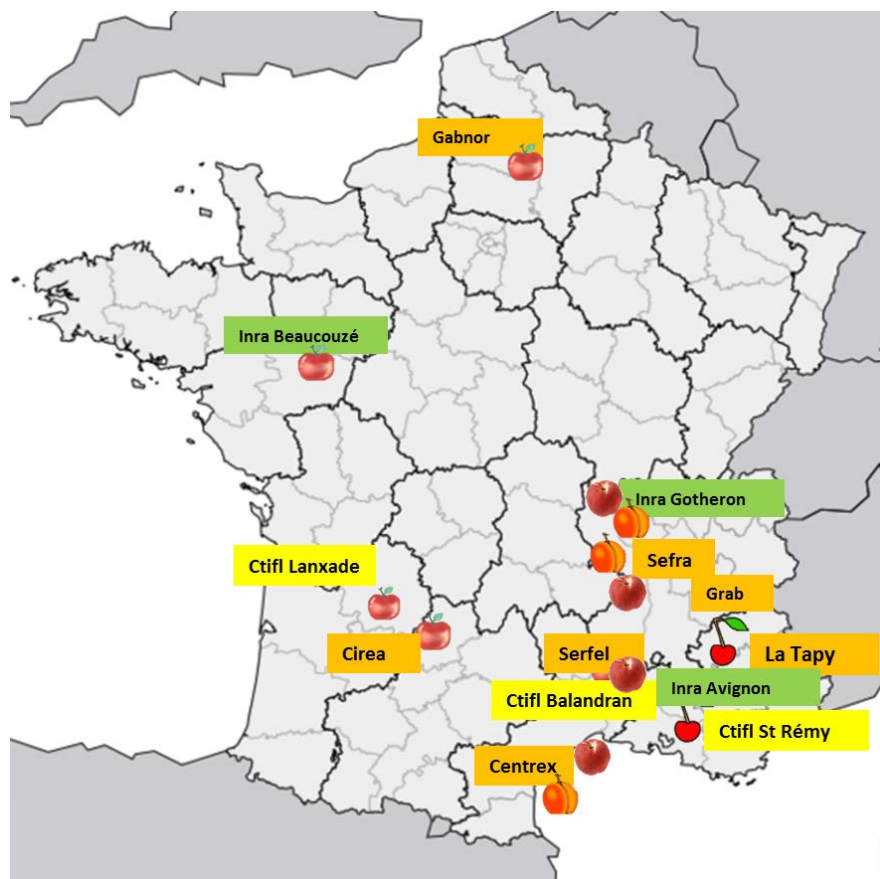


Figure 1 – Localisation des sites d'expérimentation impliqués dans l'étude de la sensibilité aux bioagresseurs

Maladies & Ravageurs		pomme	pêche	cerise	abricot	prune	PG prunus	kiwi	noix	châtaigne
Virus	Sharka		INRA Avignon		INRA Avignon CTIFL Lanxade					
Phytoplasmes	ESFY				INRA Gotheron Centrex	CEFEL Montauban				
Bactéries	Chancre bactérien Bactériose Xanthomonas		CTIFL Balandran		INRA Gotheron SEFRA INRA Avignon CTIFL Balandran	 CTIFL Balandran		Ctifl - Lanxade	Ctifl ?	
Champignons	Monilia		CTIFL Balandran		INRA Gotheron- CENTREX CTIFL Balandran					
	Rouille	GRAB-INRA Gotheron-CIREA- Gabnor	Sefra Centrex Serfel		INRA Gotheron- CENTREX					
	Tavelure	GRAB-INRA Gotheron-CIREA- Gabnor			INRA Gotheron- CENTREX					
	Oïdium	CTIFL Lanxade	CTIFL Balandran		INRA Gotheron- CENTREX					
	Cloque Anthracnose	INRA Gotheron	CTIFL Balandran Sefra Centrex							
Ravageurs	Puceron cendré	GRAB-INRA Gotheron-CIREA- Gabnor CTIFL Lanxade								
	Cynips Nématodes Thrips Tordeuses Mouche du brou		Serfel Serfel				INRA Avignon			Ctifl ?
									ctifl ?	
Faibles intrants		GRAB-INRA Gotheron-CIREA- Gabnor	GRAB-INRA Gotheron		INRA Gotheron-GRAB					
Test en conditions contrôlées	Tavelure	INRA Angers								
	Feu bactérien	INRA Angers								

Tableau III – localisation des sites d'expérimentations dédiés au suivi des maladies et ravageurs – en gras sont figurent les lieux d'études de la sensibilité en routine dans le réseau Charte

Les éléments principaux issus de cette analyse documentaire font apparaître que :

- des tests de sensibilité aux bioagresseurs existent ou sont en cours de déploiement de manière ciblée sur les agents pathogènes et les ravageurs majeurs (dans le cadre ou en adossement sur le dispositif charte actuel),
- ils concernent principalement les espèces pommier, pêcher, abricotier et prunier,
- ils ne prennent pas en compte l'ensemble du complexe phytoparasitaire,
- des tests de comportements sous faible niveau d'intrants ont déjà été déployés sur pommier, pêcher et abricotier, et des éléments méthodologiques sont potentiellement disponibles,
- en dehors de travaux en réseau, destinés à appréhender la robustesse des tests et les influences des interactions GxExP, les tests proposés ne doublonnent pas. La robustesse des approches faibles intrants demande néanmoins à être étudiée avant d'être institutionnalisée (formalisée).

1.3. Inventaire des **projets** de recherche en appui à l'étude des bioagresseurs

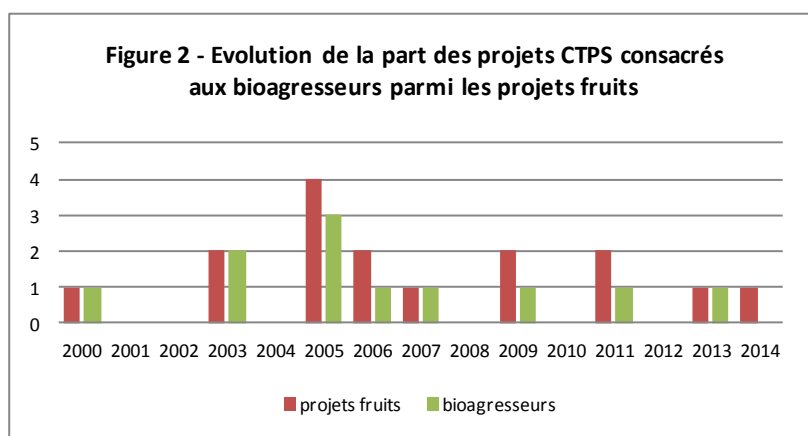
Les études de sensibilité des variétés aux bioagresseurs ont été largement soutenues par des projets de recherche au travers de différents guichets.

En effet, sans avoir une lecture exhaustive, car il ne nous a pas été possible de connaître l'ensemble des financements octroyés à l'échelle régionale et nationale, nous avons 2 fenêtres de lecture qui illustrent le soutien apporté à la thématique : les projets CTPS CASDAR « Semences et Sélection végétale » et les projets Européens.

Ces projets s'inscrivent dans des approches allant de la caractérisation du pathosystème jusqu'à l'identification de tests de sélection moyen débit applicables en sélection.

Projets CTPS CASDAR « Semences et sélection végétale » :

16 projets concernant les espèces fruitières ont été financés au cours des 15 dernières années, 11 d'entre eux étaient dédiés aux thématiques bioagresseurs (Figure 2, Tableau IV, **Annexe G**). Ils contribuaient notamment à la caractérisation de sources de résistance et mobilisaient des approches de caractérisation des bioagresseurs jusqu'à l'analyse des déterminants moléculaires des composantes de résistance dans des démarches allant jusqu'à la Sélection Assistée par Marqueurs.



Projets Européens :

Titre	AAP	Période	Espèce	Cible
Apricot Network	CAMAR	1991-1994	Abricotier	Action intégrée
DARE	UE FP5	1997-2000	Pommier	Tavelure
APRIMED	INCO	1998-2002	Abricotier	Ressources génétiques
ABRIGEN	UE Fair6	1999-2003	Abricotier	Action intégrée
HiDRAS	UE	2003-2007	Pommier	Tavelure
ISAFRUIT	UE	2006-2010	Pommier Prunus	Qualité
SharCo	UE AO FP7	2008-2012	Prunus	Sharka
<i>PRIMo</i>	<i>Agropolis fondation</i>	<i>2010-2011</i>	<i>Pêcher</i>	<i>Monilia</i>
COST FA 1104	UE	2011-2015	Cerisier	Action intégrée
PURE	UE	2011-2015	Pommier Pêcher	Réduction d'intrants
Fruit Breedomics	UE	2011-2015	Pommier Pêcher	Sélection
KBBE Cobra	UE	2012-2016	Prunus	Sharka
<i>ABRIWG</i>	<i>ANR</i>	<i>2012-2014</i>	<i>Abricotier</i>	<i>Sharka</i>
KBBE MARS	UE	2013-2015	Prunus	Sharka

Tableau IV – Liste des projets de recherche européens financés au cours des dernières années

Sur les 15 dernières années, 12 projets européens (tableau IV) ont porté sur les recherches fruitières, 10 d'entre eux ont concerné la thématique Bioagresseurs. 6 étaient ciblés sur des couples 'plante x pathogène' (tavelure x pommier, sharka x Prunus) et 4 avaient des dimensions plus intégrées basées sur des approches multicaractères et/ou réduction des intrants.

Cet examen quoique sommaire met en évidence que :

- les bioagresseurs ont été et demeurent au cœur des préoccupations des politiques publiques ;
- dans le cas de la tavelure du pommier, de la sharka, et des nématodes chez les *Prunus*, les travaux ont permis de caractériser les ressources génétiques, de préciser les modalités de caractérisation de la résistance et d'identifier des marqueurs moléculaires susceptibles d'assister la sélection de matériels résistants ;
- dans le cas des essais en réseau sous faibles niveaux d'intrants, des approches méthodologiques originales ont été développées.

2. Capitalisation et diffusion des résultats des méthodes existantes

Les travaux dédiés à la connaissance de la sensibilité des espèces et variétés fruitières aux bioagresseurs restent très limités. Ils résultent :

- soit d'observations en verger de collection (souvent sans une maîtrise objective des agents pathogènes) ;
- soit de travaux liés à la détection et à la caractérisation de bioagresseurs (sans lien réel avec un éventuel impact technico-économique) ;
- soit de travaux ciblés sur un couple 'plante x bioagresseurs' où la cible première est la maîtrise des déterminants génétiques et moléculaires (mais dans ce cas le chemin d'impact est long à baliser et les efforts déployés pour identifier des marqueurs devraient systématiquement être validés pour en valider la robustesse en fonction des fonds génétiques) ;

- soit enfin de travaux intégrés multipathogènes, jusqu'alors fort peu mobilisés dans le cas d'approches de sélection et d'amélioration multicaractères en vue de l'obtention de matériels résilients (tolérants ou résistants).

La plupart des travaux, notamment les plus récents, ont été développés à l'échelle nationale. Lorsqu'ils s'inscrivent dans des consortiums plus larges, la France est systématiquement acteur dans leur mise en place, ce qui rend compte du dynamisme des équipes impliquées.

La mobilisation de ces acquis pour la caractérisation des ressources génétiques et leur mise en œuvre en routine pour la caractérisation des variétés en cours de sélection, reste très marginale et demande à être optimisée.

3. Analyse critique des méthodes existantes

Outre les notions de durabilité et de diversité des agents pathogènes qui commencent tout juste à être abordées, et outre les interactions entre les sensibilités variétales et les systèmes de culture qui restent marginales quand elles conditionnent le niveau général de résilience attendu, les études portant sur la sensibilité des variétés aux différents bioagresseurs (maladies et ravageurs) peuvent être réparties en différentes catégories, chacune d'entre elles présentant ses atouts et ses inconvénients.

Etudes en conditions contrôlées

Elles présentent l'avantage d'être plus répétables (conditions contrôlées) et de mobiliser une surface plus faible (travail sur jeune plants). Elles permettent également d'obtenir une réponse plus rapide.

Cependant, ces travaux qui se font en général dans des conditions très contrôlées (climat, inoculum,...), ne reflètent pas forcément la réalité du verger (variabilité de l'inoculum, des conditions climatiques, de la phénologie des variétés...). La question se pose quant à la transposabilité des conclusions obtenues dans ce cadre-là. Par ailleurs, ce type d'étude est très monofactoriel (un seul ravageur/maladie étudié).

Etudes en verger

- *Verger non spécifiquement dédié* (type verger d'évaluation des potentiels agronomiques ou vergers de producteurs) dans lesquels une protection phytosanitaire classique est réalisée.

Ce type de verger rend difficile une comparaison fine des niveaux de sensibilité entre variété étant donné que les variétés sont conduites de manière optimum et différenciées pour limiter l'apparition des maladies et ravageurs. Cependant, ces dispositifs "optimisés" d'un point de vue de la protection phytosanitaire permettent d'identifier les variétés ayant une très forte sensibilité récurrente.

- *Vergers spécifiques dans lesquels la protection phytosanitaire est réduite.*

Cas 1 : verger spécifique complémentaire à des vergers de comportement

Il présente l'avantage de mettre les variétés dans des conditions similaires et proches de la réalité. Cependant, ces dispositifs sont coûteux à mettre en place (plantation supplémentaire, mobilisation de terrain, faible valorisation commerciale de la production, ...) et sont dépendants des conditions extérieures (source d'inoculum suffisante, pression et homogénéité de la maladie/ravageur). Si l'allègement de la protection phytosanitaire ne concerne qu'un seul bioagresseur, la réponse de ce

type de dispositif reste monofactorielle et la transposition des conclusions à d'autres maladies / ravageurs reste délicate. Il est possible d'essayer d'étudier la sensibilité variétale à plusieurs bioagresseurs dans un même dispositif, mais des interactions entre maladies / ravageurs peuvent exister rendant cette évaluation multibioagresseur parfois impossible.

Cas 2 : verger spécifique "combiné"

Ceci concerne des vergers type "bas intrants" ou "AB" ayant pour vocation d'étudier, sur un même verger les potentiels agronomiques et la rusticité des variétés vis-à-vis des maladies/ravageurs.

Ce type de verger offre l'intérêt d'apporter une approche globale des variétés en intégrant tous les paramètres (production et sensibilité diverses). Cependant, le risque de tels vergers, où le filtre sensibilité est aussi important que le filtre productivité, réside dans le fait d'engendrer l'élimination de variétés qui auraient, potentiellement, un très bon comportement en conduite sous PFI (sauf si les dispositifs sont pensés dans un esprit de complémentarité). En outre l'extrapolation des résultats hors de la région reste délicate.

NB : Quel que soit le type de verger mis en place, la question de l'interaction 'génotype (variété) x environnement (climat, souches de pathogène présentes, pratiques culturales,...)' reste posée. Ou bien : « les observations sur la sensibilité variétale réalisées sur un site sont-elles transposables à un autre site ? ». Il est possible de travailler en conditions contrôlées pour essayer de répondre à cette question, mais les études à réaliser deviennent alors très lourdes (tester différentes souches ou populations du bioagresseur, tester différentes conditions climatiques...). Une solution pourrait être d'implanter les vergers expérimentaux spécifiques en multisite pour tester la présence ou l'absence d'interaction 'variété x site' pour le(s) caractère(s) de sensibilité variétale observée(s).

B - Questions émergentes

1. Enjeux & perspectives

Dans un contexte où les politiques publiques, la pression sociétale et les consommateurs nous incitent à réduire les intrants, à maximiser la durabilité et les services apportés, il est majeur de se préoccuper de la contribution de la variété à cette stratégie et de coupler les exigences d'analyses systémiques avec la diversité génétique. Les enjeux posés par la problématique 'bioagresseurs' dans le cadre de l'évaluation du comportement variétal peuvent être divisés en 2 groupes :

- à moyen / long terme : maintenir la compétitivité et la rentabilité des exploitations agricoles tout en s'adaptant aux nouvelles contraintes de la production (changements climatiques, réglementation, concurrence économique des autres pays européen),
- à long terme : anticiper l'émergence des nouvelles maladies/ ravageurs, ou plutôt mettre en place des méthodes pour trouver des "parades" (= matériel végétal résistant) le moment venu.

Ces enjeux concernent (a) les cibles travaillées, (b) l'organisation de l'évaluation et le lien recherche-développement, et (c) la gouvernance et les orientations stratégiques du dispositif.

1.1. Les cibles travaillées

La sensibilité variétale aux maladies et ravageurs ayant principalement été conduite sur bioagresseurs majeurs, il en résulte deux conséquences : notre connaissance de la diversité reste très limitée par rapport au pathosystème présent en verger et, sauf dans des cas particuliers comme la tavelure du pommier et la sharka chez l'abricotier, la prise en considération croisée de la diversité des bioagresseurs et de la diversité de la plante reste très limitée et certainement pas représentative des risques de contournements des composantes de résistance mobilisées.

Quatre axes de travail en résultent :

- Elargissement des cibles :
 - o Au regard des problèmes sanitaires rencontrés en verger, une approche intégrant l'ensemble des bioagresseurs mériterait d'être prise en compte.
- Résistance et durabilité :
 - o Les composantes de résistance disponibles sont souvent en nombre limité, et il est donc particulièrement important de gérer ces pools de gènes comme une ressource collective et rare, ce qui doit nous conduire à introduire systématiquement le questionnement de la durabilité dans l'approche de caractérisation et de déploiement de ces matériels.
- Résilience et régularité de production :
 - o Concernant la durabilité des résistances, il est certes nécessaire d'identifier la sensibilité de telle ou telle variété à une ou plusieurs maladies / ravageurs. Cependant une attente, a priori peu exprimée par les producteurs (à part peut-être le producteur en AB), est aussi de disposer de variétés "rustiques", c'est-à-dire résistantes/ tolérantes à un cortège de maladies/ravageurs, produisant suffisamment et régulièrement. L'identification de ces prototypes (multi)résilients devrait devenir un enjeu majeur.
- Emergence (ré-émergence) de nouveaux agents pathogènes :
 - o Au cours des dix dernières années, plus de 10 bioagresseurs ont été identifiés chez les fruits et légumes (PSA pour le Kiwi, *Xylella fastidiosa* pour de nombreuses espèces fruitières, le cynips pour le châtaignier, ...),
 - o Avec la diminution des traitements phytosanitaires et l'abandon de certains produits on assiste à la réapparition de bioagresseurs bien contrôlés auparavant (ex. de l'anthracnose de la pomme).

Il devient donc indispensable de définir un cadre méthodologique susceptible d'anticiper et intégrer ces risques nouveaux.

1.2. L'organisation de l'évaluation et le lien recherche-développement

Dans le continuum Recherche-Développement, les enjeux résident :

- dans la mise en évidence des sensibilités et résistances/tolérances multiples des variétés (par l'intermédiaire de réseaux d'évaluation, ou par d'autres méthodologies (marqueurs biomoléculaires notamment) ;
 - o aussi, après avoir constaté que les travaux de recherche avaient peine à impacter les procédures d'évaluation du comportement variétal, il convient certainement de

réinterroger le réseau et plus particulièrement les relations recherche-développement

- d'une part en s'appuyant sur des démarches Bottom-up (où les informations issues de l'aval pourraient interpellier ou valider les hypothèses d'amont),
- et d'autre part en rendant plus fluides les validations des travaux de recherche souvent conduits sur des bases génétiques restreintes en intégrant les fonds génétiques cultivés.

Cet ensemble permettrait de capitaliser sur les résultats et d'apporter des solutions plus rapides aux questionnements des filières.

- dans le même temps, l'évaluation de la durabilité des composantes de résistance étudiées et des conditions de déploiement devrait précéder ou au moins être instruite concomitamment avec les travaux de caractérisation.
- dans l'identification et la priorisation des caractères au sein d'une démarche VATE centrée ;
 - en effet lorsque les ressources sont contraintes, il est impératif que les efforts déployés ciblent au mieux les enjeux des filières. L'objectivation et la hiérarchisation des traits participant à la Valeur Agronomique Technologique et Environnementale pour des systèmes de cultures représentatifs dans une démarche itérative de conception et validation d'idéotypes et de prototypes devrait permettre de prédéfinir les types variétaux attendus. Ceci suppose une logique de minimisation des risques qu'il conviendra d'objectiver, pour ainsi aider à prioriser les actions de recherche indispensables
 - en outre, l'intégration de la démarche de résistance variétale dans un contexte de résilience 'multi-bioagresseurs' devrait ré-interpeller les méthodes d'amélioration et de sélection en vigueur.
- dans la réappropriation et l'étude de la sensibilité des ressources génétiques.
 - la connaissance et la maîtrise de ressources génétiques qu'elles soient patrimoniales ou cultivées deviennent, en effet, le socle sur lequel les stratégies de construction variétale devront être établies.

1.3. La gouvernance et les orientations stratégiques du dispositif

Par le fait même que le système proposé gagne en complexité, avec un nombre plus important de traits à mettre en œuvre, il serait souhaitable que les acteurs de la filière, échangent et partagent les enjeux de moyen et long terme auxquels font référence ces approches intégratives autour des sensibilités aux bioagresseurs.

Un comité stratégique, en présence des services du Ministère en charge de l'Agriculture et de l'Environnement (capables d'instruire risques et orientations), des professionnels, des structures de recherche et recherche développement devrait porter cette réflexion stratégique en lien avec les services impliqués dans l'étude du comportement variétal (GEVES, Ctifl) et dans une perspective de progrès génétique objectif.

1.4. Quels outils sont mobilisables pour répondre aux enjeux de l'évaluation de la sensibilité aux bioagresseurs ?

Les nouvelles technologies prises au sens large peuvent avoir un rôle spécifique intéressant dans les dispositifs d'évaluation de la sensibilité, comme le phénotypage haut débit.

Pour exemple, les drones peuvent avoir un intérêt dans la détection de la présence du virus de la sharka sur de grandes distances. Des processus automatisés de notation de la sensibilité aux bioagresseurs en serre peuvent également avoir un intérêt tant au niveau de la rapidité d'évaluation mais aussi au niveau des coûts des expérimentations.

Le génotypage est depuis quelques années un outil majeur dans la recherche de gènes de résistance aux maladies dans le domaine de la sélection variétale. L'utilisation de marqueurs moléculaires en très grand nombre permet de broser le fond génétique et donc d'avoir une connaissance ciblée et a priori de l'interaction entre l'hôte et son parasite.

Une approche génomique par la sélection de marqueurs peut permettre d'identifier une certaine forme de résilience dans le fond génétique des variétés. Le génotypage peut donc être utilisé pour des approches d'évaluation de la sensibilité et le sera de plus en plus.

Des questions sont donc soulevées concernant l'utilisation de cette démarche dans les expérimentations :

Comment associer les tests reposant sur des méthodes biomoléculaires et/ou biologiques et les dispositifs d'étude au verger : faut-il réaliser un screening variétal sur un grand nombre de matériels avec des méthodes rapides, pour se concentrer sur le petit nombre des variétés potentiellement les plus intéressantes dans les dispositifs d'étude de la sensibilité aux bioagresseurs dans les conditions du verger ?

D'autres outils sont disponibles pour la prédiction, l'estimation ou l'exposition aux risques en lien avec les facteurs agro-climatiques comme par exemple l'Outil d'Aide à la Décision (OAD) 'Vigne' qui permet grâce à des capteurs d'évaluer les périodes où les conditions sont favorables au développement de l'oïdium, des modèles prédictifs 'tavelure' sur pomme (« Pomme-tavelure DGAL », « RIMpro »...). Aussi, ces outils peuvent participer au bon fonctionnement des dispositifs d'évaluation des sensibilités aux bioagresseurs.

2. Eléments de scénarisation

En prenant en compte les éléments présentés précédemment dans l'inventaire et l'analyse critique des dispositifs d'évaluation de la sensibilité variétale, nous pouvons imaginer 3 scénarios contrastés d'évolution du dispositif d'évaluation du comportement des variétés (Niveaux 1 et 2 de la charte).

***Scénario 1 : Statu quo - Retour à la situation pré « orientation VATE »**

Pour diverses raisons (dont financières), les mises au point méthodologiques sur les dispositifs d'évaluation de la sensibilité variétale aux bioagresseurs ne sont pas intégrées par la charte. Le comportement des nouvelles variétés continue à être évalué sous protection chimique dans un dispositif multi-sites représentatif des zones de production.

***Scénario 2 : Vergers spécifiques d'évaluation des sensibilités aux bioagresseurs complémentaires à des vergers d'étude du comportement agronomique**

Les vergers d'étude du comportement agronomique (qualité du fruit, régularité de production) sous parapluie chimique sont systématiquement complétés par des dispositifs spécifiques pour l'étude des sensibilités variétales. Le dispositif de sensibilité variétale reste multi-sites, chaque site développant les 2 types de verger (un pour le comportement agronomique et un pour l'évaluation de la sensibilité) selon les espèces.

Les 2 vergers ne sont pas forcément « indépendants », en effet :

- dans le cadre des vergers d'évaluation agronomique on peut réaliser les tests de sensibilité aux maladies de conservation (ce qui implique un nombre suffisant d'arbres et donc de fruits pour ces tests post récolte),
- dans des vergers dédiés à l'étude des sensibilités aux bioagresseurs, qui nécessitent moins d'interventions et dont la gestion devrait être un peu moins coûteuse, on réalise les tests de sensibilité pour les autres bioagresseurs.

Par exemple, dans le cas du pêcher, les suivis des maladies de conservation sont réalisés sur les fruits issus des vergers de comportement, tandis que les tests de sensibilité à la cloque, aux pucerons et à l'oïdium peuvent être réalisés sur des vergers spécifiques. Dans le cas de la pomme, les essais de comportement agronomique, qui sont sous parapluie phytosanitaire, ne nous permettent pas d'avoir accès à l'information sur la sensibilité à la tavelure. Il est donc obligatoire de disposer d'un verger spécifique ou bien de diminuer les traitements fongicides. L'INRA Angers a développé des tests de sensibilité tavelure, pucerons et oïdium sur des variétés hybrides en verger spécifique conduit à densité serrée et/ou en verger classique conduit sous protection phytosanitaire adaptée.

***Scénario 3 : Vergers combinant** l'évaluation des potentiels agronomiques et des sensibilités variétales

Au sein du même verger, conduit sous bas-intrants phytosanitaires, le comportement agronomique et les sensibilités variétales sont évalués simultanément. Dans ce type de dispositif, le potentiel agronomique des variétés est fortement dépendant du niveau de sensibilité variétale aux bioagresseurs. Le dispositif d'évaluation variétale reste multi-sites, les règles de décision concernant la protection contre les bioagresseurs sont communes aux différents sites. Cependant, certains sites pourraient choisir d'évaluer les variétés sous faible niveau d'intrants (dont AB).

Ce scénario 3 ne permettra pas de maximiser les risques (contrairement au scénario 2). Celui-ci offre une lecture dépendant des conditions agro-environnementales. Il s'agit d'un scénario de validation. Le scénario 2 n'a de sens que si on le confronte à une démarche d'idéotypage où une hiérarchisation des caractères permet d'envisager des priorisations. Dans ce scénario 3 on pourrait extraire des éléments objectivés de priorisation des risques bien évidemment inféodés aux conditions pédo-climatiques de l'année.

Le scénario 3, sous faible niveau d'intrants, développé en réseau dans des situations différentes permettrait une estimation des risques actuels de manière pragmatique.

	Enjeux : cibles travaillées			
	Approche multi-bioagresseurs	Durabilité des résistances	Résilience et régularité de production	(Ré-)Emergence de nouveaux bioagresseurs
Scénario 1 Statu quo				
Scénario 2 Vergers spécifiques		(1)		(2)
Scénario 3 Vergers combinés		(1)		(2)



Oui, le scénario permet d'aborder l'enjeu

Le scénario permet d'aborder l'enjeu mais pas de manière suffisante



Non, le scénario ne permet d'aborder l'enjeu correctement

- (1) L'approche multi-site permettrait d'aborder la question de la durabilité des résistances par l'observation de la présence ou de l'absence d'interaction cultivar x site. A compléter par d'autres approches plus ciblées.
- (2) L'allègement de la protection phytosanitaire devrait permettre d'évaluer la sensibilité variétale aux bio-agresseurs émergents. Sauf dans le cas des organismes de quarantaine si arrachage obligatoire du matériel végétal.

3. Cadre conceptuel

La sensibilité aux bioagresseurs s'inscrit dans un cadre conceptuel qui requiert un changement de paradigme : le passage d'une gestion individualisée des problèmes sanitaires à une perception globale intégrant une fonction d'anticipation-prospective.

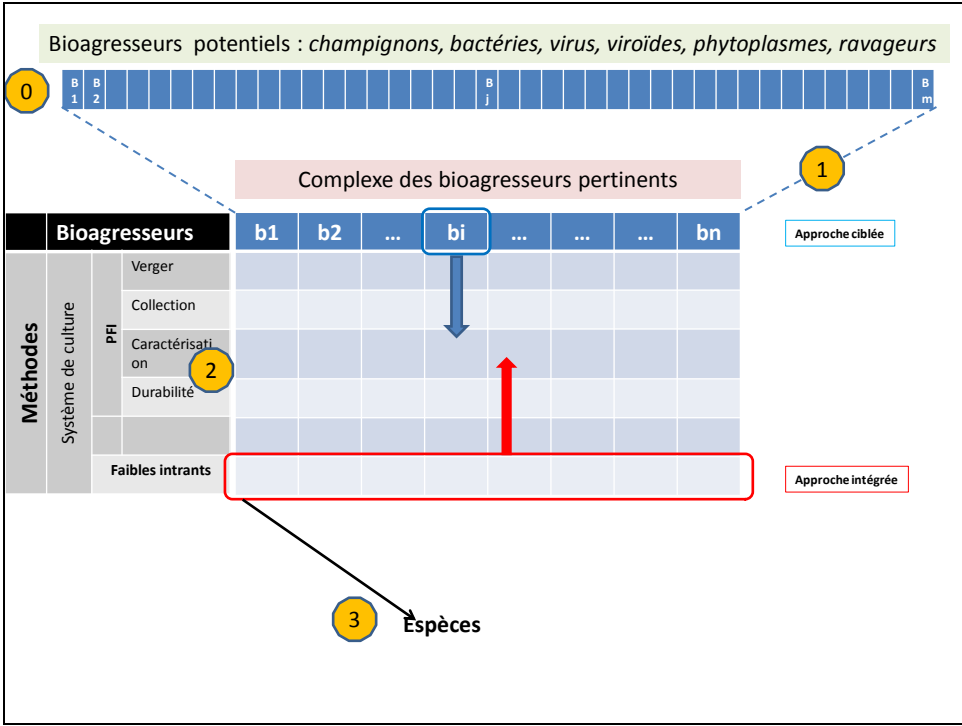


Figure 3 – Cadre conceptuel de la prise en considération de la sensibilité aux bioagresseurs pour une production fruitière durable (Points clés : 0 – suivi des émergences, 1 – identification des bioagresseurs majeurs (priorisation des traits), 2 – méthodologies de caractérisation, 3 - robustesse, (élargissement selon les espèces)

Le cadre repose sur la caractérisation et la prise en compte de 4 dimensions :

1 – Nombre de bioagresseurs : Pour une espèce donnée, il importe d'objectiver et prioriser parmi les bioagresseurs, ceux qui doivent être pris en compte dans une logique qui vise à réduire le nombre de traitements en verger (élimination des maladies de laboratoire ou de parasites de qualité d'impact mineur...).

2 – Nature de l’approche : la démarche méthodologique à déployer peut, selon les attendus, suivre deux directions : une approche ciblée sur un bioagresseur (flèche bleue), ou une approche intégratrice conduite sous faibles niveaux d’intrants (flèche rouge).

- Dans le cas d’une approche ciblée, les modalités de caractérisation, les dispositifs à mobiliser, l’étendue de la diversité génétique attendue, la durabilité sont autant d’éléments qu’il conviendra de formaliser et de valider en verger. Dans la mesure où seules quelques maladies ou ravageurs sont aujourd’hui caractérisés de manière ciblée, l’extension de l’approche à un cortège plus important de bioagresseurs, devrait nous amener à nous interroger sur la généralité des méthodes de caractérisation *a minima* par grand type d’agent pathogène pour placer le cadre d’analyse en cohérence avec les enjeux.
- Dans le cas d’une approche intégratrice sous faibles niveaux d’intrants, et à l’exclusion des maladies et ravageurs de quarantaine, le niveau de sensibilité aux divers bioagresseurs serait intégré en verger, une attention particulière devrait néanmoins être portée au déploiement de méthodes de caractérisation qui donnent la possibilité d’observer les différences variétales (à titre d’exemple, il est vraisemblable qu’une protection du verger doit *a minima* être assurée au cours des deux premières années pour laisser s’exprimer les sensibilité ultérieures sur les organes fructifères...).

Dans un dispositif idéal, les deux approches devraient pouvoir interagir et bénéficier de l’expertise et des retours d’expérience des professionnels, ce qui n’est pas réalisé jusqu’alors mais qui mériterait d’être implémenté.

Les approches mobilisées ne sauraient être conduites indépendamment de l’origine génétique du matériel végétal. En effet, au regard du nombre de variétés introduites annuellement dans les dispositifs d’évaluation, envisager une étude systématique individualisée de toutes les accessions risque de s’avérer matériellement et financièrement impossible. Par contre, dans la mesure où nous détenons presque systématiquement des éléments d’identification moléculaire des variétés, l’exploration des ressources génétiques en fonction de leur origine génétique et des connaissances disponibles sur leur comportement pourrait être privilégiée. De manière pratique, les fonds génétiques résilients et/ou présentant des résistances, ainsi que des fonds génétiques inconnus seraient à favoriser au détriment de fonds génétiques connus pour leur sensibilité, sauf bien évidemment dans le cas de variétés de référence dont le comportement mérite d’être connu.

3 – Généralité : Le cadre est proposé pour une espèce donnée, mais il devrait raisonnablement pouvoir être déployé spécifiquement sur chacune des espèces fruitières concernée par la VATE.

4– Prospective : Pour objectiver la démarche globale, il importe qu’une dimension de veille et de prospective soit activée afin d’anticiper autant que possible les facteurs de risque dont les maladies émergentes. Une cellule de veille devrait donc être mise en place au côté des services du Ministère en charge de l’agriculture (DGAL-BSV) afin d’intégrer au plus vite les problématiques de risques sanitaires notamment en lien avec les introductions de matériel végétal.

Conclusion

Les futurs dispositifs d’évaluation du comportement des matériels fruitiers devront aborder de manière prospective et construite la sensibilité aux bioagresseurs.

Des initiatives ont été engagées pour intégrer la sensibilité aux maladies et ravageurs majeurs, elles méritent d'être poursuivies et implémentées. Des initiatives complémentaires destinées à évaluer les comportements du matériel végétal sous faible niveau d'intrant (ou en AB) ont été engagées, elles demandent à être consolidées.

Mais plus globalement, une réflexion collective doit être mise en œuvre pour :

- identifier le cortège des bioagresseurs dont le contrôle individuel est indispensable sous une perspective de réduction d'intrants phytosanitaire et/ou de réduction du nombre de résidus identifiés sur fruits à la récolte (via des cahiers des charges) ;
- évaluer le potentiel du matériel végétal à être conduit sous faible niveau d'intrants phytosanitaires ;
- examiner de manière prospective les risques qui pèsent sur les filières via une veille sanitaire sur les émergences et les impacts attendus résultant de l'abandon de substances actives.

Ces trois niveaux de questionnement sont indissociables et indispensables à la construction d'une arboriculture durable.

La prise en compte de ces questions dans la démarche d'étude du comportement variétal requiert la mise en œuvre de dispositifs dédiés, mais elle peut pour partie s'adosser sur les dispositifs d'étude du comportement agronomique (notamment pour les questionnements relatifs aux suivis post-récolte). Toutefois, un élargissement des dispositifs destinés à aborder l'étude des couples 'plantes x bioagresseurs' et une évaluation conduite sous faibles niveaux d'intrants devraient être mis en place en réseau, sous peine de ne pas intégrer les enjeux prospectifs associés.

S'agissant du matériel introduit en verger de comportement, l'ensemble du matériel végétal pourrait ne pas être intégré dans ce type de dispositif, la priorité devant être accordée i) aux variétés dont on ne connaît pas le fond génétique et qui pourraient apporter des facteurs de tolérance ou de rusticité méconnus ; ii) à celles comportant des facteurs de résistance et de résilience déjà identifiés et iii) au matériel végétal considéré comme ayant un potentiel agronomique intéressant. Ainsi, il semble important de revisiter les ressources génétiques disponibles dans le cadre de dispositifs conduits sous bas intrants afin d'identifier les variétés qui vont cumuler le plus de caractères d'intérêt, et révéler, dans ces ressources, les variétés qui vont apporter une tolérance la plus large possible au cortège des bioagresseurs identifiés. Les itinéraires techniques devront être co-construits pour capter un maximum d'information au cours du temps, et évoluer en fonction de l'avancement des observations. Les acquis issus des projets Ecophyto Déphy Expé et Ferme devraient contribuer à cette optimisation.

Pour exemple : Il est possible d'organiser une séquence d'étude de cette sensibilité aux bioagresseurs chez l'abricotier en évaluant (i) sur la base des profils biomoléculaires, la sensibilité à la sharka (ii) sur le matériel juvénile, la sensibilité au chancre bactérien, puis (iii) après entrée en période reproductive, la sensibilité au monilia sur fleurs, (iv) pour suivre par l'étude des sensibilités sur fruits à l'oïdium, à la tavelure et au coryneum, (v) et terminer par la sensibilité à la rouille.

Pour maximiser l'efficacité de ces travaux et favoriser l'émergence d'une communauté d'utilisateurs, il faudra privilégier la mise en réseau des observations suite à des travaux d'inter calibration, permettant de réaliser les observations selon la même méthodologie dans chacun des dispositifs, avec une exploitation collective des données par la suite.