

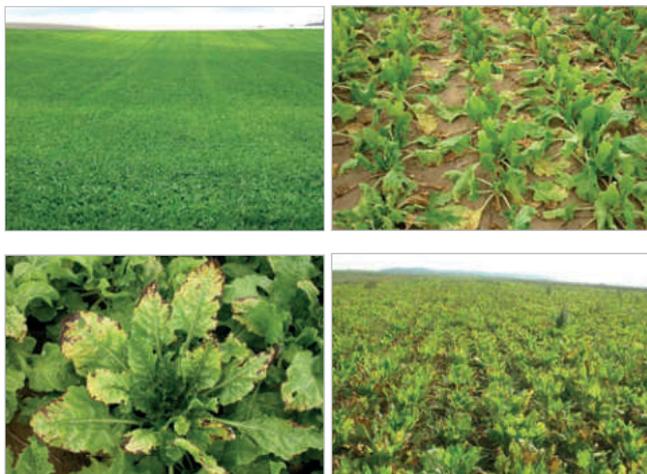
Gestion intégrée et durable du nématode à kystes

Le nématode à kystes de la betterave, *Heterodera schachtii*, est un vers blanchâtre de moins d'1mm de long se déplaçant dans le sol et se fixant aux racines de betteraves pour s'en nourrir. C'est un parasite obligatoire qui a donc besoin d'un hôte pour se reproduire. En France, il a été signalé pour la première fois en 1884 par l'agronome Aimé Girard dans la région parisienne, dans le Nord, puis en Seine-et-Marne, dans l'Oise et dans l'Aisne. Il s'agit d'un des ravageurs les plus importants sur betterave, pouvant provoquer des baisses de rendement significatives ainsi qu'une augmentation de la tare terre. L'intensité des infestations est cependant très variable selon les régions. Pour faire face à ce bioagresseur, 16 % des surfaces étaient protégées avec des variétés tolérantes en 2017 (soit environ 77 000 ha), un chiffre qui sera au minimum de 18 % en 2018. Ceci a conduit l'ITB en lien avec l'interprofession à mettre en place un réseau national de surveillance (observatoire de la durabilité) pour évaluer les risques de multiplication du nématode.

IDENTIFIER LE BIOAGRESSEUR

Reconnaître les symptômes

Sur le terrain, les symptômes se manifestent sous la forme de foyers limités dans la parcelle, repérables par leur couleur vert pâle, qui s'accroissent au cours de la saison. Les premiers symptômes qui apparaissent au niveau du feuillage sont un flétrissement aux heures



Symptômes sur feuillage (de gauche à droite et de haut en bas). Ronds de nématodes vert pâle dans une parcelle ; flétrissement du bouquet foliaire ; carence magnésienne et nécrose de l'extrémité des feuilles ; retard de couverture du sol favorable au développement des adventices.



Symptômes racinaires (de gauche à droite et de haut en bas). Rétrécissement du pivot ; formation d'un chevelu racinaire ; développement de kystes de couleur blanche sur les radicelles.

chaudes de la journée à partir du mois de juin, ainsi qu'une décoloration jaune de l'extrémité des feuilles. Ce jaunissement est dû à une carence magnésienne induite par défaut d'alimentation de la plante lié à une mauvaise efficacité du système racinaire. Il est souvent accompagné en fin de saison par des nécroses et des séchagements en bordure de limbe des feuilles externes

avec présence de *Alternaria*, un champignon de faiblesse. Dans les cas les plus sévères, la croissance du bouquet foliaire est affectée, ce qui pénalise la couverture du sol et favorise la présence d'adventices, mercuriales et chénopodes en particulier.

La taille de la racine principale est réduite alors que se développe un chevelu de racines latérales. Sur ces radicelles, on peut observer des kystes de couleur blanche en forme de citron d'un diamètre de 0,5 à 1 mm correspondant au stade femelle du cycle de développement du nématode. Une fois fécondées, les femelles produisent en moyenne de 100 à 300 œufs (jusqu'à 600) au sein des kystes qui brunissent, se détachent de la racine, puis peuvent se conserver dans le sol pendant 5 à 6 ans. En France, le nématode à kystes peut effectuer de 2 à 4 générations par an selon le climat de l'année.

Ne pas confondre

- Le flétrissement du feuillage et la prolifération du chevelu racinaire sont aussi des symptômes de la rhizomanie.
- La carence magnésienne, qui se traduit par une décoloration jaune du feuillage, peut aussi être due à une réserve du sol en magnésium insuffisante ou à un mauvais enracinement de la plante résultant d'une structure du sol défavorable.

Dans tous les cas, **la présence ou non de kystes sur les racines latérales permettra de confirmer ou d'infirmer le diagnostic.**

ANALYSER LE RISQUE

Connaître le risque régional

H. schachtii est très largement répandu dans les zones historiques de culture de betterave sucrière et plus particulièrement autour des sucreries. En 2017, les surfaces touchées par le nématode sont estimées à 35 % dans l'Aisne, 18-20 % en Champagne, 10-12% dans le Loiret et dans la Somme, 7-8 % dans l'Oise, 5 % dans le Nord et 3,5 % en Ile-de-France.

En l'absence de toute gestion, le rendement peut être inférieur de 30 à 40 % à celui de la moyenne régionale, voire de 60 % au sein des foyers en cas d'attaque très précoce.

Identifier les milieux et les pratiques à risque

• Milieux à risque

- Les sols sableux facilitent l'éclosion des larves par rapport aux sols argileux de par leur capacité à absorber la chaleur et ainsi à favoriser le cycle de développement du nématode.
- Les défauts de fertilité ou de structure du sol.
- Les parcelles proches d'un outil industriel sucrier passé ou présent (râperie, distillerie, sucrerie) ou d'un secteur d'épandage d'industrie agro-alimentaire (IAA).

• Pratiques à risque

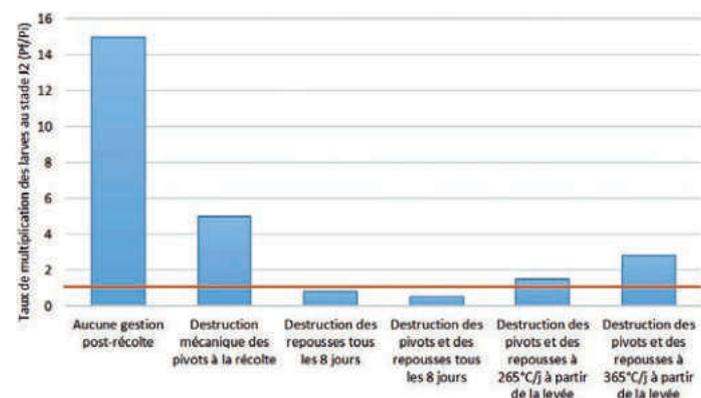
- Une rotation inférieure à 4 ans entre betteraves et/ou colza.
- Les épandages de déchets de betteraves, ainsi que de boues ou d'eaux de lavage d'IAA contribuent de manière importante à la dissémination du nématode sous forme de kystes. Ceux-ci peuvent être également dispersés par les chantiers de récolte et par le bétail dans une moindre mesure.
- L'irrigation, dans le sens où les parcelles irriguées expriment plus vite les attaques de nématodes.
- Les semis tardifs, qui vont maximiser l'effet sur le rendement.

Réagir

À ce jour, aucune lutte chimique n'est homologuée sur ce ravageur en betteraves. Cependant, dès le constat d'une primo-infestation par les nématodes dans la parcelle (quelle qu'en soit l'importance), la lutte agronomique à l'échelle de l'ensemble de la rotation doit être entreprise afin de limiter les attaques ultérieures. Celle-ci passe notamment par **l'implantation d'une variété tolérante rhizomanie-nématodes.**

ADAPTER SES PRATIQUES AGRONOMIQUES

1. Impact de la destruction des pivots et repousses de colza sur la multiplication du nématode



Résultats d'un essai réalisé par Terres Inovia et l'ITB en 2009 à Aulnois-sous-Laon dans l'Aisne avec une destruction chimique des repousses. La ligne orange indique un taux de multiplication égal à 1, au-dessus duquel la multiplication des populations de nématode est effective. La destruction des pivots et des repousses permet de limiter grandement voire de stopper la multiplication du nématode.

Tab. 1 : Principales plantes hôtes d'*Heterodera schachtii* (d'après Nématodes des grandes cultures, ACTA, 2011)

Famille	Espèce	Nom commun	Multiplication
Amaranthacées	<i>Amaranthus caudatus</i>	Amarante queue de renard	++
	<i>Amaranthus hybridus</i>	Amarante hybride	+++
	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Amarante réfléchie	++
Caryophyllacées	<i>Agrostemma githago</i>	Œillet des champs	+
	<i>Dianthus caryophyllus</i>	Œillet commun	++
	<i>Saponaria officinalis</i>	Saponaire officinale	++
	<i>Stellaria media</i>	Mouron des oiseaux	++
Chénopodiacées	<i>Atriplex hortensis</i>	Arroche des jardins	+++
	<i>Atriplex patula</i>	Arroche étalée	++
	<i>Beta vulgaris</i>	Betterave, bête	+++
	<i>Chenopodium album</i>	Chénopode blanc	+
	<i>Chenopodium bonus-henricus</i>	Epinard sauvage	+++
	<i>Chenopodium hybridum</i>	Chénopode hybride	++
	<i>Chenopodium quinoa</i>	Quinoa	++
	<i>Spinacia oleracea</i>	Epinard	++
Crucifères	<i>Brassica campestris</i>	Chou chinois	+++
	<i>Brassica hirta</i>	Moutarde blanche	+++
	<i>Brassica napus</i>	Colza	+++
	<i>Brassica oleracea</i>	Chou	+++
	<i>Camelina sativa</i>	Sésame d'Allemagne	+++
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Bourse à pasteur	+++
	<i>Raphanus sativus</i>	Radis	(+)++
	<i>Thlaspi arvensis</i>	Tabouret des champs	+++
Légumineuses	<i>Lathyrus sativus</i>	Gesse commune	++
	<i>Trifolium resupinatum</i>	Trèfle résupiné	(+)+
	<i>Vicia villosa</i>	Vesce	++
Polygonacées	<i>Fagopyrum esculentum</i>	Sarrasin	+
	<i>Fagopyrum tataricum</i>	Sarrasin de Tartarie	+
	<i>Polygonium lapathifolium</i>	Renouée à feuilles d'oseille	+
	<i>Rumex acetosella</i>	Petite oseille	++

Tab. 2 : Préconisations pour la gestion du colza en rotation avec la betterave

Infestation de la parcelle en nématodes	Gestion de la culture de colza après la récolte	Choix variétal de la betterave	Implantation d'une espèce en interculture
Parcelle infestée	- Destruction des pivots sitôt la moisson - Destruction des repousses toutes les 3 semaines	Variétés doubles tolérantes	Possible avec des crucifères tolérantes ou des espèces neutres
Parcelle "saine"	- Destruction des pivots sitôt la moisson - Destruction des repousses toutes les 4 semaines	Variétés classiques	Possible avec des crucifères tolérantes ou des espèces neutres

Eviter l'implantation d'espèces hôtes

L'implantation trop fréquente d'espèces hôtes (colza, chou, épinard) au sein de la rotation est à proscrire. Dans les situations où les parcelles sont infestées en nématodes, la culture du colza ou d'autres crucifères non nématicides en rotation avec la betterave doit être évitée. Dans tous les cas, il est impératif de bien gérer la culture de colza après la récolte (chaumes et repousses) en détruisant systématiquement les pivots et les repousses au minimum toutes les 4 semaines (cf. Directive Nitrates) ou **toutes les 3 semaines** sur les parcelles dont l'infestation est reconnue. Une destruction mécanique à l'aide d'un outil superficiel sera suffisante.

Allonger la rotation

L'allongement de la rotation permet de diminuer naturellement les niveaux de populations dans le sol en l'absence de betterave et de colza. Il est ainsi recommandé d'espacer les cultures multiplicatrices de deux ans au minimum, de quatre ans dans l'idéal.

Planter des crucifères résistantes

Planter très précocement une crucifère résistante en interculture, moutardes blanches et radis, est conseillé. Les radis ont l'avantage, par rapport

aux moutardes, de pouvoir être implantés plus précocement. En France, le caractère résistant des variétés est validé par un test normalisé proposé par le laboratoire national de référence du GEVES (la SNES).

Grâce à leur profondeur d'enracinement, les crucifères résistantes peuvent avoir une action nématicide jusqu'à 90 cm de profondeur et améliorent la structure du sol.

Pour pouvoir bénéficier d'un effet de réduction des populations de nématodes, l'implantation des moutardes ou des radis doit être effectuée au minimum début juillet à la dose de 100 grains/m². Dans une utilisation conventionnelle de crucifères en couvert d'interculture, les variétés résistantes sont conseillées afin d'éviter tout risque de multiplication si les températures clémentes de l'automne sont suffisantes pour boucler un cycle parasitaire.

Planter précocement les betteraves

Un semis précoce de betterave assure la formation d'un système racinaire qui permet de mieux supporter l'infestation et augmente la tolérance des plantes, plus particulièrement en période de stress hydrique.

En effet, les températures printanières (< 10 °C) ne sont pas favorables au développement du nématode.

CHOISIR DES VARIÉTÉS TOLÉRANTES

L'implantation de variétés tolérantes à résistance partielle permet d'assurer un bon niveau de rendement (aujourd'hui, semblable aux variétés rhizomanie en terrain sain) mais contribue à un maintien voire à une multiplication de la population de nématodes, contrairement aux variétés résistantes. Il n'existe cependant plus de variétés résistantes

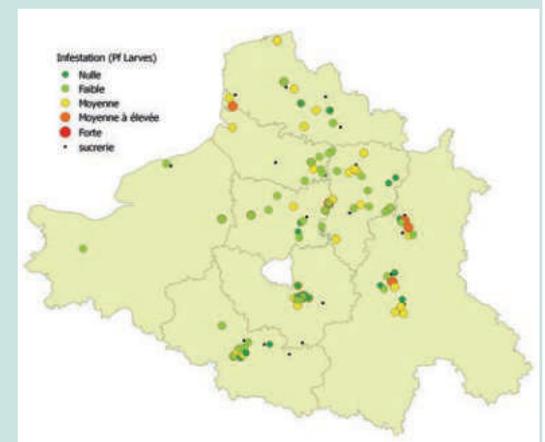
commercialisées à ce jour car leur faible productivité n'a pas encouragé la filière à les adopter. Par ailleurs, les expérimentations menées par l'ITB ont démontré que leur insertion dans la rotation ne permettait pas de diminuer durablement les populations de nématodes et que ces variétés présentent un risque de contournement de la résistance à terme.

L'observatoire de la durabilité des résistances

Un observatoire de la durabilité des résistances aux nématodes a été mis en place il y a 3 ans sur environ 250 parcelles dans 8 régions betteravières. Les parcelles observées se situent chez les agriculteurs (3-4 parcelles par agriculteur). Dans chaque parcelle, des prélèvements de terre sont réalisés au semis et à la récolte afin de suivre l'évolution des populations (Pi au semis et Pf à la récolte) et ainsi les taux de multiplication des nématodes (Pf/Pi).

Le biocontrôle à l'étude

L'ITB est de plus impliqué dans un projet multipartenarial visant à développer et évaluer l'efficacité de nouvelles solutions de biocontrôle à effet nématicide.



Niveaux d'infestation à la récolte (Pf) sur les parcelles du réseau en 2015-2016.

Le tassement en système betteravier

La filière est très attentive aux problèmes de tassements liés à la récolte de betteraves en conditions humides. L'allongement des durées de campagnes et l'augmentation des plans de charge dus à l'augmentation des surfaces vont obliger parfois à récolter des betteraves en conditions humides, avec des risques de compactage. L'ITB se mobilise sur la question des tassements dans le cadre d'un projet pluripartenaire, Sol D'Phy, piloté par Agro-Transfert Ressources et Territoires. En récolte de betteraves, ce sont les risques de tassements profonds qui doivent être appréhendés et anticipés.

Comment se créent les tassements ?

Un tassement de sol est la résultante d'une contrainte exercée sur un sol n'ayant pas une capacité de résistance suffisante. Tant que le sol est suffisamment sec pour opposer une résistance, sa réaction à la contrainte sera un réaménagement des agrégats de terre, avec une diminution globale de la porosité, mais limitée par la résistance de ces agrégats et par l'effet coussin de l'air entre ces agrégats. Si le sol est humide, l'eau joue un rôle de lubrifiant qui favorise les déplacements des agrégats, leur déformation, avec une réduction beaucoup plus accentuée des espaces entre agrégats. Ce qui réduit la porosité et crée une zone compactée. Les types de sols réagissent différemment à une contrainte. Bien qu'ils puissent supporter des contraintes plus élevées en conditions sèches, les sols argileux sont les plus fragiles en conditions humides et ne supporteront pas de fortes contraintes.

Côté matériel, c'est un phénomène complexe car de nombreux paramètres entrent en jeu : la charge à l'essieu des matériels, le type de pneumatique et sa pression créent une contrainte. Elle est dépendante des paramètres de la machine :

- avec un même pneumatique, une charge à l'essieu plus élevée se traduira dans l'horizon superficiel par une plus forte intensité de compactage, et par une transmission de la contrainte plus loin en profondeur ;
- pour une même charge à l'essieu mais des pneumatiques très différents, l'un adapté (plus large avec pression adéquate) et l'autre non (étroit avec un pneu surgonflé), la contrainte en surface est bien différente. En revanche, on



L'absence d'ornièrre ne signifie pas forcément l'absence de tassement.

retrouve le même tassement en profondeur. Au delà de 50 cm, la charge par essieu devient le seul paramètre qui détermine la force exercée et le degré de tassement. Les caractéristiques de pneumatiques deviennent des facteurs très secondaires.

Cet effet de la charge sur les compactages profonds doit être considéré, avec l'utilisation croissante des intégrales de récolte de betteraves comme le montre le graphique, issu de l'enquête SITE de l'ITB (voir graphique 2, p. II). Plus de la moitié des surfaces est désormais récoltée avec ce type de machine qui a des charges à l'essieu très élevées lorsque

la trémie est pleine, jusqu'à près de 20 tonnes par essieu.

Observations de parcelles

La première étape du projet Sol D'Phy aura été de caractériser l'état structural des sols dans des parcelles d'exploitations représentatives de systèmes de grandes cultures des Hauts-de-France. 32 profils de sols ont été réalisés, dont 10 en système de culture avec betteraves et 13 en système avec pommes de terre à fortes contraintes. En limons, on a pu observer 30 à 85 % de zones tassées dans l'horizon labouré et des tassements plus profonds, dans l'horizon pédologique, dans 1/3 des situations. En sols limoneux, on retrouve des tassements dans l'horizon pédologique jusqu'à 40-45 cm. Ce premier constat montre que les tassements sont très présents dans ces systèmes de cultures, ce

qui a pour conséquence une diminution de la fertilité physique du sol.

Résultats de matériels betteraviers

Des mesures ont été mises en place suite à la récolte de betteraves. Cela représente une dizaine d'essais de chantiers de récolte divers et variés : automotrice avec bennes, intégrales, chantier décomposé, débardeuse.

Impact direct d'un tassement en récolte tardive

Les enlèvements de silos de betteraves tardifs sont les plus problématiques dans l'objectif de limiter le tassement lors de la récolte des betteraves. En effet, les parcelles ne doivent pas être arrachées trop tôt pour ne pas augmenter le développement des pourritures en silos. Arracher tardivement conduit à un risque de récolter en conditions humides. Quels sont les impacts de cet arrachage tardif en conditions humides sur la culture suivante ?

Toujours dans le cadre du projet Sol D'Phy, des mesures d'exploration racinaire par le blé suivant une betterave

ont été effectuées en 2015 (année sèche pour les blés, ce qui a accentué l'impact des tassements pour une culture considérée généralement peu sensible). Il a été mesuré une perte de 20 % de l'ex-



22 mars

ploration racinaire entre un passage non foulé par la machine de récolte et une zone sous les roues. Cette perte est préjudiciable pour le bon développement de la culture, notamment en années

sèches lorsque les ressources hydriques sont limitées. Cette différence d'exploitation racinaire induit une perte de rendement de plusieurs quintaux, quoi que non significative statistiquement.

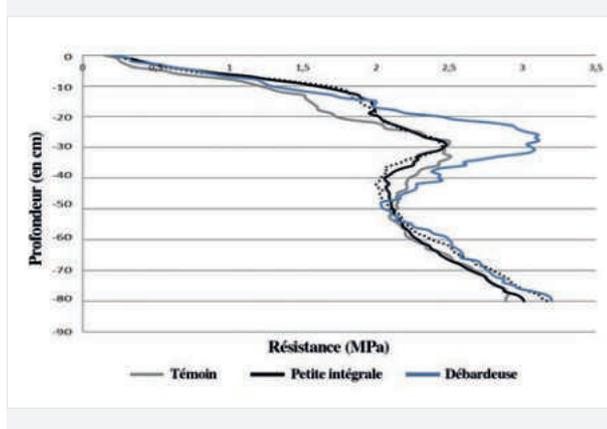
Développement du blé au 22 mars et au 13 avril : les passages de roues sont clairement identifiés.



13 avril

1

Impact du passage des différentes machines sur le sol



Le graphique 1 présente l'essai d'une petite intégrale de récolte de betteraves à deux essieux (14 t par essieu) accompagnée d'une débardeuse de grande capacité (20 t à l'essieu). Les graphes représentent la résistance à la pénétration d'un sol, mesurée avec un outil pénétromètre. Plus il est tassé et plus cette résistance sera importante. Une première mesure avant le passage de l'intégrale a été effectuée pour caractériser l'état initial du sol (*Témoïn, en gris*). Les trois autres courbes représentent les mesures après le passage de l'intégrale vide, après l'intégrale pleine et après la débardeuse pleine. Le passage de la petite intégrale (*en noir*) aura un effet de compactage jusqu'à 20 cm de profondeur, alors que la débardeuse, avec une charge à l'essieu bien plus importante aura un effet jusqu'à 35 cm de profondeur (*en bleu*).

A retenir

L'un des enseignements principaux est que le tassement profond se fait par une charge à l'essieu importante. C'est ce tassement qui est le plus problématique car il n'est pas rattrapable par un travail du sol (labour ou décompactage). C'est pourquoi, en conditions humides de récolte, il est préférable de vider les trémies (de la machine de récolte et de débarbage) plus fréquemment pour limiter cette charge à l'essieu. On considère qu'en conditions dégradées, la charge ne devrait pas dépasser 10 t par essieu. On peut aussi limiter le trafic des bennes.

Le tassement de surface résulte de la contrainte exercée par le pneumatique, qu'on peut adapter en largeur et pression. Ce tassement peut être corrigé par un travail du sol, mais une zone fortement tassée compliquera le passage des outils et augmentera les consommations de carburant.

BILAN DE LA CAMPAGNE, ÉVOLUTION DES CHANTIERS

Campagne de récolte 2017

La campagne de récolte des betteraves 2017 s'est terminée fin décembre. Elle aura duré quasiment 4 mois entre le début du mois de septembre et la fin du mois de décembre. Elle aura été marquée par des conditions généralement favorables à la récolte avec des précipitations relativement limitées. Cela a été une opportunité pour récolter les 20 % de surfaces supplémentaires semées cette année. La pluviométrie du mois de décembre a ralenti les derniers chantiers d'arrachages. Ces derniers destinés à une conservation longue, ont pu se terminer lorsque la pluie a cessé.

Ces pluies ont été conjuguées à des températures clémentes après la mi-décembre, ce qui pose la question de la conservation des silos pour les enlèvements les plus tardifs. Des betteraves récoltées trop tôt et présentant des casses ou blessures risquent de pourrir. L'adaptation des réglages lors de la récolte aura été primordiale cette année. En cas de récolte trop précoce ou de mauvais réglages, cela aura pour effet d'augmenter le taux de betteraves non marchandes et diminuer le revenu planteur.



Récolte en bonnes conditions fin octobre dans un sol à 19,3 % d'humidité.



Photo, prise le 23 décembre, de betteraves arrachées le 15 novembre, surdécollées à l'arrachage et présentant des blessures ainsi que peu de terre attenante. L'intensité de nettoyage aura vraisemblablement été trop importante, ce qui a favorisé le développement de pourritures.

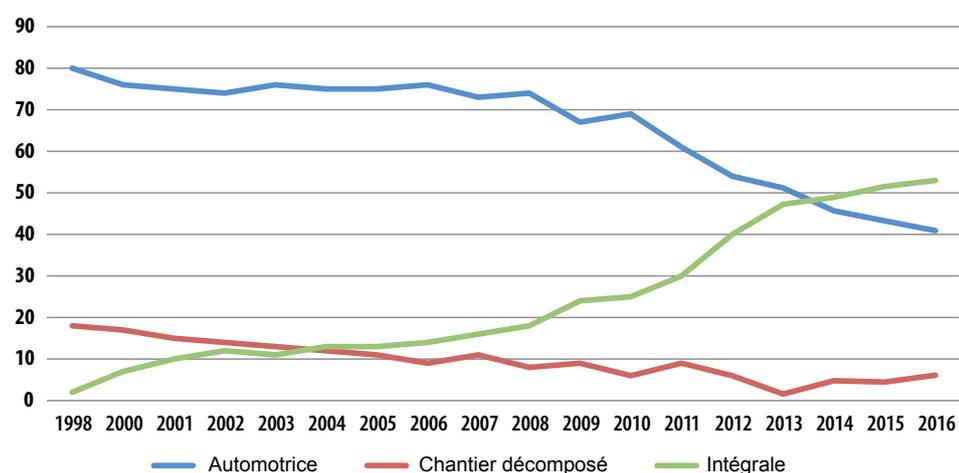
Évolution des chantiers de récolte

Désormais, la majorité des surfaces est récoltée par une machine de récolte de type intégrale. Ce sont les machines neuves les plus disponibles. La part des surfaces récoltées par automotrice est plus faible car ce type de machine n'est plus produit. De fait, cela devient compliqué de les entretenir car les stocks de pièces pour l'entretien s'amenuisent. Le regain d'intérêt pour les chantiers décomposés est mis en évidence dans les résultats issus de l'enquête SITE.

En effet, la part de surface récoltée avec ce type de chantier, en déclin depuis 1998, semble repartir à la hausse depuis 2013 (de 1,5 % des surfaces récoltées en 2013 à 6 % en 2016 avec ces chantiers). Parmi les facteurs qui expliquent cette évolution, on a pu voir le développement de nouvelles machines de type arracheuse-chargeuse ou débardeuse avec des capacités plus importantes.

2

Types de chantiers de récolte en France en %



(Source : Enquête SITE ITB)