

UN POINT SUR

Le tassement du sol en système betteravier

La récolte de betteraves en conditions humides est propice à la création de tassements. L'ITB travaille sur cette question dans le cadre du projet Sol-D'Phy, piloté par Agro-Transfert Ressources et Territoires. Les tassements profonds sont les plus problématiques après la récolte de betteraves et ils doivent être anticipés.

L'absence d'ornières lors de la récolte de betteraves ne signifie pas qu'il n'y a pas de tassements et en particulier de tassements profonds. Les ornières se forment lorsque les sols sont saturés en eau alors que les tassements interviennent dans une gamme d'humidité beaucoup plus large. Le tassement profond, sous l'horizon labouré ou travaillé, est d'autant plus préoccupant car il est difficile à reprendre mécaniquement et ses conséquences s'inscrivent dans la durée.

Formation de tassement profond

La formation d'un tassement du sol est dépendante de plusieurs paramètres liés aux caractéristiques du sol, à son état d'humidité lors

de l'intervention et aux caractéristiques du chantier de récolte (charges à l'essieu des matériels et des pneumatiques). Lorsque la contrainte exercée par la machine sur le sol est supérieure à la résistance de celui-ci, il y a formation d'un tassement. Les types de sols réagissent différemment à la contrainte selon leur humidité : les sols les plus argileux sont les plus sensibles aux fortes contraintes en condition humide, alors qu'en condition sèche ils supporteront les charges les plus élevées.

En conditions de sol sec, les déformations des agrégats sont limitées, la structure évolue par un réaménagement des agrégats sans réduire fortement la porosité (espace libre entre agrégats). En conditions plus

humides, l'eau facilite les déplacements en jouant le rôle de lubrifiant entre les agrégats, et accroît leur déformation. La porosité est fortement diminuée et crée une zone compactée.

Influence de la charge à l'essieu et des pneumatiques

De nombreux paramètres dépendant du matériel entrent en jeu dans la formation de tassement : la charge à l'essieu, le type de pneumatiques et sa pression créent une contrainte :

- pour un même pneumatique, une charge à l'essieu plus élevée se traduira par une plus forte intensité de compactage sur l'horizon superficiel, et par une transmission de la contrainte plus loin en profondeur,
- pour une même charge à l'essieu mais des pneumatiques très différents (larges avec pression adéquate ou étroits avec pneu surgonflé), la contrainte en surface est bien différente. La formation de tassement superficiel sera limitée avec des pneus à grand volume d'air, en revanche on retrouvera le même tassement en profondeur qu'avec des pneus étroits. En effet, au-delà de



↑ Arrachage de betteraves dans la Somme en 2019.

CHIFFRE CLÉ

4 tonnes

charge par roue à partir de laquelle il y a un risque de tassement profond

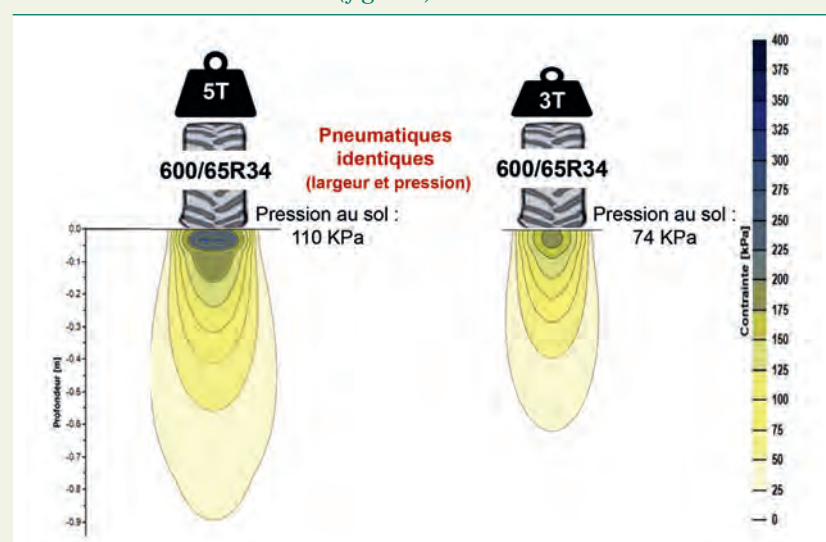
50 cm de profondeur, la charge par essieu devient le seul paramètre à déterminer la force exercée et le degré de tassement. Les caractéristiques de pneumatiques deviennent des facteurs très secondaires.

Des simulations (*figures 1 et 2*) ont été réalisées avec l'outil Terranimo pour visualiser les profondeurs et intensités de tassements. Cet outil est accessible gratuitement en ligne, et permet de tester les contraintes exercées sur le sol selon le type de sol et le type de matériel et de pneumatiques.

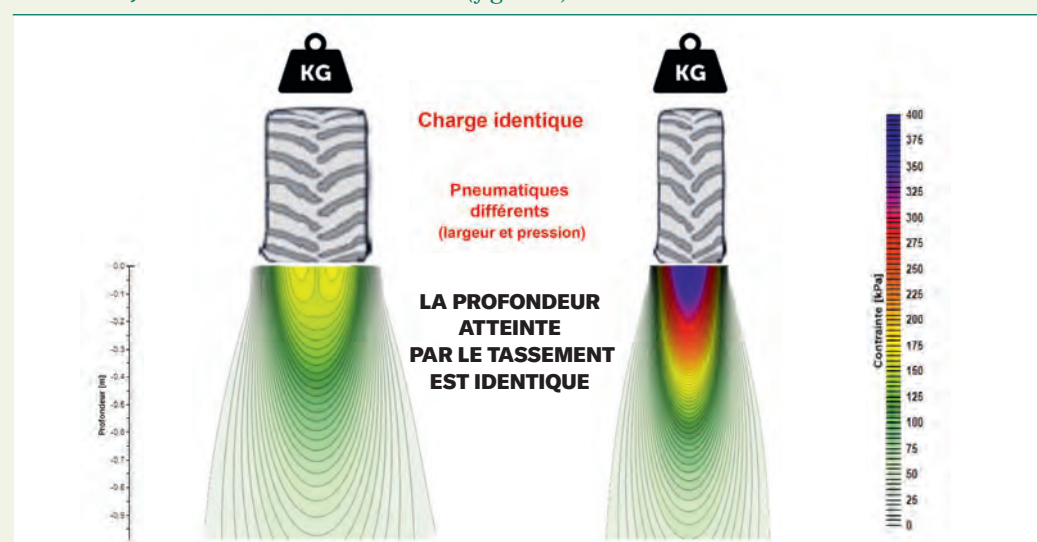
Limiter le risque de tassement lors des chantiers d'arrachage

Les résultats du projet Sol'Dphy montrent qu'il est possible d'agir sur plusieurs leviers afin de limiter le risque de tassement lors de l'arrachage de betteraves. Le premier levier est d'anticiper la date de récolte afin →

Importance de la charge à l'essieu pour des pneus identiques, simulation avec Terranimo (*figure 1*)



Importance de la charge à l'essieu pour le tassement profond malgré des pneus différents, simulation avec Terranimo (*figure 2*)





→ de pouvoir intervenir en condition moins humide et ainsi réduire la profondeur atteinte par le tassement. Mais cette anticipation doit être faite en prenant en compte la durée de stockage des betteraves et le risque de pourritures (l'OAD Silobet de l'ITB est disponible en ligne pour évaluer ce risque). Un autre levier consiste à limiter la charge dans la trémie, notamment dans le cas d'un arrachage avec une intégrale. Si elle est accompagnée d'une benne cela peut limiter la profondeur de tassement, à condition que la benne ne soit pas trop chargée afin que la charge par essieu soit plus faible que l'intégrale. Les suivis pénétrométriques réalisés lors d'une récolte de pommes de terre dans le cadre du projet montrent qu'en surface le tassement est accru après le passage d'une benne (9 t/essieu) mais le tassement en profondeur (en dessous de 15 cm) est dû au passage de l'automotrice (24 t/essieu). Le nombre de passages a un effet sur le tassement en surface alors que le poids par essieu a un effet sur le tassement en profondeur.

↑ Le miniprofil 3D : un outil de diagnostic du tassement.

CHIFFRE CLÉ

20 %

4t charge par roue à partir de laquelle il y a un risque de tassement profond.

Les essais effectués dans le cadre du projet montrent également que l'utilisation de chenilles plutôt que des pneus sur les intégrales réduit le tassement en surface mais a peu d'effet sur le tassement en profondeur qui reste déterminé par la charge par essieu. Cependant les résultats sont variables selon le type de pneumatiques et de chenilles.

Conséquences du tassement sur la culture suivante

Les résultats des expérimentations dans le cadre de Sol-D'Phy montrent des conséquences du tassement sur les cultures qui suivent. Elles sont variables selon l'année climatique et le type de tassement. Des tassements dans l'horizon labouré, ou l'horizon superficiel, sont préjudiciables lors des années les plus humides. Ils vont limiter l'infiltration de l'eau et l'excès d'eau en surface qui occasionne une asphyxie racinaire. Sur le blé il a été observé jusqu'à 20 % de perte de rendement en 2016 en présence de tassements dans l'horizon labouré (climat particulier : sol engorgé au printemps). Sur la pomme de terre et le maïs la perte de rendement peut atteindre 30 %. Des tassements profonds sous l'horizon labouré sont préjudiciables durant les années les plus sèches. L'exploration racinaire en profondeur va être limitée par le tassement. Les suivis de cultures ont montré une mauvaise colonisation en profondeur dans cas d'un tassement profond. Sur pomme de terre et maïs il a été mesuré jusqu'à 30 % de rendement en moins les années sèches par l'effet du tassement profond. La vitesse de régénération du sol à la suite d'un tassement dépend du type du sol et du climat, elle est beaucoup plus lente en parcelles limoneuses ou limons sableux, au moins cinq ans, et plus rapide en sols argileux, de l'ordre de deux ans voire moins si le climat est favorable. Un décompactage peut limiter les conséquences d'un tassement si celui-ci n'est

pas trop profond. Différents outils existent pour le réaliser (voir tableau ci-dessous) mais il est important de bien le raisonner afin d'avoir une action favorable sur le long terme.

Tous les résultats du projet Sol-D'Phy sont disponibles sur le site d'Agro-Transfert Ressources et Territoires : <http://www.agro-transfert-rt.org/projets/sol-dphy/>



CE QU'IL FAUT RETENIR



L'absence d'ornièrre ne signifie pas absence de tassement. Contrairement aux ornières la création de tassement est possible sur des gammes d'humidité plus large dépendante du type de sol. **Des pneumatiques plus larges** ne permettent pas de limiter la profondeur atteinte par le tassement en cas de charge élevée. Une répétition de passages augmente le tassement en surface, mais **la profondeur de tassement dépend essentiellement de l'humidité et de la charge par essieu.**

BIEN RAISONNER SON DÉCOMPACTAGE




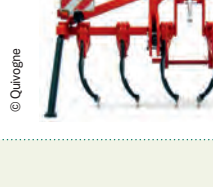
Il est conseillé de bien diagnostiquer la présence d'un tassement avant d'utiliser un décompacteur, avec une tige pénétrométrique puis un miniprofil pour bien repérer la profondeur des zones tassées et observer si celles-ci sont fissurées ou perforées par des galeries de vers de terre.

Il faut s'assurer de travailler à la bonne profondeur. Dans l'idéal, il faut que la pointe de la dent travaille 2 ou 3 cm sous la zone tassée. Cependant, les outils de décompactage ne permettent pas d'atteindre les tassements les plus profonds.

L'humidité du sol doit être propice au décompactage : pas trop sec pour atteindre la zone tassée et éviter la création de terre fine, pas trop humide pour éviter le lissage.

Le décompactage de la couche profonde (fond du labour) fragilise cette couche et augmente le risque qu'elle soit de nouveau tassée plus fortement par le prochain chantier lourd réalisé en conditions humides. L'implantation d'un couvert végétal permet de maintenir l'effet du décompactage de manière durable.

Les différents types de décompacteurs et leurs effets

Type de décompacteur	Avantages	Limites
Lames droites avec pointes décalées 	<ul style="list-style-type: none"> Horizons respectés (effet vague) Bon nivellement de surface 	<ul style="list-style-type: none"> Création d'une rupture de capillarité Risque de lissage
Lames droites incurvées vers l'avant 	<ul style="list-style-type: none"> Forme de dent qui s'enterre même en sol dur 	<ul style="list-style-type: none"> Bouleversement des horizons Risque de remontée de blocs
Lames droites et fines 	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de travailler en profondeur 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de descente de terre fine
Lames courbes « Michel » 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de lissage Action verticale et horizontale Moins sensible aux conditions d'humidité du sol 	<ul style="list-style-type: none"> Léger mélange des horizons Difficulté à atteindre les zones tassées en profondeur

FICHE PRATIQUE

Comment gérer les résistances des adventices aux herbicides ?

La résistance des adventices aux herbicides est de plus en plus préoccupante. Une note commune interinstituts a été rédigée afin de dresser un état des lieux des résistances aux herbicides utilisés pour lutter contre les adventices en grande culture. Vous pouvez en retrouver le contenu sur le site internet de l'ITB.



objectif est de diminuer le stock semencier des différentes adventices dans les parcelles.

1. Diversifier les cultures dans la rotation

Un grand nombre d'espèces lèvent à une période déterminée : automnale, hivernale, printanière ou estivale. À titre d'exemple, les renouées et les chéropodes infestent surtout les cultures de printemps, comme la betterave.

Cette adaptation de la flore adventice aux cycles de cultures peut être gênée, voire rompue, si on diversifie les cultures dans la rotation. Par ailleurs, la diversification des cultures de la rotation élargit la palette d'herbicides et rend plus facile le contrôle des adventices. Le choix des cultures de la rotation doit donc aussi tenir compte des gammes herbicides appropriées à chacune de ces cultures, surtout lorsque les adventices résistantes à certains herbicides sont déclarées.

2. Le labour

Le labour enfouit une grande majorité des graines de l'année et élimine simultanément les repousses et les jeunes adventices. Cette pratique limite considérablement les levées dans la culture qui suit. Les graines en profondeur perdent leur viabilité au cours du temps, les graminées (sauf folles avoines) beaucoup plus rapidement que les dicotylédones. En revanche, le labour remonte, depuis les horizons profonds, une fraction du stock de graines et favorise le réveil d'un certain nombre d'espèces. Après le labour, il faut donc laisser passer suffisamment de temps pour que les graines enfouies dépérissent. Un bon compromis est de labourer une fois tous les trois ou quatre ans. Après un échec de désherbage ou avant une culture potentiellement difficile à désherber, il faudra orienter le raisonnement sur les principales espèces problématiques : s'il s'agit d'espèces dont les semences perdent très rapidement leur viabilité dans le sol, le labour sera très efficace à lui seul et pourra être réalisé dès la récolte. Dans le cas d'espèces dont les semences sont persistantes, il faudra éviter de les enfouir après la récolte et laisser les semences dans les horizons superficiels, ce qui permettra d'augmenter grandement l'efficacité des déchaumages d'interculture. Les systèmes en « non-labour continu » accentuent le risque de salissement des parcelles car ils concentrent les graines en surface, zone plus favorable aux germinations et levées. De plus, la présence de résidus couvrant le sol réduit l'efficacité des herbicides racinaires. Dans

ces systèmes le travail du sol, et en particulier le déchaumage, devra être répété pour faire face aux levées d'adventices.

3. Faux semis

Le faux semis consiste à faire lever les adventices qui devaient naturellement se développer dans la culture à venir et qui seront détruites au plus près du semis soit par un travail du sol très superficiel (outil à dents ou herse étrille), soit par l'application d'un herbicide foliaire non sélectif. Chaque passage d'outil doit être moins profond ou équivalent au précédent afin d'éviter de remonter des graines. La réussite de ces opérations est intimement liée aux conditions météorologiques. Avant une culture d'été, les faux semis se justifient pleinement car ils réduisent fortement les populations d'adventices dans la culture. Il convient aussi de ne pas réaliser de faux semis trop proches du semis, sous peine de stimuler une levée des adventices dans la culture. En ce qui concerne la betterave, un faux semis implique presque systématiquement de retarder le semis, ce qui diminue le potentiel de rendement de la culture.

Prévention des résistances dans la lutte chimique

La résistance d'une adventice à un herbicide est la capacité de cette adventice à survivre à l'application correctement effectuée d'un produit habituellement efficace contre elle (c'est-à-dire qui devrait la tuer). Lorsqu'une adventice est résistante à un herbicide, elle sera peu ou pas affectée par le traitement. La résistance est l'application répétée, voire systématique, d'un même mode d'action qui va sélectionner un individu résistant au détriment des individus sensibles. La population résistante se développe grâce à la pression de sélection, exercée par l'herbicide concerné, sur la population sensible. La fréquence du recours à un même mode d'action, sur la rotation, est donc un indicateur de risque. →

UNE VIDÉO DISPONIBLE

Dans le cadre de cette note commune, une vidéo est disponible sur le site internet de l'ITB dans la rubrique Thèmes de travail/désherbage. L'objectif de cette vidéo est de partager les bonnes pratiques pour limiter le développement des résistances et ainsi répondre aux agriculteurs qui se retrouvent aujourd'hui dans une impasse. Toutes les recommandations de cette vidéo, financée par le GIS GC HP2E, sont à utiliser pour tout agriculteur, avant même de se retrouver dans une situation d'adventices résistantes.



Cette note, rédigée par les partenaires du GIS GC HP2E (Arvalis-Institut du végétal, Acta, Fnams, Inra, Terres Inovia, Végéphyll [Columa] et l'ITB), fait référence à différents aspects permettant une gestion durable des adventices : état des lieux des résistances aux herbicides, mise en avant de différents leviers d'action permettant de lutter durablement contre les adventices, alternance des modes d'action des herbicides, leviers agronomiques. En plus de rappeler les mécanismes de sélection des adventices résistantes, cette note a pour but de formuler des recommandations pour limiter les risques de sélection de résistances.

La lutte agronomique

La réduction du nombre de substances actives autorisées et la généralisation de l'emploi de certains modes d'action à la plupart des cultures de la rotation induit un risque fort de sélection de résistances. Donc la lutte agronomique doit être privilégiée. Son

« La lutte agronomique est le premier levier dans la gestion des adventices »

1 La pratique du labour limite considérablement les levées dans la culture suivante.

CHIFFRES CLÉS

2 modes

d'action différents sont nécessaires pour lutter contre une adventice.

3 ou 4 ans

Bon compromis entre deux labours.

« Alternier les modes d'action est le principe de base de l'utilisation des herbicides »

→ Prévenir les risques impose une alternance des modes d'action

À chaque application du même herbicide, les individus sensibles seront éliminés. Cela favorise les individus résistants, dont la fréquence va augmenter dans les populations traitées après traitement jusqu'à provoquer une perte de contrôle. Dans ce contexte, il est donc nécessaire d'alternier les modes d'action. Cette technique a pour objectif de limiter et retarder les phénomènes de résistances au sein de la rotation mais également au sein de la culture. Cette technique a pour bénéfice de limiter la pression de sélection exercée par les produits.

Il est nécessaire qu'une adventice donnée soit contrôlée par au moins deux modes d'action différents. Prévenir les risques impose une alternance rigoureuse des modes d'action en s'appuyant sur des programmes ou des associations. Ce sont les lettres des groupes herbicides définis par l'HRAC (Comité d'action pour les résistances aux herbicides) qui permettront de distinguer les différents groupes et de construire son programme herbicide. Dans la culture de la betterave et en cas de pression montante de vulpins ou ray-grass, l'utilisation d'Avadex 480 (groupe HRAC N), de Mercantor Gold (groupe HRAC K3) ou d'Isard (groupe HRAC K3) va permettre d'améliorer l'efficacité du traitement antigraminées.

La lutte mécanique

Les techniques de désherbage mécanique présentent une alternative ou un complément crédible aux herbicides.

En betteraves, il est possible de réduire les quantités d'herbicides sur betterave grâce à différentes stratégies de désherbage. De nombreux itinéraires permettent de concilier les deux objectifs que sont la réduction d'herbicide et la propreté finale des parcelles.

Afin de réduire les IFT herbicides en betteraves, deux itinéraires sont possibles :

• **Première stratégie** : réaliser deux ou trois traitements herbicides traditionnels en plein afin d'arriver au stade 4 feuilles vraies des betteraves et de contenir les levées d'adventices puis intervenir en mécanique avec une bineuse traditionnelle betterave équipée de moulinets sur le rang, une houe rotative ou une herse étrille avec réglage des dents par ressort.

Les passages de bineuse à moulinets, de houe rotative ou de herse étrille avec réglage des dents par ressort présentent des risques de pertes de plantes lorsqu'ils sont réalisés avant ce stade de 4 feuilles vraies de la culture, de l'ordre de 5 à 20 % selon les situations. Il convient donc d'intervenir avec des herbicides chimiques jusqu'à ce stade pour détruire les adventices. Au-delà du stade 10-12 feuilles, les machines occasionnent des dégâts aux betteraves qui peuvent rapidement être excessifs. L'efficacité de ces machines est également très dépendante du stade des adventices au moment de l'intervention. Elle est bonne jusqu'au stade cotylédons et chute rapidement lorsque les adventices dépassent ce stade. L'efficacité de ces machines est faible sur les adventices vivaces et graminées qui doivent être gérées dans la rotation et maîtrisées dans la culture par des traitements herbicides.

L'homogénéité du sol et de la population de betteraves permettront une meilleure efficacité de ces machines. Le travail de ces matériels ne sera pas possible en cas de levées échelonnées, de dégâts sur betteraves dus à des parasites ou de terres à cailloux. Les houes rotatives pénètrent mal sur des sols durs ou certains types de sols (craie, cranette).

• **Deuxième stratégie** : traitement localisé sur le rang. Cette méthode permet de traiter uniquement le rang des betteraves avec une rampe localisée. Ce traitement est couplé avec du binage en inter-rang. Le traitement est effectué avec les mêmes produits, mêmes doses et au même stade d'intervention que le traitement en plein.

Les passages mécaniques exigent un bon nivellement du sol, l'efficacité est largement tributaire des conditions météorologiques. Il est nécessaire d'avoir un minimum de temps sec après le passage mécanique. Les plages horaires d'intervention pour les passages mécaniques sont toutefois moins contraignantes que pour les traitements herbicides : si les conditions de la journée sont favorables (sol sec, absence de pluie), l'intervention peut se faire à n'importe quelle heure contrairement aux pulvérisations.

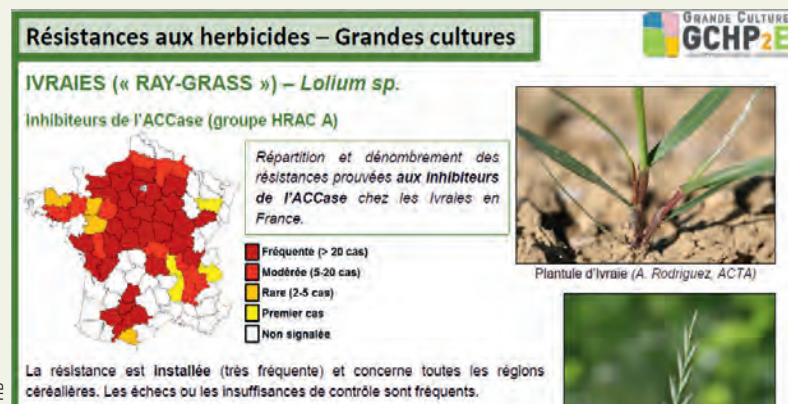
2 Bineuse équipée de moulinets travaillant sur le rang des betteraves.

3 Herse étrille avec réglage des dents par ressort.

4 Rampe de localisation d'herbicide.



FICHE RÉSISTANCE



Vous trouverez également dans cette note 17 fiches pour 17 adventices présentant des résistances en France. Vous trouverez pour chacune de ces 17 adventices la répartition département des résistances, le type de résistance identifié, les recommandations, l'efficacité des techniques non chimiques et les modes d'action herbicides efficaces.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- La gestion des adventices doit s'effectuer sur l'ensemble de la rotation.
- La lutte agronomique (labour, faux semis, etc.) permet de diminuer le stock semencier.
- La prévention des résistances doit permettre de conserver une efficacité des différents modes d'action.
- La lutte mécanique permet également de compléter le désherbage chimique.