

Betteraves à sucre: technique de récolte et protection des sols

Interactions multiples entre technique, qualité de récolte et écologie

Ernst Spiess et Etienne Diserens, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen



La technique de récolte des betteraves à sucre se caractérise par un vaste choix de machines à l'échelle internationale, ainsi que par une grande diversité de systèmes et de procédés. Environ 20 fabricants distribuent près de 50 types de machines différentes en Europe. Toutes les catégories de puissance sont représentées avec des largeurs de travail comprises entre un et neuf rangs. Aujourd'hui encore, l'Italie et la Scandinavie restent les principaux demandeurs de petites machines. Toutefois, c'est la décolleteuse-arracheuse à trémie automotrice à six rangs (récolteuse intégrale) qui se place en tête de série. Cette machine est distribuée par 12 maisons différentes, existe en 15 modèles dans trois catégories et avec des puissances allant jusqu'à 370 kW. Ce type de machine se caractérise notamment par le niveau élevé des systèmes de commande, de réglage et d'information. En Belgique, en France, en Italie et en Grande-Bretagne, on continue à développer des systèmes à une et deux phases avec des machines allant jusqu'à neuf rangs. Les décolleteuses-arracheuses et les débardeuses (chargeuses à trémie) sont de plus en plus des machines automotrices. Pour l'effeuillage, ce sont plutôt les systèmes à fléaux qui dominent. Pour les opérations suivantes, il existe quatre types principaux

de décolletage, sachant que les systèmes à tâteurs glissants sont les plus fréquemment utilisés. Suivant le modèle, les socs Polder ont de nombreuses fonctions et font généralement partie de l'équipement standard de toutes les machines. Les turbines de nettoyage sont particulièrement efficaces; elles sont souvent combinées à des rouleaux à spirales sur la plupart des agrégats de nettoyage. Des critères simples permettent de contrôler et d'optimiser la qualité du travail et les pertes dans la pratique. Les sols humides, ameublés et des charges à la roue allant jusqu'à 10 tonnes représentent de lourds enjeux pour la protection des sols. A partir de mesures au champ, puis à partir de simulations de calculs, il a été possible de classer les différents procédés de récolte en fonction de leur sollicitation respective pour le sol. Des règles et des outils simples comme le «test du tournevis» permettent d'évaluer les conditions du sol dans la pratique et d'appliquer les mesures adéquates pour minimiser les dommages. Dans le cas des grosses débardeuses, en terrain peu portant, il s'agit avant tout de restreindre le poids maximum en limitant le chargement tout en tirant parti suivant la texture du sol, de la position optionnelle des roues sollicitant des surfaces de roulement variables au sol.

Sommaire	Page
Nouvelles tendances et offre de machines	2
La diversité des procédés reste grande	2
Agrégats de travail: systèmes et adéquation	7
Hightech sur les véhicules automoteurs	9
Contrôler/ Optimiser la qualité de récolte	11
La protection des sols occupe une place importante	12
Terminologie «Sol»	13
Evaluation pratique de l'état du sol dans la récolte des betteraves à sucre; recommandations	13
Protection des sols	14
Test du tournevis	18
Résumé/Bibliographie	19

Nouvelles tendances et offre de machines

De 1980 à 1985, la mécanisation de la récolte de betteraves à sucres a atteint un apogée sans précédent en Europe en ce qui concerne la **diversité des procédés, des systèmes, des modèles et des fabricants**. Durant cette période, les améliorations ont surtout porté sur la qualité du travail et la réduction des pertes de récolte. Le marché proposait des largeurs de travail comprises entre un et six rangs, avec une à trois phases, et les combinaisons les plus diverses de machines portées, traînées ou automotrices. Par la suite, le développement s'est focalisé notamment sur **l'augmentation du nombre de rangs** des récolteuses intégrales (DAT) et la **fusion des opérations parmi les chantiers décomposés**. De nombreuses solutions intermédiaires comme le procédé danois à deux phases (D+AT) et tous les procédés à trois phases (D+A+C+Tr) ont aujourd'hui disparu du marché. Actuellement, l'accent est mis sur le perfectionnement de la sécurité, de la qualité du travail et du confort. La **récolte/affouragement des feuilles** n'a plus qu'une faible importance. En France, en Belgique et en Grande-Bretagne, contrairement à l'Allemagne par exemple, on continue à développer le **procédé à deux phases** (D,A+CT) avec un nombre de rangs allant de trois à huit. Les techniques utilisées ici varient considérablement. Ces procédés ont leur importance, car en général, ils permettent de mieux répartir les charges, de réduire la proportion des surfaces foulées suivant le procédé et d'obtenir un nettoyage de meilleure qualité (effritement après dessèchement de la terre) sur sols lourds, cohérents. Jusqu'à présent, la largeur de travail record a été obtenue avec une **décolleteuse-arracheuse-chargeuse automotrice à neuf rangs** (DAC) (fig. 1). Ce procédé de récolte en deux parties, à une phase est plus performant que la décolleteuse-arracheuse à trémie à six rangs (DAT), mais il exige légèrement plus de travail. L'évolution qu'a connue la **décolleteuse-arracheuse à trémie** (DAT) dans les années nonante a surtout porté sur le passage de la machine automotrice de **cinq à sept rangs**, dont douze fabricants se partagent aujourd'hui le marché (tab. 1). Cette évolution s'est accompagnée d'une considérable augmentation du poids des machines, les betteraviers refusant des trémies de faible volume, mal adaptées à la longueur de leurs parcelles. Avec **des charges à la roue pou-**



Fig. 1: Les largeurs de travail les plus élevées sont actuellement obtenues avec une décolleteuse-arracheuse-chargeuse à neuf rangs (DAC AM 9, Moreau) (a). Pour le transport sur route, il est possible de rabattre la décolleteuse à fléaux sur le côté, ainsi que le dispositif de nettoyage à turbine (b).

vant dépasser les 10 t et des poids maximaux de l'ordre de 60 t, les machines utilisées actuellement pour la récolte de betteraves à sucre sont les plus lourdes machines agricoles jamais connues. La **protection des sols** et la mise en place d'une stratégie de récolte adaptée revêtent donc une importance majeure en culture betteravière.

La diversité des procédés reste grande

Décolleteuse-arracheuse à trémie à un et deux rangs: offre en déclin

 DAT 1	 DAT-AM 1
 DAT 2	 DAT-AM 2

Bien que dans les principales régions à betteraves d'Europe, la tendance soit à des largeurs de travail de six rangs et plus, certains fabricants continuent à proposer des décolleteuses-arracheuses à un et deux rangs. Dans les régions où les parcelles sont de petite taille et où la récolte des feuilles de betteraves a encore une certai-

ne importance, ces machines, souvent anciennes, sont encore très répandues. Les machines à un et deux rangs peuvent parfois encore être équipées du système de tâteur à roue qui convient pour la récolte des feuilles entières. La souplesse de ces machines, leur adaptation aux terrains en pente, leur maniabilité, ainsi que les charges à la roue relativement faibles des modèles tractés constituent d'autres atouts de ces systèmes. La puissance minimale nécessaire des tracteurs est d'environ 40 kW pour les machines à un rang et de 60 kW pour les machines à deux rangs.

En Italie notamment, dans les régions où les parcelles sont très morcelées, il existe encore une certaine demande pour des **véhicules automoteurs** à un et deux rangs, particulièrement maniables, mais relativement chers. Grâce à la conception particulière du châssis, l'ouverture du champ est nettement simplifiée par rapport aux systèmes tractés. De part la disposition avancée des agrégats de décollage et d'arrachage devant les roues avant et arrières, il est possible de monter des pneus normaux de ce côté des machines sans endommager les betteraves en les arrachant. Les roues placées du côté opposé doivent par contre être équipées de pneus étroits à l'avant et jumelés à l'arrière, permettant le passage entre les rangées de betteraves. Des dispositifs hydrauliques permettent également de régler rapidement l'écartement des roues d'après l'espace inter-ligne.

Abréviations pour les procédés de récolte des betteraves à sucre

D	= décollage/décolleteuse,
A	= arrachage (et nettoyage)/arracheuse,
C	= chargement (et nettoyage)/chargeuse,
T	= trémie,
TI	= trémie intermédiaire,
Tr	= unité de transport,
AM	= automoteur/trice

«» signifie agrégat simple,
«+» séparation des phases, le transport (Tr) n'étant pas considéré comme une phase.

Exemples: D,A 6 = décolleteuse frontale, arracheuse arrière, six rangs, ou DAT-AM 6 = décolleteuse-arracheuse à trémie, automotrice, six rangs, D,AC 3 = décolleteuse frontale, chargeuse-arracheuse tractée ou montée à l'arrière, trois rangs, C = chargeuse (andaineuse), CT = débardeuse (chargeuse à trémie)

Tab. 1: Machines disponibles (informations plus complètes sous www.fat.ch/zre.html)

Type de machine Données	DAT 1			DAT-AM 1	DAT 2
	 Décolleteuse arracheuse à trémie, tractée à 1 rang			 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice à 1 rang	 Décolleteuse arracheuse à trémie, tractée à 2 rangs
Fabricant	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Kongskilde, FIN-Mynämäki	Stoll, D-Lengede	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Kongskilde, FIN-Mynämäki
Type de machine	BARIGELLI COLLINA-E	JUKO 100	STOLL V100	BARIGELLI B/1-4x4	JUKO XY 200
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	mail@kst.kongskilde.com	vk@wstoll.de	barigelli.com-barigelli.it	mail@kst.kongskilde.com
Représentation CH			Landtechnik, Zollikofen		
Décolletage, système	Tâteur à roue	Fléaux, tâteur à roue	Fléaux, tâteur à glissant	Fléaux, tâteur à roue	Fléaux, tâteur à disques
Arrachage, système de socs	Polder	Polder	Polder	Polder	Polder
Volume de la trémie t/m³	2,5/4	2,9/4,4	3,5/5,9	2,5/4	5,2/8,0
Moteur (AM) kW				90	

Type de machine Données	DAT 2		DAT-AM 2	DAT 3	
	 Décolleteuse arracheuse à trémie, tractée à 2 rangs		 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice à 2 rangs	 Décolleteuse arracheuse à trémie, tractée à 3 rangs	
Fabricant	Stoll, D-Lengede	Thyregod, DK-Give	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Stoll, D-Lengede	Thyregod, DK-Give
Type de machine	STOLL V200	TIM KRB/S 212	BARIGELLI EURORA 4x4	STOLL V300	TIM KRB/S312
Internet/E-Mail	vk@wstoll.de	www.thyregod.com	barigelli.com-barigelli.it	vk@wstoll.de	www.thyregod.com
Représentation CH	Landtechnik, Zollikofen	Favre, Payerne		Landtechnik, Zollikofen	Favre, Payerne
Décolletage, système	Fléaux, tâteur glissant	Rotor ou fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur à roue	Fléaux, tâteur glissant	Rotor ou fléaux, tâteur glissant
Arrachage, système de socs	Polder	Roue	Polder	Polder	Roue
Volume de la trémie t/m³	6,2/10	7,8/12	4,5/7	12,5/17	7,8/12
Moteur (AM) kW			173		

Type de machine Données	DAT-AM 3	DAT-AM 5/6/7 (petite)			DAT-AM 5/6/7 (moyenne)
	 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice à 3 rangs	 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice, 5/6 ou 7 rangs, petite	 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice, 5/6 ou 7 rangs, moyenne		
Fabricant	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Agrifac, NL-Steenwijk	Franquet, F-Guignicourt	Kleine, D-Salzkillen	Agrifac, NL-Steenwijk
Type de machine	BARIGELLI B/3 4x4-S	AGRIFAC WKM 9000	FRANQUET TETRA	KLEINE SF 10	AGRIFAC ZA 215 EH
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	andreas.thoeni@fenaco.com	www.franquet.com		andreas.thoeni@fenaco.com
Représentation CH		Landtechnik, Zollikofen		Matra, Zollikofen	Landtechnik, Zollikofen
Décolletage, système	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant
Arrachage, système de socs	Polder	Polder	Polder	Polder	Polder
Volume de la trémie t/m³	8,7/12,5	9,5/15	11/15	10/15	20/28
Moteur (AM) kW	225	220	221	235	268

Type de machine Données	DAT-AM 5/6/7 (moyenne)				
	 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice, 5/6 ou 7 rangs, moyenne				
Fabricant	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Gilles, B-Clermont	Holmer	Matrot, F-Noyers Saint Martin	Moreau, F-Nyelles-sur Escout
Type de machine	BARIGELLI B/6 4x4	GILLES RBI 420	HOLMER Terra-Dos	MATROT M2001	MOREAU VOLTRA 6-24
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	www.gilles-sa.com	www.holmer-maschinenbau.de		www.ets-moreau.fr
Représentation CH			Brack, Unterstammheim		
Décolletage, système	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant
Arrachage, système de socs	Polder	Polder	Polder	Polder	Polder
Volume de la trémie t/m³	16/25	15/24	18/24	17/26	16/24
Moteur (AM) kW	325	355	308	360	286

Type de machine	DAT-AM 5/6/7 (moyenne)			DAT-AM 5/6/7 (grosse)	
Données	 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice, 5/6 ou 7 rangs, moyenne			 Décolleteuse arracheuse à trémie, automotrice, 5/6 ou 7 rangs, grosse	
Fabricant	Thyregod, DK-Give	Riecam, NL-Heerenhoek	Vervae, NL-Biervliet	Agrifac, NL-Steenwijk	Ropa, D-Herngiersdorf
Type de machine	TIM SR 2500	RIECAM RBM 300-S	VERVAET 17 T	AGRIFAC WKM Big Six II	ROPA euro-TIGER
Internet/E-Mail	www.thyregod.com	sales-riecam@agrimac.nl	www.vervae.nl	andreas.thoeni@fenaco.com	www.ropa-maschinenbau.de
Représentation CH	Favre, Payerne			Landtechnik, Zollikofen	Brack, Unterstammheim
Décolletage, système	Rotor ou fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant
Arrachage, système de socs	Roue	Polder	Polder	Polder	Polder
Volume de la trémie t/m³	18/25	17/24	17/26	23/34	28/43
Moteur (AM) kW	260	300	280	300	338

Type de machine	DA 5/6/7	D,A 5-8			
Données	 Décolleteuse arracheuse frontale 5/6 ou 7 rangs	 Décolleteuse frontale, arracheuse arrière, 5-8 rangs			
Fabricant	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Dehont, F-Cany	Franquet, F-Guignicourt	Gilles, B-Clermont
Type de machine	BARIGELLI B/65	BARIGELLI B/6C	DEHONT	FRANQUET SAIGA+AR E	GILLES TR14-117/AP-AS 48/80
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	barigelli.com-barigelli.it		www.franquet.com	www.gilles-sa.com
Représentation CH					
Décolletage, système	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur à roue	Fléaux, tâteur à roue	Fléaux, tâteur glissant
Arrachage, système de socs	Polder	Polder	Disques	Polder	Disques ou Polder
Volume de la trémie t/m³					
Moteur (AM) kW					

Type de machine	D,A 5-8	D,AT 3/4/6	D,AC 3/4/6	D,AC 6	DA,C 6
Données	 Décolleteuse frontale, arracheuse arrière, 5-8 rangs	 Décolleteuse frontale, arracheuse à trémie tractée, 3/4 ou 6 rangs	 Décolleteuse frontale, arracheuse chargeuse tractée, 3/4 ou 6-r.	 Décolleteuse frontale, arracheuse chargeuse tractée, 6-r.	 Décolleteuse-arracheuse frontale, chargeuse tractée, 6-r.
Fabricant	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Garford, GB-Peterborough	Garford, GB-Peterborough	Franquet, F-Guignicourt	Dehont, F Cany
Type de machine	MOREAU EP 12, AS 2500	GARFORD VT 3/4/6	GARFORD VICTOR 3/4/6	FRANQUET SAIGA+ACTE 4	DEHONT AV.6R
Internet/E-Mail	www.ets-moreau.fr	www.garford.com	www.garford.com	www.franquet.com	
Représentation CH	Grunderco, Aesch u. Satigny				
Décolletage, système	Fléaux, tâteur glissant	Rotor, système à vis	Rotor, système à vis	Fléaux, tâteur à roue	Fléaux, tâteur à roue
Arrachage, système de socs	Polder ou disques	Roue	Roue	Polder	disques
Volume de la trémie t/m³					
Moteur (AM) kW					

Type de machine	DAC-AM 5/6/7		DAC-AM 9	C	
Données	 Décolleteuse arracheuse chargeuse automotrice 5/6 ou 7 r.		 Décolleteuse arracheuse chargeuse automotrice, 9 r.	 Andaineuse-chargeuse tractée	
Fabricant	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Matrot, F-Noyers Saint Martin	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Dehont, F Cany	Franquet, F-Guignicourt
Type de machine	MOREAU LECTRA V2	MATROT M 41	MOREAU SUPRA 9.12	DEHONT DT CH.	FRANQUET CDM 2000
Internet/E-Mail	www.ets-moreau.fr		www.ets-moreau.fr		www.franquet.com
Représentation CH	Grunderco, Aesch u. Satigny		Grunderco, Aesch u. Satigny		
Décolletage, système	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant	Fléaux, tâteur glissant		
Arrachage, système de socs	Polder ou disques	Polder ou disques	Polder ou disques		
Volume de la trémie t/m ³	3/4,5 od. 4,5/7	3,6/5,5	7,8/12		
Moteur (AM) kW	230	261	280		

Type de machine	C	CT	CT AM (moyenne)	CT AM (grosse)
Données	 Andaineuse-chargeuse tractée	 Chargeuse avec trémie tractée	 Chargeuse avec trémie automotrice, moyenne	 Chargeuse avec trémie automotrice, grosse
Fabricant	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Bleinroth, D-Barsinghausen	Gilles, B-Clermont
Type de machine	MOREAU CN 40	BARIGELLI B/AC-120	BLEINROTH LB 25	GILLES RB 240 T
Internet/E-Mail	www.ets-moreau.fr	barigelli.com-barigelli.it	Bleinrot@debitel.net	www.gilles-sa.com
Représentation CH	Grunderco, Aesch u. Satigny		Matra, Zollikofen	
Décolletage, système				
Arrachage, système de socs				
Volume de la trémie t/m ³		13/20	14/25	14/24
Moteur (AM) kW			212	309

Type de machine	CT AM (grosse)
Données	 Chargeuse avec trémie automotrice, grosse
Fabricant	Gilles, B-Clermont
Type de machine	GILLES 410T
Internet/E-Mail	www.gilles-sa.com
Représentation CH	
Décolletage, système	
Arrachage, système de socs	
Volume de la trémie t/m ³	25/34
Moteur (AM) kW	315



Fig. 2a: Décolleteuse-arracheuse à trémie tractée à trois rangs (DAT 3) avec décolleteuse à fléaux. Le modèle à deux rangs dispose d'un système identique (TIM).



Fig. 2b: Décolleteuse-arracheuse à trémie automotrice à trois rangs (DAT AM 3). Grâce à des pneus étroits et jumelés du côté gauche de la machine, il est possible de rouler entre les lignes lors de la défriche (Barigelli).

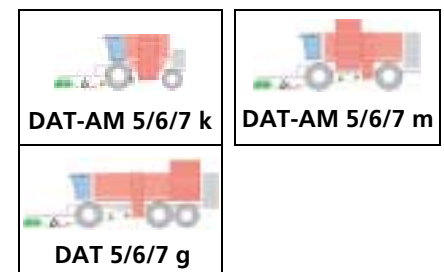
Décolleteuse-arracheuse à trémie de trois à sept rangs; la tendance est aux gros véhicules automoteurs



Les **décolleteuses-arracheuses à trémie à trois rangs** n'existent pratiquement qu'équipées du système d'effeuillage (horizontal ou vertical). Pour les machines tractées avec un volume de trémie d'environ 8 t, la puissance minimale du tracteur est de l'ordre de 110 kW. Etant donné la catégorie de tracteurs requise (taille des pneus), il n'est pratiquement plus possible d'ouvrir le champ sans problème avec ces machines, sachant qu'en plus les machines allemandes et danoises sont équipées de pneus normaux, voire larges (fig. 2). En revanche, les machines automotrices à trois rangs présentent, sur ce plan, les mêmes avantages que les machines automotrices à un et deux rangs grâce au montage de pneus étroits et jumelés sur un côté.



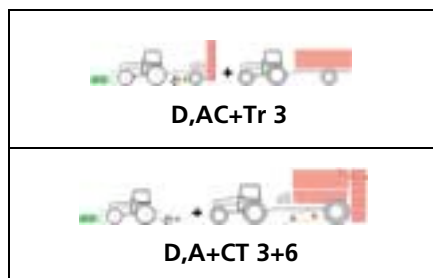
Les **décolleteuses-arracheuses à trémie à six rangs entraînées par le tracteur**, fabriquées en Grande-Bretagne sont conçues par contre d'une toute autre manière (fig. 3). L'effeuillage se fait au moyen de rotors verticaux montés à l'avant du tracteur. Le décolletage s'effectue au niveau de l'arracheuse-chargeuse tractée avec socs à roue et système de nettoyage par rouleaux à spirales. La machine peut être équipée de trois, quatre ou six rangs, grâce à un système de châssis modulaire. A noter ici que le tracteur passe sur les rangées de betteraves effeuillées. Pour laisser suffisamment de place aux pneumatiques de grosses dimensions, le semis est pratiqué en adaptant les voies de passage au système de récolte. Les distances inter-lignes sont, de ce fait, un peu plus importantes pour d'autres systèmes de récolte. Comme avec les grosses décolleteuses-arracheuses à trémie (intégrales) automotrices, l'ouverture du champ ne pose pas de problème.



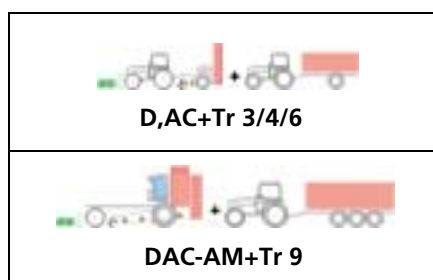
L'extension des **décolleteuses-arracheuses à trémie automotrices à six rangs** est indiscutable en Europe centrale. Les différents types peuvent être répartis en trois catégories d'après le volume de la trémie: les petits et moyens modèles reposent sur deux essieux et les gros modèles sur trois, voire quatre essieux entraînés. Sur les petites DAT, une trémie intermédiaire sert de transition lors du changement de convoi-chargeur (fig. 4). Un volume d'une tonne à une tonne et demie par rangée de betteraves suffit ici. Avec les intégrales, les betteraves sont déchargées à l'extrémité du champ. Pour des parcelles de 300 m de long, il faut donc prévoir des trémies d'un volume d'au moins 1,2 t/rangée (rendement maximum de 800 kg/a). Les DAT-AM les plus lourdes disposent toutefois d'un volume allant jusqu'à

4,6 t par rangée de betteraves (total de 27 t). Cette capacité élevée des trémies convient surtout pour les zones de grandes cultures d'Europe, où les parcelles sont généralement très longues et où les meules de betteraves ne peuvent souvent être déposées que d'un côté du champ.

Chantiers décomposés



Les procédés de récolte à trois rangs, une et deux phases, sous forme de D, AC+Tr 3 et D, A+CT 3+6 sont sur le déclin en Europe centrale. Quelques fabricants continuent malgré tout à les proposer. Ils constituent souvent une solution bon marché pour la mécanisation de l'exploitation, sachant que la plupart des tracteurs disponibles de puissance moyenne peuvent être utilisés avec des pneus étroits. Comme tous les procédés décomposés avec formation d'andains intercalaires, la combinaison D, A+CT 3+6 offre l'avantage d'un nettoyage facile et en douceur (par effet de brousse) pour autant que la terre amassée autour des betteraves puisse se dessécher correctement.



Parallèlement à son procédé de décolletage-arrachage à trémie (D,AT 3/4/6), un fabricant britannique offre également une **décolleteuse-arracheuse-chargeuse à trois, quatre et six rangs** (D,AC+Tr) adaptée aux voies de passage établies lors du semis. Ici aussi, seul l'effeuillage se fait à l'avant, le décolletage (système de décolletage à vis) s'effectue au niveau de l'unité d'arrachage. Par contre, les décolleteuses-arracheuses-chargeuses de plus de trois



Fig. 3: Le système de décolletage-arrachage à trémie entraîné de Garford GB (D, AT 3/4/6) exige un système de voies de passage (espace inter-ligne important là où il y a passage des roues) adapté à trois, quatre ou six rangs. Seule l'effeuilleuse est montée à l'avant du tracteur. Les deux essieux de l'arracheuse-chargeuse sont à entraînement hydraulique.

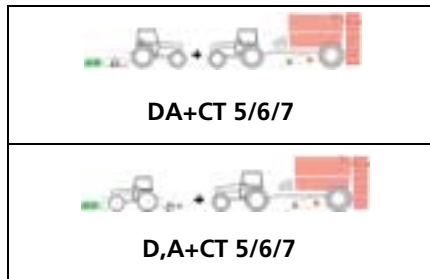


Fig. 4: Décolleteuse-arracheuse à trémie automotrice à six rangs, petit modèle (DAT AM 6, petite). Lorsque les parcelles sont courtes, les betteraves peuvent être transportées jusqu'à l'extrémité du champ. Lorsque les parcelles sont longues, la machine est utilisée comme décolleteuse-arracheuse-chargeuse avec trémie intermédiaire.



Fig. 5: Les décolleteuses-arracheuses-chargeuses auto-motrices (DAC) avec une largeur de travail pouvant aller jusqu'à 9 rangs sont surtout employées en France, où les betteraves ne sont pas déposées en meules en bords de champs, mais sur des surfaces en dur plus éloignées.

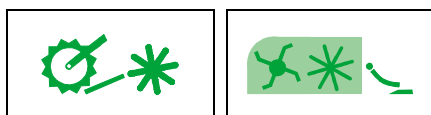
rangs qui ne sont pas adaptées au système de voies de passage ne sont proposées qu'en modèles automoteurs. Elles peuvent arracher jusqu'à neuf rangs (fig. 5).



Les décolleteuses-arracheuses sont disponibles soit sous la forme de machines combinées (DA), attelées à l'arrière mais poussées (marche arrière), soit sous une forme associant attelage frontal et attelage arrière (D,A). Les modèles combinés ont notamment un avantage: comme avec les décolleteuses-arracheuses à trémie automotrices à six rangs, ils permettent également d'arracher les betteraves en sol non perturbé, non foulé (fig. 6). Ici, il est possible d'utiliser des pneus larges, sachant qu'avec des machines séparées, des pneus étroits ou jumelés sont nécessaires pour circuler entre les lignes de betteraves. Lorsque les sols sont lourds et cohérents, l'arrachage dans le sillon peut être rendu plus difficile par la pression latérale des pneus. Les tests comparatifs des machines de récolte montrent qu'avec un tel système sur sol lourd (p. ex. Seligenstadt, octobre 2000) les pertes par cassure de racines ont tendance à être légèrement plus élevées qu'en cas d'arrachage des betteraves en sol non perturbé.

Agrégats de travail: systèmes et adéquation

Systèmes à fléaux principalement – Enfouissement direct des feuilles



Les agriculteurs ayant pratiquement entièrement renoncé à la récolte des feuilles, la plupart des fabricants ont abandonné les systèmes de décolletage avec tâteur à roue (fig. 7). **Les décolleteuses à fléaux ou à rotors** s'avèrent sûres et performantes pour l'effeuillage anticipé. Associées à

des lames de nettoyage et des systèmes de post-décolletage, les pertes de décolletage peuvent en général être réduites. En cas de ramassage des feuilles, les rendements fourragers avec effeuillage précoce sont toutefois inférieurs de 20 à 23 %. Quant aux souillures, elles sont légèrement plus importantes qu'avec le système de décolletage avec tâteur à roue. Sur certaines machines, le soi-disant **effeuillage intégral** permet d'enfouir le feuillage dans le sol entre les lignes de betteraves après le passage des fléaux, au moyen d'outils spéciaux, pouvant faciliter l'ouverture du champ et le semis (direct) ultérieur. L'abandon des éléments d'évacuation latérale et de répartition permet de réduire considérablement le poids des agrégats de décolletage. Aujourd'hui, les systèmes à tâteur à roue ou les systèmes de décolletage post-effeuillage sont essentiellement équipés d'un **système automatique de contrôle de la hauteur du décolletage** (appelé aussi décolletage proportionnel ou décolletage différentiel) (fig. 8). Grâce à un dispositif de suspension spécial (dispositif en trapèze généralement), lors du décolletage, les betteraves les plus basses qui ont le plus de fanes sont coupées plus sévèrement que les betteraves plus hautes avec peu de fanes.

Par contre avec les systèmes à tâteur à roue sans effeuillage préalable, les grosses betteraves hautes sont décollées avec force alors que les petites betteraves moins hautes le sont avec moins de force. A l'heure actuelle pour le décolletage post-effeuillage, on utilise principalement des systèmes passifs (c'est-à-dire qui ne sont pas entraînés par un mécanisme spécial), comme les **tâteurs glissants ou les tâteurs à patins**. Les **tâteurs à roue entraînés, d'un faible diamètre**, s'avèrent avantageux pour le décolletage post-effeuillage en sols très meubles (riches en humus), où les betteraves sont légèrement renversées par



Fig. 6: Les décolleteuses-arracheuses (DA) sous forme combinées présentent un avantage: les roues ne passent pas sur les rangées de betteraves comme c'est le cas lorsque les agrégats sont séparés à l'avant et à l'arrière du tracteur (D,A). En mode DA, la défriche en sol non foulé est possible.

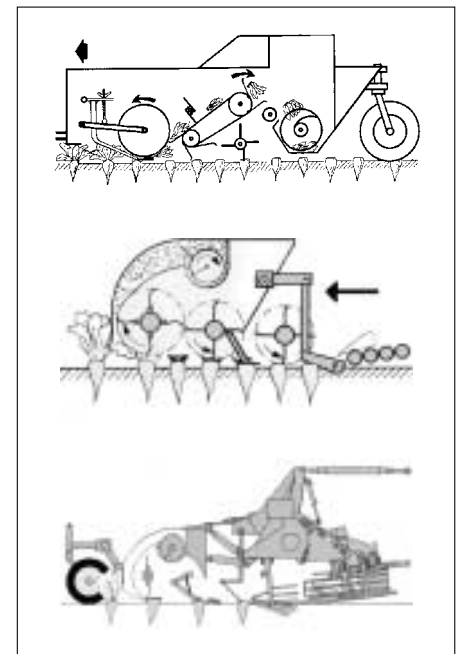
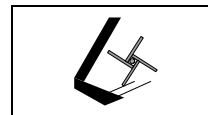


Fig. 7: Système d'effeuillage/décolletage: a) Décolleteuse à tâteur à roue: était surtout utilisée pour la récolte de feuilles sur la plupart des machines à un rang et plus. Joue encore un rôle sur les décolleteuses-arracheuses à trémie à un rang. b) Effeuilleuse avec rouleau nettoyeur, décolleteuse post-effeuillage à tâteur glissant avec second rouleau nettoyeur (selon Kleine). c) Effeuilleuse avec décolleteuse en post-effeuillage à tâteur glissant (selon Agrifac). Ce modèle simple est le plus répandu actuellement.

les tâteurs glissants (fig. 9). Les **systèmes de décolletage post-éfeuillement avec déflecteur** sont également équipés de patins glissants (fig. 10). Au lieu d'utiliser des couteaux fixes, on utilise des déflecteurs rotatifs, réduisant ainsi les risques de bourrage. Le **système de décolletage post-éfeuillement à vis** est utilisé essentiellement en Grande-Bretagne. Des lames placées en forme de vis (hélicoïdale) entre deux disques forment un cylindre; placé sous tension, il est entraîné et travaille de manière radiale en fraisant les collets de betteraves (fig. 11). La disposition particulière des couteaux permet d'obtenir une surface de travail qui n'est

pas plate, mais conique et qui s'adapte à la forme des betteraves. Par rapport aux autres systèmes de décolletage post-éfeuillement, ce dispositif a pour but de réduire les pertes de rendement et d'augmenter la sécurité de fonctionnement. Des tests comparatifs de récoltes ont montré qu'en l'état actuel de la technique, ce système permettait de **décolleter correctement jusqu'à 70 % des betteraves** lorsque le peuplement était équilibré et favorable (ligne de coupe sous le collet vert). L'objectif est également de réduire au maximum le taux de coupes trop basses, afin d'éviter des pertes de rendement trop importantes.

Socs Polder, socs à roue et socs à disques – affinités variables



Actuellement, on utilise essentiellement des socs Polder ou des socs à roues (aussi appelés socs Oppel), de types très divers (fig. 12). Les **socs Polder** se caractérisent principalement par le fait qu'ils enlèvent relativement peu de terre; aujourd'hui ils existent principalement sous formes mobiles, latéralement/autoguidés, en mode entraîné, oscillant en bloc (par couple de socs) ou individuellement (par soc). Il est difficile de distinguer les avantages des inconvénients de ce système. Pour augmenter la sécurité de fonctionnement, le flux de betteraves est souvent guidé vers les socs par des rouleaux à ailettes ou des disques latéraux en caoutchouc (fig. 13). Les **socs à roues** sont peu sensibles aux bourrages. Ils existent en mode fermé (disques) et ouvert (rayons). Ils peuvent être entièrement, partiellement entraînés ou à roue libre. Les problèmes sont rares, ces socs travaillant avec beaucoup de ménagement. Toutefois, ils nécessitent un guidage latéral précis (en général, ils ne sont pas mobiles latéralement), ne posant plus de difficultés majeures aux vues des techniques de réglage actuelles. Lorsque les sols sont très durcis, la pénétration du soc et le réglage de la profondeur peuvent poser plus de problème qu'avec les socs Polder entraînés. Contrairement aux socs Polder et aux socs à roues, les **socs à disques** ne sont pas montés par couple/ligne, mais individuellement avec une contre-plaque fixe. Ce système de socs exige un guidage latéral précis, peu sujet aux bourrages, il ne convient cependant que pour des sols légers, faiblement pierreux. Le **réglage de la profondeur de l'organe d'arrachage** se fait aujourd'hui généralement via des roues ou des arceaux tâteurs, ainsi que par dispositif électro-hydraulique.

Guidage latéral des organes de décolletage et d'arrachage

Les défaneuses peuvent encore être montées en position frontale sur le tracteur (D,A 6, D,AC 3) sans dispositif de commande automatique en terrain plat. Il en va de même pour les décolleteuses attelées à l'arrière avec socs Polder orientables latéralement et auto-guidés. En pré-

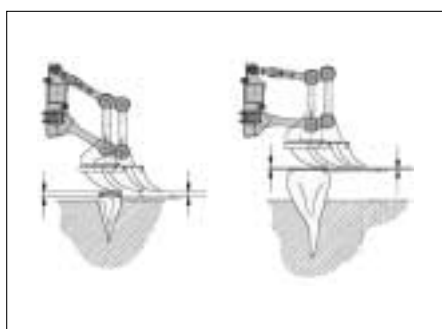


Fig. 8: Dispositif automatique de contrôle de la hauteur de décolletage pour les décolleteuses post-éfeuillement à tâteur glissant (a: selon Holmer, b: selon Ropa).



Fig. 10: Système de décolletage post-éfeuillement à déflecteur: le déflecteur rotatif horizontal réduit considérablement le risque de blocage du dispositif par des pierres.



Fig. 9: Décolleteuse post-éfeuillement entraînée à tâteur à roue (Barigelli). La position avancée du tâteur empêche que les betteraves ne soient renversées en terrain meuble.



Fig. 11: Le système de décolletage post-éfeuillement à vis permet, grâce à sa surface de travail conique, de décoller également les implantations des feuilles les plus basses avec des pertes de rendement relativement faibles (Garford).



sence d'un fort surplomb devant les roues avant, tout comme dans les terrains en pente, il devient de plus en plus difficile de guider les agrégats avec précision dans les lignes en s'aidant uniquement de la commande des roues du véhicule porteur. C'est pourquoi **les systèmes de guidage latéral automatique** du groupe d'arrachage/décolletage font partie de l'équipement standard des décolleteuses-arracheuses avec et sans trémie, à un ou plusieurs rangs (DA 6). En général, les tâteurs à fanes ou à betteraves ou les cap-

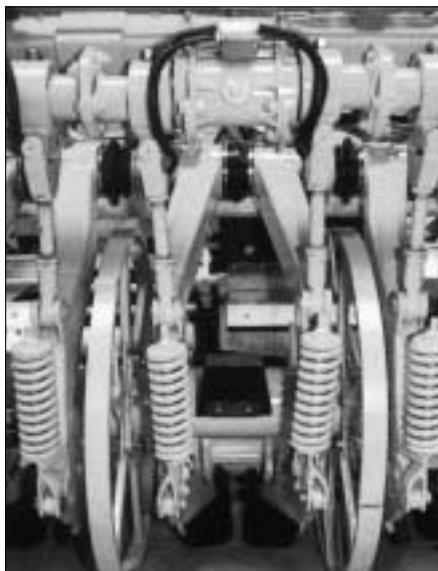
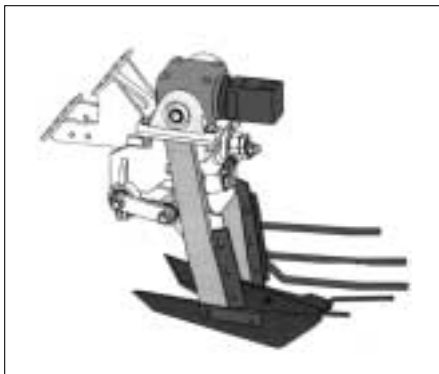


Fig. 12: a) Soc mobile, oscillant Polder (selon Moreau), b) Soc orientable individuellement (ajustage linéaire), réglage de la profondeur par impulsions du tâteur à roue (selon Ropa), c) soc à roue libre (TIM).

teurs placés sur les socs Polder mobiles latéralement, transmettent les impulsions de commande au dispositif hydraulique d'orientation latérale des agrégats ou au système de direction automatique des roues (fig. 14). Sur les récolteuses intégrales automotrices à six rangs, munies de quatre (six) roues directrices, il est possible de commander au choix l'essieu avant ou l'essieu arrière (les essieux arrières) ou les deux. **Les disques** ne sont pas utilisés pour le guidage, mais pour la stabilisation dans les terrains en pente derrière l'agrégat d'arrachage (par exemple D, A 6) et les trémies des décolleteuses-arracheuses jusqu'à trois rangs. Sur les modèles automoteurs à six rangs avec 4 voire 6 roues directrices, il est possible de stabiliser la machine par un contre-braquage (automatique) adéquat.

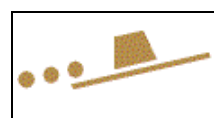


Fig. 13: Les disques profilés qui tournent au-dessus des socs Polder soulèvent un peu les betteraves. Les turbines de nettoyage peuvent ainsi être réglées plus haut (Stoll).



Fig. 14: Sur les décolleteuses-arracheuses à trémie et les décolleteuses-arracheuses-chargeuses automotrices, un tâteur mécanique en position avancée devant l'effeuilleuse permet l'ajustage automatique interligne des agrégats de coupe et d'arrachage.

Tamissage et nettoyage – Solutions éprouvées et solutions nouvelles



La **turbine de nettoyage** est un élément de tamissage et de nettoyage, efficace et fiable. Elle est montée actuellement sur la plupart des systèmes de

récolte, comprenant jusqu'à 8 unités (fig. 15). Face au **tapis de tamissage** (séparation par la force de gravité), monté aujourd'hui en complément pour surmonter les goulets d'étranglement, notamment sur les DAT-AM à six rangs, la turbine de nettoyage permet, elle, de tirer parti de la force centrifuge. **Les rouleaux à spirales et à rainures** permettent de mieux exploiter la place disponible, mais présentent toutefois une surface plus petite pour le passage de la terre. Ils sont surtout montés pour des raisons de place sur les DA, les DAC et les DAT anglaises ainsi que sur les DAT-AM à six rangs, avec organes d'arrachage devant l'essieu avant. **Les tapis à rainures et les tapis-brosses** sont là pour essayer de mieux éliminer la terre sans abîmer les betteraves. Mais pour l'heure, l'expérience sur le terrain s'avère encore insuffisante avec ce type d'agrégats.

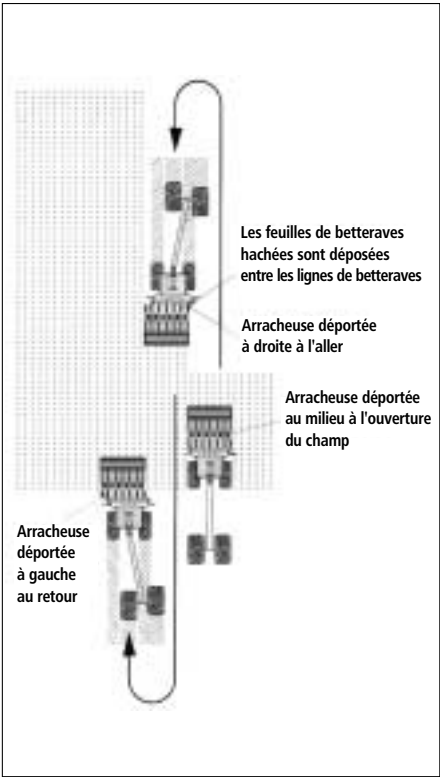
Hightech sur les véhicules automoteurs

Une technique très développée dans les domaines de **la traction, des trains de direction et des pneumatiques** a permis la réalisation de véhicules automoteurs DAT-AM six rangs de type nouveau. Ainsi, les **puissances de moteur** les plus élevées atteignent les **370 kW** (503 CV). Les roues (jusqu'à huit) sont entraînées mécaniquement au niveau de la boîte à vitesse. Le système de transmission est assuré par un dispositif mécanique-hydraulique ou entièrement hydraulique (hydromoteur à moyeux), parfois par un dispositif mixte doté de ces deux systèmes. **Les entraînements hydrauliques** (pas encore couplés au système mécanique de transmission) au niveau du châssis et des agrégats de travail affichent toujours un degré d'efficacité nettement inférieur par rapport au mode de transmission entièrement mécanique. Selon les entrepreneurs-betteraviers, la **consommation de carburant** des arracheuses-décolleteuses à trémie, des décolleteuses-arracheuses-chargeuses et des débardeuses automotrices est supérieure de 30 à 50 % par rapport à celle des machines correspondantes entraînées par des tracteurs. **La commande de direction intégrale pour chaque roue, le dispositif de marche en crabe ainsi que l'orientation latérale sur commande des agrégats d'arrachage et de décolletage** facilitent les manœuvres et le travail sur terrain en pente (fig. 16). Grâce à un système spécial («châssis

articulé»), le cadre et le train de direction arrière du tracteur peuvent se décaler latéralement sur la plupart des DAT AM 6. Grâce à l'articulation du châssis qui permet une marche en crabe, les traces des roues peuvent donc se répartir sur une bande de dimension supérieure à la largeur de travail. De cette manière on obtient un **décalage des voies de passage** (fig. 17). Les **systèmes de réglage du poids** permettent d'obtenir des **charges à l'essieu** contrôlées et équilibrées notamment sur les machines à trois essieux. Les **pneumatiques** de 70 à 110 cm de large sont considérés comme standard. Avec une largeur de travail de sept rangs, certaines DAT tentent d'obtenir des conditions de place propices à la monte de pneus extrêmement larges. Comme sur les grosses moissonneuses-batteuses de modèles récents, ces machines sont équipées d'un **dispositif électronique** complet pour commander et surveiller les différentes fonctions et réglages: levier multifonctions, ordinateur de bord pour la saisie générale des données et leur mise à

Fig. 16: Grâce au décolletage intégral et au décalage latéral du corps de décolletage-arrachage, il est possible d'ouvrir le champ, puis d'arracher en continu dans les deux sens, sans aucun problème (selon Holmer).

disposition avec écran et imprimante. Surveillance vidéo, pilote automatique, tempomat, dispositif de réglage automatique de la profondeur, système de réglage automatique du régime des agrégats de tamisage, orientation électro-hydraulique de la puissance de décolletage et de la distance entre les lignes sont autant d'éléments assurant un travail de grandes efficacité et fiabilité. Le GPS (Global Position System) pour la saisie et la cartographie des rendements à petite échelle est actuellement en phase de test.



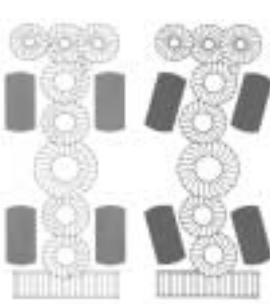
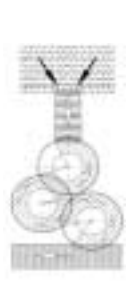
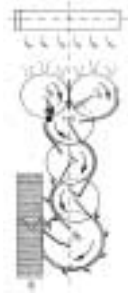
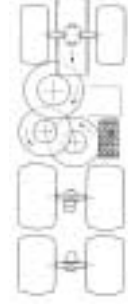
	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRL-SF 9	KRB-SF 6
Sens d'avancement ↑							
	Agrifac ZA 215 EH	Barigelli B/6	Holmer Terra Dos	Kleine SF 40	Moreau Voltra 6-24	Moreau Supra 9.12	Ropa Tiger 26.50 K

Fig. 15: Conceptions diverses des éléments de nettoyage et de tamisage sur les machines automotrices à six rangs.

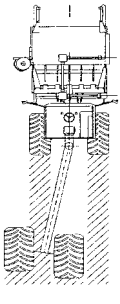
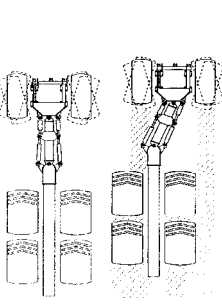
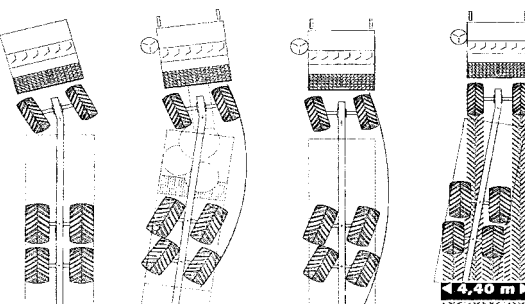
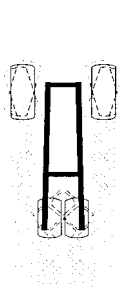
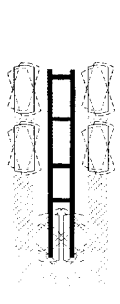
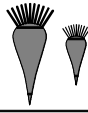
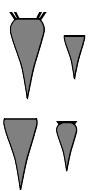
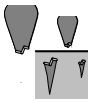
Sens d'avancement ↑					
	Holmer Terra Dos	Kleine SF 40	Ropa Tiger	WKM 9000	WKM Big Six

Fig. 17: Conception particulière des trains de direction sur les décolleteuses-arracheuses à trémie à six rangs.

Encadré 1

Contrôler/optimiser la qualité de récolte	
 Exigence: • Coupe juste au-dessous de la partie verte des collets • Diamètre de cassure des racines max. 2 cm • Aucun dommage • Pourcentage minimal de terre, de pierres et de matériaux verts	
Critères, conséquences	Mesures
 Décolletage trop haut • Déductions (Qualité déficitaire)	• Augmenter la sévérité de coupe • Ev. augmenter l'intensité du nettoyage
 Décolletage trop bas Pertes de rendement - 1 cm = env. 4 % - 2 cm = env. 9 % • Pertes de stocks	• Réduire la sévérité de coupe
 Grosses betteraves: collets arrachés • Pertes de rendement importantes • Pertes de stocks	• Effeuilage: régler l'effeuilleuse plus haut
 Grosses betteraves décolletées trop haut petites betteraves décolletées trop bas ou inversement • Pertes de rendement • Déductions • Pertes de stocks	• Dispositif de réglage de la hauteur de décolletage (décolletage proportionnel) Adapter le rapport de réglage
 Collets coupés • Pertes de rendement importantes • Pertes de stocks	Généralement: • Contrôler le tranchant et l'angle des couteaux Pour les grosses betteraves notamment • Augmenter la distance séparant le tâteur des couteaux Pour les petites betteraves notamment • Réduire la distance séparant le tâteur des couteaux
 Collets en biais et betteraves renversées • Pertes de rendement • Pertes de betteraves • Déductions	Généralement: • Contrôler le tranchant et l'angle des couteaux • Ev. augmenter l'avancement du tâteur à roue • Ev. réduire la pression du tâteur
 Pertes par cassure des racines • Pertes de rendement - Ø-2 cm = 1 % - Ø 2-4 cm = 3,5 % - Ø 4-6 cm = 8,5 % • Pertes de stocks	Nombreuses pointes de racines dans le sol: • Contrôler des agrégats d'arrachage (usure, réglage de la profondeur, fréquence de l'orientation) • Réduire év. la vitesse de travail
	Nombreuses pointes de racines à la surface du sol: • Contrôler le réglage/l'équipement des agrégats de tamisage (vitesse de fonctionnement, grille périphérique de retenue: les barres lisses ménagent plus les betteraves que les dents vibrantes)
	Nombreuses pointes de racines dans la récolte: • Amortir, réduire les hauteurs de chute (vider l'élévateur, la trémie)
 Flancs endommagés • Pertes de rendement • Pertes de stocks	Surfaces endommagées souillées: • Contrôler notamment le réglage, le fonctionnement et l'état des agrégats d'arrachage, de tamisage et de nettoyage Surfaces endommagées peu souillées: • Contrôler notamment la manutention des betteraves (hauteur de chute importante, pièces tranchantes sur la machine)
 Pertes d'arrachage • Pertes de betteraves	Betteraves plus grosses: • Pièces défectueuses sur la machine Petites betteraves: • Espaces trop larges (agrégats de tamisage)

La protection des sols occupe une place importante

La récolte de betteraves à sucre: un cas particulier

Par rapport à d'autres machines et à d'autres grandes cultures, la récolte des betteraves à sucre présente quelques particularités. La conjugaison de facteurs défavorables représente des risques particuliers pour la structure du sol:

Récolte tardive, humidité du sol accrue, sol meuble

En Europe centrale, la récolte a lieu à une période où l'humidité de l'air est croissante et où l'évaporation est réduite. L'humidité moyenne du sol est donc plus élevée que pour la récolte des céréales ou des pommes de terre par exemple. La culture de betteraves à sucre se pratique généralement sur des sols légers à mi-lourds (sols sablonneux à limoneux). La betterave à sucre passe généralement pour une culture «améliorante», car elle laisse un sol ameubli. Dans ces conditions, les dommages causés à la structure sont encore plus à craindre. Ils se présentent sous forme de malaxage et de lissage en surface (fréquents en sols plutôt argileux) ou sous la forme de compactage pour tous les types de sol pouvant atteindre une profondeur inférieure à la semelle de labour.

Machines lourdes, importantes charges à la roue, passages multiples

Le poids total de la machine est souvent de l'ordre de 40 t et dépasse même les 60 t pour les machines les plus grosses. En ce qui concerne les charges à la roue, on atteint également des valeurs records de l'ordre des 10 t, sur les gros véhicules automoteurs comme sur les débardeuses. Malgré l'utilisation de pneus larges (jusqu'à 110 cm de largeur), le risque de compactage à effet durable en dessous de la semelle de labour est à son maximum par rapport à d'autres machines et d'autres cultures. Avec l'introduction de la DAT-AM 6 jusqu'à trois essieux et la possibilité de circuler en «position crabe», la fréquence des passages et la surface sollicitée par les pneumatiques sont deux critères qui prennent une importance croissante. Etant donné le très grand nombre de passages sur la parcelle lorsque la trémie doit être vidée à l'extrémité du champ (par exemple en cas de

Encadré 2

Protection des sols
La protection des sols repose essentiellement sur le principe de prévention. Objectif premier: • Potentiel élevé de rendement à long terme avec un apport énergétique le plus réduit possible
Pour l'exploitation, cela signifie: • Réduire au maximum les pertes de particules fertiles du sol. • Ne pas modifier la structure du sol de manière négative, pour que l'eau, les éléments nutritifs, l'air et la chaleur disponibles puissent répondre au mieux aux besoins des plantes et des organismes vivant dans le sol. • Conserver la bioactivité du sol. Stimuler ce «réacteur biologique» naturel qu'est le sol en exploitant la terre avec parcimonie. Lors de la récolte de betteraves à sucre, c'est la préservation de la structure du sol qui est mise au premier plan.

poids maximum), on peut craindre alors des dommages de structure sous la couche arable.

Calendrier chargé et météorologie incertaine

L'utilisation rationnelle et économique de la technique actuelle de récolte et les exigences de livraison nécessitent un important taux d'utilisation des machines. Les délais étant serrés et la météo peu fiable en période automnale, la récolte a souvent lieu sur des sols peu portants dont l'état est jugé critique.

Systèmes de récolte et sollicitation du sol (tab. 2)

Au tableau 2 figurent les valeurs-clés liées aux contraintes de charge dans le sol pour les principales méthodes de récolte en sols humides. Les simulations correspondantes (DVWK, 1995; Diserens 2001) s'appuient à la fois sur les données des machines de récolte les plus répandues actuellement, ainsi que sur celles de machines qui ne sont certes plus distribuées dans le commerce, mais que l'on trouve en grand nombre encore parmi les betteraviers.

Les **charges à la roue** les plus élevées varient de 3 t environ (trémie pleine) sur la récolteuse intégrale tractée à un rang (DAT 1) jusqu'à plus de 10 t sur les intégrales automotrices à six rangs (DAT-AM 6). Sur les machines lourdes équipées de pneus Terra ou à profil bas, la **pression de contact moyenne** ne dépasse pas 1,6 bar. Sur les récolteuses intégrales plus petites (un à deux rangs), la pression de contact moyenne se situe vers 1,8 bar, voire au-delà. Il faut noter que sous les machines lourdes, du fait des importantes charges à la roue et des grandes surfaces de contact au sol, la pression diminue que lentement avec la profondeur. Ainsi, même lorsque la pression de contact moyenne est réduite,

mais que la charge à la roue est élevée, le sous-sol peut subir encore une contrainte de charge considérable.

Sous-sol: la charge à la roue est décisive

Le travail traditionnel du sol ne permet pas de reprendre un sous-sol abîmé. C'est pourquoi les déformations survenant au niveau de la semelle de labour ont des conséquences plus graves que celles affectant la couche arable superficielle. L'évaluation des risques de déformation repose d'une part sur la contrainte de charge à 40 cm et d'autre part, sur la valeur de stabilité du sol (appelée aussi pré-consolidation; Diserens et Bucher 1997) à cette même profondeur. A 40 cm, on considère qu'une contrainte de charge de 1 bar constitue le seuil de rupture pour les deux sols représentatifs sélectionnés, lorsque les conditions sont humides et défavorables. Il s'agit d'une part d'un sol mi-compact, de limon sableux et d'autre part d'un sol tendre, d'argile limoneuse (cf. encadré 3). Plus la contrainte de charge se rapproche de la valeur (ou du point) de stabilité ou le dépasse, plus le sol risque de se compacter à cette profondeur.

Avec une **trémie à moitié pleine**, quel que soit le procédé de récolte, aucune déformation marquée n'est à craindre en dessous de 40 cm, que le sol soit tendre ou mi-compact. Avec la CT et la CT-AM, la contrainte de charge évolue cependant dans une zone proche du seuil de rupture lorsque le sol est tendre. Il n'est donc pas possible d'exclure totalement tout risque de compactage. Avec la DAT-AM 6 (petite) et la CT-AM, sur sols humides, tendres ou mi-compacts, une demi-trémie devrait être considérée comme le chargement maximum. Sur sols tendres, une demi-trémie représente la charge «raisonnable» limite pour toutes les DAT-AM et CT, CT-AM. Avec une **trémie pleine**, la simulation ne

prévoit aucune déformation du sous-sol pour les récolteuses intégrales tractées (DAT). Avec la DAT 3 et la DAT 2, la circulation sur sols tendres avec une trémie pleine doit être considérée comme un cas limite, car les valeurs se situent légèrement en dessous de la valeur de stabilité définie. Il en va autrement avec les récolteuses intégrales automotrices (DAT-AM) et les deux débardeuses (CT, CT-AM). Sur sols mi-compacts, les contraintes de charge dépassent encore légèrement la préconsolidation, sauf pour la DAT-AM 3. Lorsque le sol est tendre, celui-ci est encore plus sollicité et le risque de déformation du sol s'en trouve accru. Lorsque la trémie est pleine, c'est avec la DAT-AM 6 (petite), les CT, CT-AM et la DAT-AM 6 (grosse) que les contraintes de charge surpassent le plus largement la valeur de stabilité.

Charge à la roue et pression intérieure des pneus

Comme nous l'avons déjà mentionné, les récolteuses intégrales automotrices, sont munies de pneumatiques larges avec une faible pression intérieure. La pression de contact moyenne est donc généralement plus basse que celle des récolteuses tractées ou de la débardeuse. La couche superficielle s'en trouve ménagée. En ce qui concerne la déformation du sous-sol, les

Encadré 3

Terminologie «Sol»

Sol superficiel: fraction travaillée du sol d'une épaisseur de 25 à 30 cm.
Sous-sol: fraction du sol à partir de 25 à 30 cm n'étant plus travaillée avec les outils traditionnels de l'agriculteur (charrue).
Sable (S, s=sableux): fraction grossière du sol ($\varnothing > 50_{\mu}$). Crisse sous la dent. Grains de sable apparents.
Silt (U, u=silteux): fraction fine du sol ($\varnothing$ entre 2 et 50_{μ}), d'aspect savonneux à l'état humide et d'aspect farineux à l'état sec.
Argile (A, a=argileux): fraction la plus fine du sol ($\varnothing < 2_{\mu}$), d'aspect collant à l'état humide.
Limon (L, l=limoneux): sol comprenant 20 à 30 % d'argile et moins de 50 % de silt.
Sol léger (S, Sl): grains de sable visibles et perceptibles, pas ou peu cohérent, à peine malléable, fendillé, friable.
Sol mi-lourd (L, Ul, Ls, U): peu de grains de sable visibles et perceptibles, crisse sous la dent, malléable, fendillé, roule sur l'épaisseur d'un crayon ($\varnothing$ 2-7 mm).
Sol lourd (A, Al, La, Ua): à peine quelques grains de sable visibles et perceptibles, crisse à peine sous la dent, bien malléable, surface de frottement brillante, roule sur l'épaisseur d'un clou ($\varnothing < 2$ mm).
Sol humide: sensation de froid sur le dos de la main. Les sols mi-lourds et lourds sont plastiquement déformables (formation de mottes).
Stabilité du sol: propriété mécanique du sol caractérisée par son aptitude à résister ou à se déformer suite à une contrainte de charge.
Pression de contact moyenne [bar]: valeur calculée à partir de la charge à la roue divisée par la surface de contact du pneumatique avec le sol.
Contrainte de charge [bar]: force active à une certaine profondeur du sol par unité de surface, transmise par l'eau interstitielle et par la fraction solide du sol.
Valeur de stabilité, préconsolidation [bar]: mesure de la résistance momentanée du sol en unité de pression. Si la pression exercée est supérieure à la valeur de stabilité, le sol se déforme de manière plastique, son équilibre statique est dès lors modifié.
Surface sollicitée par les pneumatiques [%]: pourcentage d'une surface donnée, sur laquelle on a roulé au moins une fois.
Fréquence de passage: nombre de passages de roue à un endroit déterminé lors d'une intervention au champ.
Suivi de la voie de passage: fréquence de passage élevée, surface sollicitée par les pneumatiques réduite.
Décalage des voies de passage: fréquence de passage relativement faible, surface sollicitée par les pneumatiques élevée.

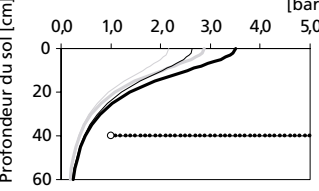
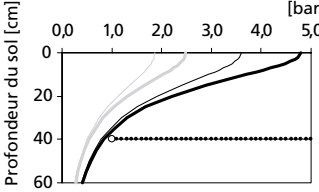
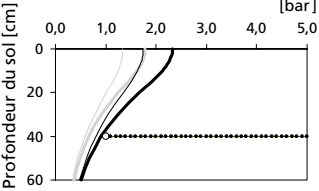
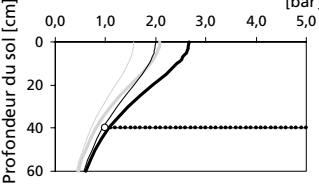
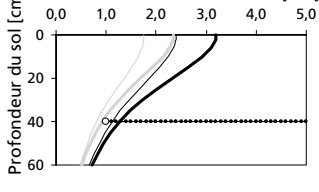
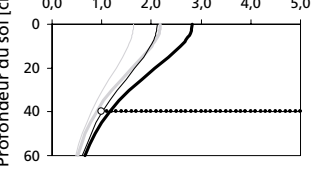
Encadré 4

Evaluation pratique de l'état du sol pour la récolte des betteraves à sucre; recommandations

Etat du sol	Critères/Conclusions	Sols mi-lourds	Sols lourds
Sol tendre: généralement très critique	Cohérence: Résistance à la pénétration¹⁾: Recommandations:	Terre qui s'agglutine 0 – 5 kg DAT-AM/CT-AM/CT: max. 1/2 charge de la trémie DAT 3r: charge partielle de la trémie Voies de passage décalées	Terre malaxable, collante, en bouillie 0 – 5 kg DAT-AM/CT-AM/CT: max. 1/2 charge de la trémie DAT 1r/3r: limiter l'utilisation (surface sollicitée par les pneumatiques 100%) Voies de passage non décalées
Sol mi-compact: généralement critique	Cohérence: Résistance à la pénétration: Recommandations:	Les particules de terre s'effritent facilement entre les doigts 5 – 8 kg DAT-AM/CT-AM/CT: charge partielle de la trémie Voies de passage décalées	Les particules de terre s'effritent entre les doigts 5 – 8 kg DAT-AM/CT-AM/CT: charge partielle de la trémie DAT 1r/3r: limiter l'utilisation (surface sollicitée par les pneus 100%) Voies de passage non décalées
Sol compact: à peine problématique (peu fréquent)	Cohérence: Résistance à la pénétration: Recommandations:	Les particules de terre se cassent en morceaux – les grains de sable se détachent facilement > 8 kg Voies de passage décalées	Les particules de terre sont cassées avec difficulté en fragments anguleux > 8 kg Suivi de la voie de passage
Toutes les conditions	Contrôle ultérieur:	 Eviter les passages lorsque la profondeur de l'ornièr dépasse 6-7 cm	

¹⁾ Test du tournevis (Diserens 2001), (voir encadré 5)

Tab. 2: Charge infligée au sol suivant le type de machines et les systèmes de récolte en terrain humide

Type de machine/Procédé	Solicitation du sol Evaluation liée à la contrainte de charge et à la surface sollicitée par les pneus		Expansion de la pression ¹⁾ Contrainte de charge [bar] ²⁾	Paramètres de départ	
	Sol mi-lourd tendre mi-compact	Sol lourd tendre mi-compact		Type de machines (Exemple) P = poids total T = volume de la trémie C = charge à la roue max.	S = surface foulée [%] DP = dimension des pneus PI = pression int. des pneumatiques PC = pression moyenne de contact RJ = roues jumelées
DAT 1 (moyenne)  Décolleteuse arracheuse à trémie tractée, 1 rang, moyenne				Kleine 5002 P: 5730 ^{a)} kg T: 2780 kg C: 2900 kg	S: 100% ^{b)} DP: 12.5/80-18 PI: 2,7 bar PC: 1,76 bar
DAT 2  Décolleteuse arracheuse à trémie tractée, 2 rangs				Stoll V202 P: 10250 ^{a)} kg T: 6450 kg C: 5200 kg	S: 77% ^{b)} DP: 500/60-26.5 PI: 2,2 bar PC: 2,40 bar
DAT 3  Décolleteuse arracheuse à trémie tractée, 3 rangs				Stoll V300 P: 18750 ^{a)} kg T: 11000 kg C: 7600 kg	S: 100% ^{b)} DP: 800/45-30.5 PI: 1,3 bar PC: 1,17 bar
DAT-AM 3  Décolleteuse arracheuse à trémie automotrice, 3 rangs				Stoll V300 SF P: 20950 kg T: 11000 kg C: 9150 kg	S: 100% DP: 800/45-30.5 PI: 1,5 bar PC: 1,33 bar
DAT-AM 6 (petite)  Décolleteuse arracheuse à trémie automotrice, 6 rangs, petite				Kleine SF10 P: 25000 kg T: 9000 kg C: 10765 kg	S: 47% DP: 710/70 R 38 PI: 2,4 bar PC: 1,60 bar
DAT-AM 6 (moyenne)  Décolleteuse arracheuse à trémie automotrice, 6 rangs				Holmer P: 38450 kg T: 17000 kg C: 10000 kg	S: 75-95% ^{d)} DP: 800/65 R 32 PI: 2,4 bar PC: 1,41 bar

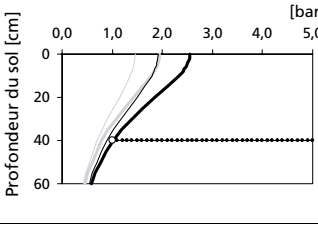
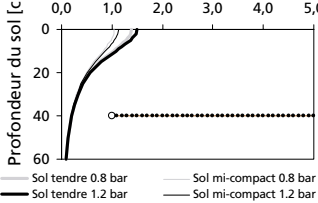
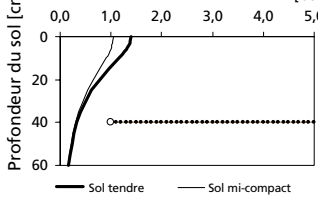
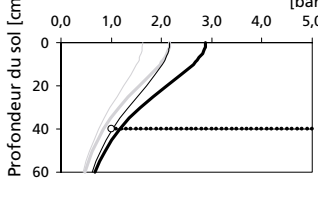
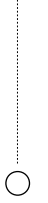
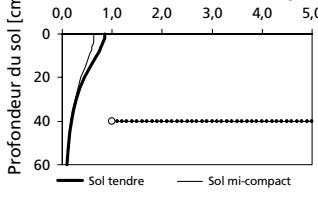
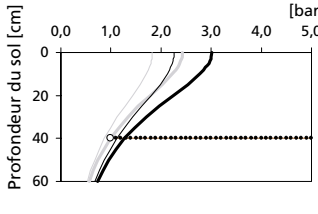
* en cas de suivi de la voie de passage
(décalement des voies de passage moins favorable)

 Compactage du sous-sol
 Lissage
 Accumulation d'eau
Risque:  élevé  faible

○ Faible  Forte sollicitation du sol
 Faible sollicitation du sol avec trémie partiellement remplie
() = Part de remplissage

¹⁾ Si la courbe d'expansion de pression coupe la droite, il y a risque de compactage dans le sous-sol.
²⁾ Avec pression de contact maximale

a) Avec trémie pleine, sans tracteur
b) Avec tracteur
c) Sans tracteur
d) Suivi et décalement des voies de passage
e) (Avec chargeuse à trémie)

Type de machine/Procédé	Sollicitation du sol Evaluation liée à la contrainte de charge et à la surface sollicitée par les pneus		Expansion de la pression ¹⁾ Contrainte de charge [bar] ²⁾	Paramètres de départ	
	Sol mi-lourd tendre mi-compact	Sol lourd tendre mi-compact		Type de machines (Exemple) P = poids total T = volume de la trémie C = charge à la roue max.	S = surface foulée [%] DP = dimension des pneus PI = pression int. des pneumatiques PC = pression moyenne de contact RJ = roues jumelées
DAT-AM 6 (grosse)  Décolleteuse arracheuse à trémie automotrice, 6 rangs	 (1/2)	 (1/2)		Ropa P: 55000 kg T: 26000 kg C: 8740 kg	S: 75-100% ^{d)} DP: 800/65 R 32 PI: 2,0 bar PC: 1,28 bar
D, A 5/6/7 ...  Décolleteuse-arracheuse arrière, 5/6 ou 7 rangs				Kleine K6 II + R6 P: 2590 kg ^{d)} T: – C: 1190 kg	S: 21 (47) % ^{e)} DP: 12,4–38 PI: 1,2 bar PC: 0,75 bar
DA 5/6/7 ...  Décolleteuse-arracheuse arrière, 5/6 ou 7 rangs				Kleine KR6 P: 2400 kg ^{d)} T: – C: 2240 kg	S: 31 (47) % ^{e)} DP: 18,4 R 38 PI: 0,8 bar PC: 0,70 bar
+ CT  + chargeuse avec trémie tractée	 (max. 1/2)	 (max. 1/2)		Bleinroth LB20 P: 19 980 ^{a)} kg T: 12 000 kg C: 10 100 kg	S: 47 % DP: 30,5–32 PI: 1,8 bar PC: 1,44 bar
D, A 8 ...  Décolleteuse frontale, arracheuse arrière 8 rangs				Gilles TR80 + ASC80 P: 4735 kg ^{d)} T: – C: 1190 kg	S: 28 (47) % ^{e)} DP: 11,2 R 38 mit ZR PI: 1,2 bar PC: 0,42 bar
+ CT-AM  + chargeuse avec trémie automotrice (moyenne)	 (max. 1/2) (max. 1/2)	 (max. 1/2) (max. 1/2)		Gilles RB240 P: 31 900 kg T: 15 600 kg C: 11 340 kg	S: 47 % DP: 800/65x32 PI: 2,4 bar PC: 1,51 bar

* en cas de suivi de la voie de passage
(décalage des voies de passage moins favorable)

 Compactage du sous-sol
 Lissage
 Accumulation d'eau
Risque:  élevé  faible

○ Faible sollicitation du sol
● Forte sollicitation du sol
○ Faible sollicitation du sol avec trémie partiellement remplie
() = Part de remplissage

¹⁾ Si la courbe d'expansion de pression coupe la droite, il y a risque de compactage dans le sous-sol.
²⁾ Avec pression de contact maximale

a) Avec trémie pleine, sans tracteur
b) Avec tracteur
c) Sans tracteur
d) Suivi et décalage des voies de passage
e) (Avec chargeuse à trémie)

Fig. 18a: Influence de la pression intérieure des pneus d'une DAT AM 6 (moyenne) sur la surface de contact et la contrainte de charge dans le sous-sol (40 cm de profondeur) – 800/65R32 – 7790 kg – sol mi-compact

Fig. 18b: Influence de la charge à la roue d'une DAT AM 6 (moyenne) sur la surface de contact et la contrainte de charge dans le sous-sol (40 cm de profondeur) – 800/65R32 – 2.4 bar – sol mi-compact

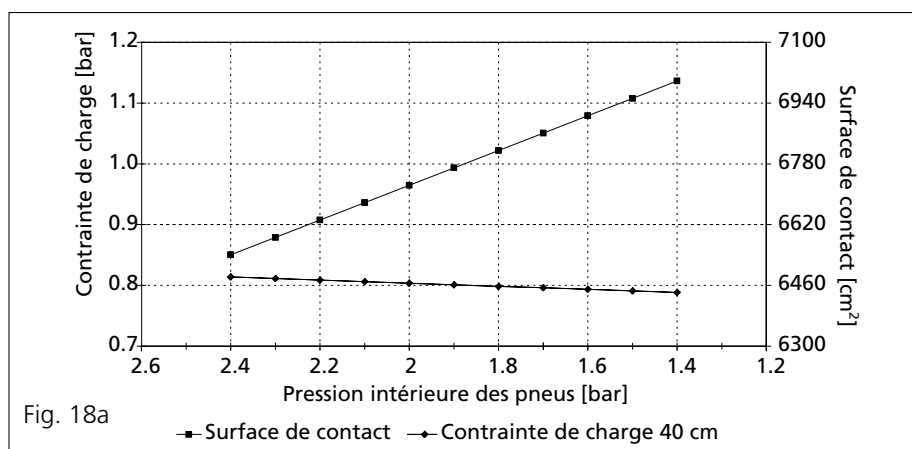


Fig. 18a

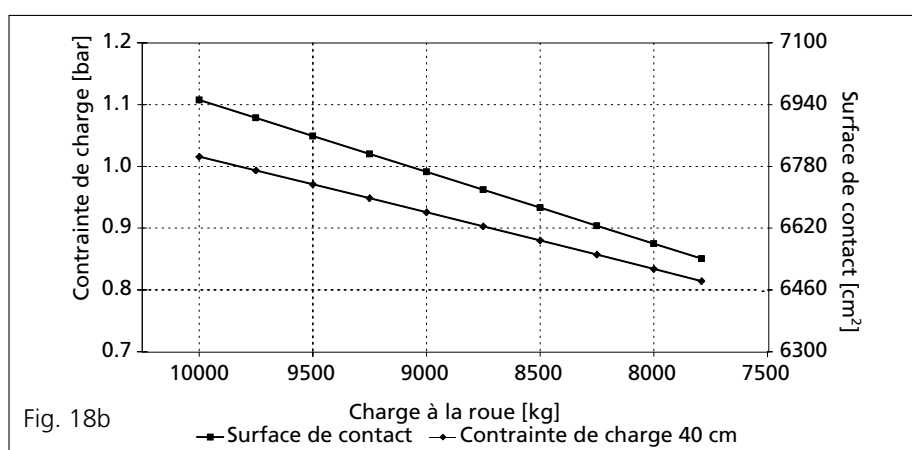


Fig. 18b

relations entre la charge à la roue, la contrainte de charge et la surface de contact au sol apparaissent aux figures 18 a et 18 b, à partir de l'exemple de la roue avant d'une DAT-AM 6 (moyenne). On constate qu'une modification de la charge à la roue exerce une influence plus importante qu'une modification de la pression intérieure du pneu au niveau du sous-sol. Si l'on réduit la pression intérieure du pneu de 2,4 à 1,4 bar (soit une baisse de pression de 42 %), la surface de contact au sol pour une charge à la roue constante (7790 kg – trémie à moitié pleine) augmente alors de près de 7 %, tandis que la pression de contact moyenne diminue elle de près de 6 %. A une profondeur de 40 cm, la baisse de pression n'est plus que de l'ordre de 3 % (fig. 18 a). Par contre, si l'on vide la moitié de la trémie de la DAT-AM 6, la charge à la roue diminue de près de 22 % et la surface de contact au sol de près de 6 %, mais la baisse de pression à 40 cm de profondeur recule de 20 % (fig. 18 b). Une réduction de la pression intérieure du pneu de 2,4 à 1,2 bar se traduit par une baisse supplémentaire de 2% atteignant 22% à une profondeur de 40 cm. Pour protéger efficacement la structure du sous-sol, il faut d'abord réduire la charge à la roue, c'est-à-dire vider la trémie plus tôt. Un **système de régulation de la pression** trouve avant tout son sens pour ménager la couche superficielle du sol, augmenter la traction, économiser du carburant, assurer une sécurité de conduite optimale sur route, réduire l'usure des pneumatiques et la consommation de carburant. L'effet positif du réglage pour le sous-sol reste minime. Le réglage de la pression se justifie surtout pour l'épandage du lisier, du fumier, des boues d'épuration ou du compost, en raison des trajets fréquents sur route avec charges maximales (!).

Couche superficielle du sol: surface sollicitée par les pneus, fréquence de passage, décalage des voies de passage

Ménager le sol va de pair avec une petite surface sollicitée par les pneus et une faible fréquence de passage, deux objectifs qui sont contradictoires. Si les roues tournent l'une à côté de l'autre (pour réduire la fréquence de passage), comme c'est le cas sur les châssis à essieu arrière décalé sur certains types de décolleteuses, arracheuses à trémie automotrices à six rangs (DAT-AM 6), la **surface sollicitée par les pneus**, elle, augmente (fig. 19 a-b). Ces nouveaux types de châssis essaient de répartir la charge de la machine sur la surface la plus grande possible, pour d'une part, ménager l'élasticité des sols grâce à une **fréquence de passage** réduite et pour d'autre part, aplanir l'ensemble de la parcelle et créer par exemple des conditions plus favorables pour la mise en place de céréales en automne. Pour l'instant, aucune différence significative n'a été constatée au niveau du volume des pores en dessous de la semelle de labour (à partir de 25 cm) entre la conduite décalée et la conduite traditionnelle (entre un et max. deux passages) (Brunotte et al.

2000). On peut donc se demander si le décalage des voies de passage est judicieux dans toutes les conditions de sol, pour autant que le risque de compactage du sous-sol soit réduit au maximum par un chargement adapté de la trémie. Quelles dispositions de roues choisir? Une réponse nuancée:

- **Les sols peu agrégés, peu cohérents** peuvent être compactés par des charges relativement faibles. La part élevée de grains grossiers les rend cependant moins sensibles au «patinage». Si l'eau peut s'infiltrer dans le sol malgré le passage de la machine, il est certainement recommandé de décaler les voies de passage (marche en crabe) pour éviter un compactage élevé de la couche superficielle du sol (fig. 19 b-c).
- Les sols plutôt **agrégés et cohérents**, dans lesquels une partie de la charge est déjà absorbée par l'eau contenue dans les pores, sont particulièrement sensibles aux dommages structuraux, liés au lissage, au malaxage et à l'homogénéisation. Le passage du pneu sur le sol obstrue les macropores. L'eau ne traverse qu'avec peine la couche

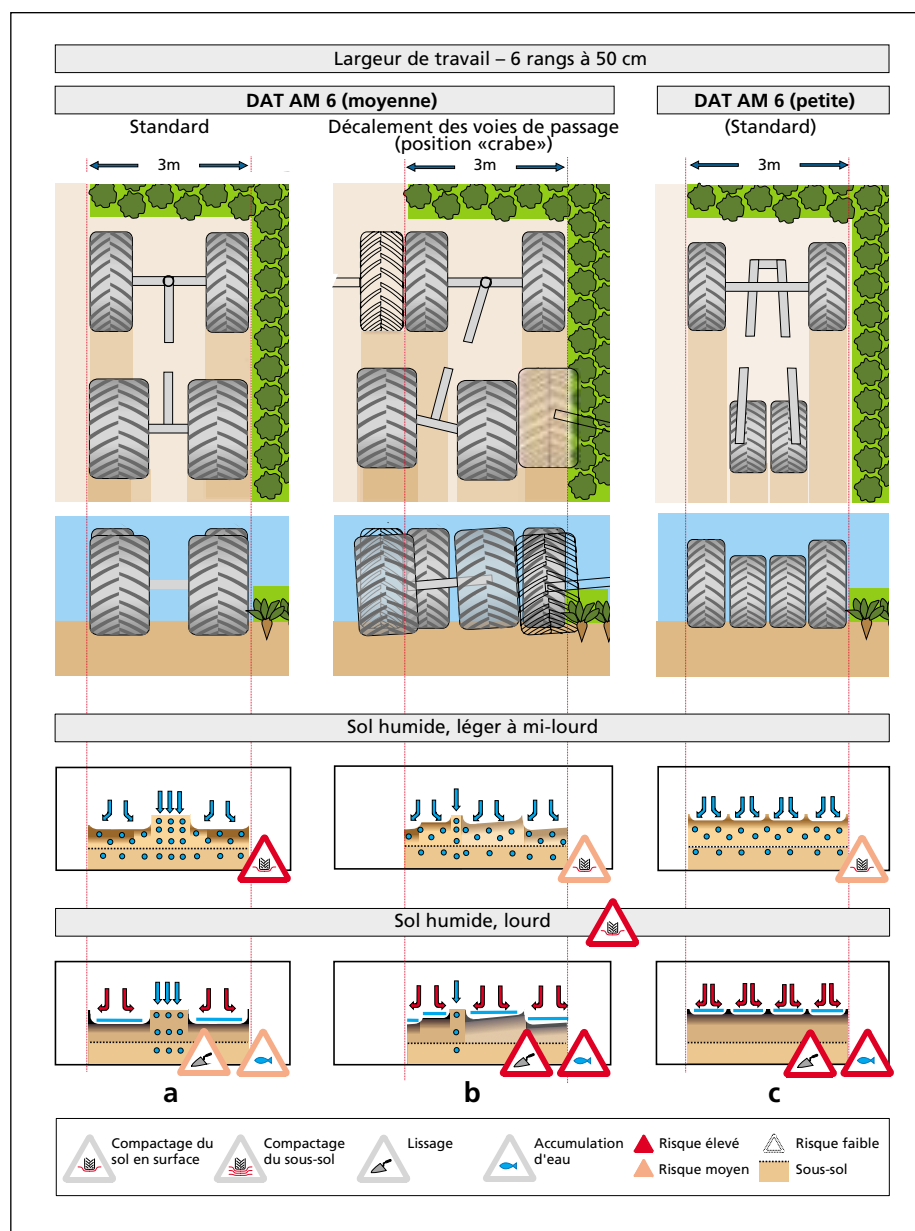


Fig. 19: Risque encouru par le sol en surface avec différents types de train de direction sur intégrales, automotrices, six rangs - a) suivi de la voie de passage, b) décalage des voies de passage, c) sans chevauchement.

supérieure du sol. Ce phénomène peut entraîner un risque de battance, de saturation du sol en eau et d'érosion sur les terrains en pente. Le suivi de la voie de passage laisse au moins une zone intermédiaire ameublie et non foulée, favorisant l'infiltration de l'eau (fig.19 a). En cas de conduite normale ou décalée, un rouleau à spirale monté en travers ou une lame égalisatrice placés à l'arrière peuvent permettre d'aplanir la surface du sol, pour éviter que l'eau ne stagne dans les ornières (fig. 20).



Fig. 20: L'infiltration de l'eau peut être améliorée à l'aide d'un rouleau à spirale utilisé pour aplanir la surface du sol.

En ce qui concerne la surface sollicitée par les pneumatiques, le **procédé à deux phases** (par exemple DA+CT) présente de nombreux avantages. Pus de la moitié de la surface ameublie reste ainsi exempte d'ornières. Par ailleurs, entre les deux phases de travail, le sol ameubli peut largement se dessécher. Par rapport au procédé de récolte totale, la lourde débardeuse peut donc être utilisée dans des conditions de sol plus favorables.

Examiner le sol, puis décider

La cohérence et la résistance à la pénétration sont deux critères qui permettent d'évaluer l'aptitude du sol à se déformer, deux critères fortement tributaires de l'humidité du sol. A partir de ces critères, des recommandations sur l'utilisation des machines de récolte pour betteraves à sucre ont été établies (encadré 4).

Sur les **sols légers avec une forte teneur en sable** (>50 %, teneur en argile <10 %), le risque de dommages structuraux sous forme de patinage ou de malaxage est peu élevé. Les phénomènes tels que la battance ou la formation de croûte ne se produisent pratiquement pas. Le fort pourcentage de pores grossiers rend cependant ces sols faciles à compacter. Du fait du travail du sol intensif, on peut s'attendre à ce que le sous-sol sableux soit largement compacté. Si la couche superficielle reste humide ou sèche, mais non saturée, l'horizon superficiel peut être considéré comme rigide ou semi-rigide. Les recommandations relatives aux sols mi-lourds peuvent être appliquées ici.

La portance des **sols à anmoor** est extrêmement faible, elle diminue lorsque la teneur en humus augmente. Les **sols à base de calcaire lacustre** sont également peu portants lorsqu'ils sont mouillés. Des ornières se forment et se referment peu de temps après le passage de la machine. De ce fait, la couche organique supérieure est peu exposée aux dommages de structure. Le problème est plutôt lié au risque d'enlèvement. En raison de leur faible portance, il n'est pas opportun de travailler des sols à anmoor avec les lourdes intégrales automotrices. Sur les sols remaniés, les lourdes charges (AM 6) peuvent entraîner des avaries supplémentaires affectant d'anciens drains proches de la surface. Ces sols doivent donc être protégés, être travaillés avec parcimonie et bénéficier d'un assolement adapté, en raison avant tout des phénomènes d'affaissement suite à la minéralisation de la tourbe.

Encadré 5

Le test du tournevis: un test sur mesure pour la pratique

Le test dit du tournevis est recommandé pour évaluer la résistance du sol (encadré 5). Cette méthode très pratique s'opère dans les dix premiers centimètres du sol (zone de la couche arable). La semelle de labour apparaît généralement à partir de 20 cm de profondeur. La portance du sol augmente avec la profondeur. Les mesures effectuées jusqu'ici montrent que la portance de la couche supérieure varie considérablement, celle du sous-sol beaucoup moins. Le test du tournevis aide à décider s'il est opportun ou non de rouler sur la parcelle avec une trémie pleine. A titre de contrôle, il est important de garder un oeil sur la profondeur de l'ornièrre qui ne devrait pas dépasser 6 à 7 cm. Ce test ne permet cependant pas de remplacer le «test de la bêche» ou celui du «profil cultural», deux méthodes standards pour évaluer la structure du sol par rapport à sa fertilité et son mode d'exploitation.

Test du tournevis



a)

b)

c)

Test rapide pour contrôler la résistance du sol à l'aide d'un tournevis

a) Sol tendre – Résistance à la pénétration de 0 à 5 kg

Le tournevis tenu entre le pouce et l'index pénètre sans effort jusqu'à une profondeur de 10 cm.

b) Sol mi-compact – Résistance à la pénétration de 5 à 8 kg

Le tournevis tenu à pleine main pénètre sans effort jusqu'à une profondeur de 10 cm.

c) Sol compact – Résistance à la pénétration de plus de 8 kg

Sous la pression du poing, le tournevis pénètre jusqu'à une profondeur de 10 cm.

Avant le test, étalonner son propre geste sur une balance avec un tournevis n° 4 (pointe irréprochable).

Résumé et perspectives

Etant donné la diversité des procédés de récolte sur le plan technique et la diversité des fabricants, il n'est pas facile de déterminer lesquels sont les mieux adaptés à telle ou telle situation donnée. L'important est de connaître l'adéquation des différents systèmes au décolletage, à l'arrachage/effeuillage et au nettoyage en relation avec le type et les conditions du sol, les variétés de betteraves et les techniques culturales. Les critères permettant de choisir le procédé de récolte et la puissance de la machine sont, quant à eux, étroitement liés aux structures de l'exploitation ou des parcelles, au niveau des salaires, à la disponibilité de la main-d'œuvre, des tracteurs et des moyens de transport, ainsi qu'aux conditions climatiques et au système de débardage des betteraves. Ce sujet fait l'objet du **rapport FAT n° 568 «Betteraves à sucre: Management et coûts de la récolte»**.

Mesures préventives en sols humides

• Première priorité: le sous-sol

- Sols tendres (sols lourds ou mi-lourds)
 - Avec les récolteuses totales et les débardeuses automotrices: ne remplir la trémie que partiellement, considérer la demi-trémie comme la limite supérieure.
- Sols mi-compacts (sols lourds ou mi-lourds)
 - Aucune limite pour toutes les récolteuses totales tractées, ainsi que pour la machine automotrice à trois rangs. Sur toutes les autres machines automotrices: ne remplir la trémie que partiellement.

• Deuxième priorité: l'horizon supérieur

- Sols lourds, cohérents (sols tendres ou mi-compacts)
 - Préférer un système laissant un maximum d'espace non foulé ou avec des châssis articulés, éviter la position «crabe».
- Sols mi-lourds, à grains grossiers (sols tendres ou mi-compacts)
 - Préférer un système avec répartition de charge sur toute la largeur de travail ou avec des châssis articulés, opter pour la position «crabe».

La technique de récolte a tendance à se tourner principalement vers les grosses machines automotrices. Il faut donc s'attendre à ce que le poids maximum des décolleteuses arracheuses à trémie augmente encore à l'avenir. Les pneus larges et le décalement des voies de passage offrent la possibilité de mieux répartir les charges sur l'ensemble de la surface. Avec les largeurs de travail actuelles, de trois mètres, soit six rangs, les passages multiples «décalsés» subsistent. Pourquoi ne pourrait-on pas à l'avenir augmenter la largeur de travail à neuf rangs par exemple, de manière à pouvoir tirer le meilleur parti de ces innovations techniques en liaison avec une stratégie de récolte ciblée? Les décolleteuses-arracheuses-chargeuses offrent d'ailleurs déjà des solutions pour le transport sur route de tels agrégats. Enfin, pour une protection efficace des sols, les principes suivants sont de rigueur:

→ Sols peu compacts, humides: il est possible d'éviter en grande partie un compactage accru du sous-sol en **limitant le remplissage de la trémie**.

→ Il est possible de limiter les dommages structurels de l'horizon supérieur en adaptant la **disposition des roues (position «crabe» ou position normale sur châssis articulés)** à la texture du sol.

A noter que les sols fortement consolidés (ou compactés) peuvent résister à une déformation même lorsque les sollicitations sur sol humide sont importantes. Une baisse générale du potentiel de rendement ne peut dès lors être exclue.

Bibliographie

Brunotte J. et al. 2000. Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. Zuckerrübe, 49. Jg. (1) 2000: 34–40.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), 1995. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil I: Mechanische Belastbarkeit 234.

Diserens E. und Bucher F., 1997. Bodenverdichtung aus der Sicht der Bodenmechanik. Agrarforschung 2. 83–86.

Diserens E., 2001. A simple modelling method for the calculation of pressure distribution in moist arable land for practical application. International Conference on Sustainable Soil management for Environmental Protection. Soil Physical Aspects Florence, 2–7 July 2001.

Eichhorn H., 1999. Landwirtschaftliches Lehrbuch Landtechnik. S. 338, Tab. 64. Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart. Luder W., Stark R., Amman H., 2001. Beteraves à sucre: management et coûts de la récolte. Rapport FAT n° 568.

Spiess E. und Heusser J., 1984. Arbeitsqualität von Zuckerrübenerntemaschinen, Vergleichstest Bellechasse. FAT-Blätter für Landtechnik Nr. 253.