Document generated on 08/09/2025 4:19 a.m.

Phytoprotection

La haute technologie au service de la lutte physique aux mauvaises herbes dans un contexte d'agriculture biologique
High technology at the service of physical weed control in the context of organic agriculture

Maryse Leblanc and Daniel Cloutier

Volume 87, Number 2, août 2006

URI: https://id.erudit.org/iderudit/013976ar
DOI: https://doi.org/10.7202/013976ar

See table of contents

Publisher(s)

Société de protection des plantes du Québec (SPPQ)

ISSN

0031-9511 (print)
1710-1603 (digital)

Explore this journal

Cite this article

Leblanc, M. & Cloutier, D. (2006). La haute technologie au service de la lutte physique aux mauvaises herbes dans un contexte d'agriculture biologique. *Phytoprotection*, *87*(2), 77–81. https://doi.org/10.7202/013976ar

Article abstract

High technology might be perceived as being incompatible with organic agriculture to the unacquainted. In fact, many still believe that organic agriculture implies a rejection of high technology. Nevertheless, research on non-chemical weed control methods has constantly progressed since the 1990's, and currently there are many tools and techniques that originate from high technology. At the same time, existing strategies and methods, which could be characterized as low technology, are improved upon by using high technology solutions. The need to control weeds as close as possible to the crop row requires great precision when using cultivators. The development of new optical guidance systems using one or several video cameras placed on the cultivator improve precision by being able to identify crop plants and by steering the weeder without the operator's intervention. Weeding on the crop row remains a challenge and several weeders have been expressly developed to address this problem. Among other weed control techniques in development, there is electroporation and cutting weeds on the crop row using lasers or water. The development of self-propelled, autonomous weeding robots using GPS and video cameras enabling them to distinguish crops from weeds has great potential in physical weed control. Research and development remain essential for the advancement of physical weed control.

Tous droits réservés © La société de protection des plantes du Québec, 2006

This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

https://www.erudit.org/en/

Société de protection des plantes du Québec
98e Assemblée annuelle (2006)
Quebec Society for the Protection of Plants
98th Annual meeting (2006)

Victoriaville (Québec), 15 et 16 juin 2006 / Victoriaville (Quebec), 15 and 16 June 2006

Symposium / Symposium
La protection des plantes en agriculture biologique : relevons le défi !
Plant protection in organic agriculture: let's take up the challenge!

La haute technologie au service de la lutte physique aux mauvaises herbes dans un contexte d'agriculture biologique

Maryse Leblanc[1] et Daniel Cloutier[2]

PHYTOPROTECTION 87 : 77-81

Pour les profanes, la haute technologie semble incompatible avec l'agriculture biologique. Plusieurs croient encore que le terme « biologique » implique un rejet de la haute technologie. Pourtant, la recherche sur les méthodes non chimiques de désherbage n'a cessé de progresser depuis les années 90 et offre aujourd'hui une variété d'outils et de techniques, dont certains sont issus de nouvelles technologies de pointe. Parallèlement, les méthodes et les stratégies déjà existantes provenant des techniques traditionnelles sont bonifiées avec des solutions de haute technologie. La nécessité de désherber le plus près possible de la culture exige une très grande précision dans l'opération des sarcleurs. Le développement de nouveaux systèmes de guidage optique avec une ou des caméras vidéo installées sur le sarcleur comble ce besoin en permettant de distinguer la culture du sol et de corriger la trajectoire du sarcleur si nécessaire, le tout sans intervention du conducteur. Le désherbage sur le rang demeure toujours un défi et plusieurs appareils de désherbage ont été récemment développés, principalement pour désherber le rang. La coupe des mauvaises herbes au laser ou à l'eau et l'électroporation sont d'autres avenues qui sont sérieusement étudiées. Le développement d'un robot désherbeur autonome combiné au GPS et à une caméra vidéo permettant de distinguer les mauvaises herbes de la culture est une autre innovation qui offre beaucoup de potentiel dans la lutte physique aux mauvaises herbes. La recherche et le développement demeurent toujours indispensables pour permettre l'avancement dans la lutte physique en malherbologie.

Mots clés : Désherbage, lutte physique, pyrodésherbage, robots, sarcleur.

[High technology at the service of physical weed control in the context of organic agriculture]

High technology might be perceived as being incompatible with organic agriculture to the unacquainted. In fact, many still believe that organic agriculture implies a rejection of high technology. Nevertheless, research on non-chemical weed control methods has constantly progressed since the 1990's, and currently there are many tools and techniques that originate from high technology. At the same time, existing strategies and methods, which could be characterized as low technology, are improved upon by using high technology solutions. The need to control weeds as close as possible to the crop row requires great precision when using cultivators. The development of new optical guidance systems using one or several video cameras placed on the cultivator improve precision by being able to identify crop plants and by steering the weeder without the operator's intervention. Weeding on the crop row remains a challenge and several weeders have been expressly developed to address this problem. Among other weed control techniques in development, there is electroporation and cutting weeds on

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Saint-Hyacinthe (Québec), Canada J2S 7B8; courriel : maryse.leblanc@irda.qc.ca
2. Institut de malherbologie, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec), Canada H9X 3R9

the crop row using lasers or water. The development of self-propelled, autonomous weeding robots using GPS and video cameras enabling them to distinguish crops from weeds has great potential in physical weed control. Research and development remain essential for the advancement of physical weed control.

Key words: Cultivator, flame weed control, physical control, robots, weed control.

INTRODUCTION

Les profanes perçoivent la haute technologie comme étant incompatible avec l'agriculture biologique car plusieurs croient encore que le terme « biologique » implique un rejet de la haute technologie. Pourtant, la recherche sur les méthodes non chimiques de désherbage n'a cessé de progresser depuis les années 90 et offre aujourd'hui une variété d'outils et de techniques, dont certains sont issus de nouvelles technologies de pointe et applicables en agriculture biologique. Parallèlement, les méthodes et les stratégies déjà existantes sont améliorées avec des solutions de haute technologie. Nous présenterons donc ici des outils récents ou en voie de développement et les nouvelles orientations en matière de lutte physique aux mauvaises herbes dans un contexte d'agriculture biologique.

OUTILS DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES : EN CONSTANTE ÉVOLUTION

Le désherbage manuel a traversé les temps et continue d'être nécessaire dans certaines cultures moins compétitives et plus fragiles à la mécanisation. Il est estimé que le désherbage manuel du rang de la culture peut exiger de 100 à 500 h ha^{-1} dans les semis de carottes, d'oignons ou de poireaux (Sørensen *et al.* 2005). Les interventions pour détruire les mauvaises herbes manuellement sont simples et consistent principalement à les arracher, les enterrer ou les couper (Toukura *et al.* 2006). Même si le sarclage manuel semble bien ancien et acquis, il peut encore être amélioré par la technologie. Par exemple, des compagnies européennes ont développé des appareils ergonomiques motorisés sur lesquels l'opérateur se couche à plat ventre et repose sa tête sur un appui rembourré qui lui permet d'observer et de désherber le rang de la culture. Le déplacement de l'appareil est actionné par les pieds, laissant les deux mains libres (Leinonen et Närkki 2004). Le sarcloir, l'outil à main de désherbage, a aussi fait l'objet de nombreuses innovations ergonomiques pour minimiser l'inconfort des personnes qui l'utilisent (Chatizwa 1997).

La méthode de désherbage physique la plus commune est le sarclage mécanique. Il est le plus souvent qualifié de « faible technologie » parce qu'il existe depuis longtemps et qu'il comporte des coûts d'achat et d'opération relativement faibles (Melander 2004). Dans cette catégorie sont regroupés les sarcleurs d'entre-rang et ceux qui désherbent le rang. La houe rotative et la herse étrille passent directement sur le rang et l'entre-rang. Le désherbage est sélectif si la culture est mieux enracinée que les mauvaises herbes, afin qu'elle ne subisse pas le même sort que ces dernières. Ces appareils se sont développés en largeur (27 m) pour couvrir une surface de plus en plus grande (Anonymous 2005). Les dents de la herse étrille sont de plus en plus sophistiquées, formées de tiges rondes ou carrées de différentes grosseurs. L'ajustement de la dent à différents angles offre aussi plus de possibilités et lui confère différents degrés d'agressivité. Une herse étrille motorisée (*powered spring-tine harrow*) a récemment été mise sur le marché. Les dents de la herse ont un mouvement d'avant-arrière qui lui assurent une efficacité optimale avec la bonne combinaison de vitesse du tracteur et des dents (van der Schans *et al.* 2006). Un autre type de herse motorisée (*powered harrow*) a été développé avec des dents attachées à un axe parallèle au rang et tournant à haute vitesse. La longueur des dents est choisie selon la largeur du rang et de l'entre-rang à désherber (van der Schans *et al.* 2006). L'Acrobaatweeder® est une autre herse récemment développée avec des tiges attachées autour de disques qui ont un mouvement rotatif perpendiculaire aux rangs. Cette herse convient particulièrement aux sols compactés (van der Schans *et al.* 2006).

La répression des mauvaises herbes sur le rang représente encore aujourd'hui un défi. Il existe des appareils qui désherbent le rang très près de la culture, comme la tige à ressort (*torsion weeder*), la lame vibrante (*spring hoe*) et le sarcleur à doigts (*finger weeder*). L'efficacité de ces outils dépend du conducteur du tracteur qui doit obligatoirement voir le rang. Dans ce sens, le tracteur décentré ou le tracteur porte-outil facilitent l'opération. Lorsque le sarcleur est monté derrière le tracteur, comme c'est le cas avec les brosses à axe vertical ou les disques à tiges à axe vertical (Univerco®), d'autres opérateurs doivent être assis à l'arrière pour manœuvrer les unités sarcleuses (selon le nombre de rangs à sarcler). Le nouveau sarcleur Bioweeder® combine des unités de sarcleur à doigts et des tiges d'herse qui permettent de déraciner et d'éjecter les mauvaises herbes hors du rang (van der Schans *et al.* 2006). La herse à dents vibrantes, mise au point récemment en Italie, combine plusieurs tiges à ressort qui désherbent de chaque côté du plant. Le Pneumat®, ou le sarcleur-souffleur, utilise l'air comprimé pour souffler les mauvaises herbes hors du rang (van der Schans *et al.* 2006). Le sarcleur de rang Sarl Radis®, de conception française, coupe les mauvaises herbes sous la surface du sol sur le rang, entre les plants de la culture (van der Schans *et al.* 2006). Il est qualifié de sarcleur intelligent, car il détecte la culture à l'aide d'un intercepteur de lumière, ce qui lui permet de déplacer ses couteaux entre les plants. Il est efficace lorsque la culture est significativement plus grosse que les mauvaises herbes. Des unités de sarclage assez minces pour se faufiler entre les plants de culture plus rapprochés sont en développement.

Les sarcleurs qui désherbent l'entre-rang peuvent être composés de disques, de dents en forme de S ou de C, de lames, de pattes d'oie, de cages roulantes, d'unités de rotoculteur, de brosses à axe horizontal ou, développées récemment, de toupies à trois grosses dents verticales (le Weed-fix®; Bowman 1997; van der Schans *et al.* 2006). Généralement, ces sarcleurs ne nécessitent pas beaucoup d'ajustements et sont relativement sans risque pour la culture. Cependant, la tendance est d'utiliser ces outils seuls ou en combinaison avec d'autres outils et de désherber le plus près possible de la culture, ce qui exige une grande précision dans l'opération de ces sarcleurs. Différentes stratégies ont été développées pour améliorer la précision du sarclage. Par exemple, un miroir installé à l'avant du tracteur permet au conducteur de voir clairement le rang et le mouvement du sarcleur derrière le tracteur. La venue de systèmes de guidage a aussi permis d'augmenter la précision du désherbage. Le système de guidage mécanique utilise une roue guidée par un sillon ou deux roues disposées en forme de V appuyées de chaque coté du billon (Bowman 1997). Le système de guidage électrique, plus évolué, est généralement composé de deux tiges qui suivent de près la base des plants de la culture (Bowman 1997). La trajectoire du sarcleur est corrigée lorsqu'une tige touche un plant de la culture, déclenchant ainsi un micro-interrupteur qui envoie un signal à l'unité de contrôle. Ce système de guidage nécessite un système hydraulique pour déplacer latéralement le sarcleur afin de suivre le rang. Aujourd'hui, la technologie a évolué vers un système de guidage optique avec une caméra installée sur le sarcleur et qui photographie le rang en temps réel pour ensuite analyser les images afin de distinguer la culture du sol et de corriger la trajectoire du sarcleur si nécessaire (van der Schans *et al.* 2006). Cette technologie permet de sarcler une plus grande surface entre les rangs à une précision de ± 2 cm, avec jusqu'à 50 % plus d'efficacité et de vitesse d'exécution, tout en diminuant les risques de dommages à la culture (Anonymous 2003). Par exemple, pour les oignons dont les rangs sont espacés de 25 cm, le sarclage à 1 cm plus près du rang permet d'augmenter de 6,5 % la proportion du champ exempte de mauvaises herbes et d'économiser de 10 à 30 h ha^{-1} de désherbage manuel dans l'oignon biologique (van der Weide, communication personnelle). Cette technologie continue à évoluer car les manufacturiers espèrent obtenir une plus grande précision, soit de l'ordre de ± 15 mm de déviation du centre du rang, et ce, à une vitesse plus élevée de 10 km h^{-1} (Melander 2004).

La lutte thermique est une autre méthode de désherbage physique qui ne date pas d'hier, mais qui a évolué au cours des dernières années. Le mode d'action n'est pas de brûler la mauvaise herbe, mais plutôt d'augmenter la température des cellules végétales durant une fraction de seconde. Cela est suffisant pour briser la paroi des cellules et dénaturer leurs protéines, engendrant ainsi leur destruction et, par la suite, celle de la plante entière. Le pyrodésherbage, qui fait appel au propane comme combustible, est actuellement la méthode thermique prédominante. On peut trouver sur le marché une simple torche connectée à un réservoir de propane jusqu'à un ensemble de brûleurs disposés sur une barre porte-outil dont l'angle, la hauteur et la distance par rapport à la culture peuvent être ajustés. L'allumage et l'extinction des brûleurs peuvent maintenant être actionnés à partir de la cabine du tracteur. Le pyrodésherbage peut être utilisé à flamme nue (1100°C) en post-levée de la culture en dirigeant la flamme à la base du plant, mais le plus souvent il est utilisé en pré-levée, sur les semis qui tardent à lever. L'efficacité énergétique du système a été améliorée en développant des unités fermées pouvant contenir la flamme et où la chaleur circule à l'intérieur pour réduire la consommation de combustible. Dans le même ordre d'idées, il existe aussi sur le marché le thermodésherbeur à infrarouges qui utilise aussi le propane comme combustible, mais sans flamme visible et dont la chaleur atteint jusqu'à 900°C (Melander 2004). L'eau chaude, la mousse chaude et les systèmes à vapeur sont d'autres méthodes thermiques qui sont utilisées pour lutter contre les mauvaises herbes (Fogelberg 2001). Ces méthodes n'impliquent pas un risque pour le feu, mais la consommation d'énergie fossile peut être très élevée.

OUTILS EN DÉVELOPPEMENT

Plusieurs projets de haute technologie sont en cours, comme par exemple la coupe au laser ou à l'eau et la répression électrique des mauvaises herbes. La coupe au laser consiste à concentrer une grande quantité d'énergie dans un étroit faisceau qui peut être dirigé précisément et rapidement sur les cibles. Cette technologie peut être utilisée pour couper les mauvaises herbes (Heisel *et al.* 2001, 2002). Les lasers peuvent utiliser le quart de l'énergie équivalente à celle utilisée par les brûleurs au propane pour réprimer les mauvaises herbes. Plusieurs types de laser sont disponibles : le laser UV (ultraviolet ~200-400 nm), le laser IR (infrarouge ~700-1500 nm) et le laser au CO_2 (infrarouge éloignée ~5-15 μm). De récentes recherches indiquent que tous les types de laser sont capables de couper de jeunes tiges de mauvaises herbes à des doses de 6 J mm^{-1} et plus. Cependant, le laser au CO_2 fournit la meilleure efficacité avec le moins d'énergie.

Quant à la coupe au jet d'eau, c'est une technique déjà utilisée dans l'industrie et qui peut être exploitée pour couper les mauvaises herbes (Ishida *et al.* 2005). Cette technique a été expérimentée avec une pompe puissante qui pressurise l'eau à 2000-3000 bars (Folgelberg 2001). En utilisant une petite buse de 0,1-0,25 mm de diam, l'eau devient un couteau très coupant. La consommation de l'eau est faible, variant de 5 à 10 L min^{-1} à une vitesse pouvant atteindre 18 km h^{-1}.

Par ailleurs, il existe deux types de répression électrique des mauvaises herbes : la décharge électrique et le choc électrique direct (Folgelberg 2001). Un troisième type est l'électroporation, qui peut être considérée comme une variante de la décharge électrique. La décharge électrique se résume à la décharge dans la plante d'une quantité d'électricité provenant d'une source d'énergie de haut voltage. Les électrodes déchargeantes n'ont pas besoin de toucher la plante si de très hauts voltages sont

utilisés. Quant au traitement direct au choc électrique, il s'agit d'un processus continu où un générateur est physiquement connecté à la plante par une électrode, le sol étant utilisé comme autre électrode. L'électroporation est une technique par laquelle la membrane de la cellule exposée à un champ d'impulsion électrique de haute intensité peut être déstabilisée dans des régions spécifiques, créant ainsi des pores dans la membrane. Cette dernière devient ainsi perméable aux molécules exogènes, ce qui occasionne la mort des cellules (Folgelberg 2000).

L'ÈRE DE LA ROBOTIQUE

Le développement d'un robot désherbeur automoteur est une innovation qui offre beaucoup de potentiel dans la lutte physique aux mauvaises herbes. Ce type de machine pourrait être combiné à plusieurs autres techniques issues de la haute technologie. Par exemple, les nouveaux systèmes de guidage avec analyse d'images permettant de distinguer les plants de la culture de ceux des mauvaises herbes permettraient le développement d'un robot qui pourrait désherber le rang de la culture (Bak et Jakobsen 2004). Plusieurs projets de recherche en Europe se concentrent actuellement sur les possibilités de développer des détecteurs ou des caméras qui pourraient accomplir une telle tâche (Åstrand et Baerveldt 2002; Blasco *et al.* 2002). Un tel outil pourrait détruire sélectivement les mauvaises herbes en utilisant la décharge électrique ou en les coupant à l'aide du laser, du jet d'eau ou de couteaux mécaniques.

Le désherbage robotique a principalement été validé dans des conditions où il y avait amplement d'espace entre les plants de la culture, entre autres dans des plantations d'arbres de Noël et dans les choux-fleurs transplantés (Have *et al.* 2005). La houe cycloïde (*cycloid hoe*), développée au Danemark, est un autre exemple de sarcleur robotisé qui semble avoir beaucoup de potentiel (Cavalieri *et al.* 2001). Elle est composée de huit tiges disposées en cercle autour d'un axe vertical. Elle longe le rang dans un mouvement circulaire et détecte les plants de la culture. Les tiges qui ne se trouvent pas face aux plants de la culture se déploient pour atteindre le rang et ainsi désherber entre les plants.

La nécessité pour un robot désherbeur d'opérer avec une haute précision devient cruciale dans des cultures peu compétitives et où l'espace est limité entre les plants. Pour augmenter la précision et la fiabilité du désherbage robotique en de telles circonstances, de nouvelles recherches se concentrent sur la possibilité d'utiliser la cartographie digitale du semis des graines afin de faciliter l'identification des plantules de la culture et des mauvaises herbes (Nørremark *et al.* 2003).

NOUVELLES STRATÉGIES

Récemment, des chercheurs se sont penchés sur de nouveaux moyens pour améliorer la compétitivité de la culture dans un contexte de désherbage non chimique. Des stratégies intéressantes ont découlé de ces travaux. Par exemple, la technique du semis à perforation (*punch planting*) est une nouvelle méthode pour réduire les mauvaises herbes sur le rang. Le sol est perforé de trous et une graine est déposée dans chacun de ceux-ci (Rasmussen 2003). Avec cette méthode, il n'y a pas de préparation de lit de semence et le sol n'est pas perturbé à l'extérieur du trou, ce qui évite la stimulation de germination de graines de mauvaises herbes. Le trou est laissé à découvert et se remplit par lui-même. Cette technique peut être combinée au pyrodésherbage en pré-levée de la culture. Expérimentée dans la culture de betterave, la technique du semis à perforation combinée au pyrodésherbage a réduit la densité de mauvaises herbes de 30 % comparativement à un semis standard avec pyrodésherbage. Le pyrodésherbage a permis d'atteindre une réduction de la densité des mauvaises herbes de 50 % par rapport à un semis conventionnel sans pyrodésherbage. Malgré le fait qu'il n'existe pas encore de semoir à perforation, il semble que cette technique soit prometteuse.

La stérilisation du rang à la vapeur suscite un nouvel intérêt étant donné que le potentiel du désherbage sur le rang de cultures avec un peuplement dense (carotte, oignon et poireau) semble limité. La stérilisation du sol à la vapeur en pré-semis de la culture peut éliminer la levée des plantules de mauvaises herbes sur le rang en tuant les graines viables de mauvaises herbes dans le volume de sol chauffé, à condition que la température du sol atteigne 70°C ou plus. Le principal objectif est de développer une technique pour appliquer la vapeur en bande correspondant au rang de la culture, typiquement de 70-80 mm de largeur et de 50-60 mm de profondeur (Melander et Jørgensen 2005). La vapeur en bande devrait utiliser beaucoup moins d'énergie que les techniques actuelles de stérilisation du sol à la vapeur où la surface entière est traitée jusqu'à 100-150 mm de profondeur.

CONCLUSION

La haute technologie joue un rôle majeur dans l'amélioration des méthodes physiques de répression des mauvaises herbes et dans le développement de nouveaux outils de désherbage. Loin de négliger la haute technologie, l'agriculture biologique bénéficie grandement des avancées technologiques des récentes années. Il n'en reste pas moins que la recherche conventionnelle peut contribuer énormément au progrès de l'agriculture biologique. Il suffit de se mettre en contexte biologique, d'utiliser son imagination et de relever le défi!

RÉFÉRENCES

Anonymous. 2003. Système de guidage de sarcleur Eco Dan. Innotag, innovation et technologie agricole. [http://www.innotag.com/agprec_ecodan.htm] [25 juillet 2006].

Anonymous. 2005. Technique d'étrillage. Hatzenbichler Austria-Agro-Group, technique agricole. [http://www.hatzenbichler. com/france/striegel.html] [25 juillet 2006].

Åstrand, B. et A. Baerveldt. 2002. An agricultural mobile robot with vision-Based perception for mechanical weed control. Auton. Robots 13 : 21-35.

Bak, T. et H. Jakobsen. 2004. Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection. Biosyst. Engineer. 87 : 125-136.

Blasco, J., N. Aleixos, J.M. Roger, G. Rabatel et E. Moltó. 2002. Automation and emerging technologies robotic weed control using machine vision. Biosyst. Engineer. 83 : 149-157.

Bowman, G. 1997. Steel in the field, a farmer's guide to weed management tools. Sustainable Agricultural Network handbook series 2, National Agricultural Library, Beltsville, Maryland. 128 pp.

Cavalieri, A., S. Janssen, A. Smithson et T. Buisman. 2001. Economic viability of weeding strategies in organically grown sugar beets. Report from The Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg C, Denmark. 89 pp.

Chatizwa, I. 1997. Mechanical weed control: the case of hand weeders. Pages 203-208 in British Crop Protection Council, Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Brighton, UK.

F. Folgelberg. 2000. Electroporation - Can we control weed seeds by the use of electric pulses applied in soil? Page 50 *in* D. Cloutier (éd.), Proc. 4th EWRS Workshop on Physical Weed Control, Elspeet, The Netherlands.

F. Folgelberg. 2001. Research on pest control and pesticide reduction in Sweden, Denmark and the Netherlands, ongoing work and new ideas for the future. Report, Dept. Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden. 31 pp.

Have H., J. Nielsen, S. Blackmore et F. Theilby. 2005. Autonomous weeder for Christmas trees – Basic development and tests. Pesticides Research No. 97 2005, Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, Danish Ministry of Environment, Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark. 76 pp.

Heisel, T., J. Schou, S. Christensen et C. Andreasen. 2001. Cutting weeds with a CO_2 laser. Weed Res. 41 : 19-29.

Heisel, T., J. Schou, C. Andreasen et S. Christensen. 2002. Using laser to measure stem thickness and cut weed stems. Weed Res. 42 : 242-248.

Ishida, Y., T. Okamoto, K. Imou et Y. Kaizu. 2005. A study on physical weeding using a water jet. J. Jpn. Soc. Agric. Machin. 67 : 93-99. (résumé)

Leinonen P. et V. Närkki. 2004. Lay-down working cart improves efficacy of hand weeding. Page 45 *in* D. Cloutier (éd.), Proc. 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway.

Melander, B. 2004. Nonchemical weed control: new directions. Pages 1-3 *in* R.M. Goodman (Éd.), Encyclopedia of Plant and Crop Science. Marcel Dekker, Inc., New York.

Melander, B. et M.H. Jørgensen. 2005. Soil steaming to reduce intrarow weed seedling emergence. Weed Res. 45 : 202-211.

Nørremark, M., H.-W. Griepentrog, H. Nielsen et S. Blackmore. 2003. A method for high accuracy geo-referencing of data from field operations. Pages 463-467 *in* J.V. Stafford and A. Werner (éds.), Proc. 4th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.

Rasmussen, J. 2003. Punch planting, flame weeding and stale seedbed for weed control in row crops. Weed Res. 43 : 393-403.

Sørensen, C.G., N.A. Madsen et B.H. Jacobsen. 2005. Organic farming scenarios: Operational analysis and costs of implementing innovative technologies. Biosyst. Engineer. 91: 127-137.

Toukura, Y., E. Devee et A. Hongo. 2006. Uprooting and shearing resistances in the seedlings of four weedy species. Weed Biol. Manag. 6 : 35-43.

Van der Schans, D., P. Bleeker, L. Molendijk, M. Plentinger, R. van der Weide, B. Lotz, R. Bauermeister, R. Total et D.T. Baumann. 2006. Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. PPO publication 532, Applied Plant Research Wageningen University, Lelystad, The Netherlands, 77 pp.