

# La lutte contre la chrysomèle des racines du maïs est un succès à ce jour

Mario Bertossa<sup>1</sup>, Romina Morisoli<sup>1</sup> et Luigi Colombi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 6593 Cadenazzo, Suisse

<sup>2</sup>Servizio fitosanitario cantone Ticino, 6500 Bellinzona, Suisse

Renseignements: Mario Bertossa, e-mail: mario.bertossa@acw.admin.ch, tél. +41 91 850 20 34



L'adulte de la chrysomèle des racines du maïs mesure environ 5 – 7 mm. Ses élytres ont des rayures noires.  
(Photo: ACW)

## Introduction

La chrysomèle des racines du maïs *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) est depuis longtemps reconnue comme le plus important ravageur du maïs à l'échelle mondiale. L'Organisation européenne pour la protection des plantes OEPP a mis ce coléoptère sur la liste A2 des organismes de quarantaine. Aux Etats-Unis, les dégâts causés et les coûts occasionnés par la lutte dépassent le milliard de dollars. C'est l'homme qui a fait de la chrysomèle un ravageur des cultures, car elle ne peut se multiplier massivement que dans un système de monoculture de maïs. En Europe, la chrysomèle a été découverte en 1992 dans la région de Belgrade à la suite

de dégâts constatés sur des plantes. Comme il avait fallu qu'une population suffisamment grande se soit constituée, on suppose que ce ravageur avait déjà été introduit au début des années 1980 par voie aérienne.

Les recherches génétiques menées sur la chrysomèle ont révélé cinq invasions indépendantes ayant abouti à la constitution de populations dans les Balkans, en Lombardie, etc. La chrysomèle s'est propagée dans 22 pays d'Europe au cours des 20 dernières années. Les dommages économiques se sont chiffrés par millions d'euros dans les régions où de grandes populations se sont établies.

En Suisse, la chrysomèle des racines du maïs a été repérée pour la première fois en 2000 près de l'aéroport de Lugano-Agno (TI). L'année suivante, le foyer principal

a été identifié dans la ville frontière de Chiasso. Comme les populations peuvent croître de manière exponentielle au cours des premières années, le réseau de pièges a été étendu à toute la Suisse dès 2003.

Cet article expose le développement et le comportement de la chrysomèle des racines du maïs au Tessin depuis son apparition; il décrit aussi les mesures prises et vise à établir scientifiquement leur efficacité.

### Biologie de la chrysomèle des racines du maïs

Cette espèce univoltine de coléoptère de la famille des chrysoméridés est originaire du Mexique. Ses œufs hivernent dans le sol et les larves éclosent au printemps. Les trois stades larvaires ne se nourrissent quasiment qu'aux dépens des racines de maïs (fig. 1). Elles s'attaquent toutefois à des racines d'autres espèces de plantes, mais, selon notre expérience, celles-ci ne jouent qu'un rôle mineur dans l'alimentation des larves. Contrairement aux larves, les adultes se nourrissent de diverses espèces végétales. Ils migrent des champs de maïs vers d'autres cultures ou colonisent d'autres champs de maïs. La chrysomèle est un migrateur efficace; lorsque les conditions météorologiques et topographiques sont favorables, le déplacement de l'espèce peut atteindre 200 km par année. Selon nos observations, cette valeur est en moyenne de 50–70 km. Cela correspond à un déplacement depuis la région frontalière jusque dans le haut Val Blenio. Les femelles fécondées pondent leurs œufs dans le sol d'un champ de maïs. En conditions de laboratoire, une ponte peut compter jusqu'à 1100 œufs, et en conditions naturelles entre 300–500 œufs par femelle et par an.

**Résumé** ■ Depuis l'an 2000, la Suisse fait partie des 22 pays européens touchés par le ravageur de quarantaine *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, la chrysomèle des racines du maïs. Il s'agit du plus important ravageur du maïs, causant dans le monde entier des dommages estimés à 1,5 milliards de dollars. En Suisse, ce coléoptère ne s'est établi qu'au Tessin. L'établissement d'une population locale a pu être empêché jusqu'ici au nord des Alpes. Le dépouillement des données collectées durant 12 ans sur l'apparition et la distribution de l'espèce permet d'affirmer qu'il s'agit au Tessin d'une population migrant chaque année depuis les foyers principaux de Lombardie. La stratégie de lutte adoptée en Suisse se base essentiellement sur des restrictions sévères apportées aux rotations et renonce à la lutte chimique telle que prévue par exemple dans l'Union européenne.

L'efficacité de la rotation des cultures contre la chrysomèle des racines du maïs a été mise à l'épreuve dans un essai de cinq ans au champ. Les résultats montrent que les systèmes de rotation peuvent empêcher durablement le développement de populations susceptibles de causer des dégâts d'importance économique.



Figure 1 | Résultat de l'activité de nourrissage des larves, Mezzana 2005. (Photo: ACW)



Figure 2 | Piège Csalomon®-PAL. (Photo: ACW)

sont équipés d'un dispensateur de phéromone femelle (pièges PAL). Sous nos latitudes, la plante est encore trop petite à l'apparition des premières chrysomèles; c'est pourquoi le piège a été fixé à un piquet de bois à la hauteur de 120 cm (fig. 2). Les contrôles ont été espacés d'une semaine et doublés au cours des périodes de pointe. La date de mise en place des pièges a été déterminée à l'aide d'un modèle de sommes de températures développé par Agroscope. Elle était d'environ 520 degrés-jours (base: -10,5 °C). Les adultes étaient attendus à  $600 \pm 40$  degrés-jours.

### Comparaison des systèmes monoculture-rotations

La parcelle de monoculture de maïs de 60 ares se trouvait à Balerna, dans le périmètre de l'Ecole d'agriculture de Mezzana (coordonnées: E-721203/N-79224).

Les quatre parcelles de comparaison de rotations se trouvaient dans des champs de maïs situés dans des régions du Mendrisiotto éloignées les unes des autres, à distance maximale de 4,4 km à vol d'oiseau de la parcelle de monoculture.

La détermination des gradients de populations dans le canton du Tessin a été faite sur la base de nos données et de celles du service phytosanitaire cantonal. Toutes ont été acquises au moyen des pièges Csalomon®-PAL.

## Matériel et méthodes

### Dynamique des populations

La surveillance des attaques a été assurée au moyen de pièges à phéromone Csalomon®-PAL, pièges standards utilisés dans les contrôles en Europe. Ces pièges développés en Hongrie sont constitués d'une feuille engluée de plastique mou transparent ou jaune de 23×35 cm. Ils

## Résultats

### Densité de population et distribution au Tessin

Le nombre de captures de chrysomèles a été calculé en nombre d'individus par piège et par jour (fig. 3). Ce mode de calcul permet de tenir compte du nombre variable de pièges au cours de l'année ainsi que de la période de vol différente d'une année à l'autre.

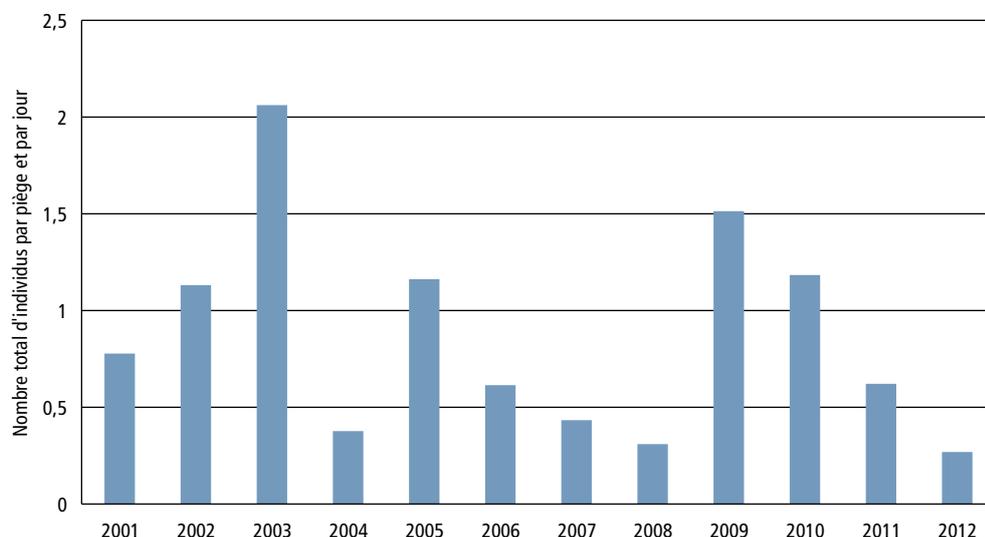
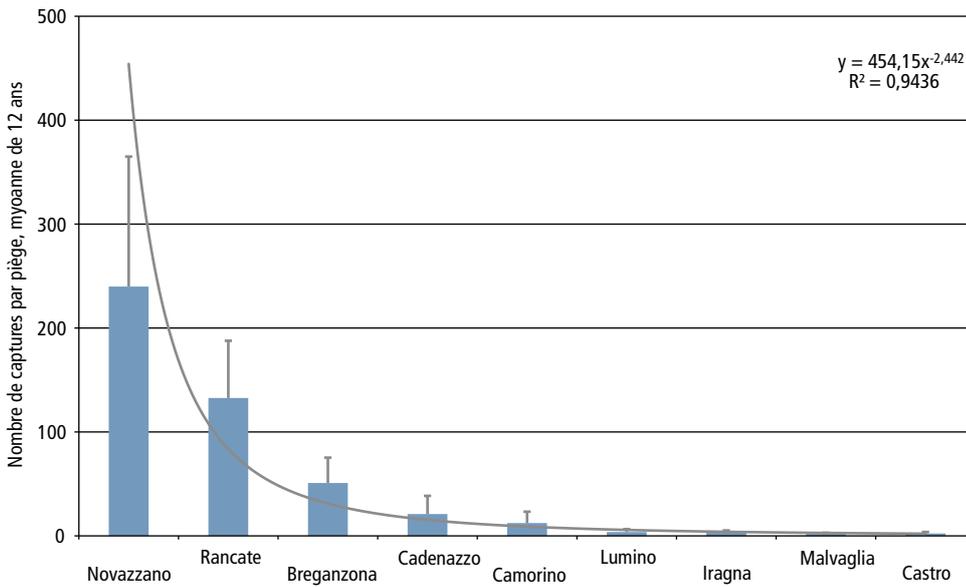


Figure 3 | Populations de la chrysomèle dans le canton du Tessin de 2001 à 2012.



**Figure 4 |** Occurrence de chrysmèles sur un axe sud-nord (gauche-droite), moyenne (2001–2012). La distance à vol d’oiseau de Novazzano à Castro est de 70 km.

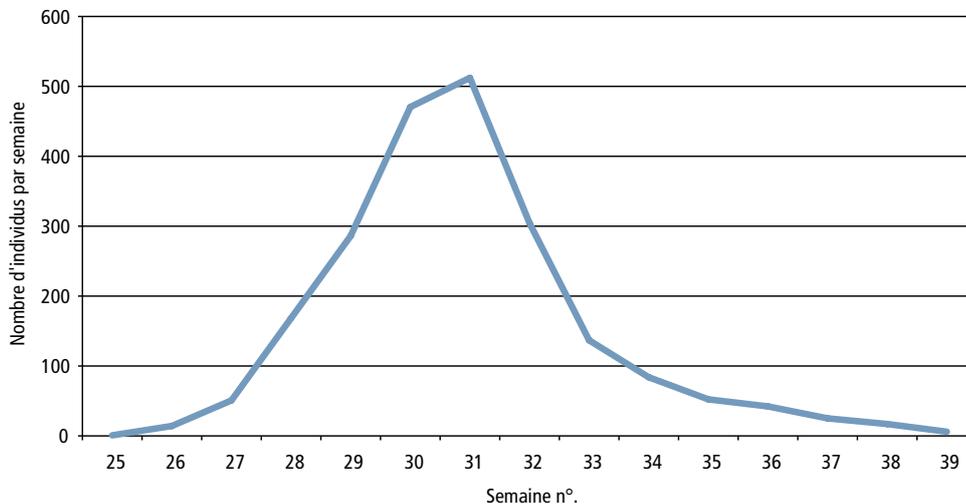
Jusqu’en 2003, l’obligation de rotation s’appliquait par région selon le degré d’infestation. Dès 2004, la rotation après maïs été déclarée obligatoire pour tout le canton. Deux individus par piège et par jour correspondent à un effectif total d’environ 5400 chrysmèles. C’est en 2003 que l’effectif des captures a été le plus élevé, et en 2012 le plus réduit avec 527 individus.

Plus on s’approche de la frontière avec l’Italie, plus l’effectif des captures augmente (fig. 4). Depuis l’introduction de l’obligation des rotations en 2004, on a trouvé en moyenne 79,6 % des chrysmèles dans le district du Mendrisiotto. Plus haut dans le canton, c’était 12,7 % dans le district de Lugano et 7,7 % dans le Sopraceneri.

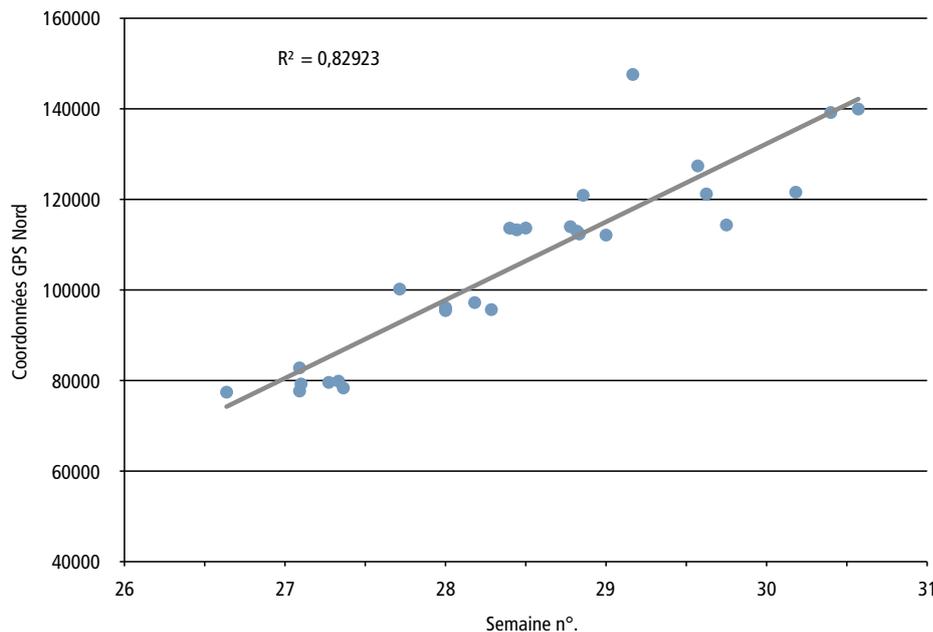
### Dynamique des populations

Les modes d’occurrence et les courbes de vol de la chrysmèle des racines du maïs sont représentés ci-après. La période annuelle de vol s’est étendue en moyenne sur 91 jours (fig. 5). Les premiers adultes sont éclos du sol au plus tôt au début de la troisième décennie de juin, et au plus tard jusqu’à la fin de la première décennie de juillet. La prédiction de somme de températures de 600 ±40 degrés-jours a été pratiquement toujours confirmée, ce qui a permis de consolider le modèle.

L’effectif maximal de la population a été enregistré régulièrement au cours de la période du 20 juillet au 10 août, la plus chaude de l’année. Les derniers adultes



**Figure 5 |** Courbe moyenne de vol durant les 12 dernières années, calculée sur la base des captures hebdomadaires de tous les pièges du réseau officiel cantonal.



**Figure 6** | Relation entre le moment de l'apparition et la latitude nord selon les coordonnées GPS N (n=27), moyenne de 11 ans.

ont été encore observés au mois de septembre, et même au début d'octobre en 2010.

La figure 6 montre la relation entre la latitude N (coordonnées GPS) de l'emplacement des pièges et la date (semaine) de l'apparition des chrysomèles dans les pièges.

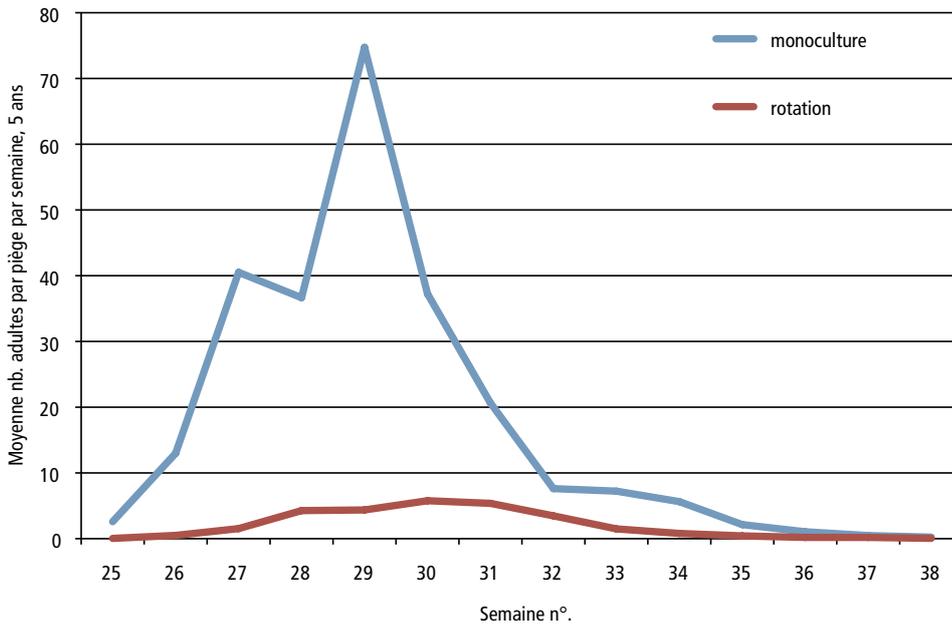
En regardant de plus près le nuage de points, on peut individualiser les régions. Partant de la gauche, Mendrisiotto (semaine 27), Lugano (semaine 28) et plaine de Magadino (semaine 29). On peut en déduire avec 83 % de certitude que la chrysomèle des racines du maïs apparaît à Cadenazzo en moyenne deux semaines plus tard qu'à Chiasso, bien qu'en moyenne les sommes des températures affichent selon MétéoSuisse de meilleures valeurs à Cadenazzo qu'à Stabio et Lugano.

#### Validation de la stratégie des rotations dans un essai au champ

Après avoir décidé d'élaborer une stratégie de lutte contre la chrysomèle des racines du maïs excluant l'utilisation d'insecticides (voir encadré), il était important d'en vérifier l'efficacité. Comme des populations de chrysomèles étaient toujours observées dans la région malgré l'interdiction de monoculture visible dans le graphique des populations au Tessin (fig. 3), il était justifié

#### Mesures de lutte adoptées en Suisse contre *Diabrotica v. virgifera*

- Lors d'une capture, on définit autour de l'endroit une zone centrale (d'un rayon de 5 km) et une zone de sécurité (ce même rayon augmenté de 5 km).
- Dans la zone centrale et la zone de sécurité, une rotation d'une année après maïs est obligatoire.
- Zone centrale: les repousses de maïs dans la culture suivante doivent être éliminées.
- Zone centrale: interdiction de transport de maïs à ensiler vers l'extérieur de la zone.
- Zone centrale: le nettoyage des machines est recommandé.
- Mettre en place davantage de pièges.



**Figure 7** | Comparaison des courbes de vol associées à deux systèmes de culture. La ligne bleue correspond à la moyenne hebdomadaire de 4 pièges en système de monoculture, la courbe rouge à la moyenne dans le système de rotation. La période d'observation s'étend sur 5 ans (2003–2007).

de douter de l'efficacité de la mesure. Le graphique suivant montre la comparaison des deux courbes de vol dans le système monoculture et rotation.

La réaction des populations de chrysomèle à l'interdiction de la monoculture est évidente. Dans une première phase, la population de monoculture montre des taux exponentiels de croissance, alors que les populations des cultures en rotation n'augmentent que plus lentement et tardivement. Le nombre total d'individus capturés par année est 13,5 fois plus élevé en monoculture qu'en système de rotation. Ce qui frappe aussi dans les courbes annuelles, mais qui est moins évident dans la courbes des moyennes (fig. 7), est la diminution de l'activité de vol au cours des périodes de mauvais temps.

## Discussion

### Dynamique des populations

Les effectifs de populations représentés dans la fig. 3 suscitent quelques questions. L'obligation d'appliquer des rotations dès 2004 est-elle suffisamment efficace? Pourquoi le nombre d'adultes a-t-il varié fortement, par exemple en 2008 et 2009? Ces faits pourraient être expliqués par un élément important: la mortalité parmi les œufs et des larves. Si l'on admet que dès 2004 les popu-

lations avaient très vraisemblablement migré depuis le sud, les conditions d'hivernage et les taux de mortalité dans les régions de provenance devraient avoir exercé une influence prépondérante sur les effectifs des populations de départ. Les facteurs de mortalité des œufs de chrysomèle sont influencés principalement par les facteurs abiotiques de leur environnement. Au cours de l'hivernage, les paramètres importants sont les températures du sol inférieures à  $-7^{\circ}\text{C}$  et leur durée, la couverture neigeuse et les longues périodes de sécheresse. En Europe, une mortalité des larves pouvant atteindre 98% a été constatée, ce qui entraîne une réduction massive des populations fondatrices, dans notre cas le foyer principal de Lombardie. Les interventions humaines ne jouent ici aucun rôle.

La relation avec la distance à la frontière, telle qu'on peut la voir à la fig. 4 et la fig. 6, qu'il s'agisse du nombre d'adultes ou de l'époque de leur apparition, semble accréditer l'hypothèse de la migration à l'origine de l'invasion de chrysomèles au Tessin. De plus, les populations de la Lombardie et du Tessin sont génétiquement identiques et ont pu être différenciées des quatre autres invasions susmentionnées. On peut donc admettre l'hypothèse que les populations tessinoises proviennent des environs des aéroports milanais. ➤

### Efficacité de la rotation

D'une façon générale, la rotation des cultures est depuis longtemps jugée efficace pour lutter contre la chrysomèle des racines du maïs. Mais dans la Corn Belt, l'apparition d'une sous-espèce de *Diabrotica v. virgifera* «résistante» aux rotations a été décrite, susceptible de causer des dommages au maïs à l'intérieur d'une rotation. La cause en est vraisemblablement l'application d'une rotation maïs-soja à grande échelle, causant une grande pression sur les populations. Cette situation a favorisé, dans la population de chrysomèles, quelques individus ayant une aptitude réduite à la ponte dans les champs de maïs. Il en est résulté une population dite de «variants», tendant à préférer pondre dans les champs de soja. L'année suivante, les larves se développent dans le même champ planté alors de maïs. C'est pourquoi la rotation n'est pas considérée aux Etats-Unis comme la seule solution efficace, et c'est aussi une des raisons pour lesquelles nous avons voulu mettre à l'épreuve cette stratégie dans les conditions suisses. Les résultats décrits à la fig. 7 confirment de la très bonne efficacité de cette mesure. L'apparition plus tardive de la chrysomèle dans les parcelles en rotation peut être interprétée comme un signe du temps nécessaire à la migration depuis le foyer d'origine à l'endroit des captures. Les rotations plus complexes et les populations réduites ne favorisent pas l'apparition en Suisse de chrysomèles «résistantes aux rotations».

### Conclusions

Les observations réalisées durant douze ans confèrent une bonne crédibilité aux résultats. L'efficacité de la rotation comme moyen de lutte contre la chrysomèle des racines du maïs a été confirmée scientifiquement durant plusieurs années. Elle est maintenant appliquée avec succès dans la pratique. Dans un système de monoculture durant deux ou trois ans, l'accroissement de la population peut être exponentiel si les conditions d'hivernage sont idéales. Une année d'interruption réduit presque à zéro la population du ravageur. La stratégie choisie conditionnera le choix d'une rotation stricte 1:1, ou d'une variante 2:1 avec 2 ans consécutifs de maïs suivis d'une interruption. Seule la première est envisageable si l'on vise une éradication. Par contre, la deuxième est une bonne option si l'on adopte une stratégie d'endiguement. En effet, il faut certainement trois ans ou même davantage de culture de maïs pour qu'une population causant des dégâts d'importance économique s'établisse à nouveau. La colonisation de nouvelles régions de culture est stimulée, en raison de la rapidité de la dissémination de l'espèce. Les dimensions

réduites de notre territoire impliqueraient un dépassement rapide des frontières nationales actuelles. Au Tessin, la variante 1:1 assure actuellement une bonne garantie de limitation des populations, même en cas de très forte pression d'invasion. Pour le versant nord des Alpes, cette stratégie a même permis d'obtenir une éradication pour plusieurs années.

Le fait de n'avoir pas appliqué un gramme d'insecticide donne à l'agriculture suisse une image utile à sa présence sur le marché, sans même mentionner les avantages généraux de la rotation des cultures.

Malgré tous les constats d'efficacité établis sur la base des présents résultats, il faut se souvenir que la chrysomèle est une espèce très dynamique et flexible, susceptible d'envahir un continent, car habituée à développer des résistances à diverses substances chimiques et à se propager dans une rotation simple aux Etats-Unis, et même à survivre à une stratégie de lutte à l'aide de maïs OGM, comme cela semble se présenter actuellement aux USA. Il est donc indispensable de surveiller attentivement les populations de chrysomèle des racines du maïs pour prévenir d'éventuelles mauvaises surprises.



## Riassunto

### La lotta contro la diabrotica del mais in Svizzera, finora una storia di successo

Dal 2000 la Svizzera appartiene ai 22 paesi europei nei quali è stata scoperta l'organismo di quarantena *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, diabrotica del mais. Si tratta del maggiore fitofago del mais in quanto crea un danno pari a ca. 1,5 Miliardi di dollari a livello mondiale. In Svizzera è presente solo nel Canton Ticino, mentre al nord delle Alpi appaiono sporadicamente solo pochi coleotteri. Le osservazioni fatte durante 12 anni, mostrano che la popolazione in Ticino deriva da migrazioni annue dai fuochi principali della vicina Lombardia. Le correlazioni concernenti lo spazio e il tempo, relative alla distanza dalla frontiera dello stato non lasciano dubbi. La strategia di lotta scelta dalla Svizzera si basa sostanzialmente sull'imposizione di una rotazione colturale senza l'impiego di insetticidi come p.es nell'Unione Europea.

L'effetto della rotazione colturale sulla diabrotica è stata testata in una prova durata 5 anni. I risultati rivelano che essa evita la costituzione di popolazioni di diabrotica economicamente nocive per un tempo indeterminato.

## Summary

### Western corn rootworm control in Switzerland, yet a successful story

Since 2000 Switzerland belongs to the 22 European countries where the quarantine pest *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, Western corn rootworm, has been detected. It's reported to be the most important maize pest worldwide with an economical damage up to 1,5 Billion \$. In Switzerland, it's constantly present in the southern part of the Alps, while few beetles are sporadically found in the northern part. Observations during 12 years allowed to determine that the populations in the southern part of the Alps are generated by yearly migrations from the principal foci of neighbored Lombardy. The correlations referred to space and time versus the distance to the south border are hardly leaving doubts. Control measures enacted by Swiss authorities were principally based on a severe crop rotation without the use of chemicals as in the European Union.

The effect of crop rotation has been tested in a 5 year field trial. Results showed that no economic population has been built up during this period in the crop rotation treatment, confirming observations of the actual practice.

**Key words:** *Chrysomelidae*, Western corn rootworm, population dynamics, monitoring, crop rotation, maize.

## Bibliographie

- Ball H. J., 1957. On the biology and egg-laying habits of the western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology* **50**, 126–128.
- Bertossa M., 2009. Chrysomèle des racines du maïs: un ravageur sous contrôle en Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* **41**, 190–190.
- Breitenbach S., Heimbach U. & Lauer K. F., 2005. Field tests on the host range of the larvae of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte 1868, Chrysomelidae, Coleoptera). *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **57**, 241–244.
- Chiang H. C. & Flaskerd R. G., 1969. Northern and western corn rootworms in Minnesota. *Journal of the Minnesota Academy of Science* **36**, 48–51.
- Ciosi M., Miller N. J., Kim K. S., Giordano R., Estoup A. & Guillemaud T., 2008. Invasion of Europe by the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*: multiple transatlantic introductions with various reductions of genetic diversity. *Molecular Ecology* **17**, 3614–3627. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2008.03866.x.
- Derron J. O., Bertossa M., Brunetti R. & Colombi L., 2005. Phénologie du vol de la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera virgifera*) dans le sud des Alpes suisses. *Revue suisse d'Agriculture* **37**, 61–64.
- Gassmann A. J., Petzold-Maxwell J. L., Keweshan R. S. & Dunbar M. W., 2011. Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *Plos One* **6**. DOI: 10.1371/journal.pone.0022629.
- Gray M. E., Levine E. & Oloumi-Sadeghi H., 1998. Adaptation to crop rotation: Western and northern corn rootworms respond uniquely to a cultural practice. *Recent Research Developments in Entomology* **2**, 19–31.
- Krysan J. L., Miller T. A. & Andersen J. F., 1986. Methods for the study of pest Diabrotica. Springer-Verlag, New York.
- Levine E. & Oloumi-Sadeghi H., 1991. Management of diabrotic rootworms in corn. *Annual Review of Entomology* **36**, 229–255.
- Meinke L. J., Sappington T. W., Onstad D. W., Guillemaud T., Miller N. J., Judith K., Nora L., Furlan L., Jozsef K. & Ferenc T., 2009. Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) population dynamics. *Agricultural and Forest Entomology* **11**, 29–46. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2008.00419.x.
- Sappington T. W., Siegfried B. D. & Guillemaud T., 2006. Coordinated Diabrotica genetics research: Accelerating progress on an urgent insect pest problem. *American Entomologist* **52**, 90–97.
- Spencer J. L., Hibbard B. E., Moeser J. & Onstad D. W., 2009. Behaviour and ecology of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). *Agricultural and Forest Entomology* **11**, 9–27. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2008.00399.x.
- Szalai M., Komaromi J. P., Bazok R., Barcic J. I., Kiss J. & Toepfer S., 2011. Generational growth rate estimates of *Diabrotica virgifera virgifera* populations (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Pest Science* **84**, 133–142. DOI: 10.1007/s10340-010-0336-z.
- Toepfer S. & Kuhlmann U., 2005. Natural mortality factors acting on western corn rootworm populations: a comparison between the United States and Central Europe. Western corn rootworm. CABI Publishing, Wallingford. 95–119, ISBN 0-85199-817-8.