

vision CULTURES



Gestion de la chrysomèle des racines du maïs à l'aide de l'ARNi

Mark Jeschke, Ph. D., responsable agronomique¹

RÉSUMÉ

- La technologie de l'interférence ARN (ARNi) offre un nouveau mode d'action en protection contre la chrysomèle des racines du maïs (CRM).
- Comme mécanisme cellulaire, l'ARNi régule l'expression des gènes en réduisant ou en « réduisant au silence » l'activité de gènes spécifiques.
- La technologie ARNi protège de la CRM en réduisant au silence le gène Snf7. Ce gène du génome de la CRM code une protéine nécessaire à sa survie.
- Le maïs VorceedTM Enlist[®] contient trois modes d'action pour la protection contre la CRM : deux caractères Bt (Cry3Bb1 et Cry34/35Ab1) et l'ARNi (DvSnf7).
- Des essais en champ ont montré que l'ajout d'ARNdb DvSnf7 à des hybrides de maïs présentant les caractères Cry3Bb1 et Cry34/35Ab1 Bt réduisait de manière significative les dommages aux racines et l'arrivée d'adultes dans un champ soumis à une forte pression de CRM.

GESTION DE LA CHRYSOMÈLE DES RACINES DU MAÏS

La CRM est depuis longtemps l'un des insectes ravageurs du maïs les plus nuisibles en Amérique du Nord. Quatre espèces de chrysomèles affectent le maïs : la chrysomèle occidentale (*Diabrotica virgifera virgifera*), la chrysomèle septentrionale (*D. barberi*), la chrysomèle mexicaine (*D. virgifera zea*) et la chrysomèle méridionale (*D. undecimpunctata howardi*). Parmi ces quatre espèces, la chrysomèle occidentale (ouest) et la chrysomèle septentrionale (nord) du maïs sont les plus importantes sur le plan économique et les plus difficiles à supprimer.

Les chrysomèles des racines du maïs de l'ouest et du nord se sont toujours adaptées aux pratiques de suppression et les ont surmontées, d'où la complexité et la difficulté d'une lutte efficace contre ces ravageurs.

Rotation des cultures : Historiquement, la rotation des cultures était une stratégie de gestion efficace et largement utilisée. Elle reste un élément très important d'une stratégie de gestion intégrée. Cependant, les populations de CRM (ouest et nord) ont acquis la capacité de survivre dans des rotations de deux ans entre le maïs et le soya.

Insecticides : La résistance à plusieurs classes d'insecticides a été documentée dans les populations de CRM (ouest), tant aux applications dans le sol (contre les larves) qu'aux applications

foliaires (contre les adultes).



Caractères Bt : Les hybrides de maïs Bt conçus pour exprimer des gènes provenant de la bactérie commune du sol *Bacillus thuringiensis* ont constitué un outil de gestion important de la gestion de la CRM au cours des 20 dernières années. Cependant, la résistance de la CRM (ouest) évoluant sur le terrain a été documentée pour les quatre caractères Bt de protection contre la CRM présentement sur le marché (tableau 1).

La résistance croisée entre les protéines Cry3 (Cry3Bb1, mCry3A et eCry3.1Ab) a été démontrée. Cela signifie que les quatre caractères Bt courants n'offrent que deux modes d'action efficaces contre la CRM (Jakka et coll., 2016).

Tableau 1. Technologies Bt couramment sur le marché contre la CRM et année où la résistance de la CRM évoluant sur le terrain a été documentée pour la première fois.

Protéine Bt	Nom commercial d'origine	Premier cas de résistance constaté sur le terrain
Cry3Bb1	YieldGard [®] Rootworm	2011 ^a
Cry34/35Ab1	Herculex [®] RW	2013 ^b
mCry3A	Agrisure [®] RW	2014 ^c
eCry3.1Ab	Agrisure Duracade [®]	2016 ^d

a Gassmann et coll., 2011; b Gassmann et coll. 2016; c Gassmann et coll. 2014; d Zukoff et coll., 2016

UN NOUVEL OUTIL DE GESTION DE LA CHRYSOMÈLE DES RACINES

Le pouvoir destructeur de la CRM (ouest) et sa capacité continue à surmonter les tactiques de gestion ont créé un besoin urgent d'autres outils de gestion. La technologie ARNi (acide ribonucléique interférent) a été commercialisée pour fournir un mode d'action unique supplémentaire de protection contre la CRM. Le premier produit de maïs transgénique avec un protecteur incorporé au plant, à base d'ARNi, pour la gestion de la CRM a été homologué aux É.-U. par l'Agence de protection de l'environnement (EPA) en 2017. Ce produit comprend deux caractères Bt (Cry3Bb1 et Cry 34/35Ab1) ainsi que l'ARNi. Il offre au total trois modes d'action efficaces contre la CRM. Corteva Agriscience offre cette combinaison de trois modes d'action dans ses semences de maïs sous le nom de maïs Vorceed™ Enlist®.

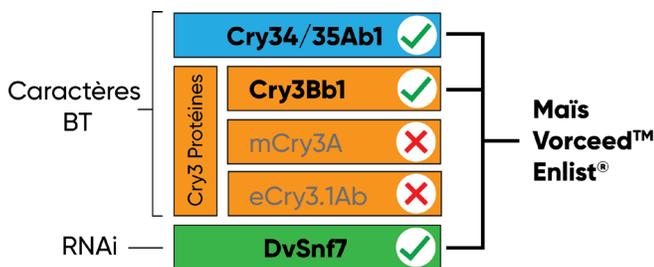


Figure 1. Le maïs Vorceed Enlist contient trois modes d'action de protection contre la CRM : deux caractères Bt (Cry3Bb1 et Cry34/35Ab1) et l'ARNi (DvSnf7).

ARN INTERFÉRENT (ARNi)

Qu'est-ce que l'ARNi?

Comme mécanisme cellulaire, l'acide ribonucléique interférent (ARNi) régule l'expression des gènes en réduisant ou en « neutralisant » l'activité de gènes spécifiques. Pour ce faire, il utilise de petites molécules d'ARN appelées ARNiC (interférent court) pour cibler et dégrader les molécules d'ARN messager (ARNm) qui codent pour le gène en question. Le mécanisme de l'ARNi est présent dans de nombreux organismes, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons ou de bactéries.

On pense que l'ARNi a évolué comme un mécanisme de défense contre les éléments génétiques envahissants tels que les virus à ARN et les éléments transposables (séquences d'ADN mobiles qui peuvent se répliquer et s'insérer à différents endroits du génome de l'hôte, également connus sous le nom de « gènes sauteurs »). Le mécanisme de silençage des gènes par l'ARNi a été découvert pour la première fois chez le ver rond *Caenorhabditis elegans* en 1998 (Fire et coll., 1998), une découverte qui a été récompensée par le prix Nobel en 2006.

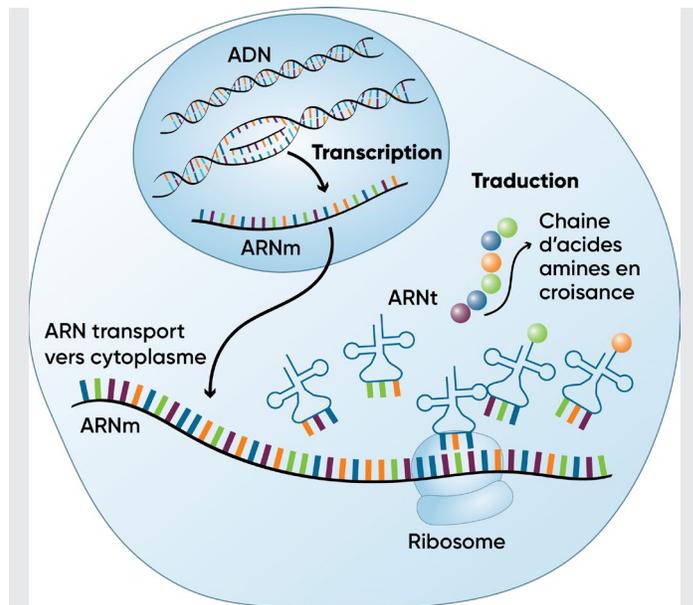
L'utilité potentielle de l'ARNi en tant que mécanisme de protection du maïs contre la CRM a été démontrée pour la première fois en 2007 (Baum et coll., 2007).

Comment fonctionne l'ARNi?

Le processus d'interférence ARN commence par la production de molécules d'ARN double brin (ARNdb) qui correspondent à la séquence du gène cible (figure 2). Ces molécules d'ARNdb sont reconnues par une enzyme qui les coupe en petits morceaux (ARNpm). Les ARNpm sont ensuite chargés sur un

complexe protéique appelé complexe de silençage induit par l'ARN (RISC).

Une fois que le RISC est chargé avec les ARNpm, il peut rechercher dans la cellule les ARNm qui ont une séquence complémentaire à celle des ARNpm. Lorsque le complexe RISC trouve une molécule ARNm ARNm d'ARNm qui correspond à l'ARNpm, il coupe l'ARNm, ce qui entraîne sa dégradation. Cela empêche l'ARNm d'être transcrit en protéine, ce qui réduit le gène au silence.



Deux processus principaux interviennent dans la production de protéines à partir de l'information génétique codée dans l'ADN : la transcription et la traduction.

La transcription est le processus par lequel l'information génétique stockée dans l'ADN est utilisée pour produire une molécule complémentaire d'ARN messager (ARNm). Elle se produit dans le noyau des cellules eucaryotes.

La traduction est le processus par lequel l'information génétique portée par l'ARNm est décodée pour produire une séquence spécifique d'acides aminés, qui forment une protéine. Elle a lieu dans le cytoplasme de toutes les cellules.

L'ARNi est une forme de **silencieux génique post-transcriptionnel (PTGS)**. Ce « silencieux » se réfère à la régulation de l'expression génétique qui se produit après la transcription et qui implique la dégradation ou l'inhibition de l'ARNm.

SUPPRESSION DE LA CRM À PARTIR DE L'ARNi

La technologie ARNi dans le maïs Vorceed™ Enlist® protège de la CRM en réduisant au silence le gène Snf7. Ce gène du génome de la CRM code pour une protéine nécessaire à sa survie. Snf7 est l'un de plusieurs gènes cibles de l'ARNi qui a été évalué pour lutter contre la CRM. Le gène cible idéal de l'ARNi est celui qui joue un rôle critique dans le processus physiologique de l'insecte ravageur. Ainsi, sa neutralisation entraîne la mort de l'insecte. C'est aussi un processus par lequel l'ARNdb exprimé par la culture n'affecte pas les organismes non ciblés.

Une fois ingéré, l'ARNdb déclenche le processus ARNi dans les cellules de la chrysomèle.

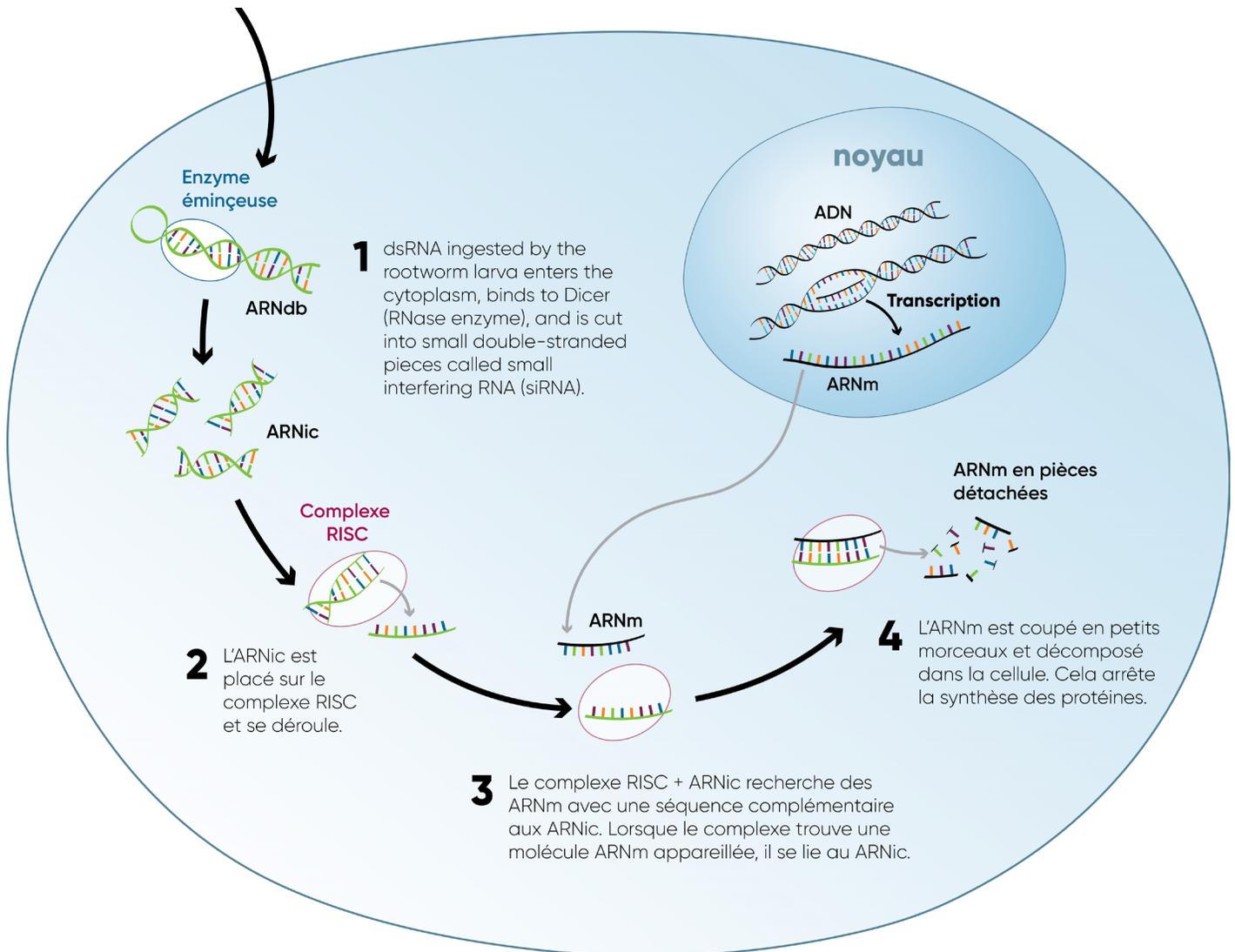


Figure 2. Diagramme montrant les étapes clés de la voie de l'ARNi dans une cellule de chrysomèle. L'ARNdb produit par le plant de maïs et ingéré par la CRM amorce le processus de l'ARNi dans les cellules de la chrysomèle, bloquant la production d'une protéine clé essentielle à sa survie.

La réduction au silence des gènes, par la voie de l'ARNi, comporte trois étapes : l'absorption de l'ARNdb, l'extinction des gènes et la propagation systémique.

L'adoption : Un gène inséré dans le génome du maïs code pour un homologue Snf7 de la CRM (DvSnf7). Lorsque cet ADN est transcrit dans le plant de maïs, l'ARN qui en résulte se replie sur lui-même pour former l'ARNdb. L'ARNdb DvSnf7 est ingéré par les larves de la CRM lorsqu'elles se nourrissent des racines du maïs.

Silencage des gènes : L'ARNdb est sectionné en ARNpm. Ceux-ci sont ensuite chargés dans le RISC. Le RISC cible ensuite les molécules d'ARNm Snf7 auxquelles il se lie et les coupe. Cela a pour effet de réduire le gène au silence en empêchant l'ARNm d'être traduit en protéine. La CRM a besoin de cette protéine pour survivre. Privées d'elle, les

larves meurent.

Propagation systémique : À la suite de l'ingestion par une CRM, l'ARNdb sort de son intestin. Il se propage de manière systémique dans tout le corps. Cette propagation systémique est cruciale pour atteindre un niveau d'inhibition génétique suffisant pour tuer la larve.

EFFICACITÉ DE LA SUPPRESSION DE LA CRM

La technologie ARNi du maïs Vorceed™ Enlist® fonctionne contre les quatre espèces de CRM en Amérique du Nord (Ouest, Nord, Sud et du Mexique). Comme pour les protéines Bt, les modes d'action basés sur l'ARNi exigent que les larves de la CRM mangent et ingèrent des tissus racinaires afin d'être exposées à l'ARNdb insecticide.

L'ARNi peut entraîner une mortalité des insectes comparable à celle d'une protéine Bt. Cependant, le mode d'action basé sur l'ARNi est généralement plus lent à tuer les larves de la CRM que les protéines Bt. Cela s'explique par le processus à plusieurs étapes (absorption de l'ARNi, suppression du gène et propagation systémique). S'il était utilisé seul et non combiné à des caractères Bt, l'ARNi réduirait de manière significative la population émergente de chrysomèles adultes. Toutefois, il ne fournirait pas une protection adéquate des racines en raison du délai plus long avant la mortalité. Pour cette raison, ainsi que pour la nécessité de promouvoir la durabilité des caractères, le DvSnf7 n'est pas commercialisé en tant que produit à caractère unique. Il n'est disponible qu'en combinaison avec au moins un caractère Bt.

Des essais en champ ont montré que l'ajout d'ARNdb DvSnf7 à des hybrides de maïs dotés des caractères Bt Cry3Bb1 et Cry34/35Ab1 réduit de manière significative les dommages causés aux racines dans les champs présentant de fortes densités de CRM par rapport au maïs doté uniquement des caractères Bt (Head et coll., 2017). L'ajout d'ARNdb DvSnf7 aux hybrides Bt a également permis de réduire l'apparition des CRM adultes. L'ARNdb DvSnf7 s'exprime dans l'ensemble du plant de maïs. Cela inclut les tissus végétaux dont se nourrissent généralement les CRM adultes. Cependant, les concentrations ne sont pas suffisamment élevées pour entraîner leur mort.

RÉFÉRENCES

Baum, J.A., T. Bogaert, W. Clinton, G.R. Heck, P. Feldmann, O. Ilagan,

S. Johnson, G. Plaetinck, T. Munyikwa, M. Pleau, et al. 2007. Control of coleopteran insect pests through RNA interference. *Nat. Biotechnol.* 25:1322-1326.

Darlington, M., J.D. Reinders, A. Sethi, A.L. Lu, P. Ramaseshadri, J.R. Fischer, C.J. Boeckman, J.S. Petrick, J.M. Roper, K.E. Narva, et al. 2022. RNAi for Western Corn Rootworm Management: Lessons Learned, Challenges, and Future Directions. *Insectes* 13:57.

Fire, A., S. Xu, M.K. Montgomery, S.A. Kostas, S.E. Driver, and C.C. Mello. 1998. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. *Nature* 391, 806-811.

Gassmann, A.J., J.L. Petzold-Maxwell, R.S. Keweshan, et M.W. Dunbar. 2011. Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm. *PLOS ONE* 6(7): e22629.

Gassmann, A.J., J.L. Petzold-Maxwell, E.H. Clifton, M.W. Dunbar, A.M. Hoffmann, D.A. Ingber, and R.S. Keweshan. 2014. Field-evolved resistance by western corn rootworm to multiple *Bacillus thuringiensis* toxins in transgenic maize. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 111(14) 5141-5146.

Gassmann A.J., J.L. Shrestha, S.R.K. Jakka, M.W. Dunbar, E.H. Clifton, A.R. Paolino, D.A. Ingber, B.W. French, K.E. Masloski, J.W. Dounda, and C.R. St. Clair. 2016. Evidence of

resistance to Cry34/35Ab1 corn by western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae): root injury in the field and larval survival in plant-based bioassays. *J Econ Entomol* 109: 1872-1880 (2016).

Head, G.P., M.W. Carroll, S.P. Evans, D.M. Rule, A.R. Willse, T.L. Clark, N.P. Storer, R.D. Flannagan, L.W. Samuel, and L.J. Meinke. 2017. Evaluation of SmartStax and SmartStaxPRO maize against western corn rootworm and northern corn rootworm: Efficacy and resistance management. *Pest Manag. Sci.* 73:1883-1899.

Jakka, S.R.K., R.B. Shrestha, et A.J. Gassmann. 2016. Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins by western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) *Sci Rep* 6, 27860.

Zukoff, S.N., K.R. Ostlie, B. Potter, L.N. Meihls, A.L. Zukoff, L. French. M.R. Ellersieck, B.W. French, and B.E. Hibbard. 2016. Multiple assays indicate varying levels of cross resistance in Cry3Bb1-selected field populations of the western corn rootworm to mCry3A, eCry3.1Ab, and Cry34/35Ab1. *J Econ Entomol* 109: 1387-1398.



Liberty®, LibertyLink® et le design de la goutte d'eau sont des marques déposées de BASF. Agrisure® est une marque déposée d'une compagnie du groupe Syngenta. Le produit est utilisé sous autorisation.

Ce qui précède est fourni à titre d'information uniquement. Veuillez contacter votre représentant Pioneer pour obtenir des informations et des suggestions spécifiques à votre exploitation. La performance d'un produit varie et dépend de plusieurs facteurs comme l'humidité et le stress, le type de sol, les pratiques de régie, le stress environnemental, les pressions (insectes et maladies). Les résultats individuels peuvent varier. CI230503

Mai 2023