

Résistances aux herbicides les estivales en force !

Des résistances aux inhibiteurs de l'ALS ont été identifiées sur panic pied-de-coq, sétaire verte, digitale sanguine et ambrosie à feuilles d'armoise.

CHRISTOPHE DÉLYE*, LUCIE MEYER*, ROMAIN CAUSSE*, FANNY PERNIN*, SÉVERINE MICHEL* ET BRUNO CHAUVEL* **



Photo : Terrana

Les inhibiteurs de l'ALS sont actuellement les herbicides les plus utilisés en grandes cultures. Revers de la médaille : ils sont à l'origine de la plupart des nouveaux cas de résistance en France. Jusqu'ici quasiment tous concernaient des adventices des cultures d'hiver. Mais quatre nouvelles espèces viennent allonger la liste, et ce sont des espèces estivales. Il s'agit du trio infernal « PSD » des graminées associées au maïs : panic pied-de-coq, sétaire verte et digitale sanguine, et d'une dicotylédone, mais non des moindres : l'ambrosie à feuilles d'armoise.

Échec de désherbage sur digitale sanguine. Il s'agit d'une des deux parcelles de maïs où ont été prélevées les populations de digitale dont l'analyse est rapportée ici.

RÉSUMÉ

CONTEXTE - Des cas de moindre efficacité de désherbage à base d'herbicides inhibiteurs de l'ALS ont été signalés en cultures de printemps. Des tests ont été réalisés pour savoir s'il s'agit de résistances et, si oui, dues à quel mécanisme.

PSD SUR MAÏS - Cinq populations de graminées estivales (deux de panic pied-de-coq, une de sétaire verte, deux de digitale sanguine) ont été prélevées dans des parcelles de maïs où le désherbage n'avait pas donné satisfaction. Des plantes résistantes ont été identifiées dans toutes ces populations. Le mécanisme a été identifié. Il s'agit dans tous les cas de RNLC, résistance non liée à la cible.

AMBROISIE - Une dizaine de populations d'ambrosie à feuilles d'armoise provenant de tournesol ou de soja ont été analysées. L'une d'elle, provenant de soja, contient des plantes résistantes aux inhibiteurs de l'ALS. Le mécanisme est là encore de la RNLC. Les implications pratiques sont soulignées.

MOTS-CLÉS - Maïs, tournesol, soja, adventices, désherbage, herbicides inhibiteurs de l'ALS, résistance, RNLC résistance non liée à la cible, panic pied-de-coq *Echinochloa crus-galli*, sétaire verte *Setaria viridis*, digitale sanguine *Digitaria sanguinalis*, ambrosie à feuilles d'armoise *Ambrosia artemisiifolia*.

Désherbage « tout ALS » ? Danger !

Pourquoi la tentation

En France, les herbicides inhibiteurs de l'ALS (groupe HRAC B) comprennent quatre familles chimiques : sulfonyles (Atlantis/Archipel, Allié SX, Express SX, Katana, Milagro, Peak...), imidazolinones (Pulsar 40), triazolopyrimidines (Abak, Primus...) et sulfonyleaminotriazolones (Attribut, Adengo...).

L'emploi d'inhibiteurs de l'ALS est désormais possible sur quasiment toutes les cultures de la rotation. Vu leur efficacité à faible dose et, souvent, leur large spectre, la tentation est grande d'aller vers un désherbage « tout ALS » sur l'ensemble de la rotation.

Pourquoi le danger

Est-ce une bonne idée ? Certainement pas ! Appliquer toujours le même mode d'action est la voie la plus directe et la plus courte vers la sélection de résistances (Duroueix *et al.*, 2010, Délye 2013).

L'identification de résistances aux inhibiteurs de l'ALS chez quatre nouvelles espèces adventices le démontre une nouvelle fois.

En maïs, résultat du match PSD-ALS : 5-0

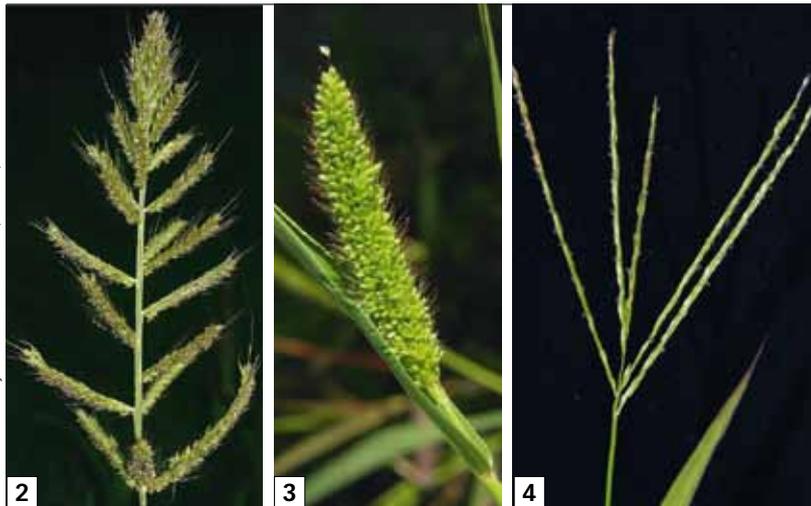
Prélèvement dans cinq parcelles

En France, le maïs a longtemps été une culture dans laquelle la résistance ne posait pas de problème (hormis le cas des résistances aux triazines, désormais interdites). Ceci est notamment dû à l'emploi d'une gamme diversifiée de modes d'actions (Délors & Gasquez, 2014). Mais la tentation du « tout ALS » n'est pas absente dans cette culture.

Dans des parcelles de maïs où l'application d'inhibiteurs de l'ALS n'avait pas donné un contrôle satisfaisant (ex. : photo 1), des semences de panic pied-de-coq (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. ; deux parcelles), sétaire verte (*Setaria viridis* L. ; une parcelle) et digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. deux parcelles) (photos 2, 3 et 4, page suivante) ont été collectées fin 2014.

Tests en serre sur plantules

Après germination, des plantes de chacune des trois espèces ainsi que des plantes d'une population de référence de digitale sanguine (100% de plantes sensibles) ont été repiquées (25 plantes par barquette) et cultivées en serre. Elles ont été traitées au stade



Photos : W. Obermayer - université de Graz (Autriche)

PSD, le trio infernal des « graminées estivales » adventives du maïs. De gauche à droite : inflorescences de panic pied-de-coq (*Echinochloa crus-galli*), de séttaire verte (*Setaria viridis*) et de digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*).

2-3 feuilles. L'herbicide utilisé (*Pampa*, nicosulfuron à 40 g/l) a été appliqué à 1/4, 1/2, 1, 2 et 4 fois la dose recommandée (dose 1 = 1,5 l/ha) sur 75 plantes par dose pour chacune des origines. La notation a eu lieu quatre semaines après l'application.

Résultat : des plantes résistantes dans les cinq populations des trois espèces

Les résultats sont sans appel (Figure 1). Dans toutes les populations des trois espèces, des plantes ont survécu à la dose recommandée de nicosulfuron (30% à 100% des plantes selon la population).

Dans une population de panic et une de digitale, environ 10% des plantes ont survécu à deux fois la dose recommandée (Figure 1). De plus, 25% des plantes ont survécu dans la seconde population de digitale, non visible Figure 1.

Enfin, 100% des plantes de séttaire et environ 10% des plantes de la population de digitale non illustrée sur la Figure 1 ont survécu à quatre fois la dose recommandée de nicosulfuron.

Les doses les plus fortes de l'herbicide affectent la croissance des plantes ayant survécu (Figure 1), mais ces plantes ont produit des semences viables.

La population de séttaire et celle de digitale visibles Figure 1 ont également été testées avec du foramsul-

uron (dose recommandée : 60 g/ha). Les résultats sont équivalents à ceux observés pour le nicosulfuron (non illustré).

Mécanisme : pas de résistance de cible

Dans chacune des cinq populations, dix à quinze plantes ont été choisies parmi celles ayant survécu aux plus hautes doses de nicosulfuron pour lesquelles des survivants ont été observés. Une partie du gène de l'ALS contenant toutes les positions connues où des mutations en cause dans la résistance aux inhibiteurs de l'ALS peuvent se trouver a été séquencée chez chacune de ces plantes.

Aucune mutation en cause dans la résistance n'a été identifiée dans ces plantes : celles-ci, y compris celles survivant à deux ou quatre fois la dose recommandée, seraient donc résistantes par résistance non liée à la cible.

Après les graminées hivernales, les estivales résistent aux inhibiteurs de l'ALS par RNLC !

La résistance à des inhibiteurs de l'ALS est donc désormais avérée en France pour le panic pied-de-coq, la séttaire verte et la digitale sanguine en maïs.

La résistance aux inhibiteurs de l'ALS est désormais bien connue et répandue chez les graminées adventives des cultures d'hiver comme le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides* Huds.) ou l'ivraie (*Lolium* sp.) (Délye 2013). Chez les graminées adventives des cultures estivales, c'est une nouveauté.

Pour le panic pied-de-coq, la présence en France d'une résistance aux inhibiteurs de l'ALS n'est pas une réelle découverte car cette résistance avait déjà été observée dans le riz (Délye *et al.*, 2014).

Pour la digitale sanguine et la séttaire verte, notre travail est la première démonstration « officielle » de la présence de résistance aux inhibiteurs de l'ALS en France. Cependant, des cas similaires avaient été signalés auparavant dans d'autres pays pour ces deux espèces (Heap, 2015).

Dans les cinq populations décrites ici, la résistance serait due à des mécanismes de résistance non liée à la cible (RNLC). La RNLC est le type de résistance le plus fréquent chez les graminées hivernales (vulpin, ivraies) (Délye 2013). Elle a la particularité de pouvoir concerner des herbicides à modes d'action différents (Délye 2013). Son identification chez des graminées estivales n'est donc pas une bonne nouvelle pour le contrôle chimique de ces espèces.

Une vedette américaine : l'ambrosie à feuilles d'armoise

Les inhibiteurs de l'ALS, pivot du désherbage chimique de l'ambrosie

L'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L.) (photos 5 et 6) est une espèce adventive un peu particulière (www.ambrosie.info). Elle est d'abord une espèce envahissante originaire d'Amérique du Nord. Elle est aussi un problème de santé publique vu son pollen puissamment allergène (Déchamp *et al.*, 2001). Enfin, elle très bien adaptée aux conditions de développement des cultures d'été, en particulier celles peu couvrantes ou peu compétitrices comme le tournesol (photo 7), le maïs ou le soja.

Sur tournesol, les inhibiteurs de l'ALS sont la solution chimique la plus efficace à ce jour contre l'ambrosie

Fig. 1 : Test de sensibilité au nicosulfuron sur deux populations de panic (ECHCG), une de séttaire (SETVI) et une de digitale (DIGSA) un mois après traitement

La 2^e population de digitale n'est pas illustrée. REF = population de digitale de référence (100% de plantes sensibles à la dose recommandée [1]).

NT = témoin non traité.

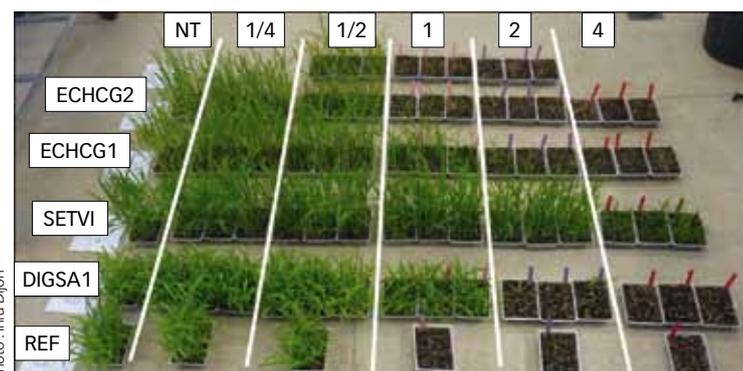


Photo : Inra Dijon

Ambroisie à feuilles d'armoise

(*Ambrosia artemisiifolia*).

5. Inflorescence.

6. Jeune plante.

7. Infestation d'ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*) dans une culture de tournesol n'ayant pas reçu d'inhibiteurs de l'ALS (automne 2015).



Photos 6-7 : W. Obermayer - université de Graz (Autriche), Observatoire des ambrosioles - Inra. Photo 8 : C. Délye - Inra Dijon

(Duroeux *et al.*, 2010) : cette efficacité est l'une des raisons majeures de l'adoption des variétés tolérantes à ces herbicides (Clearfield, tolérante à l'imazamox [Pulsar 40], et Express Sun, tolérante au tribénuron [Express SX]) (Duroeux *et al.*, 2010).

Le contrôle de l'ambroisie est aussi l'une des raisons du succès d'un inhibiteur de l'ALS (l'imazamox [Pulsar 40]) pour le désherbage du soja.

Récolte d'ambroisie dans du tournesol et du soja

Des semences d'ambroisie ont été récoltées dans une dizaine de parcelles de tournesol ou soja choisies pour leur historique d'applications d'inhibiteurs de l'ALS. Après germination des semences, les plantules ont été repiquées (vingt plantes par barquette) et cultivées en serre, puis traitées au stade 4 vraies feuilles.

Les herbicides utilisés ont été le Pulsar 40 (imazamox à 40 g/l), appliqué à 1/4 et une fois la dose recommandée (1,25 l/ha) en non fractionné avec un adjuvant (Dash HC à 1,25 l/ha), et l'Express SX (tribénuron à 50%) appliqué à 1/5 et une fois la dose recommandée en non fractionné (60 g/ha) avec un adjuvant (Trend 90 à 0,25 l/ha). Chaque herbicide a été appliqué sur 40 plantes par dose pour chaque population étudiée. La notation a eu lieu quatre semaines après.

Résultat : l'ambroisie fait de la résistance...

Dans une des populations (population « 408 » prélevée sur soja), 16 % des plantes ont survécu à la dose recommandée d'imazamox (Figure 2), et 5 % ont survécu à la dose recommandée de tribénuron (non illustré). En outre, la dose d'application la plus basse (1/4 de la dose recommandée) a eu un effet nettement atténué sur toutes les plantes de cette population par rapport à celles de la population de référence (Figure 2).

L'expérimentation a été répétée et a donné des résultats identiques.

La population « 408 » contient donc clairement des plantes résistantes à l'imazamox et/ou au tribénuron.

...« non liée à la cible » !

L'analyse du gène de l'ALS de ces plantes n'a pas permis d'identifier de mutations pouvant expliquer la résistance observée. C'est donc une résistance non liée à la cible (RNLC) aux inhibiteurs de l'ALS qui aurait été sélectionnée dans la population « 408 ». Ce n'est pas une bonne nouvelle pour la parcelle

Fig. 2 : Test de sensibilité à l'imazamox sur une population d'ambroisie provenant d'une parcelle de soja (population « 408 ») un mois après traitement

REF = population d'ambroisie de référence (100% de plantes sensibles à la dose recommandée). Les doses appliquées (indiquées en haut de la photo) sont de 1/4 et une fois la dose recommandée d'imazamox (50 g/ha d'imazamox). NT = témoin non traité. À la dose recommandée d'imazamox (1), toutes les plantes de la population de référence sont contrôlées (le bourgeon terminal est détruit et les plantes sont en cours de dépérissement).

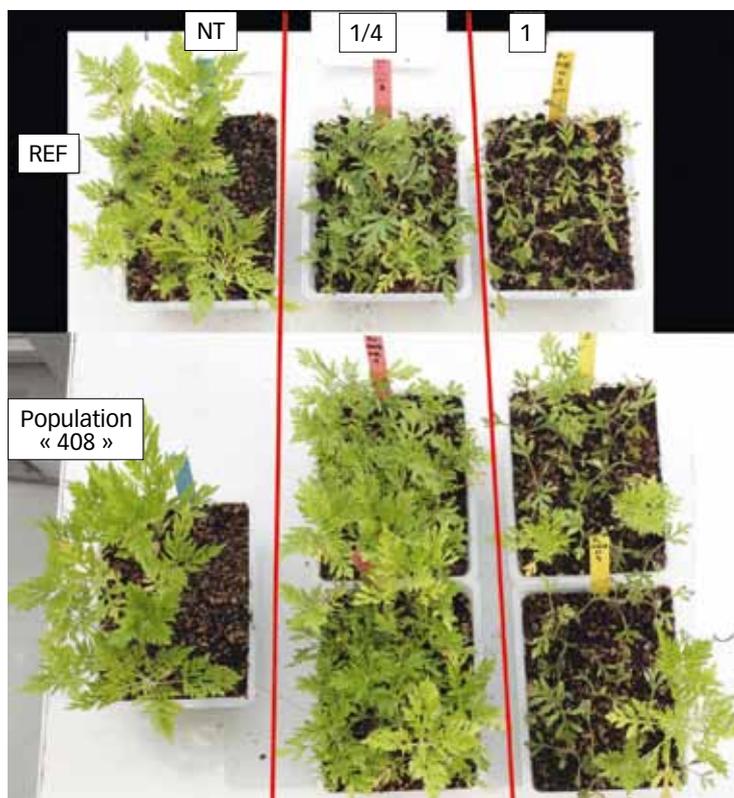


Photo : Inra Dijon

concernée : la RNLC est le type de résistance le plus dangereux agronomiquement car pouvant concerner des herbicides à modes d'action différents (Délye 2013). Jusqu'ici, ce type de résistance avait surtout été identifié chez les graminées. Il semble que les dicotylédones soient elles aussi concernées.

Le manque de diversité des pratiques de désherbage a encore frappé !

Il est, une fois de plus, à l'origine de nouveaux cas de résistance

Le plus souvent, les premiers cas de résistance identifiés dans une espèce d'adventice proviennent de parcelles où les rotations culturales et les pratiques de désherbage sont peu ou pas diversifiées. Ceci vaut pour la stellaire intermédiaire (*Stellaria media* L.) en grandes cultures (Délye *et al.*, 2012), les panics en riziculture (Délye *et al.*, 2014) et le séneçon commun (*Senecio vulgaris* L.) en vigne et grandes cultures (Délye *et al.*, 2015). Les populations des quatre espèces d'adventices chez lesquelles nous venons de mettre en évidence une résistance provenaient également de parcelles avec ce type de conduite.

Les populations de panic pied-de-coq, sétaire verte et digitale sanguine contenant des plantes résistantes au nicosulfuron et/ou au foramsulfuron ont été collectées sur des parcelles conduites en quasi-monoculture ou monoculture de maïs, et désherbées essentiellement à l'aide d'herbicides inhibiteurs de l'ALS.

De même, la population « 408 » d'ambroisie à feuilles d'armoise contenant des plantes résistantes à l'imazamox et/ou au tribénuron provient d'une parcelle conduite en monoculture de soja et désherbée uniquement à l'aide d'inhibiteurs de l'ALS sans interruption pendant au moins les quatre dernières campagnes.

Ces pratiques extrêmes sont un cas d'école de ce qu'il ne faut surtout pas faire si l'on veut préserver l'efficacité des herbicides (Délye 2013).

Les herbicides sont désormais une ressource limitée et il faut donc préserver leur efficacité le plus longtemps possible. En effet, la mise sur le marché d'herbicides à nouveaux modes d'action n'est pas prévue avant des années. Il est donc vital de « faire durer » les substances disponibles le plus longtemps possible.

Cela implique deux choses : diversifier les pratiques de désherbage (pratiques non chimiques en priorité, herbicides en dernier recours), et garder les infestations sous contrôle en étant le plus efficace possible

dans son désherbage (les parcelles contenant peu ou pas d'adventices sont les moins à risque en termes de résistance) (Délye 2013).

Quelles conséquences pratiques ?

Graminées du maïs : des solutions existent

Face aux graminées du maïs, la situation n'est pas désespérée. Des solutions alternatives aux inhibiteurs de l'ALS (groupe HRAC B) existent : désherbage mécanique, usage d'herbicides de pré-levée (qui ne sont pas du groupe HRAC B : une dizaine de substances à modes d'action différents [groupes HRAC E, F2, F3, K1, K2, K3] sont disponibles), gérer avec attention la période d'interculture et, surtout, diversifier la rotation en introduisant des cultures d'hiver où ces espèces ne sont pas présentes.

Ambroisie : tout se complique

Pour l'ambroisie, l'observation d'un premier cas de résistance aux inhibiteurs de l'ALS en France est un avertissement à prendre très au sérieux. En effet, en permettant un désherbage de post-levée efficace, les inhibiteurs de l'ALS sont aujourd'hui à la base du maintien de la culture du tournesol et du soja en systèmes conventionnels sur les zones à fortes

infestations d'ambroisie (Duroueix *et al.*, 2010). Les solutions chimiques alternatives dans ces cultures sont peu nombreuses et moins efficaces, avec une forte dépendance climatique. De plus, le stock semencier de l'ambroisie, très persistant, limite la possibilité d'obtenir une réduction rapide de la densité des populations. Enfin, l'aptitude de l'ambroisie à tolérer différents niveaux de stress et de perturbations restreint les possibilités de contrôle non chimique (Chauvel et Gard, 2010).

Pour toutes ces raisons, il est impératif de préserver l'efficacité des inhibiteurs de l'ALS contre l'ambroisie. Ceci implique de réduire le risque de sélection de résistances à ces herbicides.

Il faut raisonner le contrôle de l'ambroisie dans le soja et le tournesol dès la conception de la rotation en introduisant des cultures peu favorables à cette espèce (ex. : céréales d'hiver) et/ou permettant l'emploi de modes d'action autres que les inhibiteurs de l'ALS, et en privilégiant le désherbage mécanique des cultures de printemps.

La gestion de l'ambroisie sur les bords de parcelles et en interculture est elle aussi fondamentale.

Sur les parcelles infestées d'ambroisie, rappelons que le désherbage chimique du tournesol tolérant doit associer une application de pré-levée au traitement en post-levée. Cela diversifie les modes d'actions herbicides employés : groupes HRAC F1 et F3 en pré-levée, groupe HRAC B en post-levée.

Enfin, il faut accepter de ne plus implanter du tournesol ou du soja sur les parcelles où les stocks de semences d'ambroisie sont très importants.

Ces conseils semblent contraignants, et la réglementation de l'implantation de couverts d'interculture ne facilite pas leur mise en application, mais le maintien du tournesol et du soja et la réduction du risque allergénique en zone ambroisie sont à ce prix. □

Les dicotylédones aussi sont concernées par la RNLC, résistance non liée à la cible.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Observatoire des ambrosies, BASF France SAS pour avoir fourni les échantillons d'ambroisie, Belchim pour avoir fourni des échantillons de panic, sétaire et digitale, et toutes les personnes sur le terrain qui ont collecté et envoyé les échantillons.

POUR EN SAVOIR PLUS

AUTEURS : *C. DÉLYE, *L. MEYER, *R. CAUSSE, *F. PERNIN, *S. MICHEL, **B. CHAUVEL

*Inra, UMR1347 Agroécologie - 17, rue de Sully 21000 Dijon.

**Observatoire des ambrosies.

CONTACT : christophe.delye@dijon.inra.fr

LIENS UTILES : www.ambrosie.info
www.weedresearch.com/in.asp

BIBLIOGRAPHIE : - Chauvel B., Gard B., 2010, Gérer l'ambroisie à feuilles d'armoise, *Phytoma* n° 633, p. 12-16.

- Déchamp C., Calleja M., Deviller P., Harf R., Méon H., 2001, L'ambroisie dans le Rhône et la politique agricole commune. Le rôle des jachères européennes et des cultures de tournesol sur la pollution biologique aéroportée par le pollen d'ambroisie, *Phytoma* n° 538, p. 13-16.

- Délos M., Gasquez J., 2014, Désherbage du maïs :

différences entre la France et les États-Unis, *Phytoma* n° 677, p. 41-47.

- Délye C., 2013, Adventices, tour d'horizon des résistances, *Phytoma* n° 669, p. 24-29.

- Délye C., Causse R., 2012, Résistance aux inhibiteurs de l'ALS : gare aux dicots ! Après le coquelicot et les matricaires, la stellaire fait de la résistance. *Phytoma* n° 657, p. 40-42.

- Délye C., Causse R., Michel S., 2014, Résistance aux herbicides : panics dans le riz ! *Phytoma* n° 678, p. 39-41.

- Délye C., Causse R., Michel S., 2015, Le séneçon commun résiste aux inhibiteurs de l'ALS, *Phytoma* n° 681, p. 35-38.

- Duroueix F., Lecomte V., Leflon M., Lieven J., 2010, Tournesol et colza, rendre durables les nouvelles solutions de désherbage, *Phytoma* n° 639, p. 34-37.

- Heap I., 2015 - International survey of herbicide-resistant weeds, www.weedresearch.com/in.asp