



HAL
open science

Résistances aux herbicides : mécanismes, sélection et situation en France

Christophe C. Delye

► **To cite this version:**

Christophe C. Delye. Résistances aux herbicides : mécanismes, sélection et situation en France. Séance à l'Académie d'Agriculture de France (AAF), Gestion de la flore adventice en grande culture et résistance aux herbicides, Académie d'Agriculture de France (AAF). FRA., Mar 2015, Paris, France. hal-02738599

HAL Id: hal-02738599

<https://hal.inrae.fr/hal-02738599v1>

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Résistances aux herbicides: mécanismes, sélection et situation en France

Christophe Délye
delye@dijon.inra.fr

La résistance, c'est quoi?

Résistance = capacité **héritable** d'une mauvaise herbe à survivre à une application:

- du **bon** herbicide,
- à la **bonne** dose,
- dans de **bonnes** conditions,
- au **bon** stade

Et à produire une
descendance **viable**

Un échec de traitement n'est pas forcément dû à une résistance

Un cas de résistance doit être confirmé par un test approprié

Deux types de résistances aux herbicides

Résistance = **RLC** + **RNLC**

Résistance **L**iée à la **C**ible

*Modification de la cible
de l'herbicide*

« **Simple** »

Résistance **N**on **L**iée à la **C**ible

*Tout autre mécanisme
(ex: « détox »)*

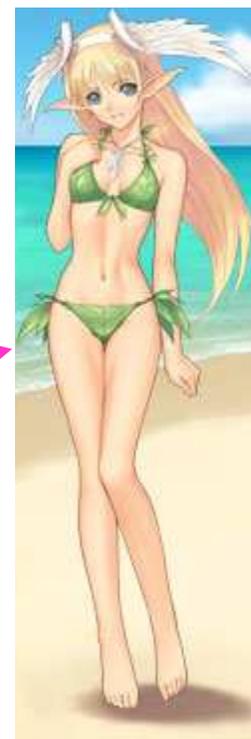
Compliqué

La **R**ésistance **L**iée à la **C**ible (**RLC**)

RLC – modification de l'inhibition du site d'action des herbicides (réduction de la fixation des herbicides)



Herbicide



Cible

RLC – modification de l'inhibition du site d'action des herbicides (réduction de la fixation des herbicides)



Herbicide



Cible mutée

Attention: la résistance dépend de l'herbicide et de la mutation

RLC – modification de l'inhibition du site d'action des herbicides (amplification de la cible)



Plus la cible est amplifiée, plus l'individu est résistant

Exemple: glyphosate

Particularités des mécanismes de résistance

Résistance Liée à la Cible « Simple »

Base: mutation(s) de la cible d'un herbicide

Niveau de résistance: variable selon la mutation et l'herbicide
(pas forcément élevé)

Résistance à un seul mode d'action
(pas forcément à toutes les substances)

Pour résoudre la RLC: changer de mode d'action

Tests disponibles:

- Biologiques
- « ADN »

La **R**ésistance **N**on **L**iée à la **C**ible (**RNLC**)

RNLC – dégradation exacerbée des herbicides (« détox »)



- Grande diversité des mécanismes de dégradation
- Appartient aux voies de réponse des adventices au stress herbicide
- Importance de la rapidité de mise en place

Particularités des mécanismes de résistance

Résistance Liée à la Cible « Simple »

Base: mutation(s) de la cible d'un herbicide

Niveau de résistance: variable selon la mutation et l'herbicide (pas forcément élevé)

Résistance à un seul mode d'action (pas forcément à toutes les substances)

Pour résoudre la RLC: changer de mode d'action

Tests disponibles:

- Biologiques
- « ADN »

Résistance Non Liée à la Cible TRÈS compliqué

Base: réponse au stress: nombreux mécanismes (neutralisent l'herbicide ou son action)

Niveau de résistance: variable selon le mécanisme et l'herbicide (peut être élevé)

Résistance possible à plusieurs modes d'actions

Pour résoudre la RNLC: changer de mode d'action pas forcément efficace

Tests disponibles:

- Biologiques essentiellement
- Biochimiques (« lourds »)

Particularités des mécanismes de résistance

Résistance Liée à la Cible « Simple »

Base: mutation(s) de la cible d'un herbicide

Niveau de résistance: variable selon la mutation et l'herbicide (pas forcément élevé)

Résistance à un seul mode d'action (pas forcément à toutes les substances)

Pour résoudre la RLC: changer de mode d'action

Tests

- Biologiques
- « ADN »

Résistance Non Liée à la Cible TRÈS compliqué

Base: réponse au stress: nombreux mécanismes (neutralisent l'herbicide ou son action)

Niveau de résistance: variable selon le mécanisme et l'herbicide (peut être élevé)

Résistance possible à plusieurs modes d'actions

Pour résoudre la RNLC: changer de mode d'action pas forcément efficace

Quel type de résistance a-t-on?

Quel type de résistance risque-t-on de sélectionner?

- Biologiques essentiellement
- Biochimiques (« lourds »)

La mécanique de la sélection des résistances

Des individus résistants sont **naturellement**
présents dans les parcelles
(en très faible fréquence)



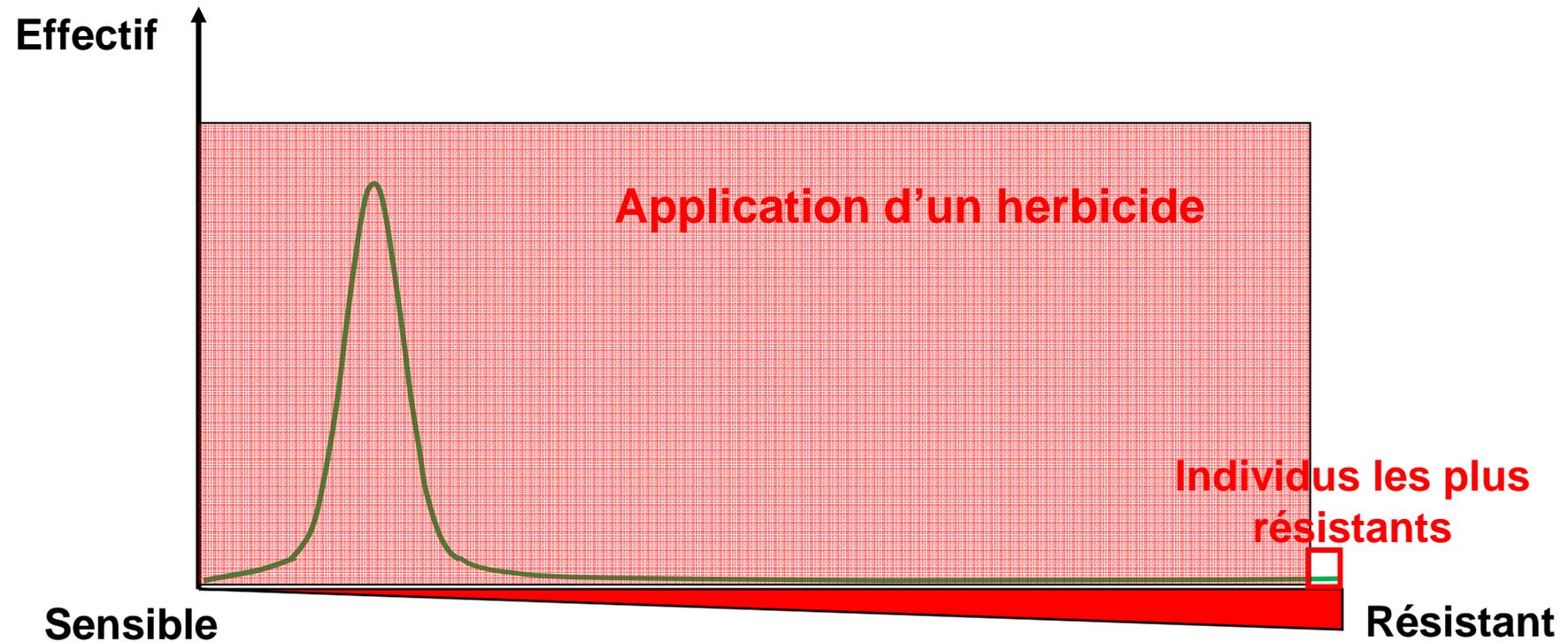
Vulpin résistant aux inhibiteurs de l'ACCase
1888

Délye et al. 2013
PLOS One 8: e75117

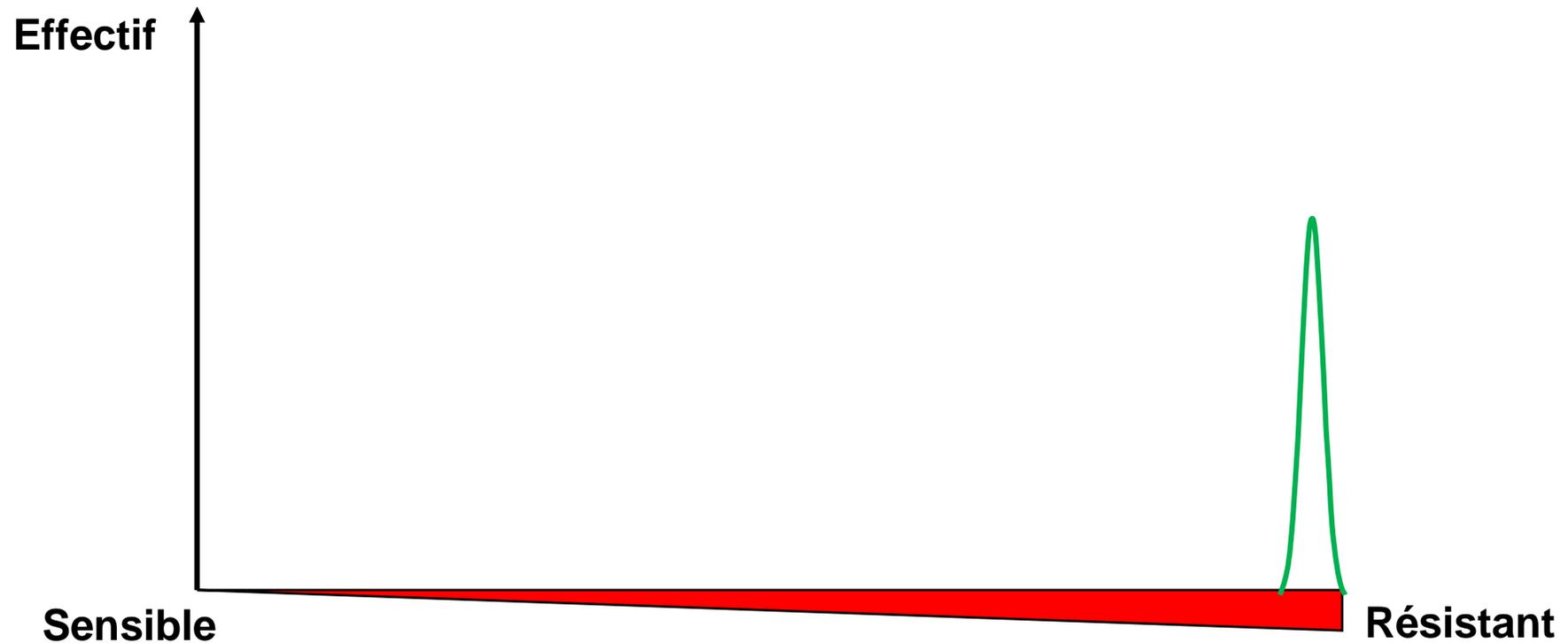
La résistance aux herbicides est la réponse adaptative
des adventices à l'emploi d'herbicides
(**sélection Darwinienne**)

Les deux types de sélection d'une résistance

Sélection « directe » d'une résistance



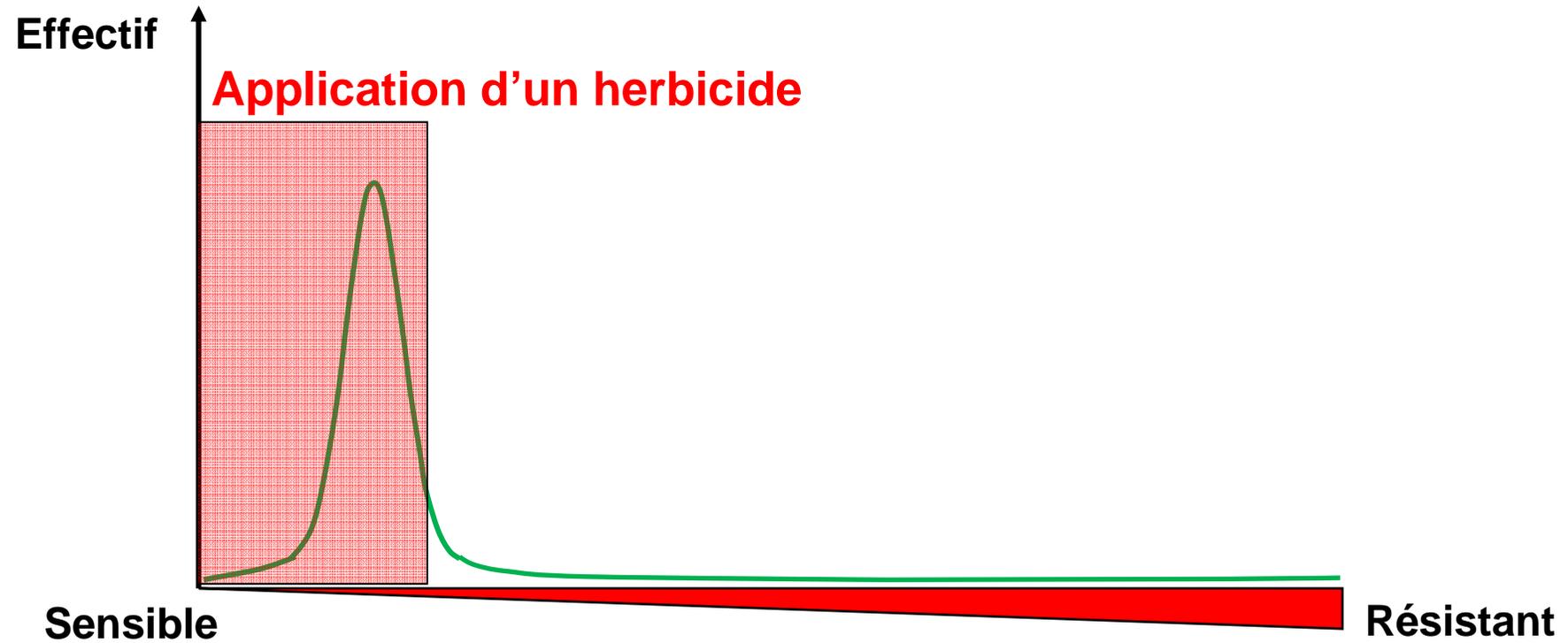
Sélection « **directe** » d'une résistance



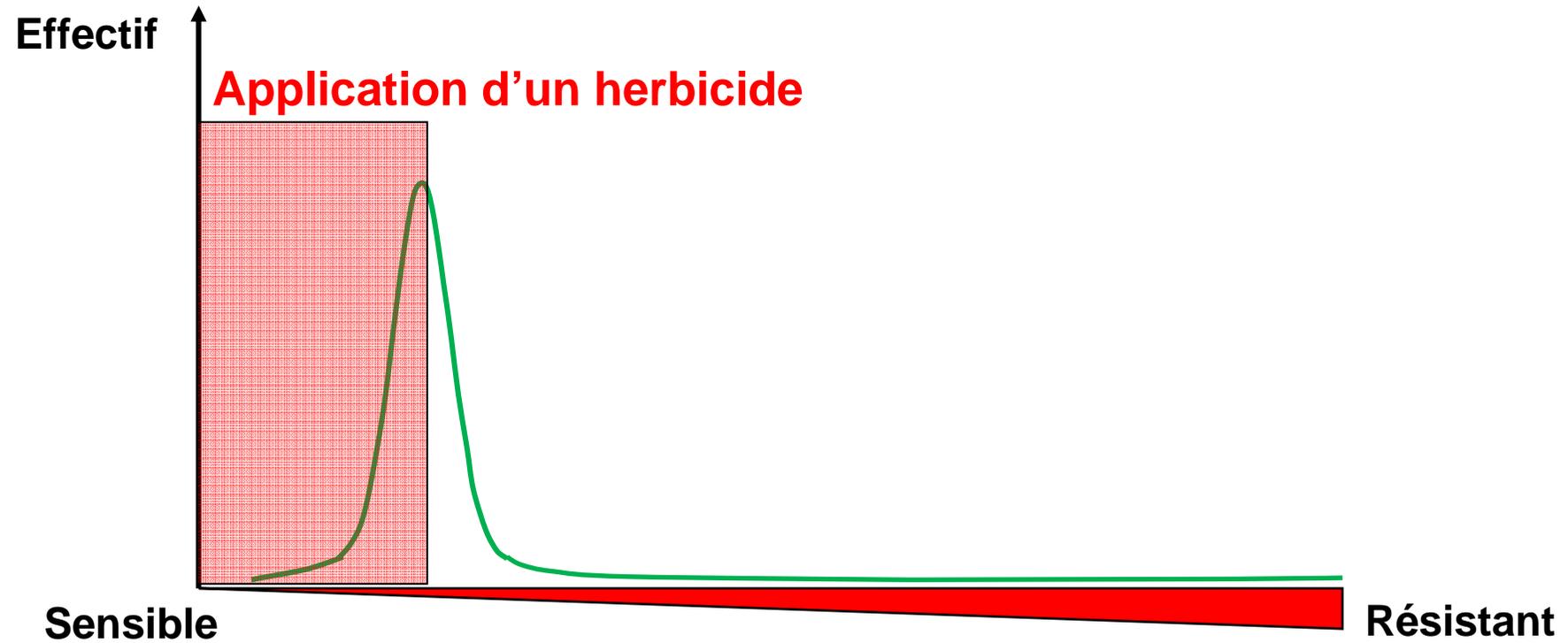
Forte efficacité = résistance monogénique favorisée

Risque ⇔ densité d'infestation

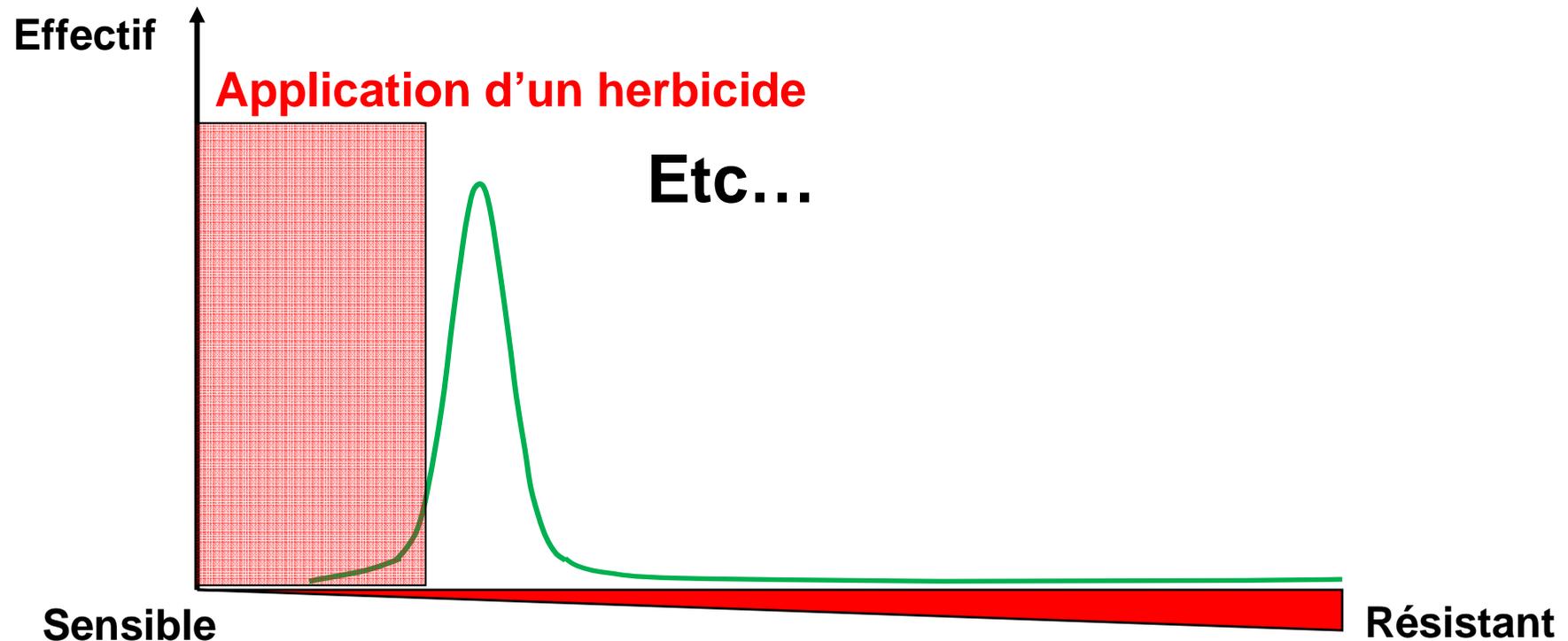
Sélection « progressive » d'une résistance



Sélection « progressive » d'une résistance



Sélection « progressive » d'une résistance



Faible efficacité = résistance polygénique favorisée

Risque ⇔ proportion de survivants

Pour résumer:

← Efficacité de l'application →

Évolution « **directe** » d'une résistance

Base: un gène / une mutation suffit

↪ Simple et efficace

Au champ: évolution **brutale** d'une résistance

Type de résistance attendu: RLC
le plus souvent
(résistance possible à **un seul mode d'action**)

↪ **Attention:** il existe de la RNLC monogénique

Évolution « **progressive** » d'une résistance

Base: accumulation progressive de plusieurs gènes et/ou mutations

↪ Compliqué, mais souvent redoutable une fois en place

Au champ: évolution « **sournoise** » d'une résistance

Type de résistance attendu: RNLC
le plus souvent
(résistance possible à **plusieurs modes d'action**)

↪ Problème agronomique **majeur**

Comment maximiser le risque de sélection de résistance aux herbicides?

Désherbage monotone et récurrent = risque maximum de résistance

Faire du désherbage:

- **Uniquement** chimique
- Avec **un seul** herbicide / **un seul** mode d'action



Astuces pour que la résistance arrive encore plus vite:

- Travailler en **monoculture**
- Traiter **tardivement** (sur des mauvaises herbes bien développées)
- Traiter sur de **fortes infestations** (en curatif)
- Traiter avec une **efficacité « limite »** (réduire les doses...)

...mais le désherbage ne se raisonne pas à court terme

Désherbage monotone et récurrent = risque maximum de résistance

Faire du désherbage:

- **Uniquement** chimique
- Avec **un seul** herbicide / **un seul** mode d'action



Astuces pour que la résistance arrive encore plus vite:

- Travailler en **monoculture**
- Traiter **tardivement** (sur des mauvaises herbes bien développées)
- Traiter sur de **fortes infestations** (en curatif)
- Traiter avec une **efficacité « limite »** (réduire les doses...)

**Pas de nouveau mode d'action herbicide avant
7 à 10 ans**

Ce qu'il faut retenir sur la sélection des résistances:

**« Si tu ne changes jamais de
direction, tu finiras par arriver
là où tu allais »
*(proverbe chinois)***

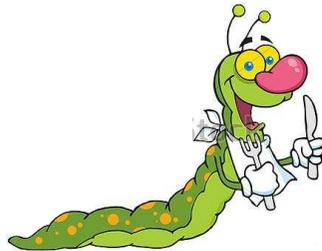
Comment réduire le risque de sélection de résistance aux herbicides?

Pour réduire la sélection de résistances:

Diversifier la pression de sélection
=
Diversifier le désherbage

**Ne pas tout miser sur le
chimique**

Diversifier le désherbage



Auxiliaires



Herbicides (en dernier recours)



**Pratiques non
chimiques**



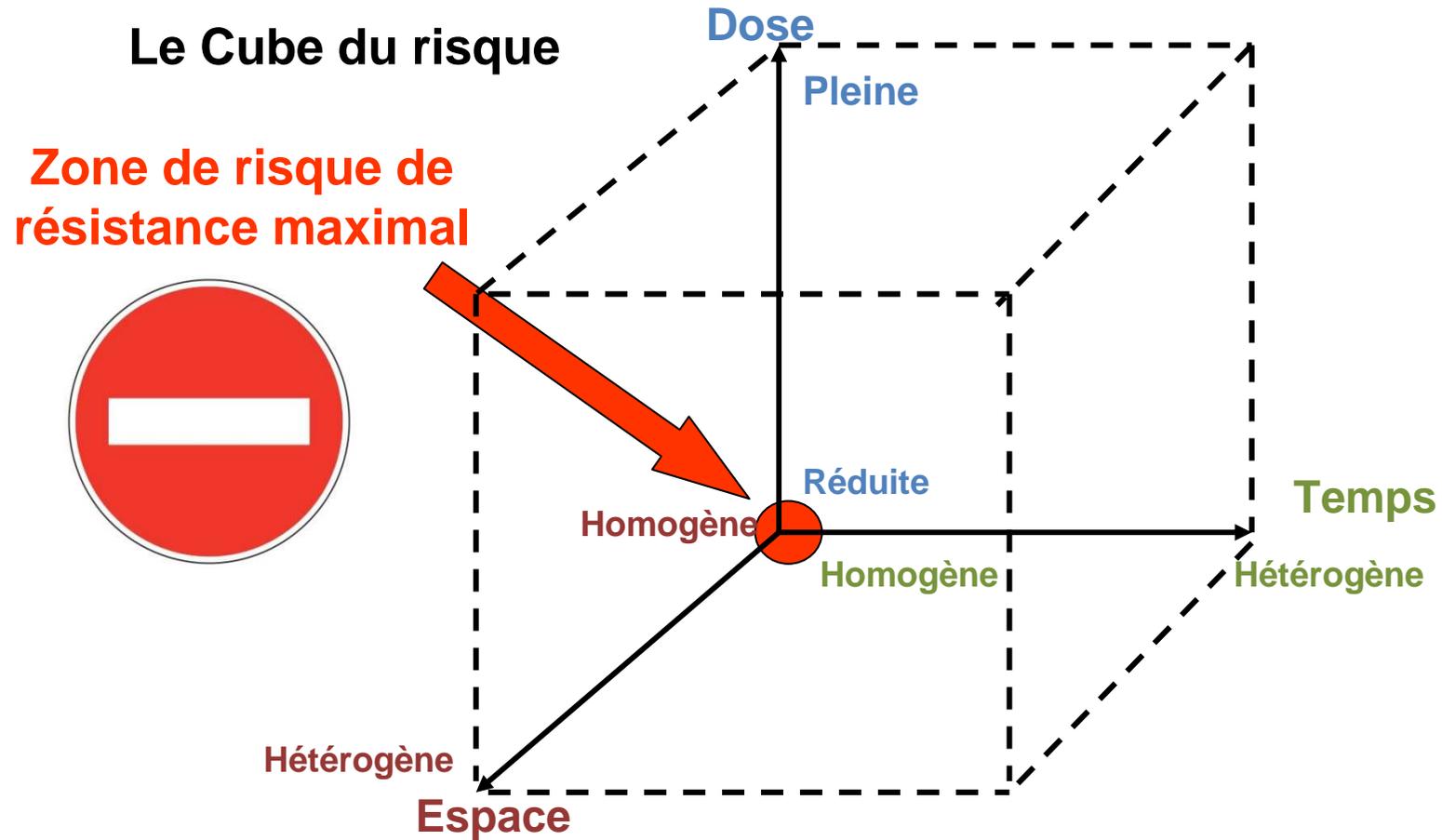
**Techniques culturales,
prophylaxie**



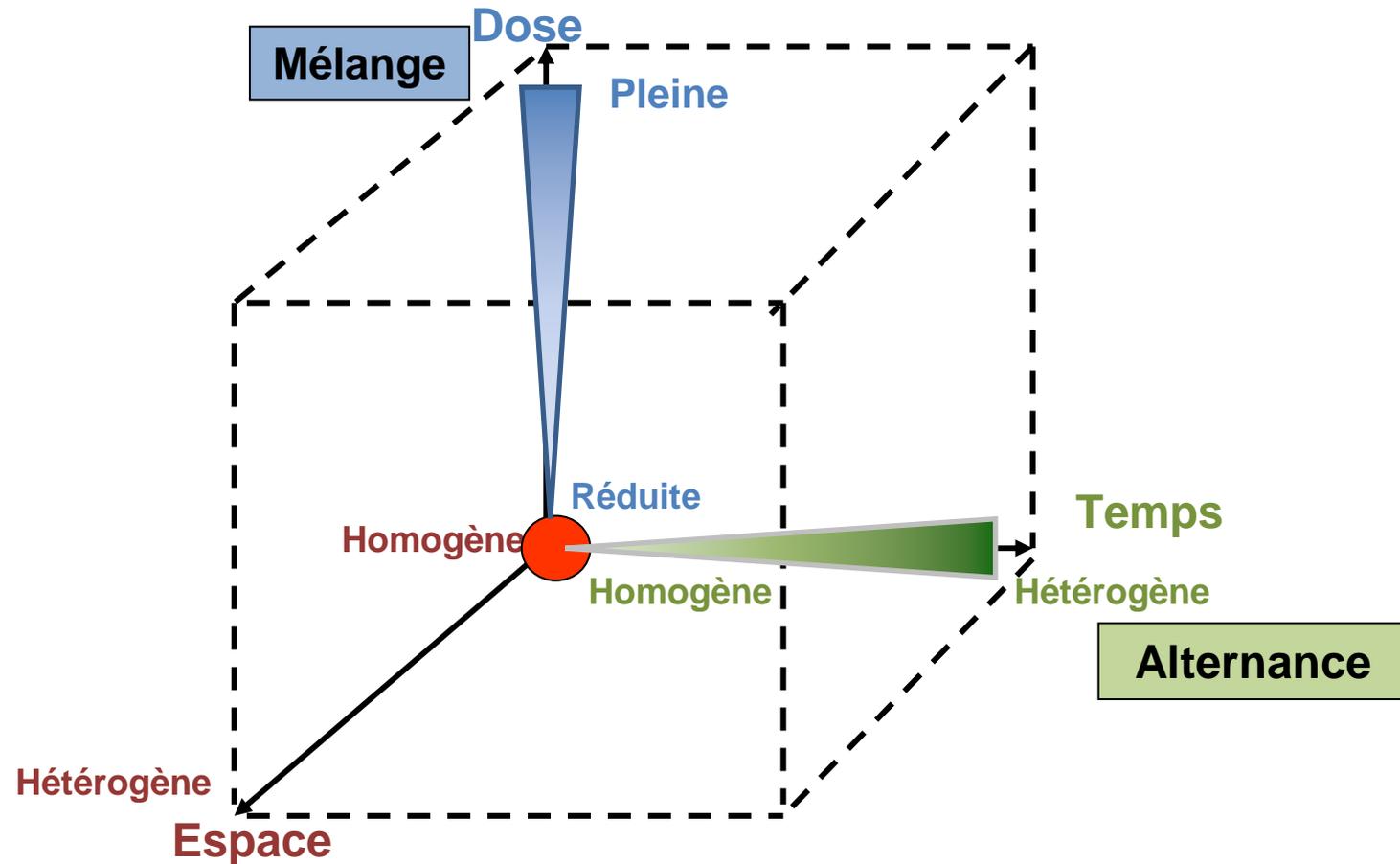
**Rotation des
cultures**

**Rendre le désherbage
« imprédictible » pour l'adventice**

Diversifier le désherbage chimique



Diversifier la sélection par les herbicides



Définir la tactique la mieux adaptée à un système de production

Quelques mots sur les mélanges

Mélange: «tuer un individu plusieurs fois»

Quelques mots sur les mélanges

Postulat

1. Sélectionner la résistance à deux **modes d'action** d'un coup est beaucoup plus difficile que sélectionner la résistance à un seul.
2. Deux herbicides ensemble sont plus efficaces qu'un seul



RNLC ⇔
Efficacité

Quelques mots sur les mélanges

À priori la solution la plus efficace pour limiter le risque de résistance **SI**:

- Appliqués en **prévention** (= sur des adventices sensibles à **tous** les partenaires du mélange).
- Tous les partenaires sont **efficaces** sur les adventices visés.
- Tous les partenaires sont **à leur pleine dose efficace** dans le mélange.
- Chaque partenaire a un **mode d'action différent** des autres.

Quelques mots sur les mélanges

À priori la solution la plus efficace pour limiter le risque de résistance **SI**:

- Appliqués en **prévention** (= sur des adventices sensibles à tous les partenaires du mélange).
- Tous les partenaires sont **efficaces** sur les adventices visés.
- Tous les partenaires sont **à leur pleine dose efficace** dans le mélange.
- Chaque partenaire a un **mode d'action différent** des autres.

Inconvénients:

- Coût
- Risque de phytotoxicité / non-sélectivité
- IFT...

À gérer sur la rotation
Mieux vaut **moins** d'applications à **forte** efficacité que
plus d'applications à **faible** efficacité

Quelques mots sur les mélanges

À priori la solution la plus efficace pour limiter le risque de résistance **SI**:

- Appliqués en **prévention** (= sur des adventices sensibles à tous les partenaires du mélange).
- Tous les partenaires sont **efficaces** sur les adventices visés.
- Tous les partenaires sont **à leur pleine dose efficace** dans le mélange.
- Chaque partenaire a un **mode d'action différent** des autres.

Inconvénients:

- Coût
- Risque de phytotoxicité / non-sélectivité
- IFT...

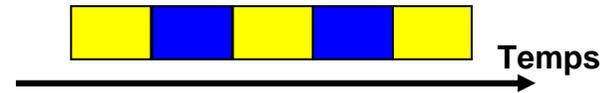
Les mélanges doivent être utilisés en **prévention** de la résistance

- Prévenir est en général plus rentable que guérir...

Quelques mots sur l'alternance

Alternance: «tuer différemment les enfants & les parents»

Quelques mots sur l'alternance



Alternance = faire varier les **modes d'action** dans le temps

Postulat:

Alterner les **modes d'action X** et **Y dans le temps**
= « casser » la sélection à l'un en utilisant l'autre
(X tue les résistants à Y et Y les résistants à X)

Les résistants à X+Y sont beaucoup plus rares que les résistants à X



RNLC ⇔
Efficacité

L'alternance doit être utilisée en **prévention** de la résistance

➤ Prévenir est en général plus rentable que guérir...

Efficacité de l'application et sélection de résistances

Forte efficacité = RLC favorisée

Faible efficacité = RNLC favorisée

La RLC est un moindre mal que la RNLC



Essayer d'orienter la sélection de résistance vers la RLC

Frapper FORT

→ Efficacité maximale.

Frapper TÔT

→ Sensibilité maximale

→ Rendement préservé



Surveiller les espèces non ciblées en priorité

→ Attention à la RNLC

En résumé, pour réduire son risque de résistance:

Diversité

1. Dans la rotation
2. Dans les pratiques de contrôle (prophylaxie, méthodes non chimiques)
3. Dans les **modes d'action** herbicides

Utiliser les herbicides **après** les pratiques non chimiques (pour « finir le travail »)

Efficacité

Empêcher les adventices de proliférer (combinaison avec pratiques non-chimiques)

Respecter les doses, le stade, les conditions d'application...

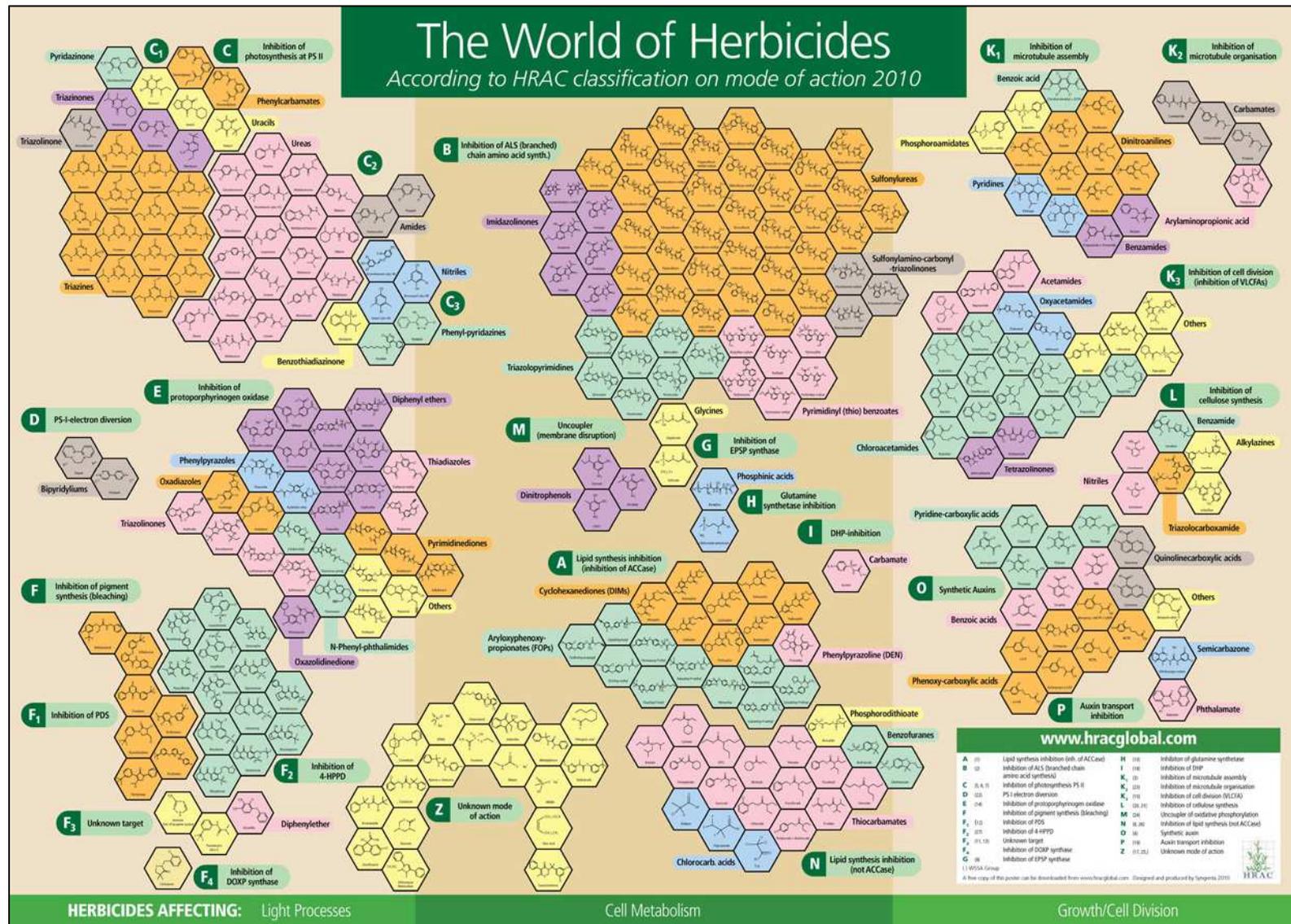
Prévenir vaut mieux que guérir

La RLC est un moindre mal que la RNLC

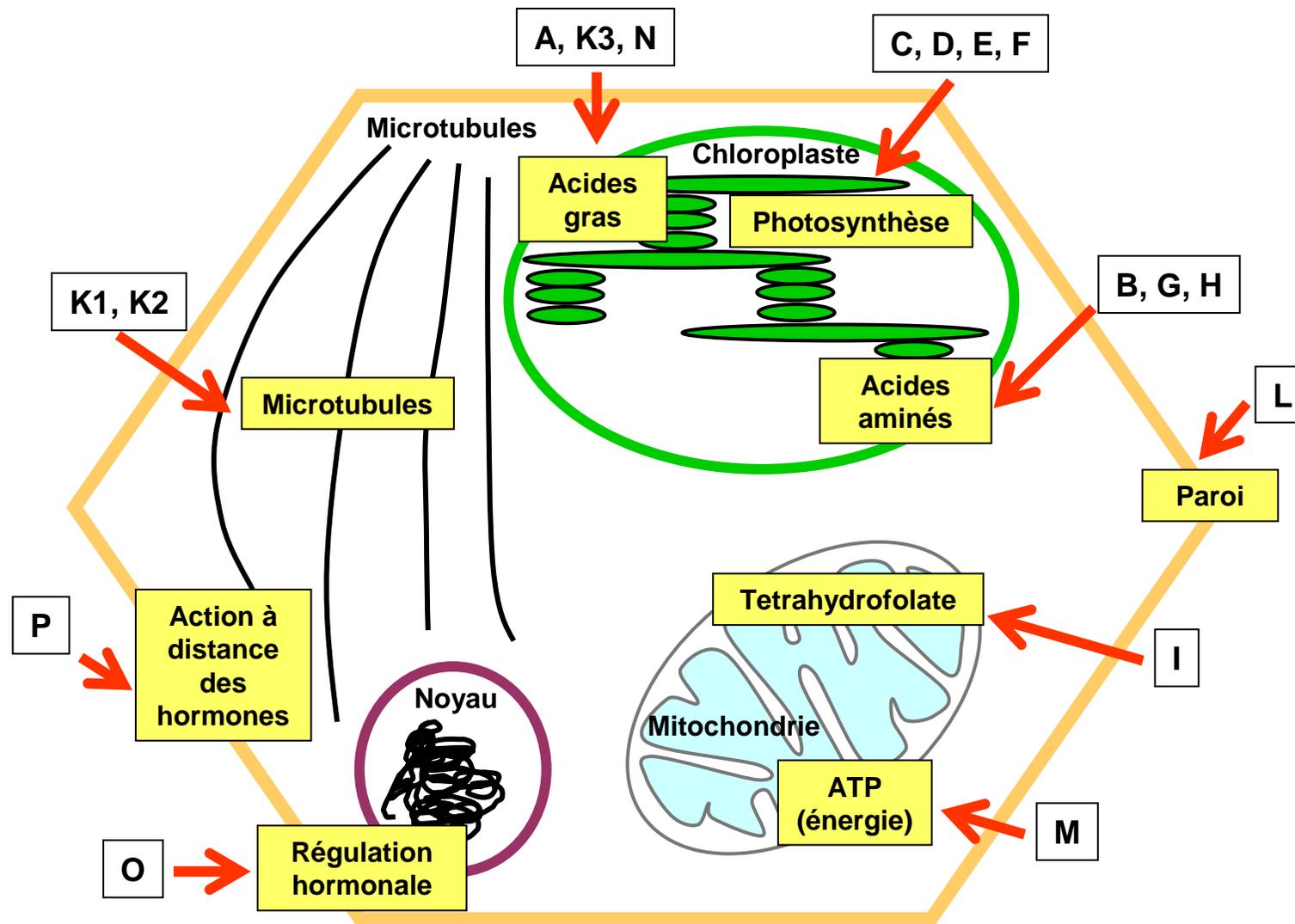
Les cas **publiés** de résistance aux herbicides en France

Classification des herbicides: groupes HRAC

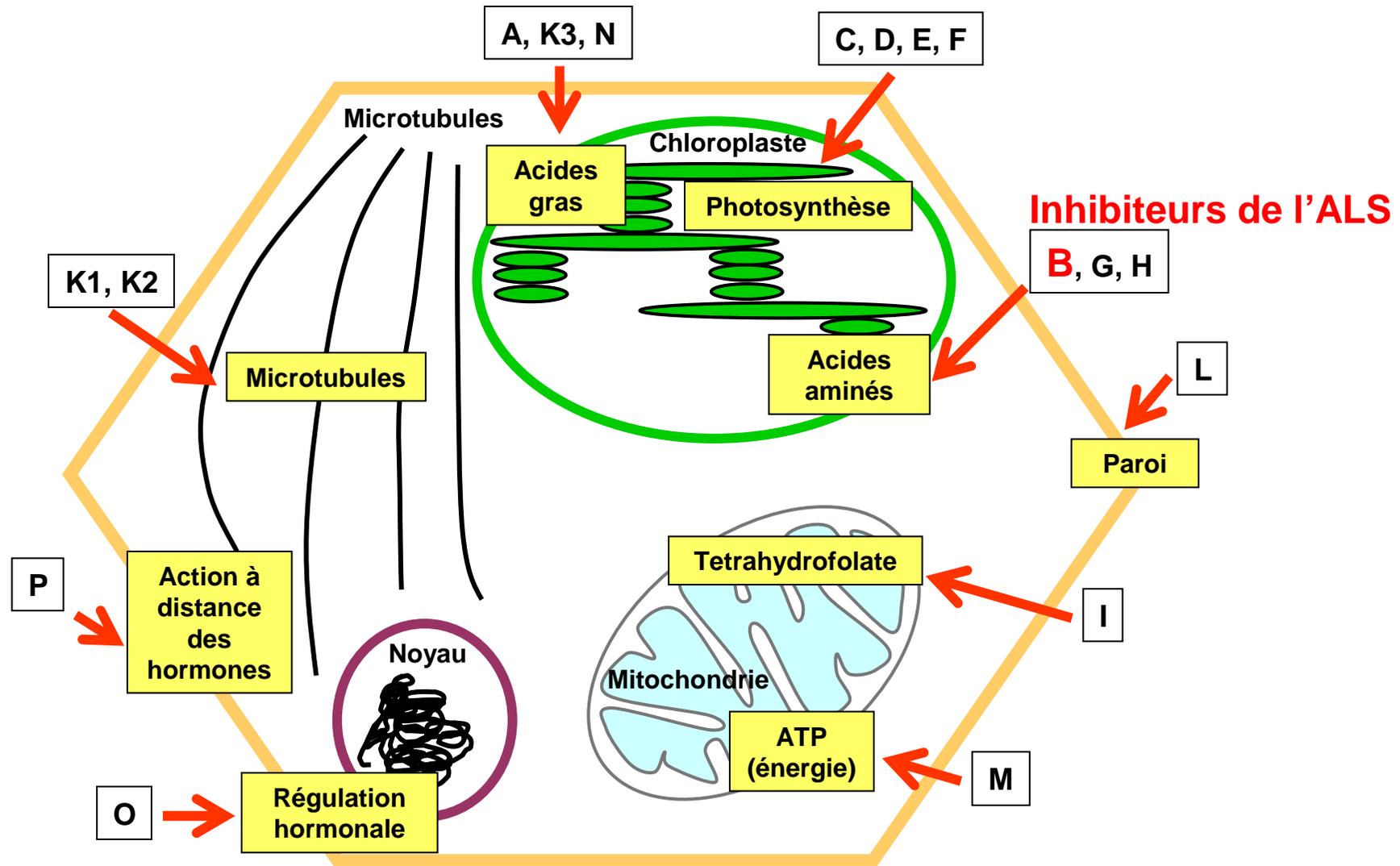
1 groupe = 1 lettre = 1 mode d'action
<http://www.hracglobal.com/Portals/5/moaposter.pdf>



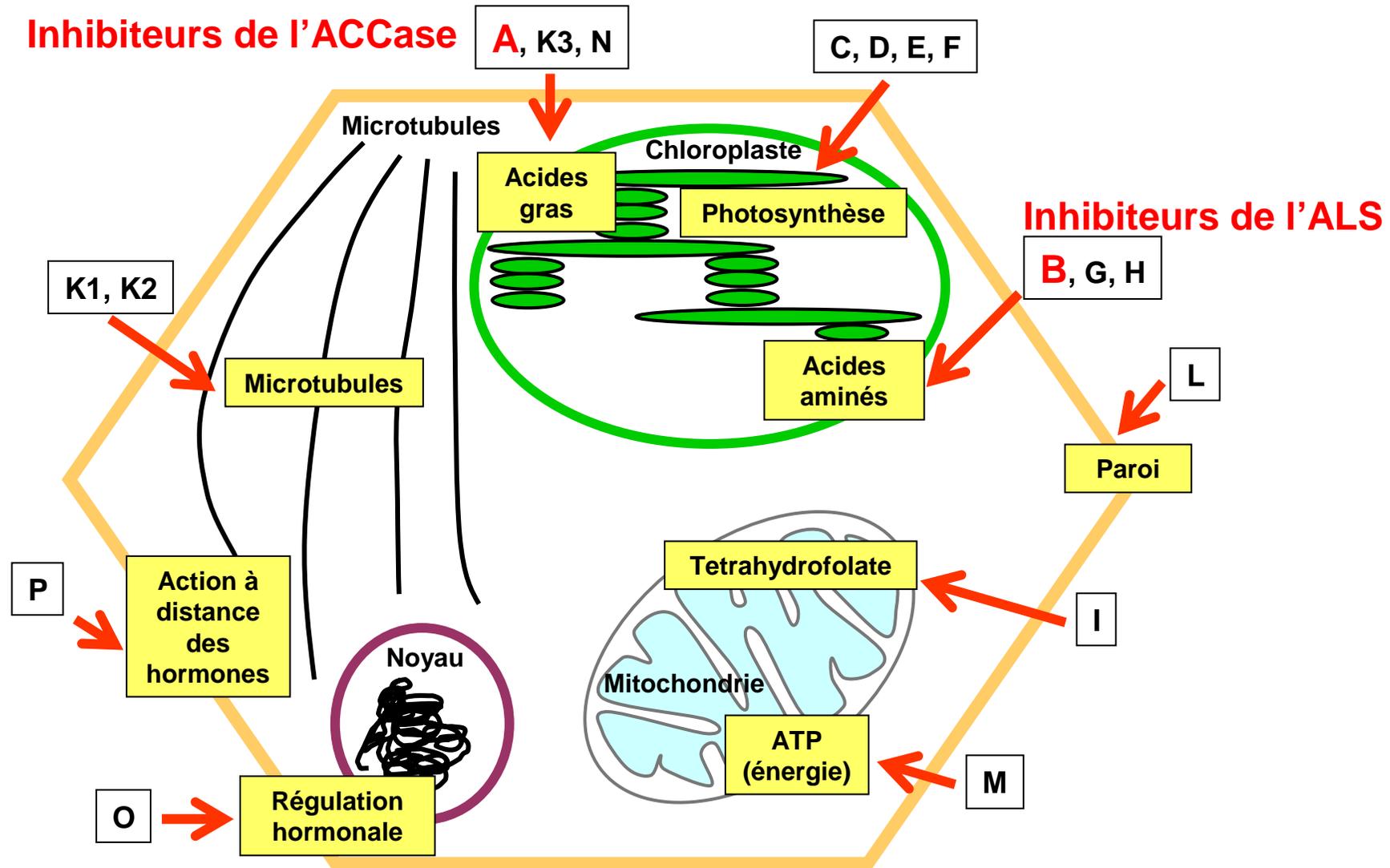
Cibles cellulaires des herbicides (groupes HRAC)



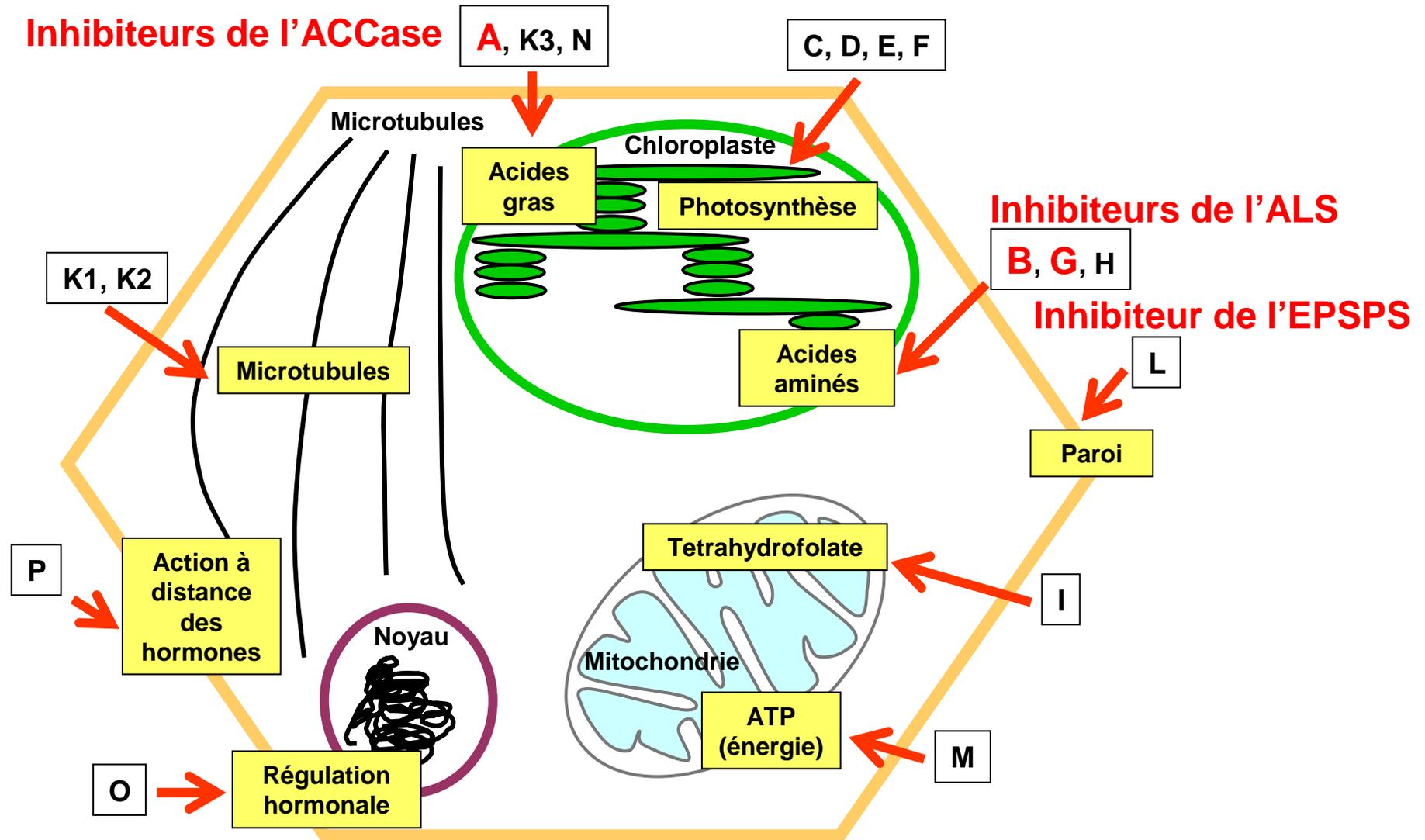
Cibles cellulaires des herbicides (groupes HRAC)



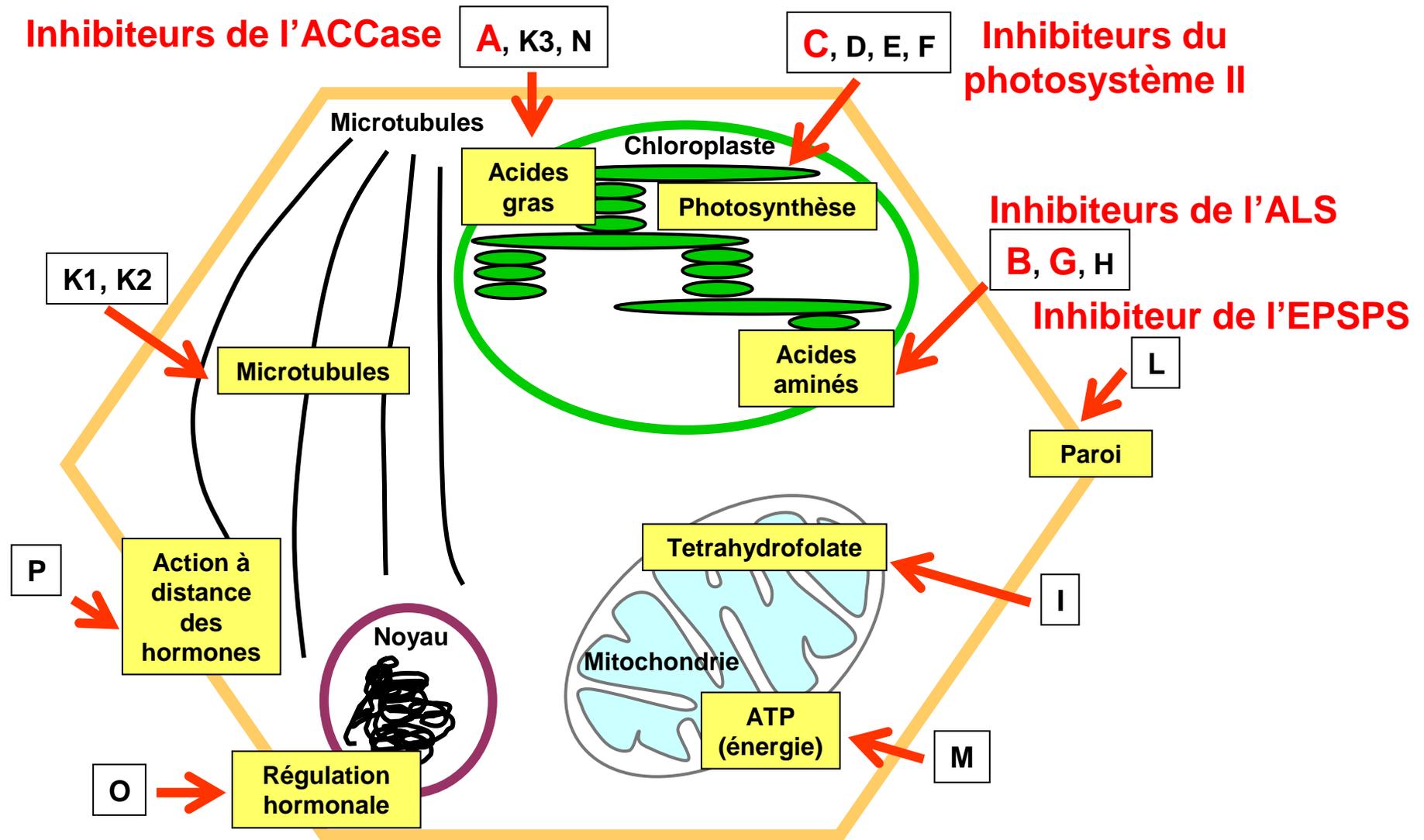
Cibles cellulaires des herbicides (groupes HRAC)



Cibles cellulaires des herbicides (groupes HRAC)



Cibles cellulaires des herbicides (groupes HRAC)



Résistance aux herbicides de groupe C (inhibiteurs *du photosystème II*)

Exemples:

Triazines: Atrazine, simazine...

Phenylcarbammates: Desmédiphame, phenmédiphame

Triazinones: Métribuzine, métamitron...

Uracile: Lénacile

Pyridazinone: Chloridazone

Benzothiadiazinone: Bentazone

Nitriles: Ioxynil, bromoxynil

Pas mal d'espèces concernées:

Amaranthes, Bromes, Chenopodes, Digitale, Erigéron, Épilobe tétragone, Panic pied-de-coq, Pâturin annuel, Renouées, Sabline, Sèneçon commun, Sétaire, Morelle, Laiterons...

Résistance restreinte aux triazines

RLC: mutation Ser264 → Gly

Résistance aux herbicides de groupe C (inhibiteurs *du photosystème II*)

Exemples:

Triazines: Atrazine, simazine...

Phenylcarbamates: Desmédiphame, phenmédiphame

Triazinones: Métribuzine, métamitrone...

Uracile: Lénacile

Pyridazinone: Chloridazone

Benzothiadiazinone: Bentazone

Nitriles: Ioxynil, bromoxynil

Pas mal d'espèces concernées:

Amorpha, Bromus, Chenopodium, Digitale, Erigéron, Épilobe

**Interdiction des triazines:
Plus de problème en pratique**

Persistance de la résistance?

Résistance restreinte aux triazines

RLC: mutation Ser264 → Gly

Résistance aux herbicides en France: 14 cas publiés



Vulpin
A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue



Bromes
B (2009)
Grandes cultures
Peu
répandue



Digitaire
A (2005)
Maraîchage
1^{ers} cas



**Agrostis
jouet-du-vent**
Grandes cultures
A (1999 env.),
B (2006 env.)
Peu répandue



Ivraies
A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue
G (2005, Vigne)
Peu répandue



Avoines
A (1996),
B (2006 env.)
Grandes cultures
Peu répandue



Panics
B (2013)
Riz
1^{ers} cas



**Setaire
verte**
B (2011)
Maïs
1^{ers} cas

Mécanismes de résistance: RLC +

RNLC

Résistance aux herbicides en France: 14 cas publiés



Vulpin
A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue



Bromes
B (2009)
Grandes cultures
Peu répandue



Digitaire
A (2005)
Maraîchage
1^{ers} cas



**Agrostis
jouet-du-vent**
Grandes cultures
A (1999 env.),
B (2006 env.)
Peu répandue



Ivraies
A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue
G (2005, Vigne)
Peu répandue



Avoines
A (1996),
B (2006 env.)
Grandes cultures
Peu répandue



Panics
B (2013)
Riz
1^{ers} cas



**Setaire
verte**
B (2011)
Maïs
1^{ers} cas



Coquelicot
B (2007)
Grandes cultures
Répandue



Tournesol
B (2009)
Tournesol
1^{ers} cas



Matricaires
B (2010)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Séneçon
B (2009)
Vigne
Répandue?
B (2013)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Vergerette
G (2010)
Vigne
1^{ers} cas



Stellaire
B (2012)
Grandes cultures
1^{ers} cas

Mécanismes
de résistance:
RLC
+ **RNLC**

Résistance aux herbicides en France: 14 cas publiés



Vulpin
A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue



Bromes
B (2009)
Grandes cultures
Peu répandue



Digitaire
A (2005)
Maraîchage
1^{ers} cas



**Agrostis
jouet-du-vent**
Grandes cultures
A (1999 env.),
B (2006 env.)
Peu répandue



Ivraies
A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue
G (2005, V)
Peu répandue

Résistance:

- - Aux anti-graminées (groupe A)
- - Aux inhibiteurs de l'ALS (groupe B)
- Au glyphosate (groupe G) en cultures pérennes



**Sétaire
verte**
B (2011)
Maïs
1^{ers} cas



Coquelicot
B (2007)
Grandes cultures
Répandue



Séneçon
B (2009)
Vigne
Répandue?
B (2013)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Vergere
G (2010)
Vigne
1^{ers} cas



Stellaire
B (2012)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Merci!