



# maïs

## Évolution de la flore du maïs

# Mauvaises herbes, ce qui a changé en 30 ans

Guillaume Fried\*, Mylène Bombarde\*\*, Marc Delos \*\*, Jacques Gasquez\* et Xavier Reboud\*

La morelle noire (*Solanum nigrum*), l'espèce qui a le plus augmenté ces 25 dernières années.



ph. INRA UMR BCA

On le sait bien, que les flores adventices des cultures évoluent, autrement dit que les populations de mauvaises herbes présentes dans les champs changent de densité comme de composition au fil des années. Quoique... On le sait, en principe, mais l'a-t-on vraiment mesuré ? Que connaît-on des évolutions de flore passées ? Et, quand on annonce des évolutions futures, a-t-on les moyens de vérifier plus tard si elles ont eu lieu ? Pour se donner, justement, ces moyens, l'INRA et la Protection des Végétaux ont mis en place un réseau « Biovigilance Flore » en 2002. Avant de donner des résultats sur les évolutions de flore du XXI<sup>e</sup> siècle, il peut déjà permettre des comparaisons avec ce qui se passait il y a trente ans. Voici l'exemple du maïs. Éclairant.

Nos connaissances sur l'évolution de la flore adventice des grandes cultures au cours des dernières décennies reposent en grande partie sur les observations des techniciens de terrain et les dires d'experts. Un cas d'école est le remplacement progressif des dicotylédones par certaines graminées suite à l'usage intensif des premières hormones chimiques pour le désherbage (MCPA, 2,4-D). Cet exemple, flagrant, est appuyé par très peu de références quantitatives (Haas & Streibig, 1982). De façon générale, la malherbologie a toujours manqué de références pour asseoir plus précisément l'ensemble des changements ressentis par les spécialistes sur le terrain.

## Un état des lieux pour relativiser

Avec la nouvelle réforme de la PAC, nous sommes entrés dans une phase de transformations des systèmes de cultures (bandes enherbées, généralisation des techniques de conservation des sols, retrait de molécules chimiques autorisées pour le désherbage) qui vont encore s'intensifier dans les années à venir [vraisemblable augmentation des cultures industrielles (biocarburants) voire introduction de cultures OGM]. Des références chiffrées sur les changements passés sont d'autant plus cruellement absentes qu'elles permettraient de quantifier, donc relativiser, les changements qui pourraient intervenir et faire l'objet de diverses spéculations, comme cela a été le cas lors de la mise en place de la jachère PAC au début des années 1990 (Chauvel *et al.*, 1995).

Pour disposer d'un tel état de référence initial, la Protection des Végétaux et l'INRA ont mis en place en 2002 un réseau de surveillance de la flore adventice des grandes cultures. Avec près de 1 000 parcelles (dont 80 % sont des points fixes pour un suivi à long terme), le réseau « Biovigilance Flore » couvre maintenant l'ensemble du territoire métropolitain avec une gamme étendue de systèmes de cultures.

L'objectif affiché de ce réseau est la détection d'évolutions non-intentionnelles de flore sous l'effet d'innovations agricoles au sens large (nouveaux produits phytosanitaires, réduction des surfaces labourées, etc.) mais aussi, et plus généralement, une mesure de la biodiversité dans l'espace agricole.

## Les données et la méthode de comparaison

Les données du réseau « Biovigilance Flore » ont été utilisées pour mesurer l'évolution des flores dans les principales cultures depuis les années 1970. Un premier inventaire de la flore adventice avait en effet déjà été mené il y a 30 ans (entre 1973 et 1976) à partir de la compilation des relevés floristiques des essais herbicides (Barra-lis, 1977).

C'est l'occasion unique de mesurer



ph. INRA UMR BCA

La digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*), une espèce en déclin, même si encore présente significativement.

\* UMR Biologie et gestion des adventices. INRA Dijon, 17, rue Sully. BP 86510. 21065 Dijon cedex. guillaume.fried@dijon.inra.fr

\*\* DGAL, Protection des Végétaux Midi-Pyrénées. Cité administrative. Bât. E. Bd Armand-Duportal. 31074 Toulouse cedex.

## I - Une méthode de comparaison simple et rapide

Pour minimiser les biais inhérents à la comparaison entre deux enquêtes, du fait par exemple du nombre et/ou de l'origine géographique diverse des relevés entre les deux périodes, nous avons pratiqué 2 000 tirages aléatoires (bootstrap) au sein des données du réseau « Biovigilance Flore ». Dans le cas de la culture du maïs, 462 relevés du réseau « Biovigilance Flore » couvrant les années 2002 à 2004 ont été comparés à 175 relevés de l'enquête des années 1973 à 1976. Dans cette situation, nous avons tiré 2000 fois 175 relevés à partir des 462 relevés du réseau « Biovigilance Flore ».

À partir de ce ré-échantillonnage, l'ensemble des espèces est ordonné avec un inter-

valle de variation statistique. Par exemple, la mercuriale annuelle (*Mercurialis annua*) est observée en moyenne au rang 7, mais statistiquement (suivant le lot de 175 relevés retiré), sa position varie en fait entre les 6<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> rang. On peut ainsi construire un abaque pour chaque culture (Tableau 1) où est représentée la plage des rangs compatibles (l'équivalent d'un intervalle de confiance) autour du rang moyen de chaque espèce (cases jaunes). Cette plage est délimitée au seuil de 2,5 % (test bilatéral), soit autour des scores inférieurs à 50 dans le cas présent de 2 000 retirages.

L'analyse de l'évolution de la flore adventice s'opère alors tout simplement en analysant les changements de rang des espèces entre les deux enquêtes. Il suffit de projeter les rangs auxquels figuraient les espèces dans l'enquête de 1973-1976 sur l'abaque du réseau

« Biovigilance Flore » (cases rouges). Toute espèce apparaissant en dehors de la plage des rangs compatibles peut être déclarée comme ayant significativement changé de statut entre les deux enquêtes comparées.

Reprenons l'exemple de la mercuriale annuelle. Alors que cette espèce était à la 11<sup>e</sup> place dans les années 1970, sa fréquence dans la base Biovigilance n'est compatible qu'avec la plage des rangs 6 à 10, ce qui permet d'affirmer que cette espèce est depuis 30 ans en augmentation significative.

Cette analyse est une méthode de comparaison pratique, robuste et conservatrice puisqu'elle prend en compte à la fois l'effort d'échantillonnage de chaque enquête et garde inchangé le rang des espèces lorsque toutes sont affectées de la même manière par le procédé de collecte des données.

Tableau 1 - Extrait de l'abaque du maïs.

Taxons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1 <i>Chenopodium album</i>	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 <i>Solanum nigrum</i>	0	1983	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 <i>Echinochloa crus-galli</i>	0	29	1785	165	16	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 <i>Amaranthus spp.</i>	0	0	189	1358	319	133	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 <i>Polygonum persicaria + lapathifolium</i>	0	0	34	338	1007	590	25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 <i>Polygonum aviculare</i>	0	0	21	206	662	1042	64	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 <i>Mercurialis annua</i>	0	0	0	0	10	85	972	563	268	82	12	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 <i>Stellaria media</i>	0	0	0	0	0	15	599	667	540	117	42	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 <i>Digitaria sanguinalis</i>	0	0	0	0	3	29	459	639	583	177	70	27	7	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 <i>Poa annua</i>	0	0	0	0	0	0	19	109	334	758	390	208	118	37	22	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 <i>Fallopia convolvulus</i>	0	0	0	0	0	0	1	35	145	354	474	443	271	128	74	37	21	11	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 <i>Anagallis arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	19	86	309	506	459	309	150	83	46	17	10	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 <i>Convolvulus arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	2	7	78	214	357	437	372	207	140	77	46	26	20	5	8	2	0	1	0	0	1	0	0	0
14 <i>Senecio vulgaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22	69	149	247	322	361	281	194	137	67	52	37	29	12	12	1	3	0	0	1	1
15 <i>Sonchus asper + oleraceus</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	7	16	69	132	269	359	328	245	196	130	77	54	47	26	20	9	4	4	3	0	2	1
16 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	13	53	126	230	342	305	252	194	176	109	75	48	23	26	18	4	2	0	2	0	0
17 <i>Atriplex spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	23	86	173	213	273	292	239	180	153	100	90	67	31	27	16	8	5	6	3
18 <i>Calystegia sepium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	35	58	129	144	194	198	230	185	168	151	103	103	85	83	51	27	15	6	10
19 <i>Chenopodium polyspermum + hybridum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	8	25	68	122	168	174	236	231	179	186	137	120	112	80	53	39	28	12	7
20 <i>Trifolium spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	22	47	92	134	171	192	239	219	218	189	134	118	70	60	37	27	9	2
21 <i>Matricaria recutita + perforata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	19	51	83	112	142	175	206	217	201	188	151	123	89	78	68	43	23	12
22 <i>Setaria viridis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	21	43	75	133	146	214	211	185	176	156	157	117	111	84	64	30	23	14
23 <i>Veronica persica + agrestis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	21	45	98	131	189	207	220	204	201	185	152	102	84	60	39	32	11
24 <i>Panicum miliaceum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	12	20	39	51	90	109	163	177	164	210	186	196	176	108	107	51
25 <i>Lamium spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	16	19	48	82	106	141	184	214	199	160	169	174	138	114	72
26 <i>Kickxia spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	7	31	43	54	88	121	153	149	202	219	205	186	156	113	89
27 <i>Viola tricolor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	15	25	38	62	91	135	167	196	201	223	186	152	129	123
28 <i>Setaria verticillata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	6	6	21	27	58	86	91	130	142	166	215	216	230	134	109
29 <i>Cynodon dactylon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	13	13	24	50	61	109	115	153	173	177	207	196	167
30 <i>Setaria pumila</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	13	23	40	57	77	111	106	183	182	208	216	166

En ordonnées, les espèces sont disposées selon leur rang moyen décroissant d'après les données Biovigilance 2002-2004. En abscisse sous l'indication de ce même rang, le tableau est rempli par le score réalisé par chaque espèce pour chacun des rangs lors des 2 000 tirages au hasard. On projette ensuite

le rang des espèces dans l'enquête à comparer (ici, les données des années 1970 selon Barralis, 1977) et qui sont symbolisées par les carrés rouges.

La zone de rejet (c'est-à-dire celle hors de la plage de rangs compatibles symbolisés par les carrés jaunes) est délimitée au seuil de 2,5 % (test bilatéral), soit pour des scores inférieurs à 50 dans le cas présent de 2 000 retirages.

La position de la morelle noire (*Solanum nigrum*) en rang 6 sur les relevés des années 73-76, n'est plus compatible avec sa position actuelle : elle est devenue beaucoup plus commune de nos jours (rang 2). En revanche la digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*) régresse (du rang 2 au rang 9) ainsi que la sétaria glauque (*Setaria pumila*) (du rang 17 au 30).

de manière objective et quantifiée quelles espèces sont en progression entre « valeurs sûres » et nouvelles venues, quelles espèces ont confirmé l'état des lieux d'il y a trente ans ou, au contraire, sont maintenant rejetées du cortège spécifique de la flore de chaque culture.

Cet article se penche plus précisément sur le cas du maïs dont les surfaces n'ont cessé d'augmenter depuis les années 70.

Une méthode statistique de ré-échantillonnage aléatoire (bootstrap) de la base de données « Biovigilance Flore » a été utilisée afin de pouvoir comparer au mieux les deux enquêtes. Elle permet d'obtenir, pour chaque espèce, la distribution des rangs statistiquement compatibles avec la seule variabilité régionale ou annuelle contenue dans les données. Dès lors, toute espèce ayant dans l'enquête des années 1970 un rang hors de la plage de valeurs ainsi définie, peut être considérée comme ayant significativement évolué entre les deux lots de données comparées, donc entre les deux dates de mesures (Encadré 1 et Tableau 1).

## Espèces confirmées et nouvelles venues

L'écart de rang observé pour une espèce entre les deux périodes excédant 95 % des écarts générés par la technique de ré-échantillonnage met en évidence que les espèces notées en gras dans le tableau 2 ont significativement changé de statut : la morelle noire (*Solanum nigrum*) ayant le plus augmenté en fréquence alors que la digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*), parmi les 100 premières espèces est celle qui a le plus régressé.

Au-delà de cette première observation, on peut relever trois ensembles d'espèces à surveiller.

1) Les **espèces majeures** de la culture du maïs sont restées, à très peu de chose près, les mêmes depuis 30 ans.

Un groupe de cinq taxons toujours présent dans plus d'un champ sur trois se détache nettement des autres mauvaises herbes : le chénopode blanc (*Chenopodium album*), le panic pied-de-coq (*Echinochloa crus-galli*), les amarantes (*Amaranthus* spp.), les renouées persicaires et à feuilles de patience (*Polygonum persicaria*, *P. lapathifolium*). Bien connues de tous, ces espèces estivales (à germination tardive) restent particulièrement bien adaptées à la culture du maïs malgré tous les changements qu'a connus cette culture en 25 ans. Si les herbicides semblent avoir réduit l'impact instantané de ces mauvaises herbes (densité plus faible sauf pour le chénopode blanc), ils ne semblent pas avoir altéré le stock de ces espèces qui réinfectent continuellement les parcelles (fréquences identiques). Peut-être savent-elles tirer profit de l'usage accru de l'irrigation qui favoriserait les levées tardives.

2) Plusieurs espèces apparaissent en progression depuis 25 ans. Certaines, **déjà communes dans les années 1970**, ont pris plus d'importance aujourd'hui : notamment la morelle noire (*Solanum nigrum*), seule espèce ayant réussi à

Rang moyen	Espèces	Évolution	2002 2004	Fréq.	Densité	1973 1976	Fréq.	Densité
1	Chénopode blanc <i>Chenopodium album</i>	=	1	73,2	18,4	1	59,9	14,4
2	<b>Morelle noire</b> <i>Solanum nigrum</i>	+	2	47	9,3	6	26,3	4,2
3	Panic pied-de-coq <i>Echinochloa crus-galli</i>	=	3-4	38,2	8,8	3	37,7	12,4
4	Amarantes <i>Amaranthus</i> spp.	=	3-6	36,9	6,4	4	29,1	6,9
5	Renouées <i>Polygonum persicaria</i> et <i>lapathifolium</i>	=	4-6	33,5	4,8	5	28,0	5,8
6	Renouée des oiseaux <i>Polygonum aviculare</i>	=	4-7	28,9	3,3	7	26,2	4,2
7	<b>Mercuriale annuelle</b> <i>Mercurialis annua</i>	+	6-10	22,2	4,1	11	15,3	3,5
8	<b>Stellaire intermédiaire</b> <i>Stellaria media</i>	+	7-11	21,4	4,6	12	14,2	2,9
9	<b>Digitaire sanguine</b> <i>Digitaria sanguinalis</i>	-	7-11	21,0	6,6	2	40,0	12,8
10	<b>Pâturin annuel</b> <i>Poa annua</i>	N	8-14	19,3	4,7		< 2,5	-
11	<b>Renouée liseron</b> <i>Fallopia convolvulus</i>	-	9-16	15,9	2,0	8	21,1	4,0
12	Mouron des champs <i>Anagallis arvensis</i>	=	9-16	15,7	1,7	13	13,1	2,9
13	Liseron des champs <i>Convolvulus arvensis</i>	=	9-18	15,1	1,8	9	15,4	3,8
14	<b>Laiterons</b> <i>Sonchus asper + oleraceus</i>	N	11-22	13,8	1,5		< 2,5	-
15	<b>Séneçon vulgaire</b> <i>Senecio vulgaris</i>	N	11-22	13,0	1,2		< 2,5	-
16	<b>Capselle bourse-à-pasteur</b> <i>Capsella bursa-pastoris</i>	N	11-24	12,8	2,7		< 2,5	-
17	Arroches <i>Atriplex patula + hastata</i>	=	13-25	11,1	1,2	15	10,3	2,8
18	<b>Liseron des haies</b> <i>Calystegia sepium</i>	N	12-27	10,5	1,2		< 2,5	-
19	<b>Chénopodes</b> <i>Chenopodium polyspermum + C. hybridum</i>	N	10-29	10,4	2,0		< 2,5	-
20	<b>Trèfles</b> <i>Trifolium</i> spp.	N	14-28	10,4	1,9		< 2,5	-
21	Matricaires <i>Matricaria recutita + perforata</i>	=	14-28	10,3	1,2	14	11,7	2,8
22	Sétaire verte <i>Setaria viridis</i>	=	14-29	9,9	1,8	16	10,3	2,8
23	<b>Véroniques</b> <i>Veronica persica + polyta</i>	N	15-29	9,6	1,3		< 2,5	-
24	<b>Panics</b> <i>Panicum</i> spp.	N	17-33	8,7	1,6		< 2,5	-
25	<b>Lamiers</b> <i>Lamium</i> spp.	N	18-33	8,6	1,0		< 2,5	-
26	<b>Linaires</b> <i>Kickxia</i> spp.	N	18-34	8,6	1,1		< 2,5	-
29	Pensée des champs <i>Viola arvensis</i>	=	19-35	7,8	1,2	25	4,6	1,3
30	Chiendent pied-de-poule <i>Cynodon dactylon</i>	=	20-40	6,9	0,9	22	5,1	1,5
34	<b>Sétaire glauque</b> <i>Setaria pumila</i>	-	21-41	6,7	2,6	17	10,1	2,7
37	<b>Prêle des champs</b> <i>Equisetum arvense</i>	-	26-50	5,0	0,6	21	6,2	1,8
38	<b>Chardon des champs</b> <i>Cirsium arvense</i>	-	27-53	4,6	0,8	20	6,3	2,0
47	<b>Fumeterre officinale</b> <i>Fumaria officinalis</i>	-	27-53	4,6	1,0	19	6,3	2,2
50	<b>Ravenelle</b> <i>Raphanus raphanistrum</i>	-	34-66	3,1	0,4	10	15,4	3,6
51	<b>Pourpier maraîcher</b> <i>Portulaca oleracea</i>	-	33-69	3,1	1,0	27	3,2	0,8
54	<b>Chiendent rampant</b> <i>Elytrigia repens</i>	-	33-70	3,1	0,4	26	4,5	1,0
94	<b>Spergule des champs</b> <i>Spergula arvensis</i>	-	39-86	2,3	0,2	18	6,9	2,3
95	<b>Galinsoga</b> <i>Galinsoga</i> spp.	-	> 60	0,4	0,0	29	2,3	0,3

Espèces (+) en progression significative ; (=) stable ; (-) régression significative ; (N) : « nouvelles » parmi les 29 premières (l'enquête des années 1970 ne fait figurer que les 29 premières espèces pour le maïs).

progresser à l'intérieur du groupe des six espèces majeures. La mercuriale annuelle (*Mercurialis annua*) et la stellaire (*Stellaria media*) sont également en légère augmentation.

3) D'autres, **trop peu fréquentes dans le maïs il y a 30 ans** pour apparaître dans la liste des 29 espèces de la première enquête, ont vraiment explosé ces dernières années : le pâturin annuel (*Poa annua*), le séneçon vulgaire (*Senecio vulgaris*), les laiters (*Sonchus asper* et *S. oleraceus*), le liseron des haies (*Calystegia sepium*), les panics (*Panicum* sp.), etc.

## La marque des herbicides...

La pression de sélection exercée par les herbicides semble être un facteur manifeste, tout particulièrement en maïs avec le poids sans équivalent qu'a pesé l'atrazine dans cette culture pendant trois décennies.

La plupart des mauvaises herbes sensibles à cet herbicide (Mamarot & Rodriguez, 2003),



## 2 - Quelques précisions sur les indices présentés dans le tableau 2 : fréquence et densité

Dans chaque parcelle du réseau « Biovigilance Flore », des relevés floristiques ont été réalisés selon la méthode mise au point par Barralis (1977) en affectant chaque espèce d'un coefficient d'abondance selon l'échelle :

	Coefficient d'abondance	Peuplement moyen
+	vu une fois dans la parcelle	0,1 individu/m <sup>2</sup>
1	moins de 1 individu au m <sup>2</sup>	0,5
2	de 1 à 2 individus au m <sup>2</sup>	1,5
3	de 3 à 20 individus au m <sup>2</sup>	11,5
4	de 21 à 50 individus au m <sup>2</sup>	35,5
5	plus de 50 individus au m <sup>2</sup>	75,5

Pour rester cohérent avec l'enquête de Barralis, les espèces affectées d'un coefficient inférieur à 2 ont été éliminées. Ainsi, lorsque la fréquence d'une espèce est égale à 50 %, cela signifie que l'espèce a été rencontrée 50 fois avec un coefficient d'abondance supérieur ou égal à 2 pour 100 relevés effectués.

La densité a été calculée en transformant le coefficient d'abondance en peuplement moyen et en multipliant ce peuplement moyen par le nombre de fois où il a effectivement été noté :

$$11,5 \cdot n_3 + 35,5 \cdot n_4 + 75,5 \cdot n_5 + 1,5 (N - n_3 - n_4 - n_5) / N$$

où  $n_3$ ,  $n_4$ ,  $n_5$  représentent le nombre de relevés affectés des coefficients 3, 4, 5 et  $N$ , le nombre total de relevés.

les 25 premières ont présenté des populations résistantes aux inhibiteurs des photosystèmes II (HEAP, 2005) : le pâturin annuel (*Poa annua*), le séneçon vulgaire (*Senecio vulgaris*), le laiteron rude (*Sonchus asper*), le chénopode polysperme (*Chenopodium polyspermum*).

Reste à savoir si l'état de résistance est ici une cause ou une conséquence : est-ce parce qu'une espèce devenue résistante est mal maîtrisée qu'elle monte en fréquence ou, à l'inverse, est-ce parce qu'elle était mal maîtrisée qu'elle a eu une probabilité accrue de développer la résistance ?

À l'inverse, la légère augmentation observée pour la mercuriale annuelle (*Mercurialis annua*) et la stellaire (*Stellaria media*) pourrait déjà être la marque de l'« après atrazine », l'abondance moyenne de ces espèces ayant particulièrement augmenté en 2004 sur les parcelles fixes du réseau Biovigilance. Ces deux espèces sont par ailleurs régulièrement citées parmi les premières à avoir profité du retrait de l'atrazine (Renoux et al., 2003 ; Desquesnes et Bibard, 2004).

## ... et de l'état du milieu

Mais si les herbicides ont vraisemblablement une part importante dans l'explication des changements observés, on ne parvient toutefois pas à expliquer tous les changements du seul fait de 25 ans d'utilisation d'atrazine.

Certaines mauvaises herbes, bien que répandues dans tout le pays, avec des populations localement résistantes, n'ont pas su « en profiter » pour augmenter en fréquence. Ainsi la setaïre verte (*Setaria viridis*) est restée très stable et la digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*) est même en déclin et reste simplement

ph. INRA UMR BCA



Une des espèces « nouvelles venues » dans le maïs, quasi inexistant il y a 25 ans : le liseron des haies (*Calystegia sepium*).

ont logiquement régressé : *Fumaria officinalis*, *Raphanus raphanistrum*, *Portulaca oleracea*, *Spergula arvensis*, *Galinsoga* spp., et sont aujourd'hui quasi oubliées par les maïsiculteurs.

Si les cultures de maïs semblent aujourd'hui plus propres qu'il y a 30 ans (cf. notes d'abondance), l'usage prépondérant des triazines a aussi favorisé la sélection de quelques espèces naturellement peu sensibles qui comptent désormais parmi la flore adventice caractéristique du maïs : les panics (*Panicum* sp.), le liseron des haies (*Calystegia sepium*), les laitérons des champs (*Sonchus arvensis*), etc.

Dans certains cas, cette sélection s'est amplifiée en faveur de certaines adventices ayant développé des mécanismes de résistance aux herbicides. Ainsi, la morelle noire (*Solanum nigrum*), qui était déjà une espèce majeure, a développé très tôt des populations résistantes aux triazines (HEAP, 2005) et devient la deuxième mauvaise herbe du maïs. Près de la moitié des « nouvelles » espèces entrées dans

Tableau 3 - Sensibilité aux herbicides (Mamarot et Rodriguez, 2003) et évolution des flores du maïs..

	En progression ou stable	En régression
Espèces difficiles à contrôler par les programmes herbicides du maïs*	<i>Convolvulus arvensis</i> <i>Calystegia sepium</i> <i>Panicum</i> spp. <i>Viola arvensis</i>	<i>Cirsium arvense</i> <i>Equisetum arvense</i>
Espèces faciles à contrôler par les programmes herbicides du maïs*	<i>Stellaria media</i> <i>Matricaria</i> spp. <i>Lamium</i> spp. hors populations résistantes aux triazines : <i>Chenopodium</i> spp. <i>Amaranthus</i> spp. <i>Solanum nigrum</i> <i>Senecio vulgaris</i> <i>Poa annua</i>	<i>Spergula arvensis</i> <i>Galinsoga</i> spp. <i>Portulaca oleracea</i>
Espèces présentant ou ayant présenté des populations résistantes aux triazines	<i>Amaranthus</i> spp. <i>Chenopodium album</i> <i>Chenopodium polyspermum</i> <i>Echinochloa crus-galli</i> <i>Poa annua</i> <i>Polygonum lapathifolium</i> <i>Polygonum persicaria</i> <i>Senecio vulgaris</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Solanum nigrum</i> <i>Sonchus asper</i>	<i>Digitaria sanguinalis</i> <i>Setaria pumila</i>

\* Sur la base des programmes autorisés en 2003 (donc avec la possibilité d'utiliser l'atrazine).

ph. INRA UMR BGA



Une des espèces à surveiller : le bident (*Bidens tripartita*), dont l'extension est suivie de près par le réseau « Biovigilance Flore »

problématique dans le Sud-Ouest. De même la prêle (*Equisetum arvense*) paraît en recul alors qu'elle a toujours été mal maîtrisée par le panel d'herbicides disponibles (Tableau 3). Particulièrement inféodée aux parcelles humides, la régression de la prêle pourrait en partie s'expliquer par l'amélioration des drainages au cours des années 1980.

Ainsi, dans de nombreux cas, les explications sous-jacentes à l'évolution de la flore sont le fait de plusieurs causes. D'autres modifications dans les programmes herbicides (utilisation ou non de sulcotrione, mésotrione, sulfonylurées — rimsulfuron, nicosulfuron — isoxaflutole, DMTAP, métolachlor et acétochlor) ou la propension récente à adopter de nouvelles pratiques culturales, comme la réduction des surfaces labourées, jouent probablement un rôle non négligeable.

Cette dernière tendance pourrait par exemple contribuer à expliquer la progression des espèces disséminées par le vent à partir des bordures des parcelles : laiterons (*Sonchus asper*) ou séneçon vulgaire (*Senecio vulgaris*) (Derksen *et al.*, 1993).

Enfin, l'extension de la culture du maïs dans les plaines alluviales sur d'anciennes prairies permanentes hygrophiles pourrait expliquer l'apparition d'espèces de la ripisylve. C'est le cas du liseron des haies (*Galystegia sepium*), qui, étant par ailleurs insensible à l'atrazine, a doublement profité de la situation pour devenir une adventice sérieuse du maïs. L'interdiction dans les années 1980 du 2,4,5-T, hormone qui maîtrisait assez bien cette espèce, a également pu faciliter sa progression.

Plus localement, mais vraisemblablement pour les mêmes raisons (zones hygrophiles), le bident (essentiellement *Bidens tripartita*) est également cité en extension par les agriculteurs et les techniciens de terrain (Chauvel *et al.*, 2005). Dans le réseau Biovigilance Flore, il n'apparaît qu'à la 77<sup>e</sup> position à une fréquence de 1,10 %. Son extension possible pourra désormais être suivie de près grâce au nombre sans précédent de parcelles de maïs suivies.

## Perspectives

Depuis 2004 et le retrait des triazines, de nouvelles conditions exercent une barrière de sélection différente qui va sans aucun doute aboutir à un nouvel équilibre de la communauté végétale du maïs.

Pour mesurer toutes les conséquences de l'abandon de l'atrazine, le réseau « Biovigilance Flore », aujourd'hui en pleine montée en puissance, ne sera véritablement efficace que d'ici 3 à 4 ans lorsqu'un historique de 7 à 8 ans existera, notamment parce qu'on aura alors un certain recul quant à l'importance que peuvent prendre des fluctuations annuelles résultant d'accidents météorologiques particuliers.

Si grâce au réseau « Biovigilance Flore » l'on sait désormais quantifier objectivement et avec précision les changements *a posteriori*, l'outil Biovigilance Flore ne sera vraiment utile que lorsqu'il permettra de déterminer précocement vers quelle flore on se dirige.

Les recherches doivent maintenant s'orienter vers une amélioration de la capacité de prédiction des impacts des changements ou au moins être en mesure de détecter les changements majeurs de façon à la fois fiable et précoce, deux objectifs qui ne vont pas toujours facilement ensemble...

**Remerciements :** La publication de cet article est l'occasion pour les auteurs de remercier toutes les personnes travaillant au bon fonctionnement du réseau « Biovigilance Flore » ; nous pensons tout particulièrement aux agents des DRAF-SRPV et FREDON en charge de la collecte des informations et aux agriculteurs qui mettent leur parcelle à disposition.

## Résumé

Sous l'égide du Ministère de l'Agriculture, la Protection des Végétaux et l'INRA ont mis en place un réseau de suivi de la flore adventice des grandes cultures à travers la France métropolitaine (réseau Biovigilance Flore). L'existence d'un premier inventaire faisant état de la répartition et de la densité des principales mauvaises herbes dans les années 1970 a offert l'opportunité unique de mesurer comment la flore a évolué en 30 ans. Un procédé statistique nous a permis de mettre en évidence les espèces qui ont significativement changé de statut, la culture de maïs étant seule traitée ici. La progression ou la régression de chaque espèce est discutée en relation avec l'évolution des pratiques, notamment l'influence qu'ont pu avoir l'utilisation très majoritaire des triazines ou, plus récemment, la tendance à la réduction du travail du sol.

## Bibliographie

- **Barralis G., 1977** - Répartition et densité de principales mauvaises herbes en France. Document INRA. 1-22.
- **Chauvel B., Barralis G., Dessaint F. & Chadœuf R., 1995** - Développement de populations adventices en situation de jachère annuelle. 16<sup>e</sup> Conférence du COLUMA, 725-732.
- **Chauvel B., Dessaint F., Lonchamp J. & Gasquez J., 2005** - Cinq élues et des candidates : enquête sur les mauvaises herbes envahissantes en grandes cultures en France. Phytoma LDV 578: 16-20.
- **Derksen D.A., Lafond G.P., Thomas A.G., Loeppky H.A., Swanton C.J., 1993** - Impact of Agronomic Practices on Weed Communities : Tillage Systems. Weed Science, 41 : 409-417.
- **Desquesnes A. et Bibard V., 2004** - Désherbage du maïs, du sorgho et du millet. Face aux évolutions réglementaires, quelles solutions techniques appliquer aujourd'hui et quelles perspectives Phytoma-LDV, 577 :20-23.
- **Haas H., & Streibig J.C., 1982** - Changing Patterns of Weed Distribution as a Result of Herbicide Use And Other Agronomic Factors. In : Herbicide resistance in Plants : 57-79.
- **HEAP I.** (consulté en 2005). <http://www.weedscience.org/in.asp>
- **Mamarot J., Rodriguez A., 2003** - Sensibilité des mauvaises herbes aux herbicides en grandes cultures. ACTA: 1-372.
- **Renoux J.P., Bibard V., Gautier X., 2003** - Efficacité et flore. Les conséquences de la disparition de l'atrazine. Perspectives Agricoles, 286 : 32.

**Mots-clés :** mauvaises herbes, évolution, composition floristique, pratiques culturales, maïs.

## Summary

CHANGES IN ARABLE FIELD FLORA THROUGH THE LAST 30 YEARS IN FRANCE

A new national weed survey of arable fields has begun in France since 2002. About one thousand field should soon be surveyed every year across France. Existence of a first survey conducted during the 1970's allowed to measure how weed flora has evolved during the last 30 years. Here, the case of Maize is presented. We used a Bootstrap statistical process to highlight the species whose status has significantly changed between the two surveys. Modifications of the different species status are then discussed in relation to the evolution of main cultural practices: we look in particular for the influence of intense use of triazine herbicides or the recent increasing adoption of no-tillage systems.

**Key words :** weed flora, evolution, cultural practices, maize.