

Garantir la santé des consommateurs en maîtrisant les contaminations des matières premières : cas des alcaloïdes de l'ergot et du datura

B. ORLANDO(1), A. CARRERA(2), L. BONIN (3), V. BIBARD (4), B. MELEARD(1)

(1) ARVALIS Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 BOIGNEVILLE

(2) ARVALIS Institut du végétal, Cité Mondiale - 6 Parvis des Chartrons, 33075 BORDEAUX

(3) ARVALIS Institut du végétal, 241 Route de Chapulay, 69330 PUSIGNAN

(4) ARVALIS Institut du végétal, 21 chemin de Pau, 64121 MONTARDON

b.orlando@arvalis.fr, a.carrera@arvalis.fr, l.bonin@arvalis.fr, v.bibard@arvalis.fr, b.meleard@arvalis.fr

Garantir la santé des consommateurs en maîtrisant les contaminations des matières premières : cas des alcaloïdes de l'ergot et du datura

Différents contaminants peuvent conduire à la présence d'alcaloïdes dans les céréales collectées : (a) La présence de *Datura stramonium* a le double impact négatif de dégrader la qualité sanitaire de nombreuses cultures d'été et de réduire leur rendement par son développement végétatif luxuriant et concurrentiel. Toute la plante est susceptible de contenir des alcaloïdes tropaniques. (b) *Claviceps purpurea*, champignon responsable de l'ergot, est un phytopathogène susceptible de se développer sur de nombreuses graminées, qu'elles soient cultivées ou adventices. Les sclérotés formés par ce champignon contiennent des alcaloïdes.

Afin de garantir la santé des consommateurs, la Commission Européenne s'apprête à faire évoluer la réglementation de ces contaminants pour l'alimentation humaine, du grain au produit fini. Concernant les céréales, la teneur maximale réglementaire devrait ainsi passer de 0.5g/kg à 0.2g/kg pour l'ergot ; tandis que pour le datura, ce sont les alcaloïdes qui seront réglementés avec des teneurs maximales variant selon la matière première de 5 à 15µg/kg pour la somme atropine+scopolamine.

Ces évolutions réglementaires vont nécessiter le renforcement des actions de prévention au champ pour garantir la meilleure maîtrise possible des sources de contamination dans les parcelles et leur environnement, et limiter leur propagation. Post récolte, les actions de nettoyage vont revêtir un enjeu stratégique puisqu'elles constituent le dernier recours pour respecter ces futures réglementations.

Guaranteeing the health of consumers by controlling the contamination of raw materials: case of ergot and *Datura* alkaloids

Different contaminants can lead to alkaloids contaminations in cereals harvested: (a) The presence of *Datura stramonium* has the double negative impact of degrading the sanitary quality of many summer crops and reducing their yield by its lush and competitive vegetative development. The whole plant is likely to contain tropanic alkaloids. (b) *Claviceps purpurea*, a fungus responsible for ergot, is a phytopathogen that can grow on many grasses, whether cultivated or weeds. The sclerotia formed by this fungus contain alkaloids.

To ensure the health of consumers, the European Commission is preparing to change the regulation of these contaminants for human food, from grain to the finished product. For cereals, the maximum regulatory level should thus go from 0.5g/kg to 0.2g/kg for ergot; while for the datura, it is the alkaloids that will be regulated with maximum levels varying according to the raw material from 5 to 15µg/kg for the sum atropine + scopolamine.

These regulatory changes will lead producers to strengthen prevention activities in the field to ensure the best possible control of contamination sources in and around fields, and limit their spread. Post-harvest, cleaning actions will be a strategic issue since they are the last resort to comply with these future regulations.

INTRODUCTION

La présence d'alcaloïdes dans les matières premières peut résulter de contaminants d'origines très différentes :

DATURA STRAMONIUM, UNE PLANTE PARTICULIEREMENT TOXIQUE

Le datura est une dicotylédone de la famille des solanacées qui semble avoir été introduite sur le territoire français au XVI^{ème} siècle mais son origine reste indéterminée. Les premières mentions en France dans le milieu naturel datent de 1785, dans le département du Rhône (SIFlore, 2019). C'est une espèce annuelle estivale que l'on trouve aujourd'hui dans presque toute la France, jusqu'en Picardie et Nord Pas-de-Calais, (bords de routes, friches, cultures), avec un développement préférentiel dans le Sud puisqu'elle apprécie les températures chaudes. Son développement végétatif luxuriant rend le datura concurrentiel des cultures estivales, notamment maïs, tournesol, soja, sorgho, sarrasin et productions maraîchères. Le datura est une plante particulièrement toxique. Toutes ses parties (fleur, feuille, graines, sève) contiennent d'importantes teneurs en alcaloïdes tropaniques (Chollet et al. 2010). Une soixantaine d'alcaloïdes ont été isolés, les 2 plus courants étant l'atropine et la scopolamine, actuellement suivis de près par la Commission Européenne. Il existe une relation entre la teneur en graines de Datura et les alcaloïdes tropaniques dans les cultures (Orlando, 2019a). Leur présence dans les récoltes constitue donc un enjeu sanitaire et économique, la gestion de ce risque passant par le respect de la réglementation en vigueur.

Deux réglementations européennes ont actuellement cours. La première règlemente à 1g/kg la quantité maximale de graines de datura dans les productions destinées à l'alimentation animale (Directive UE 2002/32). La seconde réglementation (UE) 2016/239 est entrée en vigueur en 2016 et fixe une teneur maximale de 1µg/kg pour chacun des deux alcaloïdes tropaniques atropine et scopolamine dans les aliments à base de céréales pour nourrissons et enfants en bas âge contenant du millet, du sorgho, du sarrasin ou des produits qui en sont dérivés. En date d'écriture de cet article, des discussions sont en cours pour étendre cette réglementation aux grains et aux autres produits de transformation pour l'ensemble des consommateurs. Sur grain, le seuil actuellement proposé pour la somme des 2 alcaloïdes est de 15µg/kg sur maïs, 10µg/kg pour le sarrasin, 5µg/kg pour le millet, le sorgho et le maïs prêt à éclater.

ERGOT DES CEREALES

L'ergot du seigle (*Claviceps purpurea*), est un champignon ascomycète présentant une faible spécificité d'hôte et s'installant au stade floraison sur les ovaires des graminées sauvages ou adventices alentours (vulpin, ray-grass etc.), parfois directement sur les céréales cultivées. Les sclérotés formés par *Claviceps purpurea* constituent la forme de conservation du champignon. Ils contiennent des toxines de la famille des alcaloïdes, actuellement suivis de près par la Commission Européenne. Une quarantaine d'alcaloïdes ont été isolés, les 12 plus courants étant des ergopeptides toxiques : ergotamine, ergométrine, ergosine, ergocornine, ergocristine, et ergocryptine et leurs formes épimères respectives. Ce sont des dérivés de l'acide isolysergique, ou de l'acide lysergique, dont est issu le LSD notamment. Il existe une relation entre la teneur en ergot et les alcaloïdes (Orlando, 2017). Leur présence dans les récoltes constitue donc un enjeu sanitaire et économique, la gestion de ce risque passant par le respect de la

réglementation en vigueur.

Pour l'alimentation humaine, le règlement 1881/2006 définit à 0.5g/kg la teneur maximale en ergot (*Claviceps purpurea*) sur les céréales brutes destinées à la consommation humaine. En date d'écriture de cet article, un projet de modification de ce règlement envisage d'abaisser cette teneur maximale à 0.2g/kg, et de mettre en place des teneurs maximales en alcaloïdes sur les produits transformés et produits finis. Pour l'alimentation animale, la teneur maximale réglementaire est fixée à 1 g/kg de céréales (directive Européenne 2002/32 – règlement 574/2011). Enfin, pour la production de semences, la Directive européenne 66/402 impose un maximum de 3 sclérotés (ou fragments) pour 500 g de semences certifiées, et un maximum de 1 sclérote (ou fragment) pour 500 g de semences de base.

TOXICITE DES ALCALOÏDES

Pour définir la toxicité des contaminants, les toxicologues utilisent couramment deux indicateurs :

Evaluation de la Toxicité chronique par la Dose journalière tolérable (DJT) - Tolerable daily intake (TDI) : c'est la quantité d'un composé donné qui peut être ingérée quotidiennement pendant une vie entière sans que cela ne génère de problèmes de santé. Pour les alcaloïdes de l'ergot (somme des 12 molécules) la DJT est de 0.6µg/kg poids corporel ; aucune DJT n'est définie pour les alcaloïdes tropaniques (EFSA, 2017 et 2018).

Evaluation de la Toxicité aiguë par la Dose aiguë de référence (DARf) – Acute reference dose (ARfD) : quantité d'un composé donné qui peut être ingérée durant un laps de temps court généralement d'une journée, sans que cela génère des problèmes de santé. Pour les alcaloïdes de l'ergot (somme des 12 molécules) la DARf est de 1.0µg/kg poids corporel ; elle est de 0.016µg/kg pc pour les alcaloïdes tropaniques (EFSA, 2017 et 2018). A titre de comparaison, ces alcaloïdes sont donc 8 à 500 fois plus toxiques que le Déoxynivalenol, toxine de *Fusarium* réglementée dont la DARf est de 8µg/kg pc.

Les études d'occurrence présentées ici ont pour objectif de fournir des éléments opérationnels de compréhension et de gestion des conséquences de la future réglementation.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Datura

1.1.1. Dispositif étudié

Un total de 280 parcelles de maïs grain a été étudié par ARVALIS - Institut du végétal en collaboration avec différents partenaires de la filière sur les récoltes 2017 et 2018.

1.1.2. Prélèvement des échantillons, mesure du datura et des alcaloïdes tropaniques

Pour chaque parcelle, un échantillon de 4.5kg de grains a été constitué à la récolte. Cet échantillon est composé de 3 sous-échantillons de 1.5kg minimum chacun, prélevés à la vidange de la moissonneuse batteuse puis rassemblés à réception. Cet échantillon a été homogénéisé puis divisé afin de constituer un sous-échantillon de 1kg pour analyse :

- les graines de datura ont été isolées par méthode visuelle sur l'ensemble de l'échantillon afin de déterminer la teneur en graines de datura (g/kg) et le nombre de graines de datura

(nb/kg).

- les graines isolées ont ensuite été réintroduites dans l'échantillon de grain. L'échantillon reconstitué a été broyé en intégralité pour analyse des alcaloïdes par chromatographie liquide, détection couplée masse-masse (LC-MSMS) : mesure de la teneur en atropine ($\mu\text{g}/\text{kg}$) et de la teneur en scopolamine ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Sur la récolte 2017, l'ensemble des 84 échantillons a fait l'objet d'une analyse d'alcaloïdes tropaniques. En 2018, compte tenu de la plus faible proportion d'échantillons contenant des graines de datura (8% soit 15 échantillons sur 196) la stratégie d'analyse des alcaloïdes tropaniques a été adaptée et réalisée sur : (a) l'ensemble des 15 échantillons contenant des graines de datura et (b) les 60 échantillons ne contenant pas de graine de datura, mais dont le département d'origine fait partie des départements dans lesquels des graines de datura ont été quantifiées.

Les 121 autres échantillons exempts de graine de datura ont été considérés comme « non détecté » pour les alcaloïdes tropaniques.

1.2. Ergot

1.2.1. Dispositif étudié

Entre 2012 et 2014, un total de 1919 parcelles de blé tendre (835), blé dur (322), orge (430), triticale (178), seigle (86) et avoine (68) ont été enquêtées par ARVALIS - Institut du végétal en collaboration avec différents partenaires de la filière (Tableau 1).

Tableau 1 – Dispositif d'enquête, par culture et année de récolte

	2012	2013	2014	Total
Blé dur	67	121	134	322
Blé tendre	103	287	445	835
Orge	135	84	211	430
Triticale	69	71	38	178
Avoine	34	34	-	68
Seigle	26	27	33	86

1.2.2. Prélèvement des échantillons et analyse des alcaloïdes

Pour chaque parcelle, un échantillon de 3kg de grain a été constitué à la récolte. Cet échantillon est composé de 3 sous-échantillons de 1kg minimum chacun, prélevés à la vidange de la moissonneuse batteuse. Les trois sous-échantillons ont été rassemblés. L'échantillon est pesé puis l'ensemble des sclérotés a été isolé sur cet échantillon. Ceux-ci sont ensuite pesés pour déterminer la teneur en ergot de l'échantillon.

Parallèlement, les échantillons exempts de sclérotés sont ensuite homogénéisés, nettoyés pour retirer les impuretés (pailles glumes, petits grains, grains cassés, poussières...) puis divisés de manière à obtenir 1,5kg de grain pour analyse. Les sclérotés sont réintroduits en totalité dans ce sous-échantillon.

Celui-ci est d'abord broyé à l'aide d'un broyeur équipé d'une grille de 1mm, puis un sous-échantillon de 500g de ce broyat a été prélevé pour analyse des alcaloïdes par chromatographie liquide, détection couplée masse-masse (LC-MSMS). Les alcaloïdes mesurés sont l'ergocornine, l'ergocristine, l'ergometrine, l'ergotamine, l'ergosine, l'ergocryptine, ainsi que leurs formes épimères respectives, soit un total de 12

molécules. Les teneurs en alcaloïdes mesurées sont ensuite corrigées du facteur de concentration induit par l'échantillonnage de grain précédemment décrit.

Les analyses telles que décrites sont donc le reflet de l'état sanitaire à la récolte « sortie de champ ». Elles n'intègrent donc pas le travail de nettoyage des organismes de collecte réalisé avant commercialisation et ne sont pas le reflet de la collecte française mise sur le marché en vue d'une première transformation.

2. RESULTATS

2.1. Datura

2.1.1. Occurrence des graines de datura

La teneur en graines de datura des parcelles par année de récolte est décrite (Figure 1). En 2017 dans le Grand Sud-Ouest, 29% des parcelles contenaient des graines de datura. En 2018, sur ce même périmètre géographique, ce sont 11% des parcelles qui contenaient des graines de datura. Sur l'ensemble du territoire, ce sont 8% des parcelles qui contenaient des graines de datura en 2018. La récolte 2018 a donc été 3 fois moins contaminée en fréquence que la récolte 2017. Cela pourrait s'expliquer par un printemps 2018 avec une pluviométrie particulièrement élevée et des semis plus tardifs qui ont réduit la présence de datura et homogénéisé leurs levées conduisant à une meilleure efficacité du contrôle par les programmes de désherbage.

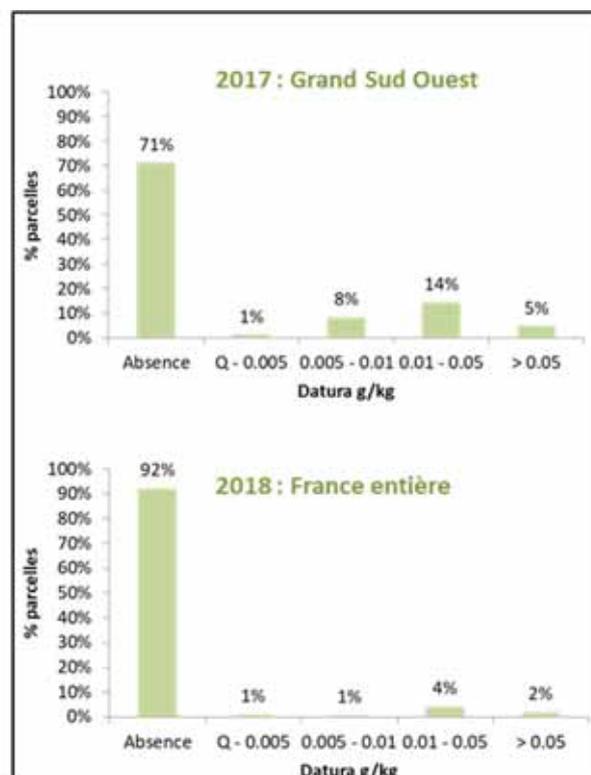


Figure 1 – Distribution des parcelles étudiées par classe de teneur en graines de datura

A partir des résultats des échantillons contaminés en datura, (24 échantillons en 2017 et 15 en 2018), la masse moyenne d'une graine de datura est de 0.0063g [0.0018-0.0095].

2.1.2. Occurrence des alcaloïdes tropaniques

La teneur en alcaloïdes tropaniques des parcelles par année de récolte est décrite (Figure 2). Les résultats sont présentés en concordance avec le projet de réglementation, à savoir sur la somme des teneurs en atropine et en scopolamine. La majorité des échantillons possède une teneur en alcaloïdes inférieure à 10µg/kg. Cependant, on observe en 2017 que 29% des parcelles enquêtées dans le Grand Sud-Ouest dépassent le projet de teneur maximale réglementaire de 15µg/kg sur maïs grain. En 2018 sur l'ensemble du territoire, ce sont 7% des échantillons qui dépassent 15µg/kg. Rappelons que les analyses sont réalisées sur des échantillons « sortie de champ » et constituent un observatoire « récolte » ; ils ne sont pas le reflet de la collecte française mise sur le marché. Ce constat témoigne des très faibles valeurs qui sont envisagées comme limites maximales réglementaires.

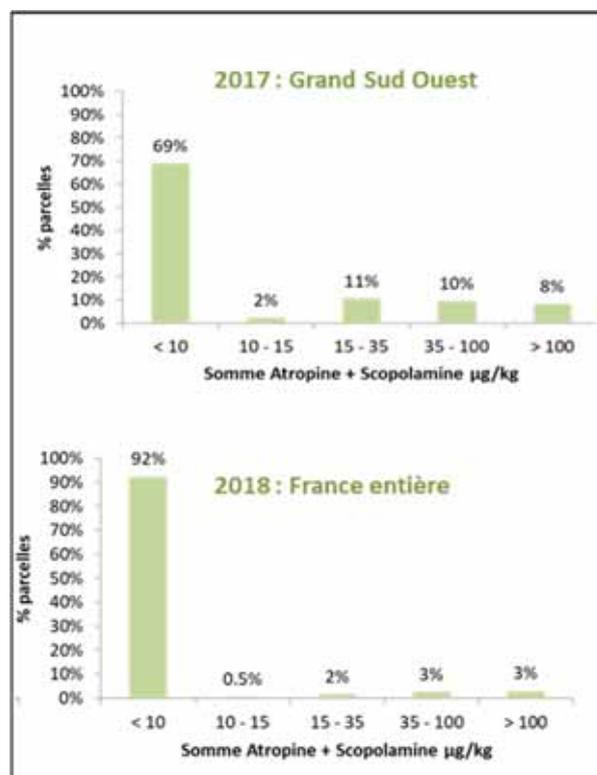


Figure 2 – Distribution des parcelles étudiées par classe de teneur en alcaloïdes tropaniques : Grand Sud-ouest en 2017 et France entière en 2018

Les teneurs en atropine et en scopolamine des échantillons sont bien corrélées, avec un R^2 de 0.87.

La corrélation entre la teneur en graines de datura (g/kg) et la teneur en alcaloïdes tropaniques dans l'échantillon est bonne, avec un R^2 de 0.86 (Figure 3).

Toutefois, si l'on fait un focus sur les échantillons plus faiblement contaminés, avec des teneurs en graines de datura inférieures à 0.04g/kg, cette corrélation est plus faible, avec un R^2 de 0.70. En effet, dans les échantillons faiblement contaminés en graines de datura, la présence additionnelle d'alcaloïdes tropaniques provenant des autres parties de la plante (jus, feuilles...) peut apporter une part d'alcaloïdes tropaniques relativement plus importante

pouvant expliquer la corrélation plus faible avec les teneurs en graines de datura.

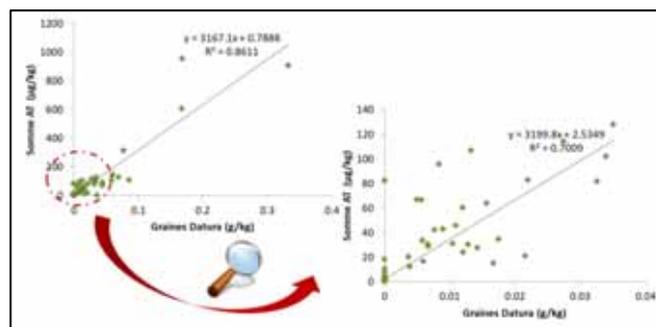


Figure 3 – Teneur alcaloïdes tropaniques (AT) en fonction de la teneur en graines de datura sur l'ensemble des 2 années étudiées et focus sur les faibles contaminations

2.1.3. Alcaloïdes tropaniques contenus dans 1g de graines de datura, et dans 1 graine

A partir des résultats des échantillons contaminés en datura, (24 échantillons en 2017 et 15 en 2018), la quantité d'alcaloïdes tropaniques contenus dans 1 g de graines de datura est en moyenne de 4443µg.

Nous déterminons également qu'une graine de datura pèse en moyenne 6.2mg donc en moyenne 1 graine contient 28µg d'alcaloïdes tropaniques avec un ratio d'atropine de 76% : 21µg d'Atropine et 7 µg de Scopolamine.

2.1.4. Quantification d'alcaloïdes tropaniques en absence de graines de datura

Sur l'ensemble des 2 années d'étude, 120 échantillons exempts de graine de Datura ont fait l'objet d'analyses d'alcaloïdes tropaniques. Dans ces échantillons, 30 (25%) contenaient des alcaloïdes tropaniques majoritairement sous formes de traces inférieures à la limite de détection ; pour 10 de ces échantillons (12%) les valeurs observées étaient supérieures à la limite de détection pour au moins 1 alcaloïde. La distribution des teneurs observées est récapitulée dans le Tableau 2 : 97.5% des teneurs en alcaloïdes sont inférieures à 10µg/kg, mais il est possible de constater ponctuellement des teneurs élevées en alcaloïdes, pouvant atteindre 82µg/kg en l'absence de graine de datura.

Tableau 2 – Distribution des parcelles exemptes de graine de datura par classe de teneur en alcaloïdes tropaniques

Alcaloïdes tropaniques (µg/kg)	% échantillons	Nb échantillons
< 10	97.50%	117
≥10 et <15	0.83%	1
≥15 et <35	0.83%	1
≥ 35	0.83%	1

2.1.5. Enjeux toxicologiques et réglementaires

Nous retenons de cet observatoire issu de 2 années de récolte qu'en moyenne 1 graine contient 28µg d'alcaloïdes tropaniques.

D'un point de vue toxicologique, la DARf pour ces alcaloïdes étant de 0.016µg/kg, pour un adulte de 70kg cela correspond à 1.12µg d'alcaloïdes. L'ingestion d'une seule graine de datura

suffit à dépasser de 25 fois la DARf.

Dans le cas d'une possible réglementation fixant une teneur maximale d'alcaloïdes tropaniques à 15µg/kg pour le maïs grain destiné à l'alimentation humaine, cela revient à quantifier 1 graine de datura dans un échantillon de 2kg de grains de maïs.

Par ailleurs l'absence de graines de datura ne garantit pas l'absence d'alcaloïdes tropaniques dans les lots de grain : les teneurs mesurées peuvent dépasser la teneur maximale envisagée dans le futur projet réglementaire.

2.2. Ergot

2.2.1. Occurrence de l'ergot et des alcaloïdes

La distribution des teneurs en ergot et en alcaloïdes des parcelles par culture et par année de récolte sont respectivement décrites Tableau 3 et 4. Les plus fortes

concentrations en ergot et en alcaloïdes sont observées dans le seigle sur l'ensemble des 3 années d'étude : 31 à 48% des échantillons collectés dépassent 0.2g/kg d'ergot. Sur les autres cultures, les dépassements du projet de limite maximale réglementaire varient entre 0 et 9% selon la culture et l'année. Rappelons que les analyses sont réalisées sur des échantillons « sortie de champ » et constituent un observatoire « récolte » ; ils ne sont pas le reflet de la collecte française mise sur le marché. La corrélation entre la teneur en sclérotés (g/kg) et la teneur en alcaloïdes d'ergot (µg/kg) est bonne, avec un R² de 0.79. Cette corrélation est indépendante de l'année (p=0.32) et de la plante hôte (p=0.20) (Figure 4).

Tableau 3 – Distribution (%) de la teneur en ergot (g/kg), moyenne et intervalle en France par culture et par année de récolte

Culture	n	Année de récolte	Distribution (%), selon la concentration en ergot (g/kg)				Concentration (g/kg)	
			< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5	Moyenne	Intervalle
Blé dur	67	2012	99%	1%	0%	0%	0.006	0-0.106
Blé tendre	103		93%	2%	5%	0%	0.020	0-0.393
Orge	135		93%	3%	2%	1%	0.032	0-1.147
Triticale	69		90%	7%	3%	0%	0.027	0-0.341
Avoine	34		97%	3%	0%	0%	0.014	0-0.153
Seigle	26		50%	19%	19%	12%	0.201	0-1.075
Blé dur	121	2013	98%	1%	0%	1%	0.014	0-1.045
Blé tendre	287		93%	4%	2%	1%	0.032	0-1.358
Orge	84		94%	5%	1%	0%	0.014	0-0.318
Triticale	71		83%	10%	3%	4%	0.085	0-1.898
Seigle	34		37%	15%	11%	37%	1.340	0-13.833
Avoine	27		100%	0%	0%	0%	0.001	0-0.014
Blé dur	134	2014	83%	8%	5%	4%	0.093	0-2.708
Blé tendre	445		97%	3%	0%	0%	0.021	0-2.471
Orge	211		95%	3%	2%	0%	0.014	0-0.303
Triticale	38		81%	11%	0%	8%	0.096	0-1.028
Seigle	33		52%	9%	9%	30%	4.379	0-85.675

Tableau 4 – Distribution (%) de la teneur en alcaloïdes totaux (µg/kg), moyenne et intervalle en France par culture et par année de récolte

Culture	n	Année de récolte	Distribution (%) selon la concentration en EA (µg/kg)					Concentration (µg/kg)	
			< 250	250-500	500-750	750-1250	> 1250	Moyenne	Intervalle
Blé dur	67	2012	97%	3%	0%	0%	0%	24	5-384
Blé tendre	103		95%	3%	1%	1%	0%	42	5-1221
Orge	135		92%	4%	2%	1%	1%	103	5-3665
Triticale	69		90%	7%	3%	0%	0%	64	5-676
Avoine	34		49%	8%	19%	12%	12%	531	5-2655
Seigle	26		91%	6%	0%	3%	0%	69	5-787
Blé dur	121	2013	95%	2%	1%	0%	2%	56	5-2172
Blé tendre	287		91%	5%	2%	0%	2%	96	5-3350
Orge	84		96%	2%	2%	0%	0%	35	5-719
Triticale	71		84%	8%	0%	4%	4%	235	5-4809
Seigle	34		52%	11%	4%	7%	26%	1479	5-11,364
Avoine	27		100%	0%	0%	0%	0%	10	5-118
Blé dur	134	2014	88%	6%	2%	0%	4%	208	5-6113
Blé tendre	445		97%	3%	0%	0%	0%	29	5-487
Orge	211		95%	3%	1%	1%	0%	44	5-919
Triticale	38		76%	11%	5%	0%	8%	289	5-3179
Seigle	33		61%	3%	3%	3%	30%	3050	5-35,811

2.2.2. Alcaloïdes contenus dans 1g de sclérotés

Sur l'ensemble des 517 parcelles pour lesquelles de l'ergot a été quantifié dans l'échantillon, on détermine la quantité d'alcaloïdes présente dans 1g de sclérotés, qui est en moyenne de 3103µg d'alcaloïdes.

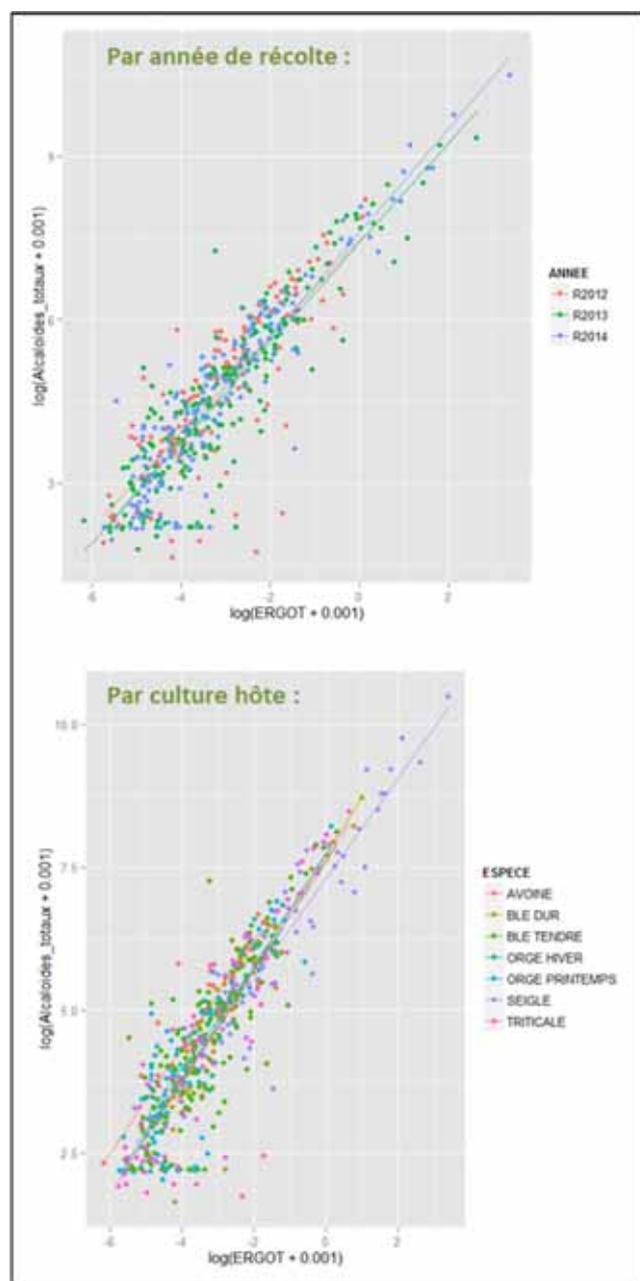


Figure 4 – Corrélation entre ln(alcaloïdes) et ln(ergot+0.001) par année de récolte et par plante hôte

Les principaux alcaloïdes de l'ergot (EA) et leurs épimères correspondants présents sont l'ergotamine (29,2% des EA), suivi de l'ergosine (26,3%) et de l'ergocristine (18,5%). Ces composés représentent 74% du total des EA (tableau 5). L'ergométrine (9,8%), l'ergocryptine (8,2%) et l'ergocornine (7,9%) sont également présents, mais en moindre quantité. Les isomères de -ine représentent 70,5% des alcaloïdes totaux, et les isomères -inine représentant les 29,5% restants.

2.2.3. Enjeux toxicologiques et réglementaires

Nous retenons de cet observatoire issu de 3 années de récolte qu'en moyenne 1 g de sclérotés contient 3103µg d'alcaloïdes d'ergot.

Tableau 5 – Composition en alcaloïdes calculée pour 1g de sclérotés (moyenne, étendue) à partir de 517 échantillons de céréales contaminés en ergot

	EA formes -ine µg /g ergot		- EA formes -inine µg /g ergot	
	moyenne	étendue	moyenne	étendue
Ergocristine	403	4-6300	170	2-2550
Ergotamine	649	3-11,250	258	3-8100
Ergocryptine	164	3-2707	92	2-1244
Ergométrine	249	3-4000	56	1-725
Ergosine	566	3-9000	250	3-3525
Ergocornine	156	3-4667	90	2-1705
TOTAL	2187	14-37,924	916	10-17,849

Si l'on considère par ailleurs qu'un sclérote de céréale pèse en moyenne 0.0684g (ARVALIS, données non publiées), nous pouvons considérer qu'un sclérote « moyen » de la taille proche d'un grain de blé contient 212µg d'alcaloïdes.

D'un point de vue toxicologique, la DARf pour ces alcaloïdes étant de 1.00µg/kg, pour un adulte de 70kg cela correspond à 70µg d'alcaloïdes. L'ingestion d'un sclérote d'une taille proche d'un grain de blé suffit à dépasser de 3 fois la DARf.

Dans le cas d'une possible réglementation fixant une teneur maximale en ergot de 0.2g/kg pour les céréales destinées à l'alimentation humaine, cela revient à rechercher l'équivalent de 3 sclérotés de la taille d'un grain de blé dans un échantillon de 1kg de céréales.

3. DISCUSSION

3.1. Toxicité, exposition des consommateurs, réglementation et surveillance sanitaire

L'EFSA mentionne (EFSA, 2018) que les expositions alimentaires aiguës moyennes aux alcaloïdes tropaniques (somme atropine et scopolamine) peuvent être supérieures à la DARf chez les enfants, et au percentile 95 (P95) pour toutes les classes d'âge. Au niveau Européen, l'EFSA mentionne que les principaux contributeurs à l'exposition aux alcaloïdes tropaniques sont le pain (nature des céréales non précisée) et les aliments à base de céréales, le thé et les infusions à base de plantes.

Concernant les alcaloïdes de l'ergot (EFSA, 2017), l'exposition chronique des enfants est en moyenne 2 à 3 fois supérieure à celle des adultes, mais reste inférieure à la DJT. Les principaux aliments contributeurs à l'exposition alimentaire aux alcaloïdes de l'ergot sont les pains contenant du seigle (tout ou partie), qui peuvent représenter jusqu'à 84% de l'exposition totale aux EA. L'exposition aiguë des consommateurs peut en revanche frôler la DARf, en particulier chez les enfants. Là encore, les principaux contributeurs sont les pains contenant du seigle pour tout ou partie.

L'exposition des consommateurs Européens à ces alcaloïdes justifie les évolutions réglementaires en cours ; et le respect de ces teneurs maximales réglementaires garantit la santé du consommateur.

En complément de la réglementation, le système Européen d'alerte rapide pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux (RASFF), permet aux autorités nationales d'échanger, dans des délais très courts, des informations sur les risques sanitaires liés à des denrées alimentaires ou aliments pour animaux. Lorsqu'un État participant au réseau détecte un danger pour la santé, il renseigne les autres membres du réseau sur le produit concerné et les mesures prises pour parer au risque. Grâce à cet échange rapide d'informations, tous les membres du RASFF peuvent vérifier en temps réel s'ils sont eux aussi touchés et juger de la nécessité d'agir d'urgence. Il incombe aux autorités des pays touchés de prendre les mesures d'urgence qui s'imposent, par exemple en informant directement le public, en retirant des produits du marché ou en effectuant des contrôles sur le terrain.

Tableau 6 – Alertes RASFF relevées entre le 01/01/2017 et le 25/10/2019 sur datura, alcaloïdes tropaniques, ergot et alcaloïdes de l'ergot

Contaminant	Nombre d'alertes	Produit (origine production)
Datura	4	Haricots (1, France) Graines tournesol (1, Pays Bas) Tomates pelées (1, Espagne) Graines oisellerie (1, Pays Bas)
Alcaloïdes tropaniques	12	Sarrasin (2, France) Maïs (1, France) Produits céréaliers (3, Serbie, Espagne, Autriche) Autres (6, Serbie, Pologne, Hongrie, Bulgarie, Albanie)
Ergot	6	Seigle (5, Allemagne, Luxembourg, Lettonie, Lituanie) Blé dur (1, Canada)
Alcaloïdes de l'ergot	4	Farine de seigle (4, Belgique, Autriche)

Le recensement d'alertes récapitulé dans le tableau 6 (RASFF, 2019) démontre que la problématique des alcaloïdes concerne des productions issues de nombreux pays Européens. Pour le Datura et ses alcaloïdes les productions concernées sont très diversifiées : cultures d'été telles que le maïs et le sarrasin, mais également cultures maraîchères. Pour l'ergot et ses alcaloïdes en revanche, les notifications concernent en quasi-totalité les productions de seigle, culture la plus sensible à la maladie.

3.2. Des contaminants naturellement présents dans les récoltes

Les résultats de notre étude démontrent que les alcaloïdes du Datura et de l'ergot sont des contaminants couramment présents dans les productions françaises : pour les alcaloïdes tropaniques, les résultats de notre observatoire montrent que pour un bassin donné cela peut concerner 29% du maïs récolté. Concernant l'ergot, sur l'ensemble des 3 années de récolte 27% des échantillons contenaient de l'ergot toutes cultures confondues (517 échantillons sur 1919). Rappelons que présence d'alcaloïdes ne signifie pas forcément danger dès lors que la réglementation est respectée. De plus, les résultats de notre étude sont le reflet de l'état sanitaire à la récolte « sortie de champ ». Elles n'intègrent pas le travail

curatif de nettoyage que réalisent les organismes de collecte avant commercialisation et ne sont de ce fait pas le reflet de la collecte française mise sur le marché en vue d'une première transformation.

3.3. Maîtrise des contaminations en datura en culture

La production d'alcaloïdes tropaniques est totalement exogène à la culture d'intérêt et dépend de la présence d'une plante adventice. La gestion du risque alcaloïdes tropaniques va donc avant tout porter sur la lutte contre la plante incriminée. Le datura s'adapte à tous les types de sols et germe en été à une profondeur de plus de 10cm. Sachant que les graines de datura peuvent survivre plus de 80 ans dans le sol, il est nécessaire de mettre en œuvre tous les moyens disponibles pour réduire leur présence dans les parcelles.

Le datura a un cycle de développement très court avec une montée à graines rapide. En premier lieu, il ne faut donc surtout pas laisser les daturas monter à graines pendant l'interculture, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter le salissement de la parcelle pour une longue durée. Cela implique de lutter contre le développement du datura pendant l'interculture que ce soit par la voie mécanique ou la voie chimique. La mise en place de couverts végétaux, parfois imposée par la réglementation n'est pas toujours compatible avec une bonne gestion des daturas, le datura étant très concurrentiel lors de l'implantation du couvert.

En cours de culture, le seul levier curatif pertinent, à ce jour, est l'utilisation d'herbicides (Orlando, 2019a) : de nombreux herbicides sont efficaces mais les levées échelonnées du datura compliquent le contrôle des levées tardives. Dans une culture comme le maïs, par exemple, il faut prévoir une base en prélevée avec des produits racinaires puis une à deux applications en post-levée d'associations d'herbicides racinaires et foliaires, à positionner sur de jeunes daturas (2 à 4 feuilles maximum) aux stades « 2-4 feuilles » puis « 8-9 feuilles » de la culture du maïs.

Les autres moyens de maîtrise passeront par la prévention (Orlando, 2019a) : il convient de surveiller attentivement les parcelles autant que leurs abords, et d'arracher manuellement les pieds puis de les sortir de l'environnement. Il s'avèrera judicieux également de broyer les passages d'enrouleurs avant la montée à graines des daturas. Les moyens de désherbage mécanique certes utilisables restent globalement moins performants pour le contrôle de cette plante en raison des levées échelonnées, du contrôle complexe sur le rang et surtout de l'exigence d'une absence qui doit tendre vers 100%.

A la récolte, il est conseillé de débiter par les parcelles les moins infestées et en veillant tout particulièrement à bien nettoyer le matériel de récolte entre les chantiers.

Au-delà de la gestion des daturas dans les maïs, d'autres pratiques peuvent favoriser sa dissémination dans l'environnement. Ainsi, l'ANSES a mentionné que 30 à 50 % des lots de graines de tournesol et de mélanges de graines à destination des oiselleries sont contaminés par du datura (ANSES, 2016). Ce sont autant de sources de dispersion récurrente et à longue distance dans l'environnement. Les mélanges pour jachère faune sauvage seraient aussi des

sources de différentes contaminations botaniques (X. Reboud, 2019).

Par ailleurs, malgré le risque majeur d'intoxication qu'elles représentent, différentes espèces et variétés de datura sont toujours proposées en jardinerie comme plante ornementale. (Chollet et al., 2010 ; X. Reboud, 2019).

3.4. Maîtrise des contaminations en ergot en culture

A la différence des alcaloïdes tropaniques, les alcaloïdes de l'ergot sont produits par un champignon qui va se développer distinctement en lieu et place du grain de la culture d'intérêt mais aussi sur les adventices environnantes. La plante hôte constitue d'ailleurs un facteur de première importance (Orlando, 2013). Le seigle est la culture la plus sensible à la maladie, ce qui justifie l'appellation historique « ergot du seigle ». Le triticale est également identifié comme sensible à la maladie. Cette sensibilité s'explique par le degré d'allogamie des différentes cultures, les plantes allogames présentant une sensibilité supérieure à floraison. Si l'on extrapole ce principe au choix variétal, des variétés de seigle commercialisées possèdent le gène IRAN IX : ce gène favorise la pollinisation, ce qui permet de diminuer la période de sensibilité à floraison. Ainsi, les ascospores ne peuvent plus contaminer les épis après la fécondation. L'efficacité indirecte de ce gène a pu être constatée (Maumené, 2015) mais d'autres sources de résistances doivent être explorées.

Les graminées adventices jouent également un rôle de premier rang dans les contaminations en ergot des cultures (Orlando, 2013). La présence de graminées en sortie d'hiver peut constituer une source de contamination de la récolte et de la parcelle à plus long terme. Cette contamination peut être directe (les sclérotés des graminées, non contrôlés se retrouvent dans la récolte) soit indirecte (les graminées servant de relais à l'ergot, avant de contaminer la céréale en floraison). La maîtrise des graminées est donc cruciale afin de limiter les risques sanitaires liés à l'ergot, quelle que soit la culture concernée. Dans une récente étude (Orlando, 2019b), les collecteurs font état de la présence aujourd'hui généralisée d'adventices résistantes aux herbicides. Sur les 10 dernières années, les populations de graminées résistantes ont augmenté, notamment vis-à-vis des groupes HRAC A et B (Bonin & Duroueix, 2019). Compte tenu du développement de ces populations résistantes, le risque lié à l'ergot est amplifié, faute de solutions chimiques efficaces en sortie d'hiver. Le recours au désherbage d'automne est donc une nécessité dans de nombreuses situations (Bonin, 2013). En situation à risque, la fauche des bords de champ avant la floraison des graminées sauvages, bien que réglementairement limitée, est donc recommandée afin de stopper leur fonction de relais de la maladie.

Le précédent cultural joue également un rôle : les précédents céréales, hôtes de la maladie, doivent être particulièrement surveillées, mais aussi plus largement toutes les cultures telles que le colza induisant des difficultés de désherbage, les graminées adventices entretenant

l'inoculum dans les parcelles.

Le travail du sol profond permet d'enfouir les sclérotés dans le sol suffisamment pour que ces derniers germent dans le sol, empêchant l'émission des ascospores dans l'air, et donc la contamination des graminées à floraison (Maunas, 2013). L'importance de ce levier agronomique a pu être démontrée par ailleurs au travers d'essais analytiques puisque le labour, en enfouissant à plus de 10 cm les sclérotés, permet de diminuer le potentiel infectieux de la parcelle de 85% (Maumené, 2015). A l'échelle de 2 rotations, la nécessité d'effectuer l'année suivante un second labour – qui remonterait à la surface 60% des sclérotés précédemment enfouis- ou bien de réaliser un travail superficiel- doit être évaluée en tenant compte des adventices naturellement présentes dans l'environnement, et qui pourraient apporter à la surface du sol de nouveaux sclérotés.

Des traitements fongicides des semences peuvent également contribuer à la maîtrise des sclérotés résiduels présents dans le lot de semences après les opérations de nettoyage (Maunas, 2015). L'efficacité d'un apport associé de prochloraz et de triticonazole, ou bien encore de l'association carboxine et thirame ont ainsi été démontrées. Malheureusement ces formulations ont entre-temps été retirées du marché, ou bien sont en passe de l'être.

3.5. Le nettoyage des grains, seul levier curatif post-récolte

Au regard des très faibles valeurs envisagées pour les teneurs maximales réglementaires et du caractère exogène à la culture de la problématique alcaloïdes, les interventions post-récolte constituent plus que jamais un levier clé dans la gestion du risque. Le nettoyage des grains avant mise sur le marché est une étape généralement efficace pour éliminer les graines de datura et les sclérotés. Les graines de datura ayant des morphologies bien distinctes de celles du maïs, un nettoyeur séparateur équipé des grilles usuelles peut théoriquement être une solution efficace pour éliminer ces graines adventices moyennant une certaine perte de masse. Aucun essai analytique n'a été publié sur maïs grain mais des expérimentations actuellement en cours confirment l'efficacité des nettoyeurs-séparateurs pour éliminer les graines de datura d'un lot de maïs (ARVALIS, données non publiées). Des travaux conduits sur tournesol par Terres Inovia en 2010 indiquent ainsi qu'avec une grille de 3,5mm, 100% des graines de datura peuvent être éliminées en générant 1,4% de perte de graines de la culture d'intérêt (Dauguet, 2010). L'efficacité de la mise en œuvre du nettoyage pour éliminer les graines de datura doit par ailleurs être évaluée sur d'autres espèces avec des graines plus petites et moins différenciables telles que le sarrasin, le millet ou le sorgho. Bien qu'une opération de tri soigneux permette de diminuer significativement les contaminations en graine de datura, des contaminations en alcaloïdes peuvent subsister dans les lots exempts de graines : dans notre étude nous observons que 2% des parcelles peuvent encore excéder le projet de teneur maximale réglementaire de 15µg/kg du fait de la présence d'autres types de contaminants (fragments ou jus de plante). Pour l'ergot, l'efficacité des trieurs optiques (Orlando, 2014) ou des tables densimétriques (Orlando, 2011) pour

éliminer les sclérotés d'ergot des lots de céréales contaminés est désormais bien documentée, ces équipements pouvant éliminer 96 à 99% de l'ergot présent dans les lots. Mais ces appareils sont peu présents chez les organismes stockeurs et l'utilisation d'un nettoyeur-séparateur couramment présent dans les installations doit être optimisée pour éliminer le plus efficacement possible les sclérotés. Il a ainsi été démontré (Moreau, 2015) qu'avec un jeu de grilles de 3.5mm, 2.5*20mm et 6mm il est possible d'éliminer 43% de l'ergot moyennant un débit réduit et un réglage de l'aspiration suffisamment poussé pour récupérer les sclérotés dont la densité est moindre que celle des grains. La perte de masse alors générée peut dépasser 4%.

Ces actions curatives de nettoyage sont des solutions efficaces mais qui ont un coût économique élevé pour la filière (temps de triage, équipements) et qui peuvent rencontrer des difficultés de mise en œuvre à grande échelle pendant les pointes de collecte. L'intérêt économique doit être mis en regard de la réglementation et de l'objectif de commercialisation du lot.

4. CONCLUSION

Les alcaloïdes du datura et de l'ergot sont des contaminants communément présents dans les productions françaises. Les projets d'évolutions réglementaires ont pour objectif de garantir la santé du consommateur en réduisant leur exposition à ces contaminants. Les producteurs disposent de solutions identifiées pour maîtriser les contaminations dans les cultures. Néanmoins, les interactions au sein des systèmes illustrent une difficulté croissante pour le producteur rendant la gestion des risques datura et ergot plus compliquée : l'évolution des pratiques agricoles, notamment pour répondre aux multiples enjeux réglementaires et sociétaux peuvent constituer un facteur d'aggravation pour les enjeux sanitaires du fait de la diminution des outils de gestion efficaces pour lutter contre ces contaminations. Post récolte, le nettoyage des grains est un levier curatif très efficace pour diminuer les niveaux de contaminations en alcaloïdes, mais il ne suffit pas à obtenir les 100% indemnes. La prévention au champ demeure donc incontournable pour optimiser le contrôle des contaminations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSES., 2016. Avis relatif à l'analyse des Plans de Surveillance et de Contrôle sur les substances indésirables en alimentation animale. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ALAN2015SA0076.pdf>
- Bonin L., Orlando B., Gautellier-Vizioz L., 2013 - Impact des pratiques de désherbage dans la gestion du risque *Claviceps purpurea*. 22e CONFÉRENCE DU COLUMA, DIJON 10-12 décembre, 19-28.
- Bonin L., Duroueix F., 2019 - Résistance aux herbicides, une attention de tous les instants. *Perspectives Agricoles*, 468, 37-40.
- Chollet S., Papet Y., Mura P. et Brunet B., 2010 - Détermination des teneurs en atropine et scopolamine de différentes espèces sauvages et ornementales du genre *Datura*. *Annales de toxicologie analytique*, 22, 4, 173-179. DOI: <https://doi.org/10.1051/ata/2010028>
- Dauguet S., 2010 - Contamination des récoltes de tournesol : Les graines de *Datura* s'éliminent par nettoyage. *Perspectives Agricoles*, 363, 10-11.
- European Food Safety Authority., 2017. Human and animal dietary exposure to ergot alkaloids. *EFSA Journal* 2017;15(7):4902. doi: 10.2903/j.efsa.2017.4902
- European Food Safety Authority., 2018. Human acute exposure assessment to tropane alkaloids. *EFSA Journal* 2018;16(2):5160. doi: 10.2903/j.efsa.2018.5160
- Le Bras A., Niquet G., 2006 - Le nettoyage des grains devrait prendre du poids. *Perspectives Agricoles*, 327, 22-24.
- Maumené C., Orlando B., Bonin L., Labreuche J., Leclère A., Maunas L., Valade R., 2015 - Outils de gestion agronomiques : les principaux leviers. 5ème colloque qualité sanitaire des céréales, PARIS - 1er
- Maunas L., Leclère A., 2013. Un travail profond du sol réduit les contaminations ultérieures. *Perspectives Agricoles* n°402 pp. 46-47.
- Maunas L. Robin N., Maumené C., 2015 - Effet de différents traitements de semences fongicides sur la germination de sclérotés de *Claviceps purpurea*. 11ème Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes, TOURS – 7-9 décembre, 229-235.
- Moreau JY., 2015. sclérotés d'ergot : le nettoyeur-séparateur rotatif amène un plus. *Perspectives Agricoles* n°427 pp. 41-43.
- Orlando B., Labrunie T., Mathie M. Influence du niveau de nettoyage sur les niveaux de contamination en ergot et en alcaloïdes des blés tendres, *Industries des céréales* année 33/1, n°171, 2011
- Orlando B., Perardel N., Bouthillier T. Optimiser le nettoyage pour éliminer efficacement l'ergot, JTIC Reims 2014
- Orlando B., Maumené, C., Piraux, F., 2017 - Ergot and ergot alkaloids in French cereals: Occurrence, pattern and agronomic practices for managing the risk. *World Mycotoxin Journal*, 10, 327-338.
- Orlando B., Carrera A., Bibard V., Méléard B., 2019a – *Datura stramonium* dans le maïs : enjeux sanitaires et complexité de gestion., 24e Conférence du COLUMA, Orléans 3-5 décembre, sous presse.
- Orlando B., Bonin L., Ezcutari C., Vayer Y., Méléard B., 2019b – Contaminations en ergot des céréales : rôle des adventices et complexité de leur gestion dans un contexte de pressions réglementaires croissant. 24e conférence du COLUMA, Orléans 3-5 décembre, sous presse.
- RASFF Consumers' Portal, 2019. Site Internet consulté le 12 juin 2019. <https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/consumers/?event=getListByCountry&country=FR>
- Reboud X., 2019 - Pourquoi et comment le datura contamine-t-il les denrées alimentaires ? Site Internet consulté le 12 juin 2019. <https://www6.dijon.inra.fr/umragroecologie/Page-d-accueil/Actualites/Pourquoi-et-comment-le-Datura-contamine-t-il-les-denrees-alimentaires>
- SIFlore, 2019. Observation de *Datura stramonium* en France métropolitaine. Site Internet consulté le 24 septembre 2019. http://siflore.fcbn.fr/?cd_ref=94489&r=metro