

# Utilisation des produits phytopharmaceutiques et reproduction des oiseaux en plaine de grande culture

*Apports d'un projet de recherche sur la perdrix grise*



© E. Bro/ONCFS

▲ On sait que via leur régime alimentaire les poussins de perdrix grise sont très sensibles à l'usage des produits phytosanitaires. Mais y a-t-il d'autres effets, par exemple dans les œufs ?

ÉLISABETH BRO<sup>1</sup>, JAMES DEVILLERS<sup>2</sup>,  
FLORIAN MILLOT<sup>1</sup>, ANOUK DECORS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ONCFS, Direction de la recherche et de l'expertise, Unité Faune de plaine – Auffargis.

<sup>2</sup> Centre de traitement de l'information scientifique (CTIS) – Rillieux-la-Pape.

<sup>3</sup> ONCFS, Direction de la recherche et de l'expertise, Unité sanitaire de la faune – Auffargis.

Contact : [elisabeth.bro@oncfs.gouv.fr](mailto:elisabeth.bro@oncfs.gouv.fr)

*L'écologie de la perdrix grise de plaine expose tout particulièrement cette espèce aux produits phytopharmaceutiques. Si des cas de mortalité par intoxication sont reportés en nature, l'effet sur la reproduction est quant à lui beaucoup plus difficile à surveiller. Pour documenter ce sujet, un projet de recherche intitulé « M6P » a été financé par le programme national Pesticides piloté par le ministère en charge de l'environnement. Plusieurs approches ont été combinées : suivi de terrain, analyses de résidus dans les œufs non éclos, modélisation... Les connaissances acquises sont tout à fait nouvelles.*

Il est maintenant bien établi que la réduction des ressources alimentaires des poussins liée à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (appelés « phytos » par la suite), est une cause majeure de déclin de nombreuses espèces d'oiseaux en milieux cultivés. Dans ce projet, nous nous intéressons à d'autres effets possibles, comme la non-éclosion des œufs et la perturbation endocrinienne.

La mortalité de la faune sauvage occasionnée par l'utilisation des phytos a été l'un des moteurs de la mise en place du réseau SAGIR dans les années 1950. Les résultats d'analyse de cadavres trouvés sur le terrain contribuent, dans certains cas, à conclure à une mortalité par intoxication avec un haut degré de certitude (Decors *et al.*, 2013; Millot *et al.*, 2015a). Compilées à l'échelle de la France et sur le long terme (Bro *et al.*, 2010; Decors *et al.*, 2011), ces données renseignent sur les effets des phytos sur la faune sauvage non-cible en conditions opérationnelles d'utilisation. Toutefois, aussi précieuses soient-elles, elles ne sauraient être suffisantes pour documenter la totalité de leurs effets dits non intentionnels (les « ENI »). Les effets sublétaux sur le comportement et ceux sur la reproduction sont d'autres composantes importantes à considérer.

Aucune donnée de terrain n'est disponible concernant la reproduction, d'autant plus que le succès reproducteur est susceptible de varier dans l'espace et dans le temps en fonction de différents facteurs.

Dans ce contexte, un projet de recherche dit « M6P », porté conjointement par l'ONCFS et le CTIS, a été financé par le programme national Pesticides piloté par le ministère en charge de l'environnement. L'objectif de ce projet est de contribuer à l'étude, en nature, des effets non intentionnels des phytos sur la faune sauvage. Il s'intéresse spécifiquement aux milieux cultivés (plaines de grande culture) et aux oiseaux par le biais du modèle « perdrix grise » (*Perdix perdix*). Le choix de cette espèce comme cas d'étude est doublement justifié par sa biologie, qui l'expose tout particulièrement aux phytos, et sa situation démographique actuelle (Reitz, 2015).

### Les données de l'étude « PeGASE » comme point de départ

Le projet trouve ses racines dans la vaste étude de radiopistage menée en 2010-2011 sur 13 territoires du centre-Nord de la France – étude dite « PeGASE » (Bro *et al.*, 2013). L'un de ses objectifs était d'expliquer les causes du très faible succès reproducteur de

l'espèce qui avait été observé les années précédentes (Reitz, 2015). Un volet d'écotoxicologie était inclus dans le plan de travail, examinant aussi bien les reproducteurs (Millot *et al.*, 2013 et 2015b) que les pontes. Les œufs entiers non éclos et les coquilles vides des pontes écloses, abandonnées ou détruites ont été collectés<sup>1</sup> en prévision d'analyses ultérieures. Parallèlement, une enquête a été réalisée auprès de 142 agriculteurs participant activement à l'étude pour connaître les traitements réalisés sur leurs parcelles (dates, produits, doses...).

### Une forte proportion de pontes potentiellement exposées aux substances actives

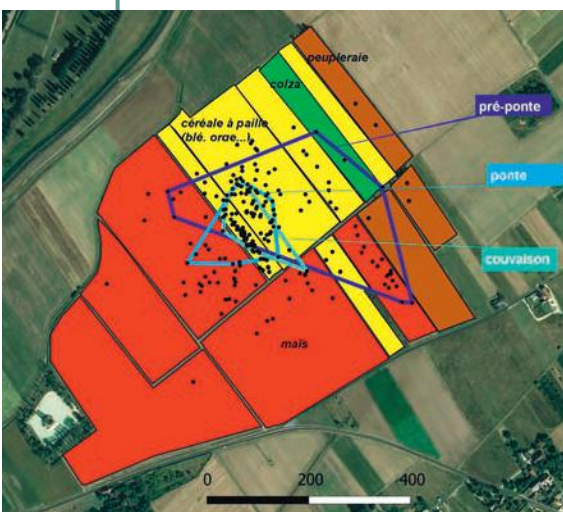
Le premier travail d'investigation d'éventuels effets des phytos sur la reproduction a consisté à identifier et à quantifier l'exposition dite « potentielle » des pontes aux substances actives (encadré 1).

<sup>1</sup> L'autorisation de prélèvement, de transport et de détention des œufs par l'ONCFS et ses partenaires a été obtenue pour les besoins de l'étude par arrêté préfectoral de la ville de Paris (n° 2010-013).

#### ► Encadré 1 • Méthode utilisée pour caractériser l'exposition potentielle des pontes aux substances actives

Une ponte a été considérée comme potentiellement exposée à une substance donnée lorsque la femelle a fréquenté les parcelles traitées ou qu'elle y a fait son nid. L'exposition potentielle de plus de 140 pontes a ainsi été déterminée en croisant les données journalières de localisation des perdrix (radiopistage) et de traitement des cultures (enquête agriculteurs), à l'aide d'un système d'information géographique (Quantum GIS) – (figure A, Bro *et al.*, 2015). Le nom des substances actives contenues dans les phytos utilisés par les agriculteurs, connus sous leur nom commercial, a été retrouvé grâce à la base de données E-PHY du ministère de l'Agriculture (<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>).

L'exposition a été déterminée en distinguant trois périodes : l'incubation des œufs, la ponte et la « pré-ponte » (i.e. période de formation du premier œuf, correspondant à la phase de grand accroissement des follicules durant laquelle sont déposés les lipides du vitellus – Saint-Dizier & Chastant-Maillard, 2014). Ces périodes ont été estimées par rétro-calcul, pour chaque ponte, connaissant leur date d'éclosion, d'abandon ou de destruction, le stade de développement de l'embryon le plus âgé (considéré comme le temps d'incubation) et le nombre d'œufs pondus (en faisant l'hypothèse d'un rythme de ponte d'un œuf tous les jours et demi – Birkan & Jacob, 1988).



Période	Code des parcelles fréquentées	Culture	Date de l'opération	Usage	Mélange en cuve	Dose épandue	Substance active
pré-ponte	-	peupleraie	-	-	-	-	-
	M-04	colza	-	-	-	-	-
	DC-06	seigle	-	-	-	-	-
	D-08, D-09	blé d'hiver	15-avr	herbicide	non	20 g/ha	Metsulfuron-methyl
	D-08, D-09	blé d'hiver	15-avr	herbicide	non	0,8 l/ha	2,4-D
	MG-02, MG-03	maïs	-	-	-	-	-
ponte	DC-04	maïs	-	-	-	-	-
	DC-05	escourgeon	-	-	-	-	-
	MG-02	maïs	21-avr	herbicide	oui	1,8 l/ha	S-Metolachlor
	DC/05	escourgeon	-	-	-	-	-
couvaillon	D-08	blé d'hiver	-	-	-	-	-
	MG-02, MG-03	maïs	14-mai	herbicide	oui	0,7 l/ha	Mesotrione Bromoxynil octanoate
	MG-02, MG-03	maïs	14-mai	herbicide	oui	0,4 kg/ha	-
	MG-02, MG-03	maïs	25-mai	insecticide	-	0,125 l/ha	lambda-Cyhalothrin
	DC-05	escourgeon	-	-	-	-	-
D-08	blé d'hiver	-	-	-	-	-	

**Figure A** Exemple des domaines vitaux successifs de la femelle baguée 1089 et molécules épandues sur les cultures fréquentées pendant les périodes correspondantes. Poule en première année de reproduction, ponte de 16 œufs déposée dans un escourgeon, éclosion en juin (15 œufs éclos, 1 œuf clair). Échelle en mètres.



Ce travail préliminaire a apporté quatre résultats forts (Bro *et al.*, 2015) :

- une majorité de pontes (71 %) est exposée à au moins une substance ;
- dans leur ensemble, les pontes sont exposées à une grande diversité de substances (plus d'une centaine) ;
- toutefois, parmi cette grande diversité de molécules, seule une trentaine est associée à un pourcentage d'exposition des pontes de plus de 5 % (Bro *et al.*, 2015) ; ces substances sont surtout des fongicides (53 %) et des herbicides (25 %), les insecticides et les régulateurs de croissance représentant respectivement 16 % et 6 % ;
- les pontes peuvent être exposées à un cocktail de substances (**encadré 1**), résultant aussi bien de la fréquentation de plusieurs parcelles de cultures différentes que de plusieurs traitements sur une même parcelle ou de mélanges de substances, que ce soit dans la formulation commerciale ou en cuve.

Si ces résultats ne sont pas « surprenants » en soi étant donné que de nombreux traitements culturaux ont lieu en période de ponte et de couvain des perdrix (**figure 1**), il n'en demeure pas moins qu'ils apportent des données précises et chiffrées (détaillées



© E. Bro/ONCFS

▲ Les œufs entiers non éclos et les coquilles vides ont été collectés en prévision d'analyses de toxicologie, d'embryologie et de sexage moléculaire.

par substance dans Bro *et al.*, 2015), tout en confirmant l'intérêt d'étudier les possibles ENI des phytos sur la reproduction. Mais attention à leur interprétation, il ne s'agit que d'une première base de travail. L'exposition potentielle permet au mieux de formuler des suspicions et de cibler des molécules d'intérêt, mais ne constitue en aucun cas une preuve de contamination des œufs.

### Des résidus trouvés dans certains œufs

Pour vérifier si des contaminations ont réellement eu lieu, des analyses de résidus<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Les analyses de résidu ont été confiées au laboratoire Phytocontrol, accrédité par la COFRAC. Les recherches de résidus ont concerné environ 500 molécules (substances actives, isomères et/ou métabolites) via deux screenings (GC/MS-MS et LC/MS-MS). Une recherche spécifique du chlormequat a également été faite sur 6 pontes. La limite de quantification était de 0,01 mg/kg pour la quasi majorité des molécules.

**Figure 1** Simultanéité des différents stades de la reproduction de la perdrix grise et des traitements phytosanitaires des cultures au printemps-été dans le centre-Nord de la France. D : décade ; le dégradé de vert symbolise la chronologie du pic.

		Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet			Août		
		D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
stades de la reproduction	ponte																		
	couvain																		
	éclosion																		
	élevage des jeunes																		
traitements	fongicides																		
	herbicides																		
	insecticides																		
	régulateurs de croissance																		

▼ La fréquentation de différentes parcelles de cultures par les perdrix peut favoriser leur exposition à un cocktail de substances actives.



ont été réalisées dans des œufs non éclos (**encadré 2**). Elles ont concerné 139 œufs de 52 pontes. Au moins une substance a été retrouvée dans 46 % des pontes. Quinze molécules différentes ont été détectées (**tableau 1**) dont 9 correspondant à des substances actuellement utilisées en agriculture (5 fongicides dont 4 de la famille chimique des azoles), 2<sup>e</sup> insecticides (dont 1 de la famille des néonicotinoïdes) et 2 herbicides. Cinq autres substances autrefois utilisées comme pesticides et aujourd'hui interdites ont également été détectées, dont des molécules structurellement proches du tristement célèbre DDT. Les doses retrouvées sont toutes inférieures à 0,05 mg/kg, sauf dans trois cas (Bro *et al.*, 2016).

**Tableau 1** Substances retrouvées dans les œufs non éclos de perdrix grise.

Substance active		Exposition potentielle**	Pontes analysées (52)	
Nom	Usage	% de pontes	Nombre de pontes potentiellement exposées à la substance**	Nombre de pontes dans lesquelles la substance a été détectée
Lambda-Cyhalothrin	Insecticide	18,6	9	1
Prochloraz	Fongicide	18,6	11	4
Cyproconazole	Fongicide	17,1	11	2
Tebuconazole	Fongicide	17,1	15	1
Fenpropidin	Fongicide	10,7	4	3
Bromoxynil	Herbicide	3,6	3	1
Difenoconazole	Fongicide	0,7	0	1
Diflufenican	Herbicide	0,7	1	1
Thiamethoxam/ Clothianidine	Insecticide	0,0	0	3
DDT(Σisomeres)*	Insecticide	-	-	6
Diphenylamine*	Fongicide	-	-	3
Fipronil(+sulfone)*	Insecticide	-	-	3
HCH(α,β,δ)*	Insecticide	-	-	1
Heptachlore(+epoxyde)*	Insecticide	-	-	3
PCB* 153/180	industriel	-	-	3

\* Le thiamethoxam et la clothianidine sont reportés conjointement dans le rapport d'analyse et ont été comptabilisés pour « 1 ».

\* Usage interdit en France au moment de l'étude, depuis plus ou moins longtemps, mais persiste dans l'environnement.

\*\* Selon la méthode décrite dans l'encadré 1 et en considérant une période de pré-ponte de 15 jours avant la ponte du premier œuf.

► **Encadré 2 • Pourquoi s'intéresser aux œufs non éclos ?**

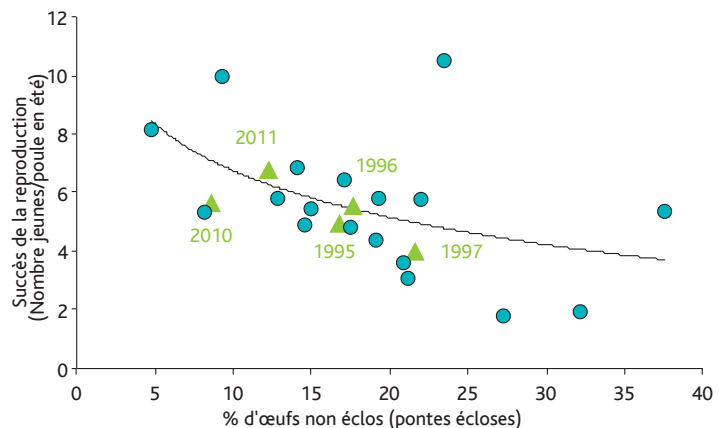
Parmi les pertes successives que subit la perdrix grise durant son cycle de vie (mort de la poule incubatrice/échec de la ponte/non-éclosion des œufs / mort des poussins), la non-éclosion des œufs (*i.e.* au sein des pontes écloses) est celle qui a reçu le moins d'attention de la part des chercheurs. Quantifiée à environ 15 % [5-25] dans de nombreuses études (e.g. Birkan & Jacob, 1988; Bro *et al.*, 2013), cette source de pertes n'est pas la plus déterminante dans la dynamique de population (Bro *et al.*, 2013), bien qu'elle contribue pour partie au faible succès reproducteur observé certaines années (**figure B**). Les œufs non éclos présentent cependant un intérêt certain pour l'étude des effets non intentionnels des phytos :

- ce sont des échecs au sein de pontes réussies ;
- ils procurent du matériel biologique pertinent pour la recherche de résidus ;
- l'infertilité et la mortalité embryonnaire sont des effets non intentionnels de certaines substances actives sur la reproduction des oiseaux (e.g. Bishop *et al.*, 2000; Kitulagodage *et al.*, 2011; Lopez-Antia *et al.*, 2015).

**Figure B** Corrélation entre le succès de la reproduction et la proportion d'œufs non éclos dans les pontes écloses.

Données de télémétrie de l'étude nationale Perdrix grise 1995-1997 et de l'étude PeGASE (5 ans, 10-13 sites, environ 1 500 femelles marquées – Bro *et al.*, 2013).

● : données terrain\*année (avec au moins 8 pontes écloses) ▲ : moyennes annuelles



© E. Bro/ONGFS

► 139 œufs non éclos de 52 pontes ont fait l'objet d'analyses de résidus (environ 500 molécules recherchées). La photo montre l'exemple d'une éclosion partielle : la couvaie a été menée à terme mais 8 œufs n'ont pas éclos (7 étaient clairs et 1 embryon prêt à éclore est mort dans sa coquille – œuf verdâtre).



## Des connaissances insuffisantes pour conclure quant à un effet

Aussi nouveaux soient-ils, ces résultats d'analyses de résidus doivent toutefois être considérés comme un premier défrichage du sujet. Il n'est en effet pas possible actuellement de conclure en toute rigueur sur deux points essentiels : 1) la prévalence de la contamination des œufs et 2) la relation de cause à effet entre cette contamination et la non-éclosion des œufs. Concernant le premier point, seuls des œufs non éclos ont été analysés – ce qui peut surestimer les résultats –, mais la probabilité de détecter une contamination des œufs semble faible (Bro *et al.*, 2016) – ce qui, à l'inverse, peut sous-estimer les résultats. Un échantillon plus conséquent et plus représentatif doit donc venir consolider les résultats. De la même façon, il est difficile de juger de la valeur faible ou élevée des concentrations retrouvées, étant donné qu'il n'existe pas de références disponibles sur l'effet de ces substances actuelles, à ces concentrations, sur le développement de l'embryon d'oiseau, en particulier pour des espèces de la faune sauvage.

## Pour aller plus loin : l'apport de la modélisation

Si le caractère perturbateur endocrinien (PE)<sup>3</sup> de certains phytos anciens comme le DDT ou la chlordécone est bien documenté, malheureusement les informations sont souvent manquantes pour les phytos utilisés actuellement, alors que le caractère PE des phytos épanchés sur les cultures lors de la période critique de formation et de ponte de leurs œufs peut potentiellement avoir un effet sur la reproduction des perdrix. Pour pallier ce manque d'informations, différents modèles ont été utilisés afin de définir le profil PE des phytos identifiés lors de l'enquête, ainsi que d'autres propriétés (*encadré 3*).

Dans un second temps, la méthode multicritère SIRIS (Système d'intégration des risques par interaction de scores), développée par Vaillant *et al.* (1995), a été utilisée pour agréger ces différents paramètres après leur hiérarchisation, le caractère PE ayant été choisi en premier, suivi de la toxicité aiguë puis des propriétés physico-chimiques. Utilisée avec l'information collectée sur l'utilisation de l'habitat des perdrix, les caractéristiques des parcelles qui abritent leurs nids, et l'évolution de leurs pontes, un score de risque a été calculé pour chaque substance active rencontrée par une perdrix lors de sa période critique de formation des œufs et leur ponte. Un autre score de risque

### ► Encadré 3 • Prédiction/estimation des propriétés des substances actives contenues dans les phytos

L'Endocrine Disruptome (Kolšek *et al.*, 2014) a permis d'estimer l'affinité de chaque substance pour 12 récepteurs nucléaires à l'origine de réponses physiologiques spécifiques. Pour certains récepteurs, un effet agoniste et antagoniste était recherché (Devillers *et al.*, 2015). L'analyse des résidus et l'inventaire des phytos ayant conduit à l'identification d'un nombre important de molécules azolées dont la cible PE privilégiée est l'aromatase (enzyme dont la fonction est de transformer les androgènes en œstrogènes), leurs effets inhibiteurs ont été évalués à partir de structures tridimensionnelles d'aromatases d'oiseaux reconstituées grâce à de la modélisation par homologie (Saxena *et al.*, 2015).

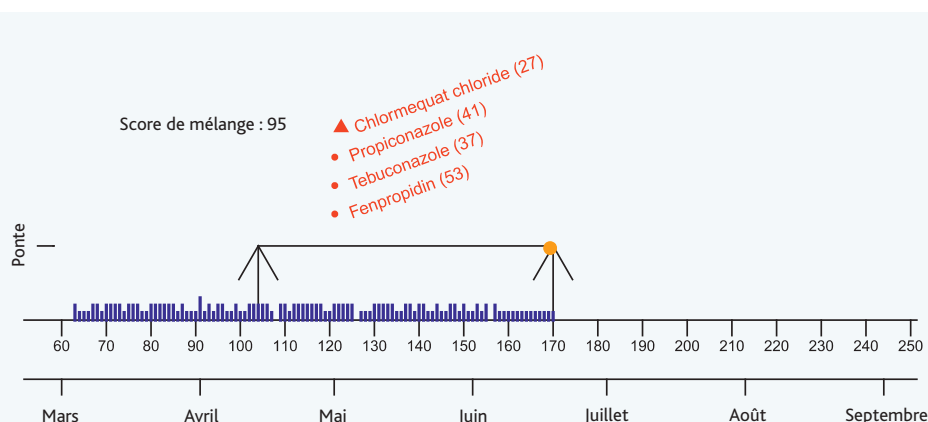
La toxicité aiguë par voie orale des substances a été déterminée en employant des modèles dits espèce-espèce permettant de prédire la DL50 (dose létale 50 %) d'une substance chez la perdrix à partir de la DL50 mesurée expérimentalement chez une espèce proche pour cette même substance (Raimondo *et al.*, 2007). Enfin, des modèles de type « structure-propriété » (Devillers & Balaban, 1999) ont été employés pour prédire le caractère lipophile des substances marquant leur affinité pour les graisses, leur pression de vapeur estimant leur capacité de volatilisation dans l'air mais donnant aussi une indication sur leur toxicité par inhalation, et enfin leur biodégradabilité primaire et ultime en relation avec leur persistance dans l'environnement.

est proposé pour les formulations commerciales et les mélanges extemporanés constitués de deux substances. Enfin, un score de risque pour n'importe quel type de mélanges est proposé qui intègre également les informations sur les traitements réalisés sur la parcelle où se trouve la ponte considérée. Un programme appelé SimToxPP a été réalisé pour identifier pour chaque poule, son parcours, sa période critique de ponte, sélectionner les molécules à considérer dans les calculs et calculer les scores de risque. Le résultat obtenu pour la perdrix 586 est donné comme illustration (*figure 2*).

<sup>3</sup> Un perturbateur endocrinien est une substance qui interfère avec le fonctionnement des hormones. Ces perturbations peuvent concerner la synthèse, la libération, la sécrétion, le transport, l'élimination ou l'action des hormones, ce qui induit de multiples cibles d'actions possibles. Parmi celles-ci, on trouve des récepteurs dont les PE miment (agonistes) ou bloquent (antagonistes) la réponse hormonale normale, mais aussi des enzymes comme l'aromatase. C'est ce qui rend les phénomènes de perturbations endocriniennes si complexes à appréhender, surtout que les PE agissent généralement à des concentrations très faibles.

**Figure 2** Exemple de la poule baguée 586.

SimToxPP a identifié que cette poule avait été exposée à 4 substances pendant la formation et la ponte de ses œufs. (▲ : nid, ● : parcours de la perdrix). Le score de risque de ce mélange de substances est de 95 sur une échelle relative.



## En conclusion

Au travers de cet article, nous avons voulu montrer que la connaissance progresse. Mais elle reste encore très insuffisante pour pouvoir tirer des conclusions de cause à effet. Pour consolider le volet « contamination » de ce travail, sous réserve de crédits disponibles et suffisants, il serait utile de réaliser d'autres analyses de résidus ; par exemple sur des œufs de nids de sauvetage. Par ailleurs, des études spécifiques d'exposition contrôlée de perdrix en captivité ou d'injection *in ovo* permettraient également d'examiner les effets des contaminations détectées en nature sur les caractéristiques des œufs.

Les informations récoltées, associées à une analyse de la dynamique de population utilisant un modèle de type individu-centré (Railsback & Grimm, 2011), permettraient de documenter l'impact à long terme des phytos sur les populations de perdrix grises.



© L. Armand/FDC 77

## Remerciements

Les données de terrain proviennent de l'étude « PeGASE » menée par l'ONCFS et une quinzaine de fédérations de chasseurs, en partenariat avec des agriculteurs et des chasseurs, avec un soutien financier émanant principalement de la Fédération nationale des chasseurs, de la Fondation François Sommer, de l'Europe et de l'État. Les analyses de résidus et le travail de modélisation

proviennent du projet « M6P », action financée dans le cadre de l'APR 2011 du programme de recherche « Évaluation et réduction des risques liés aux pesticides ». Ce programme est piloté par le ministère chargé de l'environnement, avec l'appui financier de l'Onema, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto piloté par le ministère chargé de l'agriculture. ●

## Bibliographie

- ▶ Birkan, M. & Jacob, M. 1988. La perdrix grise. Hatier, France. 284 p.
- ▶ Bishop, C.A., Collins, B., Mineau, P., Burgess, N.M., Read, W.F. & Risley, C. 2000. Reproduction of cavity-nesting birds in pesticide-sprayed apple orchards in southern Ontario, Canada, 1988-1994. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19: 588-599.
- ▶ Bro, E., Decors, A., Millot, F., Soyez, D., Moinet, M., Bery, P. & Mastain, O. 2010. Intoxications des perdrix grises en nature. Nouveau bilan de la surveillance « SAGIR ». *Faune sauvage* n° 289 : 26-32.
- ▶ Bro, E., Millot, F., Delorme, R., Polvé, C., Mangin, E., Godard, A., Tardif, F., Gouache, C., Sion, I., Brault, X., Durlin, D., Gest, D., Moret, T. & Tabourel, R. 2013. PeGASE, bilan synthétique d'une étude perdrix grise « population-environnement ». *Faune sauvage* n° 298 : 17-48.
- ▶ Bro, E., Millot, F., Decors, A. & Devillers, J. 2015. Quantification of potential exposure of grey partridge (*Perdix perdix*) to pesticide active substances in farmlands. *Science of Total Environment* 521-522: 315-325.
- ▶ Bro, E., Devillers, J., Millot, F. & Decors, A. 2016. Residues of plant protection products in grey partridge eggs in French cereal ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-016-6093-7
- ▶ Decors, A., Mastain, O., Quintaine, T., Bery, P. & Millot, F. 2013. SAGIR, un maillon essentiel pour l'utilisation durable des produits phytopharmaceutiques. *Faune sauvage* n° 299 : 9-15.
- ▶ Decors, A., Moinet, M. & Mastain, O. 2011. SAGIR – bilan 2009-2010. Rapport interne du réseau SAGIR ONCFS-FNC/FDC, 40 p.
- ▶ Devillers, J. & Balaban, A.T. 1999. Topological Indices and Related Descriptors in QSAR and QSPR. Gordon and Breach Science Publishers, The Netherlands, 811 p.
- ▶ Devillers, J., Bro, E. & Millot, F. 2015. Prediction of the endocrine disruption profile of pesticides. *SAR QSAR Environ. Res.* 26: 831-852.
- ▶ Kitulagodage, M., Buttemer, W.A. & Astheimer, L.B. 2011. Adverse effects of fipronil on avian reproduction and development: maternal transfer of fipronil to eggs in zebra finch *Taeniopygia guttata* and *in ovo* exposure in chickens *Gallus domesticus*. *Ecotoxicology* 20: 653-660.
- ▶ Kolšek, K., Mavri, J., Sollner Dolenc, M., Gobec, S., Turk, S. 2014. Endocrine disruptome-An open source prediction tool for assessing endocrine disruption potential through nuclear receptor binding, *J. Chem. Inf. Model.* 54: 1254-1267.
- ▶ Lopez-Antia, A., Ortiz-Santaliestra, M.E., García-de Blas, E., Camarero, P.R., Mougeot, F. & Mateo, R. 2015. Adverse effects of thiram-treated seed ingestion on the reproductive performance and the offspring immune function of the red-legged partridge. *Environmental Toxicology and Chemistry* 34: 1320-1329.
- ▶ Millot, F., Decors, A., Quintaine, T., Bery, P., Mastain, O. & Bro, E. 2015a. Étude des effets non-intentionnels de l'imidaclopride en traitement de semences sur la faune sauvage non cible. *Faune sauvage* n° 309 : 11-17.
- ▶ Millot, F., Bery, P., Decors, A. & Bro, E. 2015b. Little field evidence of direct acute and short-term effects of current pesticides on the grey partridge. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 117: 41-61.
- ▶ Millot, F., Decors, A., Bery, P. & Bro, E. 2013. Produits phytopharmaceutiques et mortalité des perdrix grises au printemps-été : apports de l'étude PeGASE. *Faune sauvage* n° 299 : 16-22.
- ▶ Raimondo, S., Mineau, P. & Barron, M.G. 2007. Estimation of Chemical Toxicity to Wildlife Species Using Interspecies Correlation Models. *Environ. Sci. Technol.* 41: 5888-5894.
- ▶ Railsback, S. & Grimm, V. 2011. Agent-Based and Individual-Based Modeling - A Practical Introduction. Princeton University Press.
- ▶ Reitz, F. 2015. Situation des perdrix dans le centre-nord en 2014. *Lettre d'information du réseau Perdrix-Faisan ONCFS-FNC/FRC/FDC* 23 : 2-9.
- ▶ Saint-Dizier, M. & Chastant-Maillard, S. coord. 2014. La reproduction animale et humaine. Ed. Quae. 800 p.
- ▶ Saxena, A.K., Devillers, J., Bhunia, S.S. & Bro, E. 2015. Modelling inhibition of avian aromatase by azole pesticides. *SAR QSAR Environ. Res.* 26: 757-782.
- ▶ Vaillant, M., Jouany, J.M. & Devillers, J. 1995. A multicriteria estimation of the environmental risk of chemicals with the SIRIS method. *Toxicol. Model.* 1: 57-72.