

CONSIDERATIONS SUR LES RESIDUS D'INSECTICIDES CHEZ LES OISEAUX PISCIVORES ET DANS LEURS BIOTOPES.

par J.O. KEITH. (*)

L'étude de l'extension et des conséquences sur la vie animale des contaminations qui surviennent dans le milieu ambiant, suite à l'emploi des pesticides, connaît aujourd'hui un intérêt considérable. Plusieurs études et enquêtes ont démontré d'une manière concluante que les résidus des insecticides peuvent persister, s'accumuler, se répandre et parfois même avoir des conséquences nuisibles. (Dustman et Stickel, 1966). Toutefois, par la force des choses, la plupart des études ont une portée réduite et ne couvrent que des zones relativement peu étendues pendant un court laps de temps. Aucun travail de recherche n'a encore décrit l'amplitude, l'extension et les types de contamination qui existent concurremment et pendant une longue période dans des zones géographiques étendues. Ces données sont indispensables pour comprendre la fréquence, l'intensité et les effets de l'exposition des oiseaux migrateurs aux dangers des insecticides.

Cet article tente de résumer les connaissances actuelles sur les contaminations provoquées par les insecticides dans les milieux marécageux et chez les oiseaux piscivores qui séjournent dans cet habitat au cours de leurs migrations annuelles.

Les insecticides dans le milieu ambiant.

L'étude de ce problème nous fournit divers éléments dont la plupart se rapportent aux modalités d'action des insecticides et à leurs conséquences.

Les résidus d'insecticides dans le milieu proviennent en premier lieu de leur emploi contre les fléaux biologiques. On pensait que les résidus ne demeureraient que temporairement dans les zones traitées, mais actuellement il est établi que des contaminations surviennent également dans des zones qui n'ont jamais été traitées au moyen d'insecticides, et ce sur de grandes étendues.

Apparemment, ces résidus se propagent souvent à partir des endroits traités ; ces mouvements se font par l'atmosphère, l'eau et les organismes vivants. La plupart des résidus trouvés dans les marais proviennent d'insecticides appliqués ailleurs.

L'intensité et la fréquence des traitements auxquels le milieu est exposé déterminent en partie le pourcentage et les effets des résidus d'insecticides. Il faut généralement une source de contamination assez constante dans un biotope pour maintenir le pourcentage de résidus (Meeks & Peterle, 1967). Comparés à beaucoup d'autres composés naturels et synthétiques, la plupart des insecticides sont relativement instables. Ils sont influencés par la lumière et par la température et sont sensibles aux dégradations biologiques et chimiques (Menzie, 1966). La plupart des milieux naturels ne favorisent pas la rémanence des insecticides pendant de longues périodes. Cependant, les insecticides qui nous intéressent sont ceux qui, par leur présence prolongée dans les biotopes naturels, ont des effets sur les animaux. Beaucoup de ces répercussions sont bien connues ; elles ont été récemment rapportées par Dustman & Stickel (1967).

(*) Wildlife Research Biologist, Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Davis, California, U.S.A.

Après application, les insecticides ne se comportent pas tous de la même façon. Les composés diffèrent dans leurs qualités intrinsèques et dans leur capacité de rémanence et d'intégration dans les systèmes biologiques. On identifie très souvent certains insecticides dans les échantillons du milieu analysés. Tout en provenant partiellement des pouvoirs limités des procédés d'analyses, cela démontre surtout les répercussions réelles dans le biotope des divers insecticides, découlant de leur emploi, de leur rémanence et de leur accumulation. Les insecticides organo-chlorés, étant liposolubles et relativement résistants à la dégradation, peuvent être plus facilement impliqués dans le phénomène d'amplification des effets biologiques des résidus. Le DDT et ses métabolites se trouvent fréquemment et en très grande quantité dans les marais, tandis que les résidus de dieldrine, toxaphène, endrine, BHC et heptachlore époxyde y sont moins communément présents.

Les effets des insecticides peuvent varier considérablement selon les endroits. Les travaux de Terriere *et al.* (1966) illustrent ces possibilités de variation des effets et du comportement des insecticides suivant l'habitat. Un des lacs de montagne étudié était bien peuplé en poissons un an après un traitement au toxaphène ; un autre lac resta toxique pour le poisson pendant au moins cinq années après le traitement. Les pourcentages des résidus et leurs types diffèrent sensiblement d'un lac à un autre. Les caractères et l'écologie du milieu ambiant dans lequel on trouve les résidus déterminent dans une large mesure le degré de risques qu'ils créent. Il est difficile de prévoir les effets de la plupart des contaminations car les relations qui existent entre les facteurs d'un milieu et l'évolution des insecticides dans ce milieu sont encore trop peu connues.

Les insecticides ne contaminent pas uniformément les différents caractères du milieu. Etant donné certaines affinités et apparentements chimiques, physiques et biologiques, les insecticides s'absorbent, persistent et s'accumulent à des degrés variables dans les multiples composants des habitats naturels. Les mœurs des animaux déterminent leur exposition aux dangers des résidus du milieu. Ces mœurs diffèrent selon le temps et le lieu. De plus, la vulnérabilité physiologique et écologique des animaux aux insecticides varie suivant les saisons et l'état des animaux.

Les variations dans le comportement et les effets des insecticides compliquent tout à fait l'estimation de la répartition des résidus dans le milieu et parmi les animaux sauvages. Cependant avec l'accroissement des connaissances, la nature et la portée de ces rapports deviennent plus évidentes.

Les résidus dans les composants du milieu environnant.

Plusieurs rapports ont traité de la dispersion et de l'accumulation des insecticides dans les marais. L'examen de ces découvertes montre la nature des contaminations et les variations des niveaux résiduels que les chercheurs ont trouvées parmi divers composants du milieu. Le tableau 1, couvrant onze rapports, reprend les maxima de résidus trouvés dans l'eau, les sédiments, les invertébrés, la végétation aquatique et les poissons. Certaines zones furent traitées par voie directe, tandis que d'autres furent contaminées fortuitement par des applications faites ailleurs. Les données de ces études ne peuvent être comparées qu'en considérant les niveaux maxima de résidus trouvés dans chaque composant du milieu.

La plupart des recherches démontrent que les résidus ne persistent dans l'eau que pendant de courtes périodes (Cope, 1961 ; Kallman *et al.*, 1962 ;

Crocker et Wilson, 1965 ; Laurer *et al.*, 1966 ; Meeks et Peterle, 1967). Des expériences de laboratoire confirment que l'eau perd rapidement des suspensions d'insecticides insolubles (Holden, 1962 ; Cope, 1966).

On peut comparer l'eau des marais à l'atmosphère ; elle intercepte, transporte, dépose ou libère les insecticides sur les autres matériaux qui y sont contenus. Les résidus dans l'eau ne représentent que la somme des insecticides présents, à un moment donné, et capables de contaminer, par la suite, d'autres parties du milieu. Ils ne montrent pas et sont même un faible indice du niveau résiduel général. Dans le tableau 1, par exemple, il n'y a pas de corrélation entre les résidus contenus dans l'eau et ceux accumulés dans chaque composant du milieu.

Les sédiments ou boues sont des accumulations de matériaux déposés par l'eau. Beaucoup d'insecticides sont facilement adsorbés sur des particules portées par l'eau. De telles substances servent à filtrer les résidus en suspension dans l'eau, et en l'absence d'autres facteurs, des résidus fortement concentrés peuvent s'accumuler dans les sédiments. Cependant dans beaucoup de milieux, les résidus sont rapidement incorporés dans des systèmes biologiques. Une étude a montré que dans l'eau qui pénètre et se disperse dans un habitat marécageux, des facteurs inconnus avaient fortement dégradé les résidus adsorbés sur les particules (Keith J.O., 1966). Beaucoup de ces résidus ont probablement été assimilés par des invertébrés se nourrissant en filtrant l'eau et par la multitude des autres organismes du marais. Les invertébrés peuvent métaboliser les insecticides (Terriere *et al.*, 1966) et, s'ils sont abondants, ils peuvent réduire les niveaux résiduels dans le milieu en général. Cependant dans ce processus, ils peuvent aussi accumuler des résidus et constituer un danger accru pour les animaux auxquels ils servent de nourriture.

Dans les milieux à activité biologique limitée et aux populations de necton et de plancton clairsemées, les résidus peuvent s'accumuler dans les sédiments et persister pendant de longues périodes (Keith J.O., 1966 ; Meeks et Peterle, 1967). Dans de telles conditions, l'incorporation écologique et les effets des insecticides peuvent être plus limités que dans les écosystèmes hautement productifs.

Les résidus décelés sur les plantes aquatiques pourraient n'être que des contaminations fixées à la surface de la végétation, mais les découvertes de Terriere *et al.* (1966) laissent supposer que les plantes peuvent assimiler et métaboliser le toxaphène. Meeks et Peterle (1967) ont trouvé une accumulation directe et spectaculaire de DDT dans les algues, ce qui laisse supposer une concentration active de l'insecticide par le phytoplancton. Plusieurs études ont montré que les concentrations de résidus dans les spermatophytes aquatiques augmentent lentement mais qu'après plusieurs années, elles peuvent atteindre le niveau le plus haut du milieu (Terriere *et al.*, 1966 ; Meeks et Peterle, 1967).

Les concentrations de résidus dans les plantes, tout comme dans la boue et dans les invertébrés ne peuvent être extrapolées des niveaux trouvés dans d'autres composants du milieu (Tableau 1). A nouveau, le comportement des résidus peut apparemment varier avec les caractéristiques et la complexité du milieu contaminé. Les résidus dans les spermatophytes et dans les boues de sédiments sont probablement liés, du fait que ces deux composants sont exposés passivement à des résidus qui n'ont pas été préalablement enlevés, par d'autres facteurs, des particules contenues dans l'eau. Le phytoplancton et les invertébrés

assimilent plus activement les résidus de l'eau et des suspensions qui s'y trouvent.

Des études de laboratoire montrent que le poisson peut accumuler rapidement et directement des résidus présents dans l'eau (Holden, 1962 ; Cope, 1966). Des recherches sur le terrain indiquent une ascendance immédiate des résidus chez le poisson, mais également, avec le temps, une augmentation graduelle des niveaux de résidus dans le corps (Kallman *et al.*, 1962 ; Terriere *et al.*, 1966). Ces résultats laissent supposer qu'au cours de leur exposition initiale, les poissons assimilent les résidus directement de l'eau et qu'après la disparition de ceux-ci dans l'eau elle-même, ils peuvent continuer à être exposés aux dangers d'une nourriture contaminée. Les plantes et les invertébrés contaminés, en tant qu'éléments de la nourriture, deviennent une importante source de danger pour les poissons.

Des eaux claires transportant des insecticides peuvent présenter un danger initial plus grand pour les poissons que les eaux troubles dans lesquelles les résidus adhèrent aux particules. De même, les sédiments contaminés qui sont agités par le vent ou les mouvements de l'eau peuvent exposer directement les poissons à des quantités élevées d'insecticides. L'exposition totale des poissons au danger varie suivant la rémanence des insecticides, le type des éléments du milieu qui se contaminent et le mode de nourriture des espèces.

Le poisson ne contient pas nécessairement les plus hauts niveaux résiduels dans un milieu contaminé et l'accumulation des insecticides par le poisson varie d'un habitat à l'autre (Tableau 1). Dans certaines des études mentionnées, les résidus s'accumulaient dans le poisson peu après des applications définies d'insecticides tandis que dans d'autres études, les résidus provenaient d'une exposition quasi continue aux contaminations provoquées par des usages non précisés d'insecticides. Les conditions d'exposition étaient variables, de même que les niveaux de contamination dans le milieu. Dans certaines circonstances, il y eut des cas de mortalité chez les poissons, mais pas nécessairement là où l'on a trouvé, dans l'organisme de ces animaux, les plus hauts niveaux résiduels d'un insecticide.

Les résidus dans le poisson.

Il existe de nombreuses données sur les résidus présents dans le poisson vivant. Certains de ces renseignements sont repris dans le tableau 2. Les résultats de ces données furent groupés suivant la provenance du poisson : soit d'endroits ayant subi des traitements connus, soit d'endroits contaminés, mais non traités. A cause du manque de possibilités de comparaison entre les comptes rendus, les moyennes des résidus ne purent être établies et seul un classement des niveaux résiduels est rapporté.

Les études sur les habitats non traités ont montré que le poisson récolté sur de grands territoires et dans de grandes étendues d'eau ne contenait que de faibles quantités d'insecticides. La plupart des échantillons de poisson contenaient moins de 1 ppm. (part par million) de résidus totaux et peu excédaient 7 ppm. On peut raisonnablement supposer que les populations de la plupart des espèces piscivores fréquentent et récoltent la plus grande partie de leur nourriture dans des biotopes similaires à ceux échantillonnés dans ces recherches.

Par contre, les poissons en provenance d'étendues traitées contenaient, généralement, un taux beaucoup plus élevé de résidus. Croker et Wilson (1965) ont traité un fossé marécageux soumis à la marée, avec environ 224 grammes de

DDT par ha et ils ont trouvé des résidus atteignant en moyenne environ 22 ppm. chez les poissons qui avaient survécu à un traitement de 5 semaines. Le poisson d'une série de lacs du New York qui avaient subi une contamination assez directe par le DDT, contenait en moyenne environ 40 ppm. de résidus de DDT et de ses métabolites. Les taux résiduels dans le poisson provenant de différents lacs semblent proportionnels à la contamination des lacs par le DDT (Burdick *et al.*, 1964). En Californie, Hunt et Bischoff (1960) trouvèrent une moyenne d'environ 59 ppm. de DDD dans le poisson provenant de Clear Lake où l'eau ne contenait initialement que 0,02 ppm. de DDD. Les échantillons de poisson provenant de surfaces traitées et repris au tableau 2, avaient souvent des résidus supérieurs à 100 ppm. et rarement inférieurs à 7 ppm.

Une comparaison des taux de résidus chez les poissons provenant de biotopes traités et non traités, indique que les oiseaux piscivores sont virtuellement le plus exposés aux insecticides dans les biotopes traités ou à proximité. Il apparaît néanmoins qu'une large proportion des territoires fréquentés par les espèces migratrices abritent du poisson ne contenant qu'un minimum de résidus d'insecticides.

Les résidus chez les oiseaux piscivores.

Les oiseaux piscivores sont indubitablement le plus exposés aux dangers des insecticides à cause des résidus contenus dans les poissons qu'ils mangent. Les taux résiduels chez les oiseaux reflètent probablement le degré de contamination du poisson utilisé comme nourriture. L'examen des résidus trouvés chez les oiseaux piscivores doit pouvoir indiquer le degré et le type de leur exposition aux dangers des insecticides.

De nombreuses analyses ont été effectuées en vue de trouver les résidus chez les oiseaux piscivores et dans leurs œufs. Par rapport aux autres espèces, les piscivores sont souvent victimes des insecticides dont les effets peuvent causer leur mort ou amener d'autres conséquences. De plus, on suppose que les oiseaux sont tout particulièrement sensibles à la transmission des insecticides par la chaîne alimentaire ; plusieurs rapports ont fait état d'analyses de résidus pour établir ce risque.

Les résultats d'un certain nombre de ces recherches sont résumés au tableau 3. Les types d'échantillons analysés varient d'une étude à l'autre ; les espèces d'oiseaux concernés sont différentes ; les uns furent trouvés morts, d'autres furent capturés vivants ; dans certains cas, différents tissus furent examinés. Plusieurs laboratoires analysèrent les échantillons ; les techniques et les moyens utilisés par les chimistes varièrent probablement suivant les études. Cependant, les données permettent une évaluation raisonnable des taux moyens de résidus chez un grand nombre d'oiseaux piscivores.

Des études spécifiques montrèrent que les taux les plus élevés de résidus d'insecticide se trouvaient dans les tissus adipeux, tandis que ceux obtenus dans les organes d'oiseaux analysés globalement et dans les œufs étaient généralement beaucoup plus bas. Des résidus extrêmement importants du DDT et de ses métabolites furent trouvés par certains chercheurs dans la graisse, les organes et les œufs. Ces études ne rapportent pas de cas mortel imputable aux insecticides, mais on a trouvé certains indices d'effets sur la reproduction. De l'absence d'effets catastrophiques dus à une exposition aussi aiguë aux insecticides, il découle que des doses bien inférieures de DDT ne doivent pas avoir d'effets débilissants pour

les oiseaux. Par ailleurs, chez des oiseaux morts, on a fréquemment trouvé des résidus de toxaphène.

Les études ont souvent montré une similitude entre les taux moyens de résidus d'une espèce ; mais dans plusieurs cas, des quantités très différentes furent trouvées chez des individus d'une même espèce, recueillis dans des territoires différents. Il apparaît que de hautes contaminations dans des territoires spécifiques bien déterminés, utilisés par les oiseaux, sont un facteur important dans la détermination du type de résidus chez les populations des espèces.

Dans quelques recherches, on constate la présence de quantités minimales d'insecticides chez tous les oiseaux examinés. Mais dans la plupart d'entre elles, la majorité des oiseaux portaient de faibles résidus tandis que quelques-uns contenaient des niveaux très élevés. Ceci laisse supposer que les individus ou de petits groupes d'oiseaux dans chaque population régionale diffèrent quant à leur exposition aux dangers des insecticides en fonction de la nourriture qu'ils absorbent. Il s'ensuit que les oiseaux sont amenés à fréquenter des habitats dont les poissons sont contaminés de manière variable. Dans deux territoires, presque tous les oiseaux de certaines espèces contenaient des résidus extrêmement élevés (Lac Michigan et Clear Lake, Californie). De telles découvertes indiquent que presque toute la nourriture absorbée par les oiseaux dans ces territoires était fortement contaminée. Au Clear Lake, les résidus trouvés dans le poisson étaient uniformément élevés, ce qui expliquerait pourquoi des résidus très élevés apparaissent chez le Grèbe de l'Ouest (*Aechmophorus occidentalis*). Des échantillons de poissons capturés dans le lac Michigan et de poissons apportés comme nourriture aux jeunes Goélands argentés (*Larus argentatus*) par les adultes ne contenaient que de faibles résidus et l'agent responsable des résidus élevés trouvés chez les oiseaux n'a pu être déterminé. Le tableau 4 permet de comparer les résidus moyens trouvés chez les oiseaux au Clear Lake, au lac Michigan ainsi qu'ailleurs aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

Les données de différentes études montrent que les taux relatifs d'insecticides dans les graisses et les organes étaient tout à fait différents chez les oiseaux trouvés morts et chez ceux qui avaient été abattus (Tableau 5). Les faits constatés permettent de croire que les résidus trouvés dans le tissu graisseux étaient habituellement plus élevés chez les oiseaux vivants que chez ceux trouvés morts. Inversement, chez ces derniers, les résidus décelés dans les organes étaient considérablement plus importants que chez les oiseaux vivants. Ces résultats, bien que basés parfois sur quelques échantillons seulement, tendent à confirmer les conclusions de Bernard (1963), au sujet des effets des insecticides chez les oiseaux.

Relations entre les résidus du biotope et des oiseaux piscivores.

Les observations ont montré que les grands habitats marécageux sont rarement contaminés de façon uniforme par un niveau élevé d'insecticides. La plupart des marais ne sont que faiblement contaminés et les oiseaux fréquentant ce biotope n'accumulent que des quantités minimales de résidus. Hickey et Anderson (1966) échantillonnèrent des résidus dans les sédiments lacustres, le poisson et les œufs de Pélican et de Cormoran à travers le centre-nord des Etats-Unis et le centre-sud du Canada. Les résidus dans les sédiments et le poisson oscil-

laient entre 0,01 et 0,2 ppm., tandis que le pourcentage dans les œufs des Pélicans blancs (*Pelecanus erythrorhynchos*) atteignait en moyenne 2,43 ppm. et dans ceux des Cormorans (*Phalacrocorax auritus*) 11,04 ppm. Moore (1966) trouva que les oiseaux piscivores en Grande-Bretagne accumulaient de plus hauts résidus que les autres espèces, mais le taux dans les tissus d'oiseaux dépassait rarement 15,0 ppm.

Dans plusieurs territoires fréquentés par les Pélicans blancs pendant leur migration annuelle, les échantillons de poissons ont montré que les résidus n'étaient élevés que dans certaines zones locales déterminées (Keith, 1966 a ; Keith et Peterson, 1966). Dans les poissons entiers, les résidus étaient souvent de moins de 0,1 ppm. mais à certains endroits ils atteignaient 8,0 ppm. Dans cette étude, des insecticides spécifiques comme le toxaphène, la dieldrine, le telodrine et le p.p.p' DDT ne furent souvent trouvés que chez les poissons capturés en un endroit bien précis ; le poisson recueilli à proximité, mais dans un autre système de drainage, ne contenait pas les mêmes insecticides. De telles différences en quantité et en type d'insecticides furent également notées chez les oiseaux ; les résidus dans les organes atteignaient moins de 20,0 ppm. mais on a trouvé des taux de près de 200,0 ppm.

Le fait que des territoires déterminés accusent une contamination élevée ou spécifique semble commun et est la conséquence des traitements des marécages par les insecticides ou des déversements d'eau fortement contaminée dans les lacs, cours d'eau, marais et estuaires. Laurer *et al.* (1966), qui ont étudié les déplacements de l'endrine des terres agricoles, conclurent que l'écoulement en surface sur les champs était la cause principale de la contamination des cours d'eau par l'endrine. Dans une autre étude, on a trouvé que le toxaphène avait été transporté par l'eau depuis les champs jusqu'au marais, où il affectait les oiseaux piscivores (Keith J.O., 1966). Dans la baie de Pensacola, Butler (1966) a constaté que les résidus de DDT augmentaient progressivement dans les composants du milieu écologiquement apparentés, après l'emploi d'insecticide sur les rives au mois de juillet. Les niveaux augmentèrent d'abord dans l'eau, puis chez le plancton et, en octobre, le taux résiduel chez les huîtres était quatre fois plus élevé qu'avant le traitement. Les individus d'une population de *Lagodon rhomboides* (*Sparidae*, famille de la Dorade) qui avaient été le plus exposés contenaient des résidus bien supérieurs à ceux d'autres poissons.

Les oiseaux sont assez opportunistes dans leur façon de se nourrir. Ils sont attirés par de grandes concentrations de poissons dans de petits espaces et aussi par les poissons en difficulté. On sait que les poissons tués ou affectés par les insecticides attirent les oiseaux piscivores (Butler, 1966a). Néanmoins, les risques sérieux de contamination pour les oiseaux ne sont pas limités aux résidus élevés contenus dans le poisson tué par les insecticides. Dans les endroits où il y eut des cas mortels chez les poissons, les recherches ont montré que les poissons morts contenaient rarement des résidus plus élevés que les poissons survivants (Croker et Wilson, 1965 ; Kallman *et al.*, 1962 ; Butler, 1965). Les oiseaux peuvent être sérieusement exposés aux insecticides par les poissons survivants et également par d'autres poissons contenant des quantités d'insecticide élevées, mais sublétales. En 1965, septante-quatre cas de mort de poissons furent attribués aux produits chimiques utilisés en agriculture aux États-Unis (Federal Water Pollution Control Administration, 1966). Une telle incidence du nombre et de l'im-

portance de cas mortels chez le poisson laisse supposer que beaucoup de contaminations élevées mais sublétales surviennent chez le poisson.

Les informations disponibles montrent que la plupart des contaminations dans les marais et chez les poissons, ne sont ni uniformes, ni constantes. Les oiseaux qui se nourrissent dans des endroits hautement contaminés sont soumis à de plus grands dangers que ceux qui se nourrissent en d'autres endroits. Ceci pourrait expliquer pourquoi il existe parfois de telles différences, entre les niveaux résiduels, chez des oiseaux de la même espèce et de la même population. La façon dont se manifeste les résidus chez les individus et la population d'une espèce reflète probablement la nature, les incidences et les quantités de résidus auxquels les oiseaux sont exposés.

Conclusion.

On sait que les oiseaux piscivores accumulent fréquemment les résidus suite à la contamination directe et indirecte des marécages par les insecticides. Les taux résiduels varient considérablement parmi les populations régionales de la plupart des espèces. Les quantités trouvées chez des oiseaux considérés séparément sont probablement en relation directe avec les quantités des résidus contenus dans les poissons qu'ils ont mangés. De la même façon, les résidus chez les poissons sont déterminés par le degré de contamination des biotopes marécageux, qui peut être apparemment tout à fait variable dans le temps et l'espace.

Les types de migration des oiseaux, de déplacements régionaux et d'activités de nourrissage, auxquels s'ajoutent l'apparition et la persistance variable de la contamination de l'habitat, déterminent l'exposition aux dangers des insecticides des individus et des populations d'oiseaux piscivores. Heureusement, ces facteurs arrivent rarement à produire une exposition prolongée et sérieuse de l'ensemble des populations régionales d'une espèce comme cela s'est produit au Lac Michigan et au Clear Lake en Californie.

Cet inventaire des études récentes décrit la nature, l'intensité et le type d'exposition des oiseaux piscivores aux dangers des insecticides. La compréhension de ces facteurs est nécessaire pour établir la vulnérabilité écologique des prédateurs de poissons, aux insecticides. Le problème serait beaucoup plus difficile s'il fallait déterminer les effets des insecticides sur les fonctions physiologiques des oiseaux pris individuellement et sur la dynamique de la population d'une espèce.

Les cas mortels chez les oiseaux piscivores sont relativement fréquents, mais ils résultent généralement de l'emploi d'insecticides spécifiques et connus. Les effets sur les individus et les populations d'oiseaux exposés à des doses sublétales d'insecticides demeurent peu compris.

Tableau 1 : Niveaux maxima de résidus d'insecticides trouvés par différents chercheurs dans divers milieux humides traités ou contaminés.

Auteurs	Insecticides ^b	Résidus d'insecticides (parts par million) ^a				
		Eau	Boue	Inver- tébrés	Plantes	Poissons ^c
Hunt et Bischoff (1960)	DDD	0.02	—	10.6	—	221.0
Bridges <i>et al.</i> (1963)	DDT	0.02	8.0	—	31.0	4.0
Croker et Wilson (1965)	DDT	0.13	3.35	11.22	75.0	90.0
Cope (1961)	DDT	0.03	—	—	2.3	15.6
Hickey <i>et al.</i> (1966)	DDT	—	0.02	0.41	—	7.87
Meeks et Peterle (1967)	DDT	0.07	1.11	13.16	35.0 ^d	19.1
Keith, J.O. (1966)	DDT-Toxaphène	0.004	40.0	6.0	30.3	8.0
Johnson (1966)	Toxaphène	0.10	18.0	97.0	23.0	75.0
Kallman <i>et al.</i> (1962)	Toxaphène	0.028	0.15	—	18.3	15.2
Terriere <i>et al.</i> (1966)	Toxaphène	0.003	13.8	8.23	15.5	24.8
Bridges (1961)	Endrine	0.04	0.8	—	0.55	1.0

a : Les résidus indiqués sont les niveaux maxima décelés. Certains sont des moyennes de plusieurs analyses tandis que d'autres représentent des analyses soit d'échantillons uniques, soit d'échantillons réunis. Tous les résidus sont calculés par rapport au poids frais des échantillons.

b : Les résidus de DDT comprennent les isomères et les métabolites.

c : Résidus à la fois chez les poissons vivants et morts, contenus ou bien dans le poisson tout entier ou bien dans certains tissus.

d : La plus forte concentration de résidus trouvée dans les algues atteignait 219.0 ppm.



Balbuzard (*Pandion haliaetus*).
Dessin J.P. Vande Weghe.

Tableau 2 : Résidus d'insecticides organochlorés trouvés par différents chercheurs dans des poissons vivants provenant d'habitats traités ou contaminés.

Zones et insecticides <i>a</i>	Auteurs	Milieux	Doses de résidus ^b (parts par million)
<i>Zones contaminées :</i>			
DDT	Butler (1965)	Baie côtière	0.01 - 13.7
	Croker et Wilson (1965)	Estuaire saumâtre	néant - 39.2
	Ames (1966)	Baies côtières	0.05 - 5.5
	Hickey et Anderson (1966)	Lacs et Marais	0.145 - 0.2
	Hickey et Cook (1966)	Lacs, divers	0.038 - 2.10
	Hickey <i>et al.</i> (1966)	Lac d'eau froide	2.3 - 7.9
	Keith, J.O. (1966)	Marais	néant - 6.98
	Keith et Peterson (1966)	Marais	0.1 - 6.0
	Risebrough <i>et al.</i> (1966)	Océan pacifique	0.174 - 12.77
	Thompson (1966)	Lacs, divers	0.021 - 5.24
Toxaphène	Keith, J.O. (1966)	Marais	néant - 8.0
Endrine	U.S. Dept. HEW. (1964)	Mississippi	0.5 - 1.0 ^c
<i>Zones traitées :</i>			
DDT	Hunt et Bischoff (1960)	Lac d'eau chaude	5.0 - 221.0
	Cope (1961)	Courant d'eau froide	0.08 - 15.6
	Burdick <i>et al.</i> (1964)	Lac d'eau froide	2.2 - 159.8
	Croker et Wilson (1965)	Estuaire saumâtre	2.4 - 57.6
Toxaphène	Kallman <i>et al.</i> (1962)	Lac d'eau chaude	0.3 - 15.2
	Johnson (1966)	Lac d'eau froide	2.0 - 75.0
	Terriere <i>et al.</i> (1966)	Lac d'eau froide	1.11 - 24.8
Endrine	Bridges (1961)	Etang d'eau chaude	néant - 1.0
Dieldrine	DeWitt <i>et al.</i> (1960)	Etangs d'eau chaude	1.7 - 12.2
Heptachlore époxyde	DeWitt <i>et al.</i> (1960)	Etangs d'eau chaude	0.4 - 36.2

a : Les isomères et les métabolites sont compris dans les résidus de DDT. Des traces d'hydrocarbures chlorés, autres que ceux indiqués, furent relevées dans certaines zones.

b : Les analyses ont porté sur des poissons entiers ou sur des muscles de poissons. Le taux des résidus est calculé par rapport au poids frais des échantillons sauf chez DeWitt *et al.* où il est calculé par rapport au poids sec. « Néant » signifie qu'aucun résidu n'a été détecté.

c : Résidus trouvés dans les tissus de poissons morts ou mourants.

Tableau 3 : Résidus d'insecticides organochlorés trouvés par différents auteurs chez les oiseaux piscivores.

Auteurs	Nombre d'espèces	Tissus	Nombre d'analyses	Concentration moyenne de résidus ^a
Ames (1966)	1	Œufs	52	4.3 ^b
Hickey (1966)	2	Graisse	2	508.9
		Organes	57	173.9
Hickey et Anderson (1966)	2	Œufs	59	7.9
Hickey <i>et al.</i> (1966)	3	Graisse	28	1572.6
		Organes	53	88.3.
Keith, J.A. (1966)	1	Œufs	23	572.5
		Graisse	5	180.0
		Organes	13	86.2
Keith, J.O. (1966)	8	Graisse	2	491.0
		Organes	36	25.9
		Oiseaux entiers	14	67.8
Keith et Hunt (1966)	13	Graisse	25	83.1
		Organes	95	20.2
		Oiseaux entiers	25	40.2
		Œufs	23	3.1
		Jaunes d'œufs	14	34.8
		Jeunes	6	2.1
Moore (1965)	12 ^c	Œufs	35	4.9
Moore (1966)	22	Organes et œufs	154	4.0 ^b
Moore et Tatton (1965)	8 ^d	Œufs	45	2.0 ^b
Risebrough <i>et al.</i> (1966)	15	Graisse	13	74.9
		Organes	46	11.1
		Oiseaux entiers	16	5.3
		Œufs	23	9.1
Rudd et Herman (1966)	1	Graisse	12	492.5 ^e
		Œufs	12	1165.4 ^e
Walker <i>et al.</i> (1967)	2	Organes	47	18.8 ^b
	7	Œufs	45	4.2 ^b

a : Moyenne de tous les résidus d'insecticides organochlorés en parts par million, calculée sur les poids frais d'échantillons ; dans tous les cas, les résidus sont essentiellement le DDT et ses métabolites.

b : Estimation de la moyenne des résidus à partir des données publiées par les auteurs.

c : Comprenant toutes les données anglaises relatives aux oiseaux piscivores d'eau douce ainsi que les renseignements de 1963 concernant les oiseaux piscivores marins.

d : Comprenant les données de 1964 qui se rapportent aux piscivores marins de Grande-Bretagne.

e : Ces résidus représentent les niveaux atteints dans les graisses éthersolubles.

Tableau 4 : Comparaison des niveaux généraux des résidus d'insecticides organochlorés décelés chez des oiseaux piscivores des Etats-Unis et de Grande-Bretagne et chez ceux du Clear Lake et du Lac Michigan.

Régions	Moyenne des résidus (ppm.) ^a		
	Graisse	Organes et squelettes	Œufs
Grande-Bretagne et Etats-Unis	100.8 (40)	15.8 (439)	5.0 (284)
Clear Lake (Californie)	492.5 (12)	—	1165.4 (12)
Lac Michigan	1314.4 (35)	141.6 (123)	336.4 (23)

a : Les résidus du Clear Lake sont exprimés sur la base des graisses éthersolubles. Les autres sont basés sur les poids frais des échantillons.

Tableau 5 : Niveaux relatifs des résidus d'insecticides trouvés par différents chercheurs dans la graisse et les organes d'oiseaux piscivores vivants ou morts.

Auteurs et état des oiseaux	Moyenne des résidus ^a		
	Graisse	Organes	
Keith (1966a)	Oiseaux vivants	54.8 (16)	3.0 (38)
	Oiseaux morts	11.1 (3)	29.7 (43)
Keith, J.A. (1966)	Poussins vivants	180.0 (5)	4.4 (10)
	Poussins morts	—	359.0 (3)
Hickey <i>et al.</i> (1966)	Oiseaux vivants	1601.7 (25)	78.6 (50)
	Oiseaux morts	1330.4 (3)	250.4 (3)
Hickey (1966)	Oiseaux vivants	508.9 (2)	69.9 (47)
	Oiseaux morts	—	662.8 (10)

a : Moyenne de tous les résidus d'insecticides organochlorés en parts par million, calculée sur les poids frais des échantillons ; le nombre d'échantillons est indiqué entre parenthèses.