ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2002 – Thèse n° 159

IMPACT DES PESTICIDES ORGANOCHLORES ET PCBs SUR LA REPRODUCTION DE L'AIGRETTE GARZETTE EN CAMARGUE, APRES ANALYSE DE LEURS CONCENTRATIONS DANS LES OEUFS

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD – LYON I
(Médecine Pharmacie)
et soutenue publiquement le 13 septembre 2002
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

DOL – COLIAC Sophie
Née le 7 mars 1972
à Marseille

DEPARTEMENTS ET CORPS ENSEIGNANT DE L'ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Directeur : Professeur J.-F. CHARY

Le 1er Janvier 2002

DEPARTEMENT	PREX	PR1	PR2	MC	Contractuel, associé & IPAC	AERC	Chargés de consult et d'enseignement
DEPART SANTÉ PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE							
Microbiologie, Immunologie, Pathologie Générale		Y. RICHARD		A. KODJO D. GREZEL 80 % V. GUERIN 80%			
Pathologie infectieuse		M. PRAVE	A. LACHERETZ	J. VIALARD	M. ARTOIS PR associé		
Parasitologie & Maladies parasitaires		C. CHAUVE	G. BOURDOISEAU	MP CALLAIT L. ZENNER			
Qualité et Sécurité des Aliments		G. CHANTEGRELET	P. DEMONT	C .VERNOZY A. GONTHIER			
Législation & Jurisprudence			A. LACHERETZ				
DEPART DES ANIMAUX DE COMPAGNIE							
Anatomie		E. CHATELAIN	T. ROGER	M.A BERTHELET S. SAWAYA			
Chirurgie et Anesthésiologie		J.P GENEVOIS	D. FAU	B. TRONCY D.RÉMY	G. CHANOIT . MC	C. CAROZZO	N. DISS 1 M. JUNOT 0,5 R. PARIAUT 1 C. DECOSNE JUNOT 1
Anatomie-pathologique/Dermatologie-Cancérologie		J.P. MAGNOL		T. MARCHAL	D. WATRELOT-VIRIEUX MC M.F PERRON-LEPAGE ... MC		
Médecine interne		J.P COTARD C. FOURNEL		L. CHABANNE	I. BUBLOT 0,5 MC A.JONGH-ARAGON 0,5 MC	F. PONCE C. ESCRIOU	M.HUGONNARD . 1
Imagerie médicale			J.L. CADORE	P. BARTHEZ			
DEPART DES PRODUCTIONS ANIMALES							
Zootechnie, Biologie & Economie rurale		M. FRANCK			A.DERNBURG MC contractuel	L. MOUNIER	
Nutrition et Alimentation				D. GRANCHER L. ALVES de OLIVEIRA G. EGRON			
Biol & Patho de la Reproduction		J.P. DESCHANEL F. BADINAND	M. RACHAIL-BRETIN	P. GUERIN S. MARTINOT			S. BUFF 1
Patho Animaux de Production		P. BEZILLE	T. ALOGNINOUWA	R. FRIKHA M.A. ARCANGIOLI D. LE GRAND	D. LAURENT MC associé 0,5		N.GIRAUD . 1
DEPART SCIENCES BIOLOGIQUES							
Physiologie /thérapeutique		R. BOIVIN		J.J. THIEBAULT J.M. BONNET-GARIN 90 %			
Biophysique /Biochimie Génétique et Biologie moléculaire	P. DELATOUR	F. GARNIER	B. BENOIT F. GRAIN	T. BURONFOSSE V. LAMBERT			
Pharmacie / Toxicologie Législation du Médicament	G. LORGUE		P. JAUSSAUD G. KECK	P. BERNY			
Bio-Mathématiques				P. SABATIER M.L.DELIGNETTE 80 % K. CHALVET-MONFRAY			
Langues					C. FARMER A. FAVIER		
DEPART HIPPIQUE							
Pathologie équine			J.L.CADORÉ	A. LEBLOND			
Cliniques équine		O.LEPAGE		A. BENAMOU-SMITH	E. CAUVIN MC Associé		
Expertise nécropsique			C.FLEURY				

Je remercie toute l'équipe « héron » qui m'a accueillie très chaleureusement en Camargue et tout particulièrement Heinz Hafner et Yves Kayser qui m'ont fait partager leur passion pour les oiseaux.

J'ai tout autant apprécié le travail de laborantine au laboratoire de toxicologie de Lyon, pour quantifier les hydrocarbures chlorés dans les œufs. Je remercie Philippe Berny pour sa gentillesse et sa patience à mon égard.

Enfin, merci à toi ma maman, qui m'a si souvent gardé Antoine pour me permettre d'élaborer ma thèse.

Introduction

La gamme des produits chimiques utilisés aujourd'hui et de leurs résidus s'est élargie depuis ces cinquante dernières années. Des contaminants d'origine industrielle ou agricole, répandus sur de grandes surfaces, avec une diffusion aérienne ou aquatique, sont actuellement décelables dans tous les endroits du globe.

Plusieurs études ont déjà démontré que les pesticides ont une large palette d'effets toxiques.

Ils affectent notamment la fonction de reproduction et la survie des individus, mais ont des effets néfastes indirects en réduisant l'apport de nourriture et/ou en dégradant l'habitat.

La Méditerranée est une région où la densité humaine est l'une des plus forte du monde.

Comparativement, peu d'études ont été faites sur la contamination de cette région.

Pour cela, des évaluations précises de la qualité de l'habitat dans différents types de terres humides sont nécessaires et il apparaît crucial d'augmenter les études sur les contaminants dans les sites clés de la Méditerranée au moins.

A cause de leur position en haut de la chaîne alimentaire, les oiseaux prédateurs agissent comme des bioindicateurs des changements de leur environnement.

Ils peuvent accumuler les résidus d'organochlorés et de polychlorobiphényles qui sont révélateurs de la contamination d'un milieu.

Dans les écosystèmes aquatiques, les oiseaux pêcheurs tels que les rapaces, les cormorans et les hérons se sont révélés très tôt être sévèrement affectés par une pollution permanente de leur habitat aquatique. Ils sont donc beaucoup utilisés pour décrire l'état de santé de l'environnement. Mais cette utilisation est grandement controversée car les oiseaux sont parmi les animaux les plus mobiles et leur source de contamination est souvent difficile à identifier.

La Camargue est une des plus riche zone de terres humides de Méditerranée et d'Europe. Elle occupe environ 145 000 ha de divers habitats et représente un héritage naturel important. Cette richesse peut s'expliquer par ses conditions géographiques et écologiques, mais aussi par une protection qui s'exerce depuis presque un siècle.

Elle est un des hauts lieux de l'ornithologie en France pour ses observations de 337 espèces d'oiseaux différentes. Mais elle est aussi l'une des zones humides méditerranéennes la plus remarquable pour la reproduction des Ardéidés, puisque les neufs espèces de hérons européens s'y reproduisent. Huit espèces viennent y nicher régulièrement.

La Station Biologique de la Tour du Valat a initié une étude à long terme de l'Aigrette garzette en 1968 sous la direction du Dr. Heinz Hafner, ainsi qu'un monitoring des autres ardéidés coloniaux.

Ces études ont permis de bien définir les exigences écologiques fondamentales des ardéidés arboricoles pendant leur reproduction en Camargue.

Que ce soit pendant la période de reproduction ou en dehors, les hérons sont devenus dépendants des zones artificielles constituées, entre autres, par les rizières.

En Camargue, la culture intensive du riz couvre 23 000 ha en 1996, elle utilise l'eau du Rhône souillée par son passage à travers les zones industrielles en amont. De plus, un grand complexe industriel Fos-sur-Mer localisé au sud-est du Rhône, près de son embouchure, comprend des raffineries de pétrole, des industries chimiques et de production d'engrais.

La contamination des milieux aquatiques par les résidus de produits chimiques est un facteur pouvant influencer le succès reproducteur des ardéidés. Mais il est mal connu en Camargue, puisque une seule étude fut réalisée par Heurtaux en 1976.

C'est pourquoi la Station Biologique de la Tour du Valat en collaboration avec le Laboratoire de Toxicologie de l' Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon a mis en place une étude sur l'impact des contaminants organochlorés et PCBs du milieu camarguais, sur la reproduction des hérons.

Parmi les hérons, l'Aigrette garzette fut l'espèce choisie pour différentes raisons : elle se reproduit localement dans les différentes zones humides de la Camargue, milieux d'eau douce, saumâtre, salée et sursalée. Elle est numériquement bien représentée avec une taille de population nicheuse d'environ 3000 couples depuis 1993, répartis en 8 à 9 colonies. Elle possède un régime alimentaire piscivore varié dans différents milieux, la plaçant en bout de chaîne alimentaire ; de plus son rayon de pêche est limité à quelques kilomètres autour de la colonie en période de ponte.

Ainsi, l'analyse des œufs de cette espèce permettra d'obtenir une estimation des sources principales des contaminants en fonction du milieu, en comparant les résultats toxicologiques des différentes colonies.

De plus, la possible relation entre les concentrations des résidus trouvés dans les œufs et leur plus ou moins grand effet toxique sur la reproduction, sera discuté.

Enfin, parce que les différents contaminants analysés ici sont très fortement dus aux activités humaines, les différents niveaux de contamination des sites reproducteurs seront comparés afin d'identifier les sources de contamination.

Cette thèse représente les premiers résultats d'un nouveau programme d'étude sur la contamination des oiseaux du delta du Rhône, commencé en Camargue en 1996, avec la coopération de la Station Ornithologique et du Laboratoire de Toxicologie de l'E.N.V.L.

I) PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE ET DE L'ESPECE

1) PRESENTATION DU SITE CAMARGUAIS

Grâce à de nombreuses et prestigieuses mesures de protection, nationales et internationales, publiques et privées, la Camargue apparaît comme un des fleurons de la protection de la nature en France. Diverses institutions comme le Parc Naturel Régional de Camargue (1972), la Réserve Nationale de Camargue (1930), la Réserve de la Biosphère (MAB/UNESCO) ou le Conservatoire du Littoral, oeuvrent pour la protection et l'étude de cette zone humide.

Des travaux scientifiques sont menés par la Station Biologique de la Tour du Valat, fondée par Luc Hoffmann en 1954. Il s'agit d'un organisme privé à but non lucratif, reconnu d'utilité publique depuis 1976. Au départ, l'activité principale était le baguage d'oiseaux pour l'étude des migrations. Aujourd'hui, le travail est axé sur le fonctionnement des zones humides, au travers de projets pluridisciplinaires, alliant des programmes de recherche sur les oiseaux, les plantes, l'eau, le pâturage et des travaux d'application de la recherche sur la gestion des zones humides. En outre, la Station Biologique possède et gère un domaine de 2 500 ha au coeur de la Camargue, dont la partie centrale de 1 100 ha a été désignée comme Réserve Naturelle Volontaire en 1984.(MATHON, 1995)

La Camargue est une vaste plaine alluviale de 140 000 ha formée par le delta du Rhône présentant un ensemble d'étangs et de lagunes.

Elle est délimitée à l'est par la plaine de Crau, ancien lit de la Durance qui y a abandonné ses galets et au nord, par les collines rocailleuses des Alpilles et les Costières de Nîmes.

La **Grande Camargue** qui couvre 80 000 ha, et dont les points culminants ne dépassent pas 5 mètres d'altitude, est située entre les deux bras du Rhône dont la partie orientale appelée Grand-Rhône draine 85 % des eaux du fleuve.

A l'ouest du Petit-Rhône, sur la partie occidentale, la **Petite Camargue** représentant 38000 ha s'étend jusqu'à Aigues-Mortes et le Grau du Roi.

Enfin à l'est du Grand-Rhône, le Plan du Bourg couvre une superficie de 24000 ha.

Cet ensemble a été modelé au cours des siècles par les divagations du fleuve et les incursions marines.(MATHON, 1995). Le Rhône, créateur de la Camargue, n'abandonne à son niveau plus que des limons fins et du sable qui constituent jusqu'à 20 m de profondeur toutes les couches superficielles de la zone centrale du delta du Rhône.

Aujourd'hui, toutes modifications majeures du paysage sont empêchées par les digues construites dans les années 1850 le long du Rhône et en bord de mer.(CREUSOT, 1994)

Les faibles dénivellations de cette plaine alluviale suffisent pourtant pour créer une mosaïque de zones inondées et de zones exondées. Les premières prédominent près de la mer,

les secondes plus loin à l'intérieur. Les étangs et les marais sont très peu profonds, leur eau trouble est assez riche en matières organiques et pauvre en oxygène. A chaque nouvelle composante des quatre paramètres principaux , granulométrie, eau, sel, et vent, correspondent une flore et une faune particulière.

L'eau salée dans les lagons près de la côte, devient de moins en moins saumâtre et même douce dans les parties hautes. Les zones exondées entre les étangs supportent une végétation pauvre, clairsemée, halophile dans les parties basses, un tapis plus riche, plus dense et xérophile dans les parties hautes.

Le sel constitue aujourd'hui le facteur dominant de l'écologie de la Camargue. Il est tout puissant dans les parties basses, lagunes et sansouires inondées pendant une partie de l'année, et qui se trouvent à peu près au niveau de la mer. Il ne se manifeste qu'au niveau de la nappe phréatique et par capillarité dans la zone de marais et de steppes situés à environ un mètre au dessus du niveau de la mer.

La Camargue est constituée d'une succession de **biotopes différents**.

- En remontant vers le nord, on rencontre tout d'abord la plage, puis les dunes côtières sablonneuses de la Petite Camargue, puis la Sansouire basse qui est une plaine constituée d'étangs saumâtres temporaires ou permanents, avec en son milieu le bois de Rièges.
- Au dessus, la sansouire haute est constituée d'une steppe sèche rarement inondée, dans laquelle dominent les salicornes et les statices. Les étangs de faible salinité quand à eux, forment des roselières ou sont entourés de tamaris. Le long des fossés artificiels où l'eau est constante, siègent les ormeaux et les peupliers blancs.
- Enfin, la forêt riveraine, la plupart du temps presque entièrement inondée, est constituée de saules et peupliers blancs, d'aulnes et de frênes.

Les vents provenant de l'intérieur du pays prédominent très largement sur ceux qui viennent de la mer et c'est pour cela que les limons de la Grande Camargue, contrairement à la Petite, n'ont pas été recouverts par du sable provenant des plages marines. Le mistral et le vent d'ouest s'accompagnent d'un temps sec et ensoleillé, tandis que le vent du sud-est, plus rare, amène la pluie.

Le climat y est méditerranéen avec des précipitations relativement faibles (50 à 60 cm par an), les plus grandes chutes de pluies ont lieu en octobre et en novembre. Les hivers sont humides et le pays est alors partiellement submergé, les étés au contraire sont secs faisant se dessécher les étangs progressivement. (HOFFMANN, 1959)

Tout ceci contribue à faire de la Camargue une zone humide particulière riche, surtout au niveau des populations avicoles.

2) PRESENTATION DE L'ECOLOGIE DES HERONS ARBORICOLES

Sur les 60 espèces de Hérons recensées dans le monde, 9 se reproduisent dans le bassin méditerranéen : la Grande aigrette *Egretta alba*, l'Aigrette garzette *Egretta garzetta*, le Héron gardeboeuf *Bubulcus ibis*, le Bihoreau gris *Nycticorax nycticorax*, le Crabier chevelu *Ardeola ralloides*, le Héron cendré *Ardea cinerea*, le Héron pourpré *Ardea purpurea*, le Butor étoilé *Botaurus stellaris* et le Blongios nain *Ixobrychus minutus*.

Les hérons se caractérisent en général par la hauteur de leurs pattes, un long cou replié en forme de S, un bec allongé, caréné et conique. Leur nourriture est variée et composée exclusivement de proies animales, principalement de poissons, amphibiens, crustacés, insectes mais aussi à l'occasion de petits rongeurs, oiseaux et reptiles.

A L'exception du Butor étoilé et du Blongios nain qui nichent selon un cantonnement individuel (nids isolés) dans des roselières ou des arbustes, les autres espèces sont coloniales. Elles représentent plusieurs milliers de couples nicheurs qui se répartissent actuellement, par ordre d'abondance décroissante de la manière suivante: Aigrette garzette, Héron gardeboeuf, Héron cendré, Héron pourpré, bihoreau gris et crabier chevelu. La Grande aigrette n'est représentée que par un ou deux couples.(MATHON, 1995)

Ces oiseaux se rassemblent pour la reproduction dans certains endroits en formant des colonies. Le Héron cendré et le Héron pourpré forment le plus souvent des colonies monospécifiques dans les roseaux. L'Aigrette garzette, le Bihoreau gris, le Héron gardeboeuf et le Crabier chevelu nichent en colonies mixtes dans les arbres. Des colonies monospécifiques d'Aigrettes garzettes ou de Bihoreaux gris sont rares en Camargue.

A) Qu'est ce qu'une colonie ?

Les colonies d'oiseaux d'eau intriguent depuis longtemps les naturalistes qui ont cherché à comprendre les mécanismes guidant l'évolution de ce mode d'organisation sociale. Divers coûts et bénéfices de la reproduction coloniale ont été ainsi identifiés, susceptibles de varier selon la taille des colonies, leur densité ou encore la diversité des espèces qu'elles abritent.

Le terme de colonie fait référence à un mode particulier de dispersion des nids. Ceux-ci se concentrent en certains points. Le territoire que défend chaque couple autour de son nid est donc généralement de taille réduite et ne contient, à l'inverse des espèces dites territoriales, aucune ressource alimentaire. Dans certains cas une colonie peut occuper un bois ou un îlot aux limites bien définies, dans d'autre cas la colonie occupe une place dont les contours ne correspondent à aucune réalité topologique ; c'est pourquoi il ne faut pas appeler colonie le lieu, quand il est restreint, où sont entreposés les nids mais l'assemblage des nids eux-mêmes.

•**La taille des colonies** varie avec l'espèce considérée, mais les colonies d'une même espèce varient aussi en taille et en densité. Les facteurs expliquant ces variations sont l'âge de la colonie (une jeune est plus petite car elle résulte de l'éclatement d'une ancienne), la disponibilité des ressources alimentaires autour des colonies, et l'année à laquelle on s'intéresse.

•**Les avantages** que procurent une reproduction coloniale

Des hypothèses tentent d'expliquer l'origine de ces regroupements de nids, par exemple la saturation des sites favorables, une meilleure défense contre les prédateurs par un phénomène de dilution des risques d'attaque, les renseignements sur la répartition des ressources trophiques dans l'espace et un gain de temps pour la recherche d'un partenaire reproducteur (la concentration des mâles et des femelles facilite le choix).

•Mais la reproduction coloniale peut représenter des **inconvénients**

Le rassemblement des individus entraîne une forte compétition pour l'exploitation des ressources alimentaires autour des colonies. En cas de réduction de leur disponibilité, la compétition peut devenir drastique et réduire le succès de reproduction des couples nicheurs. Le risque de transmission des maladies et des parasites est élevé. D'autre part le bruit produit par les colonies permet aux prédateurs de les repérer et la promiscuité des couples oblige les mâles à adopter des stratégies comportementales pour s'assurer de la paternité des jeunes qu'ils élèvent.

Les hérons arboricoles (nichant sur les arbres) forment de larges colonies plurispécifiques où l'on peut retrouver ibis et spatules. En Camargue, la répartition des espèces au sein des colonies mixtes de hérons arboricoles est inégale, conséquence de dates d'installation différentes et de la dominance sociale. L'Aigrette garzette, nicheur précoce, occupe généralement les positions centrales de la colonies où le succès reproducteur est meilleur, forçant le Bihoreau gris et le Crabier chevelu à nicher en périphérie de la colonie. (CEZILLY, 1995)

Récemment, l'équipe d'ornithologues de la Tour du Valat a constaté une concurrence certaine au sein des colonies de reproduction entre les Aigrettes garzettes et les Hérons gardeboeufs, qui se disputent les emplacements des nids. Le gardeboeufs est même capable d'éjecter le contenu d'un nid d'Aigrette, voire de celui d'un congénère, pour prendre sa place. Il peut alors utiliser les brindilles pour son propre nid. La conséquence est visible : dans les colonies, les nids sont de plus en plus fragiles, et beaucoup plus exposés aux intempéries.

B) Les exigences au niveau du site même de reproduction

• Protection contre les prédateurs et les effets du vent.

Nous avons déjà vu que la Camargue est une région très ventée et les hérons arboricoles évitent des essences aux rameaux trop flexibles comme le saule pour construire leur nid. L'homme constitue aujourd'hui l'ennemi le plus redoutable lorsqu'il pénètre dans une colonie au début de l'incubation, lorsque les conditions météorologiques ne s'y prêtent pas car les parents en abandonnant le site laissent les poussins exposés au froid, au vent ou au soleil.

Pour prévenir tous ces dangers, les colonies sont généralement protégées par une zone de sécurité constituée le plus souvent par l'eau entourant le site. Toutefois, c'est parfois seulement la position élevée du nid par rapport au sol qui joue ce rôle. Les colonies urbaines de hérons sont toutes, sans exception, installées sur des arbres très hauts.

• Présence de matériaux pour la construction des nids.

On sait que le nid d'un Héron gardebœufs contient en moyenne 300 brindilles et branchettes de bois mort de 5 à 70 cm de longueur. Les arbres doivent donc être suffisamment âgés pour fournir le bois mort qui servira à la construction des nids. En Camargue les plus grosses colonies de hérons arboricoles (Aigrette garzette, Bihoreau gris, Héron gardebœufs et Crabier chevelu) peuvent facilement dépasser 1000 nids. Dans cette région la croissance rapide des arbres sur un sol humide entraîne rapidement un dessèchement des branches à la base des troncs et ce sont ces branches qui tombent sur le sol. Cette croissance rapide oblige les hérons à nicher de plus en plus haut et lorsque la hauteur des arbres dépasse un certain seuil, la colonie se déplace car la protection contre les vents dominants n'est plus suffisante.(HAFNER, 1992)

• Les exigences au niveau du domaine vital des colonies

Si les sites de reproduction sont relativement bien connus, il est beaucoup plus difficile de connaître le rôle que joue l'étendue et la qualité des lieux d'alimentation sur la taille d'une colonie et son succès de reproduction. Le domaine vital des colonies de hérons est constitué selon le cas par des rizières inondées, des marais et étangs de faible profondeur, riches en poissons, amphibiens et invertébrés. Dans le sud de la France, le niveau d'eau de la plupart de ces sites est rigoureusement contrôlé pour la chasse. Ces conditions maintiennent des populations importantes de poissons et d'amphibiens. Au contraire, dans les marais temporaires, durant les mois d'été (correspondant à la période de reproduction des hérons), la

forte évaporation et les faibles précipitations, conduisent à un assèchement qui diminue fortement les populations de proies. Les organismes aquatiques ne pourront recoloniser ces marais qu'après cette période de sécheresse grâce aux connexions avec les marais adjacents permanents. (HAFNER, 1992)

On a observé chez ces oiseaux une relation entre la taille des colonies et la distance parcourue pour s'alimenter. Plus il y a de nids (et par conséquent de poussins à nourrir) plus la distance s'allonge. (CEZILLY, 1995)

D'autre part, le nombre de hérons nicheurs augmente (corrélation positive) qualitativement (nombre d'espèces) et quantitativement (nombre d'individus) avec la superficie des milieux naturels d'eau douce et des rizières. La taille et la composition spécifique des colonies de hérons dans le bassin méditerranéen dépend très nettement de la superficie des milieux d'eau douce dans un rayon de 5 à 10 kilomètres autour du site de reproduction.(CEZILLY, 1995)

En deçà d'un seuil de 800 hectares, on ne trouve plus que de très petites colonies de moins de 100 couples, monospécifiques pour la plupart. Mais même pour ces petites colonies, par exemple de 50 couples, élevant en moyenne 3 poussins chacun, sachant qu'il faut 120-150g de proies par individu et par jour, la demande pendant le mois que dure l'élevage des poussins sera d'environ 1000 Kg de proies.

Ainsi **une Aigrette garzette pèse en moyenne 500 grammes et elle ingurgite en moyenne 20 % de son poids chaque jour. Six mille Aigrettes mangent environ 6 tonnes de nourriture par jour** (petits poissons, insectes...). Dés lors on imagine très vite que les marais camarguais doivent être très productifs, afin de permettre aux hérons de se nourrir et de se reproduire dans de très bonnes conditions.

C)Adaptations morphologiques et comportementales des hérons

•adaptations morphologiques :

Le bec court et massif du Héron gardebœufs est particulièrement bien adapté à la recherche de nourriture dans un habitat terrestre à l'opposé du bec long et fin de l'aigrette qui lui permet de se saisir de petites proies rapides.

De plus, chez les hérons, l'articulation entre les 5eme, 6eme et 7eme vertèbre et leurs longueurs relatives fonctionnent comme un véritable levier qui permet de propulser avec force et vitesse la tête et le bec. Cette faculté du cou à faire levier est plus prononcé chez l'aigrette (capture des proies rapides) que chez le gardebœufs qui martèle plutôt les proies.

Une théorie tente d'expliquer la couleur blanche immaculée du plumage dorsal de l'Aigrette et du gardebœufs (en période hors reproduction) : cette coloration aurait pour effet d'attirer l'attention des congénères qui se regroupent alors pour chasser ensemble afin d'être plus efficaces par rapport à une chasse solitaire.(CEZILLY, 1995)

• **adaptations comportementales**

Les hérons sont des prédateurs visuels. La concentration des proies dans certains secteurs favorise le regroupement des oiseaux. Il a été observé que les grandes agrégations d'aigrettes garzettes se forment à l'aube lorsque les proies, principalement les gambusies, remontent vers la surface pour y capter l'oxygène dissous. Plus tard dans la journée, lorsque les proies sont moins disponibles, les distances interindividuelles tendent à augmenter. Cependant même au sein des grandes agrégations denses, une distance minimale est toujours maintenue entre les individus. Le maintien de cette distance permet de limiter le risque de kleptoparasitisme (vol des proies), particulièrement entre adultes et juvéniles socialement dominés.(CEZILLY, 1995)

D)Ecologie reproductrice

• **La formation des nouveaux couples se fait à l'intérieur des colonies**.
Dès l'approche du printemps, les individus signalent qu'ils sont prêts à s'engager à la reproduction par un changement d'allure, de plumage et de coloration. Ces modifications sont sous la dépendance d'hormones sexuelles dont la libération est activée par la photopériode. L'Aigrette développe de nouvelles parures. (CEZILLY, 1995).

• **C'est le mâle qui choisit un site de nidification** où il tente par la suite d'y attirer une femelle. Les sites doivent répondre à des critères de sécurité et de confort, les parties périphériques des bois les plus exposés aux vents dominants sont évités.

• **Les hérons** ne sont pas exactement **fidèles** à leur site de naissance mais plutôt à une certaine **aire géographique** autour de celui-ci. En effet, les colonies de hérons arboricoles ont généralement une durée de vie courte car les bois sont littéralement brûlés par les excréments des individus au bout de quelques saisons de reproduction.

• Chez les colonies de hérons, la **monogamie** est de règle mais elle correspond plus à une exclusive sociale que reproductrice car la promiscuité sexuelle dans les colonies favorise le nombre de cas d'adultère.

• Une caractéristique de la reproduction coloniale concerne **la synchronisation des pontes**. Les dates d'éclosion sont généralement étalées sur un nombre réduit de jours ce qui caractérise l'existence d'un mécanisme de synchronisation physiologique. Ce mécanisme peut simplement correspondre au fait que les individus d'une colonie répondent aux mêmes facteurs externes (température, photopériode, ...).

On note cependant que le degré de synchronisation des pontes augmente avec la taille et la densité des colonies. Il a par ailleurs été suggéré qu'un phénomène de facilitation sociale pourrait être à l'origine de la synchronisation des pontes. L'existence d'un tel mécanisme et son influence sur l'étalement des pontes reste encore à préciser. (CEZILLY, 1995)

Le succès reproducteur varie en fonction de facteurs externes (taille de la colonie, date de ponte, conditions climatiques, disponibilité de ressources trophiques) et internes (âge des individus reproducteurs, expérience). La ponte compte plusieurs œufs et l'incubation commence dès le premier œuf pondu ce qui rend les **éclosions au sein du même nid asynchrones**. Cette différence de date entraîne un retard de croissance pour le poussin issu du dernier œuf éclos. Lorsque la nourriture vient à manquer, le dernier poussin plus faible mourra rapidement de faim car il n'aura pas la force de lutter avec ses frères pour le partage de la nourriture. Le dernier œuf est en quelque sorte une réserve, qui ne sert que si les conditions sont favorables ; dans les conditions inverses, il est sacrifié. (CEZILLY, 1995 et HAFNER, 1994)

- **Les deux parents assurent l'incubation et l'élevage des jeunes.** Ils sont toujours présents en alternance au nid jusqu'à ce que les jeunes soient capables de réguler leur température eux-mêmes. Les poussins à ce stade s'abritent alors dans le nid ou dans la végétation environnante. (CEZILLY, 1995 et VOISIN, 1976)

3) DONNEES SUR L'ECOLOGIE DE L'AIGRETTE GARZETTE EN CAMARGUE

A) Présentation de l'espèce

a) Classification

L'Aigrette garzette appartient à l'Ordre des Ciconiiformes, famille des Ardeidae. Deux sous-espèces d'Egretta garzetta (E. g.) sont reconnues: E. g. garzetta (Linnaeus) et E. g. nigripes (Temminck). La différence entre ces deux sous-espèces est la couleur des pattes, E. g. garzetta ayant des pattes noires et des pieds jaunes alors que E. g. nigripes a les pattes entièrement noires, cependant E. g. nigripes n'est présente que dans le sud-est Asiatique (Java, Philippines, Taiwan), le sud-ouest Pacifique et en Australie.(MATHON, 1995)

b) Répartition

L'Aigrette garzette se reproduit dans le sud de l'Europe, de l'Espagne à la Russie. En Asie, on la trouve autour de la Mer Caspienne et de la Mer d'Aral. Plus à l'est encore, elle se répartit entre la Turquie, l'Israël, l'Irak jusqu'au sud de l'Himalaya et de la Chine. Elle est présente aussi au Japon et en Corée ainsi que dans tout le nord de l'Afrique, de l'Algérie, de la Tunisie et de l'Egypte.(MATHON, 1995)

Aujourd'hui, elle est même en passe de coloniser l'Irlande.

A l'approche de l'hiver, les Aigrettes du delta du Rhône se maintiennent partiellement sur place. La plupart de celles qui désertent les lieux se distribuent le long du littoral

méditerranéen de France et d'Espagne. Mais une minorité entreprend une migration au long cours qui englobe une vaste zone comprise entre le Ghana, l'Egypte et les Canaries.

c) Effectif en Camargue

L'aigrette garzette est une espèce de l'Ancien Monde qui se reproduit en Europe au sud du 48ème parallèle.

L'ensemble de la Méditerranée accueille environ 30 000 couples d'Aigrettes.

En France, la Camargue a hébergé près de 90% de la population de 1930 à 1974. L'espèce a connu une progression importante avec 1200 couples en Camargue en 1954, 1965 et 1974, atteignant 3802 en 1989.

Aujourd'hui, les deux régions côtières méditerranéenne et atlantique, se partagent l'essentiel des nicheurs. Près de 10 000 nids sont recensés en France dont la moitié dans la seule région camarguaise. Cette progression a été entrecoupée par deux hivers froids 1984-85 et 1986-87, qui ont décimé les hivernants, mais la population a rapidement comblé son déficit. A cette époque, au milieu des années 80, il ne restait plus qu'environ 1000 couples nicheurs. Les conditions hydrologiques favorables dues aux pluies de l'hiver et du printemps ont permis aux quelques nicheurs rescapés qui avaient hiverné hors de France de se reproduire avec succès. Les hivers suivants l'année 1987 furent cléments et ont facilité la survie de nombreux oiseaux jusqu'à la saison de reproduction suivante. Des renforts, nés d'Espagne et d'Italie, vinrent spontanément combler les places vacantes. D'autre part, pour accélérer la reconquête, de nombreux sujets se reproduisirent dès l'âge d'un an, ce qui est exceptionnel en temps normal.

Il existe donc un brassage entre les populations d'Espagne, d'Italie et de France. On a assisté depuis à une augmentation régulière, d'année en année pour atteindre l'effectif de 5350 couples en 1996, un record absolu. (HAFNER, 1994)

Toutefois, les effectifs d'aigrettes garzettes nicheuses sont sujets à de fortes fluctuations périodiques. Des études essaient de déterminer quels sont les facteurs écologiques qui régissent ces changements et l'accumulation de données a permis de mieux connaître et d'analyser les causes des fluctuations et de l'évolution démographique des colonies. Les Aigrettes garzettes qui nichent en Camargue ont été dénombrées chaque année entre 1968 et 1992. Pendant cette période, aucune tendance significative n'a pu être mise en évidence, même si d'une année à l'autre la population est passée du simple au double. Une régression multiple a montré que le nombre d'Aigrettes qui hivernent avec succès explique 53% de la variation annuelle du nombre de nicheurs la saison suivante. Par contre, c'est le nombre de poussins envolés la saison précédant l'hivernage et la rigueur de l'hiver qui sont les deux variables responsables à 50% de la variation de l'effectif des hivernants. (HAFNER, 1994)

La saison de reproduction 1993 fût caractérisée par deux vagues successives d'installation de nicheurs, provoquant une brusque augmentation des effectifs atteignant un nombre record de 3070 couples. Suite à une sécheresse excessive dans les principaux quartiers de reproduction d'Espagne, un contingent de reproducteurs serait venu s'établir en

Camargue et aurait ainsi renforcé cette population. Depuis 1993, la population Camarguaise se maintient autour de 3000 couples, contre 1000 couples en 1985-87.

Il est à peu près démontré que les 5350 couples de 1996, représentent un seuil maxima, car le nombre de jeunes à la naissance (productivité) baisse actuellement étant donné qu'il dépend de la densité des couples nicheurs. Comme pour beaucoup d'oiseaux vivant en société, les colonies s'autorégulent d'elles-mêmes. C'est pourquoi, il n'est pas étonnant que l'effectif d'Aigrettes retombe à 3000 couples en 1997.

Cela signifie que les ressources doivent aujourd'hui satisfaire les exigences de 6000 individus adultes et de leurs poussins.(MATHON, 1995).

B) Présentation générale des colonies d'Aigrette garzette

Les colonies Camarguaises sont établies dans des bois de pins Pinus sp., de feuillus comme les aulnes Alnus glutinosa, les saules Salix sp., les peupliers blancs Populus alba, les frênes Fraxinus sp., et dans les bosquets de tamaris Tamarix gallica ou d'oliviers de bohême Eleagnus angustifolia.

Les nids sont de frêles assemblages de branchettes apportées essentiellement par le mâle tandis que la femelle les insère dans la plate-forme.

Un même arbre peut porter jusqu'à une centaine de nids.

Les colonies sont généralement mixtes et composées des quatre espèces de hérons arboricoles de Camargue: l'Aigrette garzette, le Héron gardeboeuf, le Bihoreau gris et le Crabier chevelu. Le Héron cendré toutefois, se surajoute parfois dans les colonies mixtes établies dans les tamaris.

En Camargue, la taille des colonies, toutes espèces confondues, varie de 30 couples à plus de 1000 couples.

La répartition des colonies sur l'ensemble du complexe deltaïque pourrait suivre certaines lois. Certaines colonies se fixent depuis 30 ans dans un même bois. Cependant depuis une dizaine d'années, les déplacements des colonies s'accentuent.(MATHON, 1995)

C) Présentation des principaux sites d'alimentation de l'Aigrette garzette en Camargue, pendant sa nidification.

Le domaine vital d'une colonie d'Aigrettes garzettes, se situe dans un rayon de 5 à 10 km autour de la colonie. Plus une colonie est grande, plus les aigrettes sont obligées de s'éloigner pour rechercher de la nourriture.

Les lieux d'alimentation sont des zones inondées de faibles profondeurs que les aigrettes arpentent pour capturer une petite faune aquatique assez diversifiée : poissons de préférence, mais aussi batraciens, insectes, larves, mollusques, etc... (Hafner, Fasola, 92)

a) Etude pendant la période de nidification des différents types de proies qu'offrent les différents milieux en Camargue, pour l'Aigrette garzette
(Annexe 1)

1) Les rizières (70 km²)

Pendant cette période, les rizières sont des cultures inondées à végétation basse, peu dense au début de la mise en eau, de profondeur constante de 10 à 15 cm.

La mise en eau a lieu généralement dans la seconde moitié du mois d'avril tandis que certains clos, destinés au repiquage du riz, ne reçoivent de l'eau qu'un mois plus tard.

La faune d'invertébrés est particulièrement abondante 3 à 5 semaines après la mise en eau, selon la température.

Les proies de choix sont les phyllopodes, Triops cancriformis, et des larves de coléoptères qui sont présentes de mi-juin à mi-août.

De mai à juin, lorsque la plupart des marais naturels ont encore un niveau d'eau trop élevé pour offrir des conditions favorables à l'alimentation, les rizières offrent une complémentarité d'autant plus importante, qu'à cette époque de l'exploitation, l'éclosion des jeunes entraîne un accroissement très sensible des besoins en nourriture.

2) Les marais (75 km²)

Ils sont disposés en éventail autour du Vaccarès, ils présentent une abondante végétation immergée et émergée. Ces milieux d'eaux douces offrent de petits poissons dominants dans l'alimentation des aigrettes: les gambusies Gambusia affinis, les perches soleil Lepomis gibbosus, les petites carpes Cyprinus carpio, les petites anguilles Anguilla anguilla et des anoures comme Rana ridibunda perezi.

De manière générale, ces proies sont présentes pendant toute la saison de nidification, tant que le niveau d'eau reste suffisamment élevé. Quelques fois, à l'aube, il est possible d'observer un rassemblement de nombreuses aigrettes se régalant de proies montées pour respirer en surface. En effet la respiration des végétaux aquatiques la nuit, consomme parfois tout l'oxygène dissout.

La plupart des marais Camarguais non aménagés sont temporaires. Ils constituent, pendant l'assèchement estival, des lieux d'alimentation de toute première importance. La faune qui ne peut s'échapper se trouve très concentrée.

Les marais permanents, moins nombreux, avec un aménagement comme la coupe des roseaux Phragmites australis permet l'utilisation de terrains ouverts pour l'alimentation des aigrettes.

Elles semblent préférer ce type de milieu où elles prélèvent de plus lourdes proies mais en plus petit nombre que dans les rizières. Par sa stabilité, ce type de milieu assure une disponibilité alimentaire permanente pendant la saison de reproduction sous forme de populations abondantes de poissons et d'amphibiens.

3) Les étangs et les lagunes d'eaux saumâtres, salées et sursalées (90 km²)

Ils constituent la plus grande partie de la basse Camargue.

L'Aigrette garzette est le seul héron capable de se nourrir dans ces zones. Les athérines Atherina boyeri et les muges Mugil cephalus constituent les proies les plus importantes, même si des invertébrés comme les gammares et les isopodes sont aussi exploités. Les aigrettes se concentrent peu dans ce type de milieu qui représente pourtant une source constante et complémentaire de nourriture.(MATHON, 1995)

b) Les différentes préférences de sites alimentaires en Méditerranée.

En Camargue, les colonies d'aigrettes nichant près de **marais dulçaquicoles permanents**, consomment la plus grande quantité de proies et ont un succès reproducteur supérieur à celui des colonies nichant près de **marais temporaires et de lagons salés**. Même s'il ne fait aucun doute que les marais d'eau douce permanents sont les zones d'alimentation préférées des aigrettes dans le sud de la France, ces habitats sont devenus très rares.

Ainsi, en Espagne et en Italie, la majorité de la population des hérons, utilise aujourd'hui des habitats construits par l'homme comme les **rizières**. Il est démontré que plus il y a de rizières autour de la colonie, plus la colonie est grande. Les rizières représentent l'habitat d'eau douce le plus prisé et les lagons celui d'eau salée.

Au Nord de l'Italie, les deux zones de rizières supportent plus de 2600 couples d'aigrettes. Cette densité est bien supérieure à celle notée dans les rizières d'Espagne, de France ou de Grèce, car dans les rizières italiennes les proies y sont plus abondantes.

En Camargue, des études sur l'écologie alimentaire et de reproduction des hérons, montrent que les meilleurs sites de nourriture sont les marais dulçaquicoles permanents.

Dans le Sud de la France, la plupart de ces marais sont aménagés intensivement pour la chasse et leurs niveaux d'eau sont fermement contrôlés. Ces conditions maintiennent une abondance de poissons et d'amphibiens qui sont les proies majoritaires des hérons.

Le climat des régions méditerranéennes, caractérisé l'été par une forte évaporation avec de faibles précipitations, conduit à l'assèchement des marais temporaires pendant la saison de nidification des hérons. En Camargue la densité en poissons des marais temporaires est moins importante que celle des eaux permanentes car les micro-organismes doivent recoloniser les marais après chaque période d'assèchement, en utilisant les connections entre chaque plan d'eau permanent adjacent, connections qui dépendent elle-même de l'abondance des précipitations.

Les conditions alimentaires pour le succès reproducteur des Ardéidés peuvent être améliorées par le contrôle des niveaux d'eau des marais d'eaux douces et donc de la taille des populations de poissons et d'amphibiens. Cela est souvent possible avec les zones humides méditerranéennes, en utilisant les systèmes d'irrigation construits pour l'agriculture. En général les marais d'eaux douces permanents supportent une plus grande quantité de proies, c'est pourquoi ils sont préférés par les hérons.

Ces zones de gagnage doivent être suffisamment étendues et à proximité des colonies de nidification. Les marais d'eau douce permanents constituent les meilleurs sites de gagnage. Le plus souvent, les colonies entourées par ces marais ont un meilleur succès de reproduction que les autres. **Si l'aire des zones d'eaux douces, dans un rayon de 5 km centré sur la colonie, descend en dessous de 800 hectares, on note un rapide déclin de la taille de la colonie**. (HAFNER, 1994)

Deux études entreprises dans deux pays différents arrivent à la même conclusion..

+ En Italie, les différentes nourritures des oisillons d'Aigrettes pendant la période de reproduction ont été comparées pour comprendre les variations saisonnières et géographiques de leur alimentation et identifier quelles proies sont réellement appropriées pour l'apport énergétique nécessaire à cette période de leur vie. (FASOLA, 1993).

+ En France, une autre étude s'est intéressée à la fréquentation de deux types de milieux en Camargue avec une densité de proies différentes : S ^{t} Seren qui est un marais d'eau douce naturel et C13 qui est un marais artificiel peu profond. (ERWIN, 1995)

Ces deux études concluent que **dans les pays méditerranéens, les habitats artificiels que sont les rizières et les marais artificiels, constituent des lieux d'alimentation précieux pour les hérons même si ils préfèrent en général les milieux naturels qui hébergent une plus grande diversité de proies.**

En Camargue, un récent déclin de l'utilisation des rizières par les hérons nicheurs est peut-être bien dû à une utilisation accrue de pesticides ainsi qu'à des pratiques d'irrigation tendant à réduire l'oxygénation des eaux, donc des proies.

Des changements similaires en Italie, Espagne, Grèce pourraient avoir un impact dramatique sur la population des hérons, car dans ces pays, les rizières représentent les principales sources d'alimentation des Aigrettes. (HAFNER, 1992)

c) Les rizières

1) Etude de l'écosystème des rizières

La culture du riz occupe la plus large place dans le monde, 1 500 000 km^2 dont 90% en Asie. Quarante pourcent de la population humaine dépend de cette source de nourriture.

Seulement deux espèces de riz, avec de nombreuses variétés, sont cultivées : Oryza sativa et O. glaberrima.

La culture du riz est confinée entre le 53° parallèle Nord et le 40° parallèle Sud, et nécessite une fourchette de température comprise entre 18° et 25°.

La culture du riz supporte de se faire sur terre sèche (50% de la culture mondiale) ou dans 15 à 25 cm de profondeur d'eau ou enfin par flottaison au dessus de 3 à 5 m d'eau.

La culture de riz en Europe représente seulement 0.3% de la culture mondiale.

Aujourd'hui, la culture du riz se concentre dans les endroits suivants : le nord-ouest de la Plaine du Pô, le delta du Pô en Italie, le Delta de l'Ebre, l'Albufera de Valencia, le Marismas de Guadalquivir en Espagne, la côte du sud du Portugal, le Delta de l'Axios au sud

de la Grèce et enfin le Delta du Rhône au sud de la France au le Sud de la Méditerranée, le riz est surtout cultivé dans le Delta du Nil en Egypte.

Les plaines alluviales des grandes rivières représentent les meilleures terres pour la culture du riz.

En région méditerranéenne, le riz a besoin de 130 à 180 jours pour pousser.

En mars, les terres sont préparées et fertilisées, **en avril**, elles sont inondées et ensemencées, **en mai-juin**, se déroule la germination et la croissance, avec les traitements algicides et herbicides, **en juillet**, c'est la floraison du riz qui nécessite des traitements insecticides, **en août-septembre**, c'est la maturation et la moisson se fait **en octobre**.(FASOLA, 1996)

Les principaux facteurs qui peuvent modifier l'écosystème des rizières sont, le type d'eau, le niveau d'eau, les pesticides utilisés et la biogéographie.

Le type d'eau est influencé par le fait que dans certains endroits, les champs sont inondés par un réseau de longs canaux qui apportent l'eau des rivières à chaque champs par gravité (nord-ouest de l'Italie, Delta de l'Ebre), dans d'autres endroits (Delta du Rhône), l'eau doit être pompée dans des rivières avec un niveau d'eau bas. Ce pompage réalise un filtrage des rivières et peut réduire la biodiversité des organismes dans les rizières.

Le niveau de l'eau est temporairement abaissé pour les pratiques de l'agriculture, c'est à dire pour permettre aux plantules de riz de s'enraciner profondément dans le sol, en mai, et lors des traitements pesticides, en juin. Les rizières s'assèchent progressivement en août. Ces variations de niveau d'eau stressent le biotope rizière.

Les nombreux pesticides utilisés contre les algues, les dicotylédones, les crustacés et les insectes ont à la fois des effets direct (sublétal) et indirect (diminution de la nourriture disponible) pour les oiseaux d'eau.

La biogéographie physique, chimique et biologique, caractérisant chaque région, conditionne la disponibilité des différents types de proies dans les rizières. Les rizières sont des écosystèmes aquatiques temporaires, en eau l'été et à sec l'hiver, ce qui est l'inverse du cycle naturel des terres humides méditerranéennes.

Par conséquent, les rizières représentent un important substitut potentiel de terres humides, durant la période sèche. Dans le Delta de l'Ebre, l'Albufera de Valencia, en Espagne et en Camargue, certaines de ces rizières restent en eau pendant l'hiver pour attirer le gibier de chasse. Les rizières sont un écosystème hautement dynamique, avec les paramètres physique, chimique et de niveau d'eau qui changent très vite et avec les communautés biologiques qui se développent rapidement.

Les pratiques de culture nécessitent l'utilisation d'engrais, de machinerie, et de pesticide, pour maintenir un bon rendement.

La faune bénéficie aussi de ce supplément d'énergie, par contre les pesticides et les changements de niveaux d'eau perturbent le biotope des rizières, qui profite donc moins aux oiseaux d'eau.

Des effets toxicologiques des rizières, par empoisonnement direct ont été observés dans le passé. Les pesticides expliquent ainsi le déclin des hérons pourprés dans le delta de l'Ebre.

Cependant, les produits chimiques utilisés aujourd'hui sont moins nocifs, car leur durée de vie est raccourcie et ils sont plus spécifiques.

Mais il subsiste un effet indirect qu'est la réduction de la biomasse des proies dont se nourrissent bon nombre de prédateurs.(FASOLA, 1996)

2) Utilisation des rizières par les oiseaux d'eau.

Les rizières sont utilisées par une variété d'oiseaux d'eau pour se nourrir, mais aussi comme habitat pour se reproduire.

Elles représentent le site d'alimentation principal des hérons en Italie et en Espagne.

La distribution des héronnières dans le nord-ouest de l'Italie, leur nombre et leur taille, dépend de la configuration des rizières dans l'espace environnant.

Dans le Delta de l'Ebre, les rizières sont cruciales pour l'alimentation des hérons pendant la période de reproduction mais aussi après lors de leur dispersion dans tout l'ouest méditerranéen, elles représentent des lieux d'escales prisés.

Six espèces de Hérons nicheurs se nourrissent principalement dans les rizières des quatre principales régions de culture du riz.

Il y a peu de données pour les pays autres que méditerranéens.

L'utilisation des rizières par les hérons est rapportée au Japon, à Cuba, et en Inde.

Il y a de grandes différences dans les proies consommées par les hérons dans les rizières selon les régions.

Les principales proies mangées sont : des amphibiens dans le N.O. de l' Italie et le Delta d'Axios, des poissons dans le N.O. de l'Italie, des poissons et des insectes dans le Delta de l'Ebre et des insectes dans le Delta du Rhône. (FASOLA, 1996)

D) Présentation de la reproduction de l'Aigrette garzette

En 1996, 5350 couples nicheurs ont été dénombrés, il s'agit de l'effectif le plus élevé jamais observé jusqu'ici.

En période de reproduction apparaissent des plumes supplémentaires : sur la tête, deux très longues plumes étroites et rubanées ; à la partie inférieure du cou, des plumes ordinaires à leur base, étroites et lancéolées à leur partie distale et enfin, sur le haut du dos, de longues plumes qui se prolongent jusqu'à la queue de l'oiseau. Les lores habituellement incolores et bleutés, prennent une couleur rouge ainsi que les doigts qui sont normalement jaunes. Les jambes restent noires. Mâles et femelles sont identiques.(VOISIN, 1976)

En Camargue, **la taille moyenne des pontes varie de 3,8 à 4,8 œufs** selon les années et les colonies, et le nombre moyen de poussins élevés par nid est compris entre 2,3 et 3,5. La plupart des **pontes se situent entre le 10 avril et le 20 mai** et les plus tardives jusqu'à la fin de juin.

La saison de reproduction s'étale donc d'avril à juillet.

Les deux sexes participent à **l'incubation qui dure en moyenne 23 jours** et à l'élevage des jeunes. A l'âge de 30 jours, ces derniers volent déjà facilement d'un arbre à l'autre mais ne quittent la colonie qu'âgés de 40 à 50 jours.(HAFNER, 1994)

La taille des pontes et la taille des nichées sont corrélées négativement avec l'effectif des reproducteurs. Une forte densité d'Aigrettes nicheuses aurait comme conséquence une réduction de la taille des nichées, réduction qui résulterait d'un ajustement de la taille des pontes à la disponibilité alimentaire liée au nombre de reproducteurs.(MATHON, 1995)

4) LE CONCEPT DU HERON COMME INDICATEUR

A) Qu'est-ce qu'un indicateur

Un indicateur est « un organisme ou une communauté écologique si étroitement lié aux conditions particulières de son milieu que sa seule présence est révélatrice de ces conditions ».(ERWIN, 1996)

Le plus difficile dans un programme de surveillance continu d'un environnement consiste à trouver un ou plusieurs paramètres quantifiables dont les variations soient étroitement liées (au moins statistiquement) aux modifications du milieu d'étude.

L'intérêt croissant porté à la conservation des terres humides à travers le monde nécessite une surveillance accrue des populations de hérons et d'aigrettes.

Seuls certains paramètres mesurés chez les hérons sont suffisamment sensibles pour être utilisés comme bioindicateurs.

Mais l'utilisation des hérons comme bioindicateurs a fait l'objet de nombreux débats car la fluctuation de leurs effectifs dépend de nombreux facteurs autres que la pollution de leur milieu de vie, de plus ils changent de milieu de vie au cours d'une année du fait que ceux sont des oiseaux migrateurs.

Notre étude s'intéresse seulement à l'impact des pesticides organochlorés et PCBs sur la reproduction de l'Aigrette garzette, en Camargue.

Pour cela les paramètres choisis comme étant des bioindicateurs de la contamination des zones humides camarguaises sont :

- la concentration de ces pesticides dans les œufs de ponte
- la mesure de l'épaisseur de la coquille

B) Discussion sur le choix des paramètres de notre étude.

a) Concentration des pesticides dans les oeufs

+ Discussion sur l'utilisation d'oiseaux pêcheurs migrateurs

Il est important de se poser la question de la validité des oeufs utilisés pour déterminer la pollution du site reproducteur, chez les espèces migratrices.

Chez l'oiseau le follicule ovarien produit le jaune à partir des matériaux provenant du foie, organe carrefour de stockage des contaminants provenant de l'alimentation et du relarguage des graisses ou autres compartiments.

Ainsi, les pesticides dans les oeufs pourraient provenir soit du quartier d'hivernage avec lors de la migration, un déstockage des tissus, soit de l'aire de nidification avec une contamination juste avant la ponte.(FOSSI, 1984)

C'est la seconde alternative qui est démontrée par plusieurs auteurs, sur différentes espèces.(FURNESS, 1993)

L'argument principal repose sur le fait que les oiseaux migrateurs ont besoin de beaucoup manger sur le site de nidification pour restaurer leur réserve et préparer dans de bonnes conditions la saison de reproduction. Donc les œufs devraient surtout être le reflet de l'alimentation locale.

Pour supprimer ce doute, les pesticides peuvent être analysés seulement chez les poussins qui sont nourris exclusivement de proies provenant du milieu de reproduction et dont les tissus devraient être un meilleur reflet de la contamination locale.

Seulement, dans le cadre de notre étude, il s'agissait de perturber le moins possible la reproduction de l'Aigrette dans son milieu, or il est plus difficile pour un couple d'oiseaux de se remettre de la perte d'un poussin âgé que de celle d'un œuf.

+ Variation de la teneur en contaminants « intra-ponte » et « inter-ponte »

Les variations au sein d'une même ponte dans un même nid sont négligeables.

L'analyse de tous les œufs d'une même couvée donne les mêmes résultats en résidus, aussi l'analyse d'un œuf par couvée est elle suffisante sur des nids pris au hasard. (PRESTT, 1970)

Par contre, la concentration en résidus dans les œufs peut varier de 15 à 35 % entre le début et la fin de la saison de reproduction, sur l'ensemble des nids pris au hasard. (CUSTER, 1983)

b) Epaisseur coquillière et contamination en DDE.

L'épaisseur de la coquille est un bon indicateur de la contamination en DDE.

En effet, il existe une relation linéaire inverse entre l'épaisseur des coquilles et les résidus en DDE dans les œufs, chez les ardéidés. Cet amincissement coquillière lié au DDE est rapporté pour la première fois par Ratcliffe en Grande Bretagne, en 1945.

De plus, cet index de l'amincissement de la coquille ne varie pas de façon inverse à la concentration en dieldrine ou en PCBs dans les oeufs.(CUSTER, 1983)

Cependant, l'amincissement d'une coquille ne peut pas être attribué exclusivement au DDE du fait des intercorrélations entre les nombreux composés, même si le DDE est celui qui possède la plus forte corrélation avec la coquille amincie.(CUSTER, 1983)

D'autre part, l'ordre de ponte dans la couvée est associé à une légère variation de l'épaisseur de la coquille qui diminue lors de l'avancée de l'incubation.

De même des différences d'épaisseur entre les coquilles peuvent être observées au sein des différents couples d'Aigrettes pouvant tenir à une variation de leur régime alimentaire.

Nous ne tiendrons pas compte de ces variations d'épaisseur pour notre étude car Ohlendorf et al., 1979, ainsi que Bunck et al., 1985, ont démontré qu'elles étaient négligeables chez les hérons.

C) Les autres paramètres bioindicateurs de la pollution d'un milieu

D'autres paramètres ont été utilisés dans d'autres études pour suivre la pollution d'un milieu. Par exemple :

- Les **traces de métaux dans le foie** des poussins et des adultes (fer, mercure, plomb, ...). Ainsi le dosage de **l'enzyme ALAD** dans le sang des oiseaux permet de savoir s'ils sont exposés au plomb par exemple.

- La mesure de l'activité des **cholinestérases cérébrales** informe d'une exposition aux insecticides carbamates et organophosphorés. En effet, ces pesticides font diminuer l'activité de ces enzymes.

- Trois méthodes récentes évaluent la toxicité de l'ensemble des hydrocarbones halogénés.

+ une de ces méthode est la mesure des activités hépatiques des **cytochromes P450-monooxygénases** associées (AHH, BROD, EROD, ECOD) et des protéines P450.

+ une seconde méthode consiste à comparer l'activité enzymatique des cytochromes P450 de cellules hépatiques de rat (H4IIE) avec celle des cellules hépatiques de l'échantillon étudié.

+ la troisième méthode consiste à calculer l'équivalence 2, 3, 7, 8-TCDD des hydrocarbones halogénés en utilisant leurs potentiels variables estimés

- Les **altérations du matériel génétique** peuvent se produire lors d'exposition aux radiations, au pétrole ou aux métaux lourds. Plusieurs méthodes existent pour mesurer les dégâts de l'ADN.

- Les PCBs, dioxine et dibenzofurane sont tenus pour responsables de **malformations** observées sur certains poussins ou embryons. Certaines études se préoccupent de les rechercher dans le milieu naturel ou de les recréer artificiellement sur des oiseaux d'expérience.

Nous venons de voir que le succès de reproduction de l'Aigrette garzette dépend de nombreux facteurs, dont fait partie la contamination du milieu par les pesticides. La variété de pesticides pouvant contaminer un milieu est étendue, notre étude ne s'intéressera qu'aux hydrocarbures organochlorés et PCBs.

II) PRESENTATION DES PESTICIDES ETUDIES ET DE LEURS IMPACTS SUR LA REPRODUCTION DES OISEAUX

Les effets néfastes de certains pesticides sur la reproduction des oiseaux ont été largement étudiés et reconnus depuis 1970.

La raréfaction de certaines espèces est corrélable à l'usage intensif entre 1945 et 1970 d'insecticides organochlorés, tel le DDT, et de fongicides organomercuriels, tel le chlorure de méthylmercure. Leur interdiction dans de nombreux pays a permis de limiter leurs effets.

Les oiseaux ont souvent représenté des espèces animales « sentinelles » car ils sont ubiquitaires et très mobiles donc exposés à beaucoup de contaminants.

Les produits autorisés aujourd'hui tiennent compte de cela et les risques ont beaucoup diminué.

Les insecticides organochlorés sont délaissés au profit des organophosphorés, carbamates et pyréthrinoïdes qui ne présentent pas d'effet notable sur la reproduction des oiseaux.

Les fongicides organomercuriels autorisés présentent des risques associés au dithiocarbamates et il serait souhaitable de voir apparaître des produits de remplacement.

Les herbicides sont rarement mis en cause pour une action directe sur la reproduction mais leur rôle est prédominant indirectement en modifiant le couvert végétal et en déséquilibrant les biocoénoses.

Ce sujet d'étude ne s'intéressera qu'aux effets biologiques reconnus des organochlorés et PCBs et plus particulièrement ceux sur la fonction de reproduction.

1) LES ORGANOCHLORES

A) Présentation et accumulation chez les êtres vivants

Le DDT a été obtenu par synthèse dès 1874, mais ce n'est qu'après 1945 qu'on s'est intéressé à ses propriétés insecticides.

En peu de temps il a été utilisé contre tous les fléaux créés par les insectes, sans se soucier de ses effets secondaires.

Par la suite, on a ajouté au DDT les insecticides cyclodiènes, la dieldrine, l'endrine, l'heptachlore et d'autres qui appartiennent au même groupe des organochlorés.

Les effets de ces produits sur l'environnement s'expliquent par leurs propriétés chimiques, biologiques et physiques.

Les hydrocarbures chlorés sont très stables, avec une demi-vie de 10 à 15 ans. Leur persistance est accrue par la stabilité encore plus marquée de leur produits de dégradation, comme ceux du DDT qui subit dans certains tissus une décomposition progressive en DDD et DDE.

Le DDE est la molécule la plus répandue et la plus stable.

Les organochlorés sont des substances très peu solubles dans l'eau, le DDT y est presque insoluble. Par contre, ils sont très solubles dans les solvants organiques, tels l'hexane, le benzène, et dans les lipides, c'est à dire les graisses et autres corps gras. Ainsi ils vont s'accumuler dans la matière organique.

Les êtres vivants les absorbent à travers les membranes cellulaires au niveau des ouïes, des poumons, des téguments, ou de l'appareil digestif s'ils sont ingérés. Les graisses et autres tissus des corps organisés retiennent un fort pourcentage des pesticides.

C'est ainsi que les organismes vivants tendent à accumuler les résidus et à se contaminer, même dans un milieu peu pollué lui-même.

Le processus de la contamination peut se dérouler très loin de la source.

C'est pour cette raison qu'il faut analyser les êtres vivants, plutôt que l'eau, le sol ou l'air, pour déterminer la gravité des dangers de pollution actuels ou possibles.

En entrant dans la matière organisée, ces composés entrent dans la chaîne alimentaire et le phénomène de la concentration biologique accroît grandement leur teneur.

La nourriture prise passe par la digestion et l'excrétion, mais une bonne partie de l'insecticide qu'elle contient demeure dans l'organisme supérieur. La concentration varie en fonction de l'ingestion et de l'excrétion, de sorte que le facteur de concentration peut varier de 2 à 3, et jusqu'à 100 ou 1000 fois, entre le prédateur et la proie, et même jusqu'à 1 million de fois dans le cas d'un carnivore, par rapport à son milieu écologique.

C'est pourquoi un organisme à l'extrémité supérieure d'une chaîne alimentaire peut donner une indication du niveau de pollution par un pesticide.

Les animaux terrestres et les oiseaux qui occupent l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, concentrent dans leurs tissus les plus fortes quantités de ces produits et ils sont les premiers à donner des signes de dépopulation et d'effets sublétaux.(FYFE, 1971)

B) Concentration chez les oiseaux et leurs pontes

a) Accumulation le long de la chaîne alimentaire

Généralement les plus fortes concentrations en résidus d'insecticide sont trouvées chez les rapaces et les oiseaux piscivores.

Plusieurs études menées en différents endroits du globe par différents auteurs aboutissent à cette même conclusion.

+ **En Angleterre,** une étude montre que la différence de niveaux de contamination en résidus organochlorés et PCBs, entre les différentes espèces piscivores, est plus probablement due aux variations de teneur des proies en résidus, qu'à des différences physiologiques entre chaque espèce. (PRESTT, 1970)

+ **En Israël,** les insecticides utilisés dans les plaines côtières, qui sont de grandes zones d'agriculture intensive, ont fait diminuer le nombre de rapaces dont l'épervier, grand

prédateur d'autres oiseaux, favorisant ainsi l'essor des populations de volatiles nuisibles pour l'agriculture, comme le merle noir, le moineau domestique et le bulbul d'Arabie.

Une étude menée sur seize espèces d'oiseaux avec des régimes alimentaires différents permet de diviser les oiseaux en deux groupes :

Les granivores, herbivores, omnivores, insectivores, frugivores, et les combinaisons de ces différents régimes entre eux, représentent un groupe avec de faible taux de contaminants dans leurs oeufs.

Au contraire, les oiseaux carnivores et encore plus les piscivores (Hérons gardeboeufs, bihoreaux et Aigrette garzette) pondent des oeufs très contaminés.(PERRY, 1990)

+ **Au Canada**, une étude de la contamination par les composés organochlorés, d'un échantillon de 15 espèces d'oiseaux, dans le delta du Fraser, montre que les concentrations les plus élevées se retrouvent par ordre décroissant chez les éperviers (6 fois plus que les autres espèces), puis viennent les hiboux, les hérons, les passereaux, les mouettes et goélands et autres oiseaux aquatiques.

Parmi les rapaces les prédateurs d'oiseaux sont plus contaminés que ceux de mammifères; de même, les proies à plumes sont plus contaminées que les proies à poil.(KEITH, 1971)

+ **Dans le Golfe de Californie**, les Hérons gardeboeufs ont toujours eu des taux en pesticides inférieurs aux autres espèces de Hérons car ils sont insectivores et pas piscivores. (MORA, 1991)

+ **L'aire du Delta du Danube** est une des plus importante zone de concentration de marais d'Europe.

Une étude montre les différences de répartition des contaminants dans le jaune et l'albumen.

Le rapport PCBs/DDE est dans cette étude toujours inférieur à un, ce qui est bas en comparaison des valeurs trouvées pour les oiseaux aquatiques de la Méditerranée, de l'atlantique et autres lieux.

La différence de contamination entre les sept espèces d'oiseaux étudiés s'explique par leur alimentation.

Dans cette étude ont peut diviser les oiseaux en deux groupes selon leurs niveaux de contamination.

Les oeufs de canard colvert, ibis falcinelle, hérons cendré et bihoreau contiennent des pesticides organochlorés en faible quantité.

A l'opposé, ceux du grand cormoran, du cormoran pygmée et du pélican blanc sont très concentrés en hydrocarbures chlorés.

Dans le premier groupe, ils mangent des plantes, des petits organismes aquatiques (crustacés...) et des poissons mais pas en exclusivité.

Dans le second groupe, ils ne se nourrissent que de poissons.

Les pélicans qui ne pêchent qu'en surface, sont ensuite moins atteints que les cormorans qui peuvent plonger jusqu'à plusieurs mètres, or les poissons des eaux profondes sont plus contaminés par les polluants.

Ces variations s'expliquent aussi par le type de proies, leur taille et leur âge.

Les effets additifs ou synergiques des différents contaminants entre eux, sur le succès de la reproduction, ont fait l'objet de recherche.(FOSSI, 1984)

b) Concentration dans un individu

La répartition du DDE dans les tissus, montre qu'il se concentre surtout dans la peau et les plumes, puis dans le coeur, dans le foie, le cerveau et beaucoup moins dans les muscles pauvres en graisses.

C) Toxicité des organochlorés chez les oiseaux

a) Présentation générale de leur toxicité

Dés 1974, des expériences menées sur des volailles à qui l'on donnait ad libitum différents organochlorés tendaient à prouver que pour tuer les quantités ingérées devaient être gigantesques et la durée d'ingestion importante

Il a également été démontré que les oiseaux sont susceptibles de tomber malade plus souvent, car les organochlorés mais aussi les PCBs les rendent plus sensibles aux infections virales, bactériennes et aux parasites.

L'ingestion d'insecticides organochlorés n'a pas provoqué un amincissement de la coquille lorsque la diète contenait au moins 3% de calcium.

La fertilité et l'éclosion des oeufs se voit diminuées par l'ingestion ou l'injection de certains organochlorés et PCBs, de même que des effets tératogènes sont possibles.

Le Kepone et les insecticides chlorés polycycliques ont des effets oestrogèniques et androgèniques sur certaines espèces.

Certains organochlorés dont le DDT affectent les enzymes des microsomes du foie et de ce fait les réactions de détoxification des composés étrangers (hydrolyse, oxydation, réduction...) sont réduites, ce qui peut augmenter la toxicité des autres pesticides.

L'aldrine est métabolisée en dieldrine. Après un apport alimentaire de dieldrine, elle se retrouve dans la graisse, le foie, les oeufs et les excréments.

Dans le foie des poussins le DDT est transformé en TDE et DDE qui se stockent tous trois dans le tissu adipeux.(FOSTER, 1974)

Les composés organochlorés sont toxiques pour beaucoup d'espèces animales, dont les arthropodes, les mollusques, et tous les vertébrés.

Ils sont essentiellement des neurotoxiques.

La toxicité aiguë, que l'on exprime souvent par la dose létale 50 (DL 50), varie selon les composés et les espèces. La DL 50 est la dose létale pour obtenir 50% de mort sur l'effectif

étudié Ces DL 50 sont bien connues chez le rat mais ignorées pour la plupart des autres organismes de l'environnement.

Bien que plusieurs cas d'empoisonnement par ces composés aient été signalés parmi la faune, ce n'est pourtant pas dans leur toxicité aiguë que résulte la menace la plus redoutable.

La gravité de la pollution tient du fait qu'ils peuvent produire des effets secondaires sublétaux en exposition chronique.

Les effets de sublétalité, sans avoir une gravité suffisante pour causer la mort, se manifestent généralement chez l'animal par la diminution d'une de ses fonctions vitales.

Dans certains cas, c'est le dérèglement du comportement; dans d'autres, le dérangement de fonctions physiologiques, dont celle de la reproduction.

Une diminution de la ponte, une baisse des éclosions et de la viabilité des jeunes, des changements d'ordre génétique avec altération chromosomique sont démontrée chez plusieurs espèces d'oiseaux et de poissons.

La modification de l'épaisseur des coquilles d'oeufs a été mise en lumière en tant qu'indication maîtresse du rôle du DDE dans la diminution des populations de plusieurs espèces d'oiseaux dans le monde.

L' amincissement de la coquille est attribuable au dérèglement du métabolisme du calcium à la période de ponte. Le DDE stimule la production d'enzymes hépatiques qui décomposent les stéroïdes régulateurs du métabolisme du calcium.(FYFE, 1971)

b) Effets sur le comportement

En 1967, une étude est menée, durant la période reproductrice, sur un échantillon de **hérons cendrés**, dans une colonie du **Lincolnshire**.

Les plus grosses pertes correspondent à des échecs de ponte et à la mort de très jeunes poussins.

Un comportement aberrant est remarqué chez deux couples. Un poussin en parfaite santé est retrouvé expulsé de son nid, tandis que ses parents recommencent une nouvelle ponte.

Un mâle a mangé les 21 oeufs que la femelle pondait.(MILSTEIN, 1970)

Une déviation du comportement parental des **grands hérons bleus**, a été notée dans une colonie de **l'Iowa aux USA**, avec de fortes concentrations en dieldrine (>13 ppm) et de DDE (>115 ppm) sur trois poussins nouvellement éclos provenant du même nid, dont les parents mangeaient leurs oeufs.(KONERMANN et al. ; 1978)

c) Effets sur la reproduction

Certains effets sont attribuables au DDT lui même, d'autres à ses métabolites notamment le DDE particulièrement rémanent.

Mais il est beaucoup plus difficile d'établir le rôle exact des organochlorés par rapport aux PCBs.

D'autre part, les doses actives varient selon les composées et les espèces.

En effet, tous les produits n'ont pas le même effet et tous les oiseaux ne possèdent pas la même sensibilité vis à vis des mécanismes perturbant la reproduction .

Ainsi les espèces sauvages sont beaucoup plus sensibles que les Gallinacés, seuls utilisés dans les études expérimentales.

De plus, même si plus de la moitié des coquilles sont retrouvées fêlèes dans la ponte d'une colonie de Hérons cendrés, leur population n'a pas montré de diminution pour autant, sans doute grâce à leur faculté de renouveler les pontes.(COOKE et al., 1976). C'est pourquoi il est difficile d'évaluer avec précision les effets des contaminants sur la fonction de reproduction.

Leurs effets sont multiples et concernent tant la fonction de reproduction de l'adulte que celle de l'organisme en voie de développement.

Ainsi ils perturbent la ponte en retardant la première ponte, en modifiant le rythme de ponte, en diminuant le nombre d'oeufs pondus et à très forte dose en stérilisant le mâle ou la femelle.

D'autre part, ils diminuent l'épaisseur des coquilles, fragilisant les oeufs qui se brisent lors de la couvaison.

Enfin, ils augmentent la mortalité embryonnaire ce qui fait baisser le taux d'éclosion et la mortalité périnatale est aussi plus importante pendant la première semaine à cause d'un affaiblissement de la vitalité des oisillons. (BURGAT- SACAZE, 1993)

1) Les mécanismes

a) Les perturbations hormonales

Le DDT, ses métabolites (op'DDT et op'DDD), et les PCBs augmentent la dégradation des hormones stéroïdes sexuelles : les oestrogènes et les androgènes.

En effet, les organochlorés agissent comme inducteurs puissants des systèmes enzymatiques microsomaux des cellules hépatiques normalement impliqués dans le catabolisme de ces hormones.

Le taux d'oestrogène circulant diminue ce qui retarde la ponte.

L'op'DDD inhibe de plus la synthèse des stéroïdes.

L'effet inducteur est extrêmement variable selon les composés, l'espèce considérée et la dose.

Il a été démontré chez les mammifères que l'op'DDT et le DDE ont des effets oestrogéniques directs : chez les oiseaux mâles ont peut observer des atrophies testiculaires.(BURGAT- SACAZE, 1993)

b) L'altération du métabolisme calcique

La coquille est une source importante de calcium pour le développement de l'embryon.

Chez les oiseaux domestiques, le poids de la coquille baisse de 5% durant le dernier quart de la période d'incubation.

Il n'a pas été trouvé de changement significatif dans l'épaisseur de la coquille ou l'indice d'épaisseur, avec les oeufs de hérons bihoreaux, pendant l'incubation.

L'épaisseur de la coquille est influencée par l'ordre de ponte des oeufs, mais surtout selon le couple de hérons par son régime alimentaire.

Quelque soit l'espèce étudiée, en général la moyenne d'amincissement physiologique de l'épaisseur de la coquille, est bien inférieure à celle nécessaire à diminuer le succès reproducteur.

Aussi la variation de l'épaisseur de la coquille est suffisamment faible pour être négligée et pour pouvoir tenir compte des corrélations entre le taux de résidus dans les oeufs et l'amincissement de la coquille.

Il est donc possible d'évaluer l'impact des organochlorés sur la reproduction, sans prendre en considération le stade de développement de l'embryon.

Cependant les résultats sur des oeufs d'espèces précoces avec un embryon à terme, devront être utilisés avec précaution.

Une diminution de l'épaisseur de la coquille d'environ 20% est considérée indiquer une baisse du succès reproducteur pour une population ou un individu.

La fragilisation des oeufs est nettement corrélable à une diminution de l'épaisseur de la coquille et au manque de carbonate de calcium coquillière.

L'incorporation de calcium dans la coquille est le terme final de processus complexes dans lesquels le DDT intervient de façon variée.

Il diminue l'absorption intestinale du calcium alimentaire, sans interférer avec la vitamine D3 (cholécalciférol) qui est le facteur de régularisation le plus important.

Par des mécanismes encore mal connus mettant en jeu des interactions hormonales, les réserves calciques osseuses de calcium sont réduites et la mobilisation intense et rapide de calcium lors de la ponte vers l'utérus se fait moins bien.

Une des principales causes d'altération coquillière est la diminution du dépôt de calcium dans la chambre coquillière.

Plusieurs mécanismes pourraient expliquer ce phénomène : l'effet inhibiteur du DDT sur l'ATPase des cellules épithéliales des glandes coquillières qui est une enzyme nécessaire au transport actif du calcium et l'inhibition de l'anhydrase carbonique qui permet la formation de carbonate à partir de CO_2 et H_2O.(BURGAT-SACAZE, 1993)

2) Les répercussions

L'utilisation de pesticides organochlorés entraîna des troubles de la reproduction des oiseaux qui contribuèrent au déclin de certaines espèces comme les rapaces et les oiseaux pélagiques.

Chez de très nombreuses espèces ont démontra un amincissement de la coquille.

De plus une relation inverse linéaire, entre l'épaisseur des coquilles d'oeufs récoltés sur le terrain et les résidus de DDE dans les oeufs ou les oiseaux, fut vérifiée dans la majorité des cas.

Ce niveau de corrélation varie selon l'espèce.

Cette corrélation est beaucoup moins nette avec le DDT, le DDD, la dieldrine, et les PCBs et elle n'existe pas avec les résidus d'HCH qui expérimentalement ne modifie pas la coquille de l'oeuf.

D'autre part le nombre d'oeufs trouvés brisés dans les nids a augmenté, au contraire le nombre d'oisillons vivants a diminué.

Il est intéressant de noter l'évolution inverse de certains faits depuis l'interdiction du DDT. Ainsi, par exemple, entre 1979 et 1983, il est mis en évidence une diminution significative des hydrocarbures chlorés dans les oeufs de Hérons bihoreaux et d'Aigrettes neigeuses, au cours du temps, dans l'Oregon et le Nevada. (HENNY, 1985)

Il est cependant difficile d'évaluer à partir de quel pourcentage d'amincissement, l'oeuf se trouve réellement fragilisé.

Des problèmes de reproduction se produisent pour certaines espèces avec des valeurs critiques de DDE dans l'oeuf. Ces effets néfastes se manifestent par des oeufs cassés, disparus, une diminution du taux d'éclosion, une coquille amincie. Ces seuils critiques de concentration en DDE sont vérifiés dans de nombreuses études (FINDHOLT, 1984 et HENNY, 1985) . Pour le héron bihoreau il est de 8 mg/kg (ppm) exprimé en poids humide, pour l'aigrette neigeuse il est de 5 ppm, pour l'ibis (Plegadis chihi) il est de 3 ppm et il n'existe pas de seuil critique pour les échasses (Himantopus mexicanus) qui sont moins sensibles au DDE que les Hérons.

2) LES POLYCHLOROBIPHENYLES

A) Présentation et accumulation chez les oiseaux

a) Présentation

Avec plus d'un million de tonnes produites dans le monde depuis 1929, les polychlorobiphényles ou PCBs constituaient, jusqu'à leur interdiction dans les années 70, des composants communément employés dans la fabrication des résines, des adhésifs, des peintures, des encres, les vernis, les matières plastiques souples, etc...

Connus depuis 1881, ils étaient surtout abondamment utilisés comme fluides diélectriques dans les transformateurs (en France sous l'appellation « pyralène ») et comme fluides hydrauliques et caloporteurs.

Cependant, l'emploi de ces PCBs représentait des risques toxiques, avec notamment l'émission des dioxines après un incendie, poussant les pays membres de la CEE à interdire dès 1985, la commercialisation de ces appareils à fluides.

Les PCBs furent néanmoins largement répandus dans notre milieu naturel, pendant plus de cinquante ans, par le biais des décharges, des incinérateurs de déchets et des épandages de boues provenant des stations d'épuration.

L'incinération de matériaux contenant des PCBs, facilite leur entrée dans l'atmosphère.

Ainsi depuis la fin des années 60, les études attestent de la contamination des eaux par les PCBs.

De même, la présence de ces résidus dans les organismes vivants a été montrée maintes fois, aussi bien chez les animaux que dans les végétaux.

Or cette pollution aujourd'hui est loin d'avoir disparu et s'avère particulièrement tenace. (CHEVREUIL, 1992)

Les PCBs sont des composés organiques synthétiques à longue durée de vie, de formule générale C12HnCl10-n.

Il existe 209 congénères possibles qui diffèrent par leur nombre d'atomes chlore et leur structure.

Alors qu'avant on ne savait donner que la concentration totale de PCBs, la chromatographie avec colonne capillaire en phase gazeuse, a permis de séparer et de quantifier les différents congénères.

L'analyse spécifique est importante parce que les propriétés, le comportement environnemental et la toxicité des congénères pris individuellement sont maintenant mieux connus.

Certains PCBs augmentent l'activité des cytochromes P450 oxygénase.(PCBs « coplanaires » ou Dioxin-like)

Ils sont les premiers catalyseurs de réactions métaboliques produisant des agents mutagènes et carcinogènes.

Les PCBs ont pour effets classiques d'entraîner une perte de poids, une atrophie du thymus, une diminution de la réponse immunitaire, une hépatotoxicité, une baisse de la

fonction reproductrice, de la porphyrie et chloracné. Ils sont de plus des agents carcinogènes, teratogènes et mutagènes.(BOMPHREY, 1993)

b) Bioaccumulation

Pour comprendre ces phénomènes de bioaccumulation des PCBs chez les oiseaux, une étude intéressante a été menée en Angleterre. De 1988 à 1990, un grand nombre de PCBs ont été dosé dans les tissus d'une sélection d'oiseaux prédateurs d'Angleterre.

Certains congénères peuvent s'accumuler fortement le long de la chaîne alimentaire, les espèces prédatrices sont donc les plus vulnérables.

Les oiseaux sont particulièrement sensibles aux PCBs car ils possèdent une faible activité enzymatique monooxygénase microsomale hépatique et ils peuvent donc présenter de la difficulté à détoxifier les xénobiotiques.

Pour l'étude, des échantillons de tissus différents, prélevés sur un **héron cendré** particulièrement contaminé en organochlorés et PCBs, ont été analysés.

Il est possible de conclure qu'**il n'y a pas de variation des teneurs des différents congénères PCBs ou de leur somme d'un endroit à l'autre au sein d'un même organe.**

Si les résultats sont exprimés en unité de poids humide ou de lipide, il y a de grandes différences dans la somme des PCBs entre les différents tissus d'un même individu.

Cependant des différences subtiles peuvent être masquées par plusieurs facteurs :

+ une mobilisation des graisses avant la mort de l'animal (par la maladie ou le jeûne)
+ des processus actifs de dépôt des PCBs dans certains tissus
+ le mode d'extraction des graisses avec l'hexane qui ne tient pas compte du fait que les PCBs peuvent sans doute s'accumuler dans différents types de lipides.

Il est a noté que l'étude a retrouvé les trois mêmes pics chez huit espèces étudiées différentes, avec les congénères 153, 180, et 138.

Toutes les études effectuées jusqu'alors sont dominées par ces trois congénère 153, 180, et 138.

Le pourcentage de contribution relatif de chaque congénère, rapportée à la somme globale des PCBs, est constant dans tous les tissus d'un même individu.

Ainsi la **somme des trois congénères** chez un héron représente 31 % des PCBs totaux en tout endroit de son corps. Tandis que chez trois autres provenant d'un autre endroit et d'âge différent, cette somme est de 42 %.

Ainsi, selon **l'âge, le sexe et le lieu géographique d'alimentation** des hérons cendrés, ce pourcentage de contribution des congénères 153, 180, et 138 sera différent d'un héron à l'autre.

Cette étude semble démontrer que **le modèle de répartition des PCBs dépend plus du régime alimentaire que des facultés de bioaccumulation de l'espèce.**

La bioconcentration se fait de façon plus importante dans un environnement marin que terrestre. (BOMPHREY, 1993)

La teneur en PCBs dans les oeufs augmente avec l'avancée de la saison des pontes. (CUSTER, 1983)

B) Toxicité des polychlorobiphényles

Il est difficile de dissocier les effets des PCBs seuls de ceux des PCBs associés aux organochlorés.

a) Effets sur l'épaisseur des coquilles

+ **Pas de corrélation directe avec l'index d'épaisseur de Ratcliffe :**

Une étude tenta de prouver le contraire, mais ses résultats, contredirent les conclusions de beaucoup d'autres. Elle consista à donner à manger à des couples captifs de faucons crécerelles d'Amérique, de l' Aroclor 1248 afin d'étudier l'impact des PCBs seuls sur le succès de la reproduction. Les effets du DDE seul ou du DDE associé aux PCBs sur l'amincissement de la coquille sont maintenant bien connus, par contre il est très difficile d'émettre des conclusions sur les effets des PCBs seuls sur cet amincissement. L'expérience menée par Lowe suggère que l'index d'épaisseur de Ratcliffe est plus sensible à une diète à base d'Aroclor 1248 que l'épaisseur de la coquille elle- même. (LOWE, 1991)

Toutes les autres études ne trouve aucune corrélation entre cet index, ou l'épaisseur coquillière et la teneur en PCBs des œufs.

+ Une autre étude, révèle que les PCBs peuvent aussi **diminuer à très faible dose, le taux d'éclosion et l'épaisseur des coquilles** en association avec les organochlorés. (RISEBROUGH, 1968)

b) Mortalité embryonnaire et effets tératogènes

Une étude s'est intéressée aux taux de résidus PCBs contenus dans les oeufs de hérons bihoreaux car des poussins avec des anormalités ont été trouvés dans leurs colonies, mais aussi chez d'autres oiseaux piscivores des Grands Lacs.

Entre 1972 et 1973, au niveau du lac Ontario, sont toujours décelés les plus forts taux de contamination en PCBs chez toutes les espèces, et c'est aussi là que sont relevés les plus grands nombres de malformations de poussins.

La classification par ordre croissant des moyennes des taux de PCBs dans les oeufs (en fonction du poids sec) est de 257 ppm chez la Sterne pierregarin , 304 ppm chez le Héron bihoreau, 359 ppm chez la Sterne Caspienne et 580 ppm chez le Goéland argenté.

Cependant, le Goéland argenté avec ses oeufs les plus contaminés, est l'espèce la moins touchée par les malformations.

A l'opposé, chez la Sterne pierregarin aux oeufs à la plus faible teneur en PCBs, on trouve le plus de poussins anormaux.

D'autres études constatent et confirment cette **différence de sensibilité, selon les espèces, aux agents tératogènes.**

Les PCBs n'agiraient pas au même moment sur le cycle reproducteur selon les espèces et chez le Goéland argenté en entraînant une mortalité embryonnaire les effets tératogènes sont masqués. (GILBERTSON, 1976)

Les différentes altérations morphologiques rencontrées chez les poussins d'oiseaux piscivores sont :

un bec croisé

une déviation latérale de la mandibule supérieure

un pied surnuméraire à l'articulation tarsométatarsienne

une impossibilité de voler par un manque de plumes sur les ailes et la queue à 3 semaines d'âge

des déformations variées sur le bec, les yeux et les pieds

des oedèmes

une impossibilité de se tenir debout ou de marcher par une anomalie du glissement du tendon gastrocnémien (pérosis des volailles). (CUSTER, 1983)

3) CONTAMINATION DES MILIEUX AQUATIQUES CAMARGUAIS

La pollution des milieux aquatiques camarguais, il y a trente ans n'était déjà pas négligeable.

Cette pollution est liée à une certaine pratique de l'irrigation des cultures, notamment des rizières et trouve son origine soit dans l'eau du Rhône, soit dans les traitements agricoles. (HEURTEAUX, 1973)

La culture du riz est intensive à la fois en terme de surface et de pesticides utilisés. L'eau provenant du Rhône circule à travers de nombreux réseaux de canaux et de digues lors des activités d'irrigation et de drainage.

Le Lindane est l'organochloré le plus utilisé en 1996.

Les champs sont inondés de la mi-avril à septembre et le Lindane est répandu dès mai.

L'eau provient du Rhône mais aussi des eaux de drainage sont utilisées pour remonter le niveau des marais d'eau douce.

a) Contamination des marais par les pratiques d'irrigation des culture

La pratique intensive et extensive de l'irrigation des cultures en Camargue nécessite l'introduction à l'intérieur du delta d'un volume d'eau du Rhône très important.

Au moment de notre étude en 1996, la culture intensive de riz couvre 23 000 ha.

En 1970, les rizières couvraient environ 10 000 ha entre les deux bras du fleuve et consommaient entre 20 000 et 35 000 m^3 d'eau par ha et par an suivant le mode d'arrosage utilisé (arrosage classique ou « à la surverse »).

Parmi les 3500 ha de vignes, celles qui sont installées en terrain limoneux sont submergées en novembre-décembre, pour lutter contre le phylloxéra et accessoirement dessaler les terres. Elles consomment entre 7000 et 10 000 m^3 d'eau par ha et par an.

Les cultures fourragères (prairies, luzernières, maïs), les cultures maraîchères et les vergers sont occasionnellement irriguées en période de sécheresse.

Le volume d'eau nécessaire à l'irrigation représente environ 400 millions de m^3 par an, dans le début des années 70.

Une partie de cette eau est reprise par l'évapotranspiration ou stockée dans la nappe aquifère, le reste est recueilli par les canaux de drainage.

Certains de ces canaux sont équipés de stations d'assainissement qui permettent de rejeter au Rhône ou à la mer, en tout ou en partie, les eaux de drainage.

Mais les canaux de Roquemaure et de Fumemorte, et ceux des propriétés riveraines sont dépourvus de telles stations.

Les retours d'irrigation des quelques 2 200 ha de rizières et 500 ha de vignes qu'ils drainent, s'écoulent au Vaccarès, si bien que le système des étangs centraux camarguais (Vaccarès et étangs inférieurs) ne peut échapper à une certaine contamination par les déchets véhiculés par le Rhône (résidus industriels, hydrocarbures, détergents, micro-organismes, radioéléments) et par les résidus de produits phytosanitaires et d'engrais utilisés en agriculture à l'intérieur du delta. (HEURTEAUX, 1973)

b) Contamination des marais pour la pratique de la chasse au gibier d'eau

La pollution des milieux camarguais est également imputable, pour une part non négligeable, aux aménagements d'étangs et de marais pour la chasse au gibier d'eau.

Ces aménagements consistent à remplir les plans d'eau avant l'ouverture, et à les vider par gravité après la fermeture de la chasse.

L'eau utilisée est puisée dans le Rhône aussi bien que dans les canaux de drainage des rizières.

C'est donc dans tous les cas de l'eau douce ou douceâtre et plus ou moins polluée qui est introduite sur les plans d'eau, et qui après usage est en partie écoulée au Vaccarès. (HEURTEAUX, 1973)

c) Origine agricole et industrielle de la pollution des eaux

L'origine agricole ne fait pas de doute pour les résidus de PCBs en tant qu'adjuvant de spécialités commerciales de pesticides agricoles. Il existe même un insecticide en riziculture en 1973 où leur présence est mentionnée.

L'isomère gamma de l'HCH (Lindane) a été utilisé comme pesticide en riziculture jusqu'à son interdiction en 1998.

Les autres résidus détectés comme les organophosphorés sont pour l'essentiel d'origine agricole.

Parfois le DDT a été décelé encore utilisé au moment de l'étude pour tuer « les vers des rizières » et les triops, proies des aigrettes et dans la désinfection des champs de maïs. (HEURTEAUX, 1973)

Mais l'agriculture n'est pas la seule source potentielle de pollution. En effet, le Rhône traverse d'importantes zones industrielles au Nord de la Camargue. De plus, un vaste complexe industriel Fos-sur-Mer, est entouré de terres humides, au sud-est du delta, près de l'embouchure du Rhône.

Les PCBs trouvés dans les eaux camarguaises ont donc aussi une origine industrielle probable.

d) Cycle des pesticides organochlorés et PCBs dans les milieux aquatiques

Les organochlorés sont en très faibles quantité dans les eaux mais de façon constante. Ils sont retenus dans les sols et peuvent être libérés peu à peu.

Les quantités de ces résidus, absents initialement des milieux naturels, auront tendance à augmenter en raison de leur rémanence et d'apports renouvelés.

En ce qui concerne les milieux cultivés eux-mêmes, les organismes vivants qui s'y trouvent subissent momentanément l'effet direct et relativement massif des traitements chimiques.

L'analyse d'une eau n'est pas suffisante pour déterminer tous les résidus pouvant s'y trouver.

En effet, on a trouvé, dans le cas du Vaccarès du DDT dans les végétaux et du DDE et de la dieldrine dans les poissons alors que rien n'a jamais été détecté dans son eau.

Les espèces végétales aquatiques, semi-aquatiques et le riz, absorbent et concentrent les produits (alpha et gamma HCH, DDT et PCBs) avec des taux d'accumulation par rapport à l'eau (rapportés à la matière sèche) variant de 16 à 20 000 suivant les espèces et les produits.

Au sein d'une plante, la teneur des résidus est plus élevée dans les feuilles que dans les racines ou les tiges. Les produits se concentrent également dans les fruits des plantes. D'un végétal à l'autre les possibilités d'absorption et de dégradation sont différentes.

Certaines algues (entéromorphes) ont un pouvoir accumulateur élevé. (VAQUER, 1973)

Une étude menée en 1976, montre qu'avant la mise en eau, le gama HCH est déjà présent à une concentration de 0,11 $mg.m^{-3}$ dans les rizières camarguaises. Cette présence est d'origine rhodanienne.

Après traitement, la concentration de Lindane dans l'eau de la rizière décroît avec une durée de demi-vie légèrement supérieure à un jour et rejoint son niveau de concentration résiduel de 0,08 $mg.m^{-3}$ en une dizaine de jours et reste stable jusqu'à la fin de la période de submersion.

La pollution est donc très passagère par rapport à la durée de submersion des rizières.

La concentration dans les Triops cancriformis est de 2.08 mg/kg de poids frais.

La durée de demi vie moyenne est de 1,2 an pour le gama HCH dans un sol non submergé.

La rapidité de la dégradation dans le sol de la rizière est due aux conditions physico-chimiques du sol et en particulier son anaérobiose.

En effet plusieurs souches de bactéries très spécialisées ont pu être isolées d'un sol de rizière, qui utilisent le lindane comme seule source de carbone en conditions anaérobies.

La dégradation du gama HCH dans ces conditions est de moins d'un mois.

Le sol des rizières joue un rôle filtrant assez efficace et il ne semble pas qu'une contamination de la nappe aquifère de Camargue soit à craindre du fait des pesticides utilisés en riziculture. (PODLEJSKI, 1980)

e) Conclusion

La conciliation de l'agriculture et de la conservation de la nature en Camargue est subordonnée à deux conditions : le rejet au Rhône de toutes les eaux de drainage des cultures jusqu'à présent déversées dans le Vaccarès et la recherche de pratiques culturales moins polluantes que celles actuellement employées.

Il faudrait dans un avenir proche parachever le réseau d'assainissement préexistant, faire fonctionner à plein régime les stations de refoulement des eaux usées au Rhône et interdire l' « arrosage à la surverse ».

La Camargue offre à la culture du riz des conditions climatiques limites, surtout pour les variétés à cycle long. Ces conditions ne permettent à la plante de triompher aisément de ses parasites animaux et végétaux que si elle est cultivée dans un état optimal de résistance. Or la culture en semis directs ne favorise guère la résistance naturelle du riz, qui ne peut surmonter les obstacles qu'à grand renfort d'herbicides et d'insecticides. Les dépenses engagées pour lutter contre les ennemis du riz par la voie chimique sont de plus en plus lourdes, et l'efficacité des herbicides jusqu'alors employés est souvent aléatoire. Actuellement, compte tenu du prix de revient et du moins bon rendement des semis directs, il pourrait être tout aussi rentable d'utiliser la pratique du repiquage précédé d'un désherbage mécanique et suivi d'un désherbage manuel pour les rizières particulièrement infestées. (HEURTEAUX, 1973)

III) ETUDE EN MAI 1996, DE LA CONTAMINATION DES ŒUFS D'AIGRETTE GARZETTE, EN CAMARGUE, PAR LES ORGANOCHLORES ET PCBS

La Station Biologique de la Tour du Valat a initié une étude à long terme de l'Aigrette garzette en 1968 sous la direction du Dr. Heinz Hafner, ainsi qu'un monitoring des autres Ardéidés coloniaux.

Ces études ont permis de bien définir les exigences écologiques fondamentales des Ardéidés arboricoles pendant leur reproduction en Camargue.

Le programme de marquage représente un outil intéressant en ce qui concerne la biologie de conservation de Egretta Garzetta.

En effet, outre les informations sur la dispersion, ce programme fournit des renseignements sur l'âge des oiseaux nicheurs, le degré de philopatrie et le taux de survie des poussins en relation avec la nature des lieux d'alimentation disponible aux alentours des colonies.

La Station de la Tour du Valat en collaboration avec le Laboratoire de Toxicologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon a mis en place une étude sur l'impact des contaminants (organochlorés, PCBs) du milieu camarguais sur la reproduction des hérons.

Parmi les hérons, l'Aigrette garzette fut l'espèce choisie pour différentes raisons : elle est numériquement bien représentée, elle se reproduit localement et on dénombre plusieurs colonies distinctes (8 ou 9) qui sont présentes dans les différentes zones naturelles de la Camargue.

De plus, le comportement alimentaire de cet oiseau est sélectif (essentiellement piscivore) et dans un rayon d'action limité (5 km environ) autour de la colonie en période de ponte. L'Aigrette colonise aussi bien les zones d'eaux saumâtres que les zones salines, les marais, les rizières, etc.

L'étude de cette espèce permettra d'obtenir une estimation des sources principales des contaminants en fonction du milieu, en comparant les résultats toxicologiques des différentes colonies et en intégrant les éléments disponibles sur les ressources alimentaires des oiseaux pour chaque colonie.

1) DEROULEMENT DE L'ETUDE

Les Hérons sont depuis longtemps utilisés comme bio-indicateurs de la contamination et dégradation de l'environnement. Ils sont en particulier sensibles à la pollution chimique des eaux qui se traduira par une baisse de leur succés de reproduction ou voire d'un abandon du site.

Nous avons vu que le succés de reproduction de l'aigrette dépend de plusieurs paramètres. La teneur des toxiques dans les oeufs en est un. Les oeufs d'aigrette en Camargue n'ont jamais été analysés auparavant, aussi les résultats pour cette année 1996 sont-ils

difficilement interprétables puisqu'il n'existe aucun élément de comparaison direct. Ces résultats serviront de base de données pour les années à venir.

A) Prélèvement des œufs en Camargue

J'ai été chaleureusement accueillie par l'équipe chargée d'étudier les Hérons, dirigée par Heinz Hafner. La récolte des oeufs s'est étalée entre le 14 mai 1996 et le 30 mai 1996. Le ramassage des oeufs pendant cette période de l'année, s'est effectué dans le cadre des activités d'étude du succès de reproduction de l'Aigrette garzette. Ainsi, j'ai pu parallèlement participer aux marquages des nids, et aux baguages des poussins.

L'étude du succès de reproduction de l'Aigrette garzette nécessite des contrôles réguliers d'un grand nombre de nichées afin de déterminer la proportion d'oeufs et de jeunes perdus entre la ponte et l'émancipation, et si possible de préciser les causes de cette mortalité.

a) Les différentes étapes sur le terrain permettant d'étudier le succés de reproduction

Dans un premier temps **les colonies sont localisées par vue aérienne** d'un petit avion, puis sont codifiées par un numéro.

Puis au sein d'une colonie certains nids sont marqués après la période d'incubation, c'est à dire un mois après le début de l'établissement de la colonie.

Le suivi des nichées se fait tous les 7 à 10 jours jusqu'à ce que les poussins atteignent l'âge de 25 jours car passé ce délai, ils quittent souvent le nid pour se cacher dans les branchages.

Par la suite à 30 jours ils commencent à voler et il devient impossible d'évaluer leur mortalité.

Ce travail se répartit de mai à juillet car si les poussins des nichées précoces sont volants dés la mi-juin, ceux des nichées les plus tardives commencent seulement à éclore en juillet. La période de ponte dure de début mai à mi-juin.

L'arrivée dans les colonies doit se faire tôt le matin, ainsi l'entrée dans l'héronnière a lieu avant 8 heures.

La colonie est le plus souvent protégée des prédateurs par des étendues d'eau; des cuissardes sont donc nécessaires pour traverser les étangs ou marais et rejoindre la colonie arboricole, parfois même c'est la barque qui est utilisée.

L'atmosphère d'une colonie est impressionnante. Des milliers de poussins réclament de la nourriture. Des poissons , des amphibiens et des invertébrés régurgités jonchent le sol et dégagent une odeur nauséabonde. Ici et là, au pied d'un arbre, un poussin ou un adulte est trouvé mort.

Le temps passé dans une héronnière ne doit pas excéder une heure, car au delà de cette période, les oeufs et les jeunes poussins délaissés de leurs parents, sont en danger.

L'entrée dans une colonie n'est envisageable que par jour de beau temps et sans vent.

Dans un second temps, **les nids vont être identifiés**.

Le travail consiste à repérer les nids les plus accessibles et à les marquer au moyen d'une étiquette orange portant un numéro de matricule.

Les nids sont le plus souvent construits dans des arbres de 2 à 15 mètres de hauteur et ne sont dans ces cas atteints qu'avec une échelle à coulisse et la lecture du nombre d'oeufs ou de poussins à l'intérieur du nid demande parfois l'utilisation d'un miroir fixé à un long bambou.

Une personne reste à terre pour noter sur un carnet les informations relevées par le groupe constitué de 2 ou 3 personnes grimpant aux arbres.

Dans les colonies de petite taille (moins de 50 nids), la totalité des nids est marquée et suivie.

Dans les grandes colonies (jusqu'à 1000 nids), le suivi se cantonne à 10% de l'effectif.

Les éclosions sont asynchrones, les oeufs sont pondus à intervalles de 24 à 48 heures et l' Aigrette commence à couver dès le premier oeuf.

La taille moyenne des couvées est de 4 œufs.

La dernière étape au sein de l'héronnière consiste à **identifier les poussins**.

Il est beaucoup plus intéressant dans la mesure du possible de savoir à quelle nichée appartient un poussin et donc de prélever une nichée complète.

Ce travail demande beaucoup de rapidité et d'agilité car dès lors que le groupe d'étude pénètre dans l'héronnière, les parents s'envolent et les poussins des différentes nichées se dispersent en se mélangeant pour se cacher dans les feuillages hors de leurs nids. Il est alors impossible de reconstituer une nichée.

L'outil essentiel pour la capture est une boucle métallique au bout d'une canne sur laquelle l'oisillon accroche ses serres.

Les poussins sont mis dans un sac de tissu coton par nichée.

Trois personnes sont alors nécessaires pour le marquage. Un aide tient le poussin et présente successivement une aile puis l'autre et enfin les deux tibias à la personne qui va marquer et baguer l'oiseau. Celle-ci agrafe sur chaque aile, dans la peau, sur le patagium, en faisant attention d'éviter le tendon alaire, une marque orange en vinyl de polyester, portant un code alphanumèrique et pose deux bagues sur les tarses s'ils dépassent 40 mm, une en plastique de couleur à gauche et l'autre en métal codée du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris à droite.

Le poussin est également pesé.

Quand toute la nichée est identifiée, elle est replacée dans son nid.

Les jeunes d'Aigrettes naissent avec un bec couleur corne; le corps, les jambes et les doigts sont vert lézard. La peau des poussins reste verte pendant 15 jours. Le corps est recouvert d'un duvet blanc peu dense et la tête a un aspect hérissé caractéristique. Le plumage blanc pousse rapidement et à 3 semaines le poussin volète. Le bec et les jambes deviennent peu à peu noirs, les doigts se teintent de jaune.

Mon étude ne s'intéressant qu'aux oeufs d'Aigrettes garzettes et ceux-ci ressemblant beaucoup à ceux des Hérons gardeboeufs, il n'est pas impossible qu'un ou deux oeufs de gardeboeufs se soit infiltrés dans l'étude.

Les oeufs d'Aigrettes sont légèrement plus petits que ceux des gardeboeufs (4.5 cm de long et 3.5 de large en moyenne) et la couvée d'Aigrette comporte plus d'oeufs que celle du gardeboeufs (mais ce ne fut pas le cas cette année). Dans les deux cas les oeufs sont bleutés plus ou moins fortement.

b)Prélèvement des œufs

Les 37 oeufs furent prélevés dans des nids non identifiés, au sein de trois colonies composées d'une majorité d'Aigrettes garzettes, d'un nombre inférieur de gardeboeufs et d'une minorité de hérons bihoreaux, cendrés et crabiers.

Pas plus d'un œuf n'a été prélevé par couvée.

Ces trois colonies appartiennent au département des Bouches du Rhône.

Le nom de la colonie correspond au nom du mas où elle se trouve ou au nom de l'endroit.

Dans la colonie du Carrelet, code C7, ont été récolté 10 oeufs et dans celle de Fiélouse ou Tour du Valat code C10, 17 oeufs Le succés de reproduction de ces deux colonies est suivi tous les ans depuis 1993.

La colonie de La Palissade code C18 accessible seulement par barque est suivie depuis 1994, 10 oeufs y ont été prélevés.

c) Choix des colonies

Les colonies différent entre elles par l'habitat qui les entoure. En effet les rizières, les marais et les terres cultivées y sont représentés dans des proportions très différentes, de même la distance les séparant de la rivière comme source d'eau douce principale n'est pas identique.

La surface des rizières dans un rayon de 5 km autour de chaque colonie, a été obtenu par image satellite (Landsat.5 TM) et informatisé avec Geoimage ^{R} et Photoshop^{R}.(Sandoz, 96)

Les trois colonies qui nous intéressent, se distribuent du Sud au Nord comme suit : (Annexe 1)

1) La colonie de la **Palissade C18** est localisée sur la rive ouest du Rhône, près de l'embouchure. Les terres humides sur un rayon de 5 km autour de la colonie, sont composées principalement de marais salants, d'eaux douces et saumâtres. Il n'y a pas de rizière. De l'autre côté du fleuve se trouve le grand complexe industriel de Fos-sur-Mer.

2) La colonie de la **Tour du Valat C10** est considérée comme une colonie contrôle par l'absence de zone industrielle autour et pour la faible proportion de rizières (352 ha) se trouvant dans le rayon des 5 km l'entourant. Les terres humides qui l'encerclent sont les marais salés, d'eaux douces et saumâtres. De plus cette colonie est au cœur de sites protégés depuis de nombreuses années. La colonie est à 7,5 km du Rhône.

3) La colonie du **Carrelet C7** est située à 15 km du large bras et 5 km du petit bras du Rhône. Il y a environ 1 707 ha de rizières dans un rayon de 5 km. Le reste est constitué d'une part par des marais d'eaux douces pour la chasse et d'autre part au Nord par les lagons salés de la Réserve Nationale de Camargue. Cependant, ces deux dernières zones sont pauvres en proies pour l'Aigrette.

d) Conservation des oeufs

Les œufs sont récoltés entre le 14 mai et le 30 mai 1996.

Les oeufs une fois ramassés ont été immédiatement plongés dans un récipient contenant de l'eau pour apprécier leur degré de flottaison, puis ils ont été lavés à l'eau avec un tissu pour nettoyer les fientes collées. Ils ont été séchés. En fonction de leur âge les œufs peuvent être répartis dans trois groupes.

L'âge du groupe 1 correspond à des œufs fraîchement pondus (l'œuf coule).

L'âge du groupe 2 est intermédiaire.

L'âge du groupe 3 correspond à un poussin proche de l'éclosion (l'œuf flotte).

Cette classification fût confirmée lors de l'ouverture des œufs pour l'analyse, par le développement des embryons.

La longueur et la largeur de chaque oeuf ont été mesurées avec un pied à coulisse (précision à 0,01 cm prés).

Enfin chaque oeuf a été placé individuellement après identification, dans un sachet plastique hermétique avec une étiquette indiquant la date de prélèvement et le lieu, et les mesures effectuées, le tout étant mis à congeler à -18°C.

B) Analyse des œufs au laboratoire de toxicologie de l'E.N.V.L

La coquille est ouverte en deux parties égales au niveau de l'équateur à l'aide d'une lame de bistouri.

Les membranes restent avec la coquille.

Chaque hémi-coquille est mise à sécher un mois à température constante. Le poids de coquille perdu lors de la coupe est considéré comme négligeable.

Après un mois de séchage, chaque coquille est pesée (précision à 0,001 g prés) et on mesure son épaisseur au niveau de la section équatoriale avec un micromètre (précision à 0,01 mm prés). La valeur obtenue est une moyenne de 20 prises de mesure, 10 sur chaque hémi-coquille.

a) Préparation des extraits pour le dosage des organochlorés et des PCBs des oeufs

Le contenu de l' oeuf c'est à dire, l'ensemble blanc, jaune et parfois embryon est pesé. Le stade de développement de l'embryon est noté. Le tout est broyé au thurax jusqu'à obtenir un mélange parfaitement homogène. L'appareil Ultraturrax^{R}.est rincé entre chaque échantillon avec un mélange hexane/acétone 75/25.

EXTRACTION : On prélève 1 g de ce mélange auquel on ajoute 10 ml du mélange hexane/acétone 75/25. On centrifuge le tout 5 min à 2500 tours/min. On a alors une séparation des phases. On philtre la phase hexanique dans un ballon avec un filtre 1 PS posé sur un entonnoir. On recommence une deuxième fois l'opération d'extraction avec 10 ml du mélange 75/25 sur le reste du produit on fond du tube, pour cela on homogénise au vortex, on centrifuge et on filtre à nouveau la phase hexanique surnageante qui est récupérée dans le même ballon que précédemment avec la première extraction.

On évapore à sec l'extrait au rotovapor à 60°c et on reprend ensuite le résidu par 5 ml d'hexane pur, on agite le tout au vortex pour décoller la matière de la paroi du ballon.

HYDROLYSE ACIDE : On transvase les 5 ml d'hexane dans un tube vissé et on y ajoute 2 ml d'acide sulfurique (SO3) fumant à 7 % de SO3, on bouche le tube et on agite au vortex, puis on centrifuge 5 min à 2500 tours/min. On récupère la phase hexanique surnageante qui contient les organochlorés et PCBs appelé extrait 1. La phase sulfurique contient les matières organiques hydrolysées.

L'analyse des organochlorés est possible, il suffit de passer l'extrait 1 en chromatographie phase gazeuse.

Pour analyser les PCBs une deuxième hydrolyse est nécessaire pour éliminer les organochlorés.

HYDROLYSE ALCALINE : Dans un tube vissé, on introduit 1 ml de l'extrait 1 et 1 ml de potasse alcoolique (KOH) à 2%, on revisse le tube immédiatement. On agite le tout une demi heure dans un bain à 50°C. Après refroidissement du tube, on ajoute 2 ml d'eau distillée lavée à l'hexane. Puis on agite au vortex 2 min et on centrifuge. Le surnageant (phase hexanique) est transvasé dans un autre tube vissé auquel on rajoute 1 ml d'acide sulfurique fumant à 7%. On agite le tout au vortex, on centrifuge. On récupère 2 ml du surnageant pour le concentrer en PCBs, pour cela on évapore les 2 ml à sec, on reprend l'extrait avec 0.5 ml d'hexane, on obtient l'extrait 2 prêt pour être injecté en chromatographie.

b) Identification par chromatographie en phase gazeuse

Un **appareil chromatographe à gaz** Hewlet-Packard HP5890 de série 2, équipé d'un détecteur d'électron est utilisé. Un Restek-5 colonnes, de 60 m de long, de 0,25 mm de diamètre interne et de 0,25 µm d'épaisseur de film, est utilisé.

Le programme de température est le suivant pour les organochlorés : de 80°C à 200°C à 20°C/min, de 200°C à 250°C à 4°C/min, puis maintient à 250°C durant 15 min, puis de 250°C à 300°C à 25°C /min, la température finale est maintenue pendant 1 min. Le temps d'analyse total est de 36 min.

Les polychlorobiphényles sont analysés avec un programme de température différent : 2 min à 75°C, 15°C/min jusqu'à 150°C, 1,2°C/min de 150 à 265°C, et 25°C/min jusqu'à 300°C. La durée d'analyse totale est de 110 min.

Pour chaque tour 2 µL sont injectés et chaque tour est suivi par un rinçage de 15 min à 300°C . Chaque échantillon est analysé deux fois. Cette méthode d'analyse est validée conformément aux procédures standard en ce qui concerne la linéarité, et la reproductibilité. Toutes les mesures obtenues se situent dans des limites acceptables pour des échantillons biologiques.(coefficient de variation< 10% ; coefficient de détermination $r^2 > 0,99$)

Etalons organochlorés : en pratique seuls le Lindane et l'endosulfan sont couramment dosés au laboratoire, ils correspondent à une solution de Lindane et d'endosulfan à 0.1 ppm dans l'hexane. Les organochlorés sont identifiés par comparaison des pics obtenus avec ceux des étalons.

Deux mélanges sont disponibles en plus : OC1 et OC2. OC1 contient : DDT (35.05) DDD (32.12) et DDE (28.75), OC2 contient : Aldrine (25.59) Dieldrine (26.98) Heptachlor (21.87) Heptachlor époxyde (23.60) et Méthoxychlore (29.75). Les nombres entre parenthèse sont les temps de rétention.

Etalons PCBs : ''Aroclor 1254 ou 1260 à 0.1 ppm est utilisé au laboratoire pour un dosage global des PCBs. Des congénères isolés sont aussi quantifiés : IUPAC n° 28, 52, 77,

101, 105, 118, 126, 128, 138, 153, 169, 180, basés sur la liste des principaux polluants de l'Union Européenne.

Dans un but de contrôle qualité, un échantillon certifié d'huile de foie de morue est analysé avec des séries d'échantillons, les valeurs obtenues restent dans les limites acceptables définies par le Bureau de Référence des PCBs, pour toutes les analyses. La limite de détection est < 1ng/g pour tous les résidus des œufs.

C) Calcul des résultats et analyses statistiques

a) La mesure des pics permet le calcul et l'expression des résultats

+ Pour les OC un seul point est utilisé pour la quantification correspondant à l'aire du pic proportionnelle à la quantité de produit analysée.

La teneur en insecticides organochlorés de l'échantillon est calculée selon la formule :

$$\frac{Cs \times Vs \times He \times Vr}{Hs \times Ve \times Vi} = \text{ppm / Matière fraîche}$$

Cs = concentration du standard en ng/µl (ppm)
Vs = volume injecté du standard en µl
He = aire du pic d'essai
Vr = volume final de reprise
Hs = aire du pic standard rapporté à la même atténuation que l'essai
Ve = volume injecté de l'essai en µl
Vi = volume initial pour l'extraction en ml ou poids initial pour l'extraction en g

+ Pour les PCBs, on détermine la somme des aires des dix principaux pics détectés et on additionne les pics correspondants de l'extrait. La valeur obtenue est une valeur « globale » des PCBs (exprimée en « Equivalent Aroclor 1254 ou 1260)

Pour les congénères isolés (PCBs n°28, 52, 77, 101, 105, 118, 126, 128, 138, 153, 169, 180) on exprime directement par comparaison avec le pic témoin (0.1 ppm ou 50 ppb) en utilisant la formule OC.

+ L'Index de Ratcliffe d'épaisseur de la coquille varie suivant le rapport poids de la coquille / (longueur x largeur). (RATCLIFFE, 1967)

b) Analyses statistiques

Les concentrations des contaminants entre les groupes (groupe d'âge ou site de la colonie) sont comparées suivant la méthode d'analyse de la variance et on compare des paramètres dont la variable a une distribution normale et une variance homogène.

Comme les contaminants des œufs ont une distribution atypique, une variance homogène est obtenue par le biais du logarithme naturel (Ln) et les résidus des variables ont une distribution qui s'approche de la distribution normale.

Pour la variable « concentration en DDE » pour laquelle l'homogénéité de la variance n'est pas possible, le test de KRUSKAL-WALLIS est utilisé.

Pour des comparaisons de moyenne, le test de TUKEY-KRAMER a fonctionné.

Enfin, le rang de corrélation de KENDALL est appliqué pour tester les relations entre les concentrations en DDE et l'épaisseur des coquilles d'œufs.

c) Résultats bruts : annexe 2

2) CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTS RESULTATS : ANALYSES STATISTIQUES

A) La contamination du milieu camarguais

Le Lindane et le DDT sont détectés dans tous les œufs. L'heptachlor et l'endosulfan ne sont détectés que dans quelques œufs.

Les autres hydrocarbures chlorés insecticides ne sont pas présents dans des quantités mesurables, et notamment l'absence de dieldrine est à retenir.

Aucune relation entre les concentration en DDE et l'épaisseur des coquilles n'est trouvée. (KENDALL'tau=-0,027, p=0,403)

La moyenne [DDT/DDE] calculée pour 15 œufs est de 0,071+/-0,054.

Pour obtenir le profil des différents congénères des PCBs chaque concentration d'un congénère est présentée en pourcentatge de la concentration en PCBs 153, majoritaire dans tous les œufs.

Ainsi, le profil obtenu montre que plus les congénères sont chlorés plus il sont présents en grande quantité.(Annexe 3)

Cette constatation se retrouve pour le profil obtenu dans les sédiments du delta du Rhône ramassés au printemps 96, selon les données de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.(DRERA 98) (Annexe 4)

B) Relation entre le facteur âge et la contamination des oeufs

(Annexe 5)

Nous n'avons pas trouvé de différence de concentration des contaminants dans les œufs groupés en fonction de l'âge, en ce qui concerne le Lindane ($F(2,34)=2,404$, $p=0,106$) et le DDE(Kruskal-Wallis $H(2,37)=1,390$, $p=0,499$).

Seule la concentration en PCBs a montrée une différence significative entre les différents groupes d'âge des œufs. ($F(2,34)=3,883$, $p=0,030$)

Les PCBs sont très nettement en plus grande concentration dans les œufs du groupe 1(fraîchement pondus) que dans ceux du groupe 2 (œufs intermédiaires, test de Tukey-Kramer =-1,003, p=0,017) et ceux du groupe 3 (poussin près à éclore, test de Tukey-Kramer =-0,6846, p=0,074). Aucune différence entre les deux derniers groupes n'est trouvée. (test de Tukey-Kramer =-0,319, p=0,6290)

Quelque soit le groupe d'âge plus les congénères sont chlorés plus il sont présents en grande quantité.

C) Relation entre le facteur emplacement de la colonie et la contamination des oeufs

(Annexe 6)

La distribution entre les colonies en fonction des groupe d'âge ne montre aucune différence significative. (test de Kruskall-Wallis, $p<0,05$)

Il y a une très nette relation entre l'emplacement de la colonie et la concentration des toxiques.

Les concentrations en DDE sont significativement différentes selon la colonie étudiée. ($H(2,37)=6,409$, $p=0,0406$)

Les plus basses valeurs sont trouvées dans le site contrôle de la Tour du Valat, et ses valeurs sont significativement inférieures à celles trouvées à la Palissade (test de Kruskall-Wallis, p=0,027) et au Carrelet (test de Kruskall-Wallis, p=0,036). Par contre il n'y a pas de différence significative entre ces deux derniers lieux (p=0,912).

Les concentrations en PCBs présentent elles aussi des différences selon les colonies.($F(2,34)=8,798$, $p=0,0008$). Il y a de très fortes concentration dans les œufs de la Palissade en comparaison avec ceux du Carrelet (test de Tukey-Kramer =-0,812, p=0,016) et ceux de la colonie contrôle (test de Tukey-Kramer =-1,157, $p<0,0001$).

Les concentrations en Lindane ne montrent pas de différence notable selon l'endroit de prélèvement des œufs.($F(2,34)=2,4038$, $p=0,106$)

Un œuf provenant de la Palissade contient 0,681 µg/g de Lindane, c'est la plus forte concentration de cette étude. La colonie du Carrelet a les plus hautes concentrations en Lindane. (test de Tukey-Kramer =-1,028, $p=0,044$)

En retirant cet œuf, on montre une disparité avec une concentration en Lindane plus élevée à Carrelet.

IV) INTERPRETATION DES RESULTATS DE NOTRE ETUDE ET CONFRONTATION AVEC CEUX OBTENUS PAR D'AUTRES ETUDES DANS LE MONDE SUR LES ARDEIDES

1) RESULTATS OBTENUS PAR D'AUTRES ETUDES DANS LE MONDE : HISTORIQUE ET SITUATION PRESENTE

Les études effectuées sur l'Aigrette garzette sont rares, donc des comparaisons avec des études portant sur d'autres Ardéidés sont nécessaires pour obtenir des repères.

(Annexe 7)

A) Les organochlorés

Le DDT fut utilisé dans la fin des années 40 pour les cultures intensives. La dieldrine, l'un des toxiques organochlorés les plus nocifs fût utilisée dans le milieu des années 50. Le DDT fut interdit aux U.S.A. en 1972. En Angleterre, l'utilisation du DDT baissa durant les années 60. Mais il était encore utilisé au début des années 80, quand il fut définitivement interdit.

La dieldrine est interdite aux U.S.A. en 1975 et en Angleterre en 1986.

Tous les pesticides organochlorés furent interdits d'utilisation en agriculture, en Italie, depuis 1978 et en Afrique du sud depuis 1976.

Le DDT a été récemment interdit en Inde.

Cependant, une forte demande en organochlorés existe toujours dans les pays en voie de développement.

Les organochlorés ont entraîné la mort d'aigrettes et de hérons adultes (surtout l'exposition à la dieldrine).

En 1972, 4 Grandes aigrettes ont été trouvées mortes dans une colonie de Californie et leurs cerveaux contenaient un fort taux de dieldrine.

De même, un Grand héron bleu est trouvé mort dans le sud du Dakota en 1975, son corps contenait beaucoup de DDE.

Les cerveaux de 51 hérons trouvés morts aux Etats-Unis entre 1966 et 1977 ont montré des concentrations élevées soit en dieldrine soit en DDT soit en DDE soit en PCBs.

Ratcliffe, en 1967, démontre que l'épaisseur coquillière des œufs de rapaces d'Angleterre, a significativement diminuée après l'année 1946 (période correspondant à l'utilisation massive du DDT et autres organochlorés).

Un déclin catastrophique des populations de 3 espèces de rapaces aux Etats-Unis est aussi attribué à l'observation de l'amincissement des coquilles de 15 à 20% pendant plusieurs années.

De plus, en Amérique du Nord, après 1945, le déclin de plusieurs espèces d'oiseaux s'accélère ; ce déclin est bien plus dû à une baisse du succès reproducteur de ces oiseaux qu'à un taux de mortalité des poussins ou des adultes qui augmente.(CUSTER, 1996)

a) Le Héron cendré (*Ardea cinerea*)

En 1967, en Angleterre, des Hérons cendrés présentent un comportement anormal suspecté d'être la conséquence d'une intoxication par les pesticides : ils cassent leurs œufs. (MILSTEIN, 1970)

Des concentrations élevées en DDE et dieldrine ont été trouvées dans des œufs et des adultes prélevés entre 1966 et 1968 en Angleterre (héronnière du Lincolnshire), l'index.d'épaisseur de la coquille a diminué de 20% entre 1935 et 1968. Au sein d'une même couvée, les oeufs ont un taux identique en résidus, aussi l'analyse d'un oeuf par couvée est suffisante. (PRESTT, 1970)

Les moyennes des index d'épaisseurs coquillières des œufs collectés respectivement en 1968, 1970 et 1973 sont 12%, 16% et 9% plus fines que les coquilles d'avant 1947 (année d'utilisation du DDT).

L'index d'épaisseur des coquilles est inversement corrélé à la concentration en DDE dans les œufs mais pas à celle en dieldrine ou en PCBs.

De plus, une relation linéaire existe entre la proportion d'œufs brisés chez les couples de hérons et les moyennes des concentrations en DDE et dieldrine mesurées dans les œufs intacts. (Moins il y a de DDE dans les œufs intacts, moins il y a d'œufs cassés dans les nids.

Même si plus de la moitié des couples se retrouvent avec des œufs brisés dans leur nid durant cette période, la population de Hérons cendrés n'a pas diminué pour autant, peut-être grâce à leur faculté de réitérer les pontes. (COOKE, 1976)

Les concentrations en DDE des œufs de Hérons cendrés provenant du Delta du Danube en Europe sont relativement basses. (moy = 6,6 ppm poids sec soit 1,3 ppm de poids humide avec 80% d'humidité) (FOSSI, 1984)

b) Le Héron bihoreau (*Nycticorax nycticorax*)

Il est remarqué une diminution des populations de Hérons bihoreaux dans les années 60 et début 70 en Nouvelle-Angleterre et dans le Michigan aux U.S.A. Les coquilles prélevées dans ces lieux sont plus fines après l'introduction du DDT en 1947, que celles mesurées avant.

De plus, les concentrations en organochlorés mesurées dans les œufs sont plus élevées dans le nord que dans le sud de la côte atlantique, entre 1972 et 1973.

Les modifications d'épaisseur coquillière ne peuvent être attribuées à un organochloré en particulier à cause des nombreuses intercorrélations possibles entre les différents composés.

Le DDE cependant, possède le plus fort taux de corrélation avec l'épaisseur coquillière. (OHLENDORF, 1979)

Les Hérons bihoreaux étudiés entre 1972 et 1976 à l'est du Lac Ontario ont de fortes concentrations en DDE dans leurs œufs (moy = 4,5 à 12,4 ppm), un amincissement des coquilles de 14 à 17%, un faible taux d'éclosion (36 à 54%), ainsi qu'un faible taux de succès d'envol des poussins (< 1 par couple). (PRICE, 1977)

Mais comme les concentrations en PCBs sont elles aussi élevées (moy = 10 à 63 ppm), la baisse du succès reproducteur peut être attribuée au DDE seul ou aux PCBs seuls ou à l'association des deux.

Les œufs de Hérons bihoreaux provenant de la Baie Verte dans le Wisconsin entre 1978 et 1980 contiennent eux aussi de forts taux en DDE (moy = 4 à 5,4 ppm). (HAFNER, 1985)

A l'opposé, ceux prélevés dans l'estuaire du fleuve Saint Laurent entre 1975 et 1976 possèdent de relativement basses concentrations en DDE (moy = 2,2 ppm) avec aucun effet notable sur l'épaisseur coquillière ou la reproduction. (TREMBLAY, 1980)

Entre la fin des années 70 et le début des année 80, il existe toujours beaucoup d'endroits où le DDE est tenu pour responsable d'une baisse du succès reproducteur des Hérons bihoreaux.

Cependant, la concentration en DDE dans les œufs diminue progressivement avec le temps, depuis son interdiction d'emploi.

Les concentrations en DDE dans deux colonies de Hérons bihoreaux de Nouvelle-Angleterre diminuent entre 1973 (OHLENDORF, 1979) et 1979 (CUSTER, 1983).

De même, les concentrations en DDE baissent pour les hérons bihoreaux du Névada et de l'Orégon entre 1979 et 1983. (HENNY, 1985)

Un seuil de 3,8 ppm ressort, en dessous duquel aucun effet néfaste apparent n'est visible sur le taux d'éclosion.

10 ppm sont accusés de causer une diminution de 50% du taux d'éclosion et à partir de 5 ppm, le taux d'éclosion diminue (CUSTER, 1983)

Sur 8 colonies de Hérons bihoreaux visitées dans les états de Washington, de l'Orégon et du Névada, entre 1978 et 1980, une seule présente au Lac Ruby (Névada), un fort taux de DDE dans ces œufs (moy = 8,2 et 4,1 ppm) et un faible succès d'envol des poussins (0,4 par couple). (HENNY, 1984)

Les mêmes constatations sont faites en 1979 dans l'Idaho. (FINDHOLT, 1985).

L'épaisseur des coquilles est significativement corrélée avec les concentrations en DDE et plus faiblement avec celles en PCBs.

Quand la concentration en DDE est supérieure à 8 ppm, la taille de la couvée diminue, le nombre d'oeufs brisés augmente et le nombre de poussins à prendre leur envol baisse.

De fortes concentrations en DDE (moy géométrique = 8,6 ppm) existent aussi dans les œufs de Hérons bihoreaux, provenant de Salton Sea en Californie en 1985. Leur coquille sont 4 à 12% plus fines que celles d'avant 1947.

Les concentrations en DDE sont en général faibles en ce qui concerne les œufs de Hérons bihoreaux prélevés en Israël (de 0,1 à 5 ppm, moy = 1;6 ppm) (PERRY, 1990), dans

le Delta du Danube (moy = 5,3 ppm de poids sec ou 1,1 ppm de poids humide avec 80% d'humidité) (Fossi, 1984) et en Italie (de 0,23 à 0,74 ppm). (FASOLA, 1987)

c) Le Grand héron bleu (*Ardea herodias*)

L'amincissement de la coquille dépasse rarement les 15% et il n'existe aucune donnée sur l'effet des organochlorés sur la reproduction chez cette espèce. (LAPORTE, 1982) (FLEMING, 1984) (NOSEK, 1984) (FITZNER, 1988) (SPEICH, 1992)

Toutefois, les œufs du Grand héron bleu possèdent des taux en organochlorés plus élevés que ceux trouvés chez les autres espèces de hérons, pour un même lieu donné.(OHLENDORF, 1979)

Il existe un effet de corrélation inverse entre l'épaisseur des coquilles et la concentration en DDE depuis l'introduction du DDT. La taille des oeufs est inférieure à celle d'avant l' année 1947, dans le Washington. Il est impossible de dire dans quel ordre cela s'est fait, est-ce d'abord la taille de l'adulte qui a diminué ou celle de l'oeuf. La sélection est surement à l'origine de ces oeufs plus petits car le caractère taille des oeufs a une forte héritabilité chez de nombreuses espèces d'oiseaux (SPEICH, 1992)

Une déviation comportementale, d'un héron mangeant ses œufs, est notée dans une colonie de l'Iowa aux U.S.A, pour des concentrations en DDE (>115 ppm) et dieldrine (>13 ppm) très importantes, dans trois jeunes poussins nouvellement éclos.(KONERMANN, 1978)

d) La Grande aigrette (*Casmerodius albus*)

Les œufs de Grande aigrette collectés à l'est des Etats-Unis entre 1972 et 1973 ne montrent pas d'amincissement des coquilles significatif. (OHLENDORF, 1979)

Les concentrations en DDE, des œufs ramassés le long des rives du Mississipi, sont basses (moy = 1,8 ppm) et les coquilles ne sont pas plus fines qu'avant 1947.(NOSEK, 1984)

Au contraire, le taux de nidification de la Grande aigrette a baissé de 52% à 28% entre 1967 et 1970, dans une colonie en Californie, où les coquilles sont 15% plus fines qu'avant 1947.

Même si aucun œuf n'a été analysé, les concentrations en dieldrine des cerveaux de 4 adultes sont élevées. (FABER, 1972)

De très fortes concentrations en DDE sont aussi trouvées dans des œufs de Salton Sea (Californie) en 1985.(moy géométrique = 24 ppm) (OHLENDORF, 1990)

Une forte incidence du taux de DDE avec le nombre d'oeufs disparus ou cassés est retrouvée chez la Grande aigrette dans l'Idaho en 79. Probablement que les oeufs sont cassés pendant l'incubation à cause de leur fine coquille puis qu'ils sont écartés du nid. (FINDHOLT, 1984)

e) Le Petit héron vert (*Butorides striatus*)

De faibles concentrations en DDE ont été trouvées dans les œufs de hérons provenant de 16 colonies des Etats-Unis de l'est, avec pourtant une baisse d'épaisseur des coquilles. (OHLENDORF, 1979)

Au contraire, ceux prélevés dans la vallée du Tennessee, près d'une industrie utilisant du DDT, ont des concentrations en DDE élevées. (moy = 3,9 ppm) (FLEMING, 1984)

La corrélation entre l'épaisseur coquillière et la concentration en DDE existe. Les coquilles sont 7,6% plus fines que celles mesurées avant 1947.

Au Mississipi, en 1984, une étude montre que des concentrations en DDE comprises entre 5,1 et 10 ppm diminuent le taux d'éclosion. (WHITE, 1988)

De plus dans cette étude, les concentrations en DDE sont plus fortes (moy = 7,4 ppm) avec des coquilles amincies de 11% par rapport à la période précédant 1947.

f) L'Aigrette neigeuse (*Egretta thula*)

Que ce soit à l'est des Etats-Unis ou dans la Baie de San Francisco, les concentrations en DDE sont basses (moy = 2 ppm) sans changement d'épaisseur coquillière et il n'est constaté alors aucune corrélation entre l'épaisseur de la coquille et la concentration en DDE. (OHLENDORF, 1979 et 1988)

Au contraire, des concentrations en DDE plus importantes sont décelées dans deux colonies de l'Idaho (ouest des USA), en 1979 (moy = 4,2 et 4,8 ppm) et ici l'épaisseur des coquilles est inversement corrélée aux concentrations en DDE à condition de séparer les nids en deux groupes supérieur ou inférieur à 5 ppm de DDE. De plus, le succés d'éclosion diminue dans le groupe > 5 ppm et l'amincissement de la coquille devient significatif (>20%). Dans les colonies étudiées en 79, le succès reproducteur est en dessous du seuil nécessaire pour maintenir le niveau de la population actuelle. Les Aigrettes ont été exposées au DDE pendant leur hivernage prolongé à Mexico. (FINDHOLT, 1984)

Entre 1979 et 1983, dans l'Oregon et le Nevada, les concentrations en hydrocarbures chlorés diminuent significativement au cours du temps, dans leurs œufs. (HENNY, 1985)

g) Le Héron gardeboeufs (*Bubulcus ibis*)

Une diminution visible des effectifs de Hérons gardeboeufs dans le delta du Nil et le canal de Suez, coïncide avec l'introduction du DDT pour la culture du coton. La population commence seulement à retrouver dans les années 80 sa taille première, en parallèle à la diminution de l'utilisation du DDT. (MULLIE, 1992)

La plupart des œufs collectés aux Etats-Unis (OHLENDORF, 1979) (HAFNER, 1985), dans la Baie de Californie (MORA, 1991), en Espagne (RUIZ, 1992), en Israël (PERRY, 1990) et en Egypte (MULLIE, 1992) contiennent de faibles teneurs en DDE.

Des œufs provenant d'une des 16 colonies étudiées sur la côte atlantique des Etats-Unis, ont quand à eux des concentrations en DDE élevées. (de 0,4 à 18 ppm, moy = 4,3 ppm) (OHLENDORF, 1979)

L'épaisseur des coquilles, dans la Baie de Californie, entre 1987 et 1988 sont 9,3% plus fines qu'avant 1953. (MORA, 1991)

Même si les concentrations en DDE an niveau du Delta de l'Ebre sont relativement basses, il est possible de trouver une corrélation inverse entre l'épaisseur et la concentration en DDE, ainsi que des œufs cassés dans les nids. (RUIZ, 1982)

h) Les autres hérons

De basses concentrations en DDE sont trouvées dans les œufs de deux Hérons pourprés *Ardea purpurea* en 1972, dans le sud-ouest de l'Espagne (2 et 2,1 ppm) (BALUJA, 1977) et dans ceux de l' Aigrette garzette en Israël (moy = 1,6 ppm) (PERRY, 1990)

Les œufs d'Aigrettes garzettes, prélevés dans le Golfe de Venise, en Italie, contiennent de basses concentrations en DDT (8,24 ppm poids sec). (RENZONI, 1982)

B) Les polychlorobiphényles

Les polychlorobiphényles sont des hydrocarbones aromatiques halogénés synthétiques qui ont plusieurs utilités comme isolants ou agents refroidissants. La contamination de l'environnement provient de plusieurs sources qui peuvent être les décharges industrielles, des fuites de systèmes clos, certains pesticides et des incinérations incomplètes. Ils sont interdits aux Etats-Unis depuis 1979.

Les concentrations en PCBs sont plus élevées dans les œufs des hérons du Nord que dans ceux du Sud de la côte atlantique des Etats-Unis et dans les œufs du Grand héron bleu par rapport aux autres ardéidés. (OHLENDORF, 1979)

Des diminutions des concentrations en PCBs sont constatées dans beaucoup d'endroits :

- de 73 à 79, en Nouvelle Angleterre (10,2 à 6,1 ou 7,2 à 6,2 ppm) (CUSTER, 1983) pour le Héron bihoreau.
- de 72 à 76, à l'est du Lac Ontario, pour la Héron bihoreau (63 à 28 ppm) mais ces taux restent élevés, associés à une baisse de la reproduction, mais aussi à de forts taux en DDE (4,5-12,4 ppm) et il est impossible de dissocier la combinaison de leurs effets. (PRICE, 1977)

Les interactions entre les différentes substances toxiques dans les tissus organiques, peuvent grandement amplifier la toxicité de chaque toxique pris séparément. Ceci est tout particulièrement vrai pour les composants de l'œuf et par la suite pour les embryons. Dans le jaune cohabitent les mercures inorganiques, les organochlorés et les PCBs, tandis que les mercures organiques se trouvent dans l'albumen. (RENZONI, 82)

A l'exception de la zone des Grands Lacs du haut Mississipi (Grand héron bleu 14,1 ppm et Grande aigrette 13,3 ppm) (NOSEK, 1984), les concentrations en PCBs sont généralement basses.

Elles varient d'une moyenne de 15 à 24 ppm, dans le Wisconsin de 1978 à 1980, dans les œufs de Hérons bihoreaux. (HEINZ, 1985)

Les concentrations en PCBs sont corrélées négativement avec le poids des embryons, chez les Hérons bihoreaux, Baie de San Francisco en 1983 (HOFFMAN, 1986), même si ces concentrations sont relativement basses (moy = 4,1 ppm).

Il existe 209 congénères PCBs possibles. Certains de ces congénères induisent le cytochrome P450 dont dépendent plusieurs oxygénases et qui agit peut-être comme catalyseur de nombreuses réactions mutagènes ou carcinogènes.

C) Conclusion

A l'exception de sites anecdotiques de Nouvelle Angleterre et du Michigan pour le Héron bihoreau et du Delta du Nil pour le Héron gardeboeufs, la population des ardéidés ne diminue pas dans le monde en dépit de l'utilisation des organochlorés insecticides dans le milieu des années 40.

Ceci est en totale opposition avec le réel déclin de l'effectif des rapaces en Europe et en Amérique du Nord.

Juste après l'utilisation de ces organochlorés insecticides vers 1947, des mortalités aiguë sont associées principalement à la dieldrine, chez les ardéidés.

La concentration en DDE dans les œufs est corrélée avec l'amincissement de la coquille et la baisse du succès reproducteur chez plusieurs espèces de hérons.

Après l'interdiction du DDT et de la dieldrine, les concentrations en organochlorés diminuent de façon significative à la fois en Angleterre et en Amérique du Nord.

Des populations de hérons peuvent encore localement souffrir en certains points pollués.

Les PCBs peuvent être tenus pour responsables de la baisse du succès reproducteur des hérons mais leurs effets semblent localisés.

2) INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS DE NOTRE ETUDE

Les œufs ont été largement utilisés comme indicateurs de l'exposition aux composés organiques, chez les oiseaux sauvages.

C'est parce que l'Aigrette garzette, d'une part consomme un grande gamme de proies et d'autre part prospecte dans des zones humides variées autour de son habitat, qu'il est possible d'étudier dans ses œufs un large spectre de contaminants et ainsi connaître la réelle pollution de son environnement.

A) DDE

Les concentrations en résidus d'organochlorés trouvées dans les œufs d'Aigrette garzette en Camargue sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en d'autres endroits de la Méditerranée.

Trois études analysant spécifiquement les œufs d'Aigrettes garzettes peuvent être confrontées à notre étude.

Ainsi la Camargue aujourd'hui, présente moins de DDE que par son passé. (HEURTEAUX, 1976)

Ses concentrations en DDE sont inférieures à celles des deux autres études. (RUIZ, 1992) (AYAS, 1997)

Ces faits peuvent être mis en relation avec une tendance générale à la baisse des concentrations en DDE depuis l'interdiction de son utilisation en France en 1972, et donc un bas quotient DDT/DDE.

Il n'existe aucune étude spécifique sur la toxicité du DDE chez l'Aigrette garzette. Cependant, très tôt, les études menées chez les Ardéidés, ont révélé de fortes concentrations en DDE chez le héron Bihoreau *Nycticorax nycticorax* (FOSSI, 1984) (FASOLA, 1987), le Héron gardebœufs *Bubulcus ibis* (CUSTER, 1996) et l'Aigrette neigeuse *Egreta thula* (FINDHOLT, 1984) (HENNY, 1985)

Custer retient la [DDE] de 3,8 mg/kg comme seuil affectant le succés de reproduction des hérons Bihoreaux par amincissement de la coquille et par effet toxique sur l'embryon. (CUSTER, 1996)

Toutefois, les concentrations de DDT/DDE trouvées dans les œufs d'Aigrettes garzettes en Camargue, semblent être en dessous du seuil de toxicité pour les œufs et les poussins.

L'absence de corrélation entre la [DDE] et l'épaisseur des coquilles dans notre étude, ainsi qu'une faible affectation de l'épaisseur des coquilles, nous conforte dans cette réflexion, en dépit du manque de données propres à l'Aigrette garzette.

B) Lindane

Dans les zones humides méditerranéennes, le Lindane fût détecté dans les œufs d'Aigrettes garzettes.(AYAS, 1997), Crabier chevelu *Ardeola ralloides* (ALBANIS, 1996) et hérons Bihoreaux (FOSSI, 1984).

Les concentrations de Lindane en Camargue, sont intermédiaires, même si elles semblent avoir été multipliées par dix depuis les années 70.

Ces résultats doivent être mis en parallèle à l'expansion de la culture du riz dans les Bouches du Rhône depuis le début des années 80.

En effet, 8 000 ha étaient cultivés en 1976 contre 23 000 ha en 1996.

Le Lindane inhibe la synthèse des protéines du jaune et diminue la taille des couvées.

A partir de 3 mg/kg de Lindane dans l'alimentation de la caille *Coturnix coturnix* le taux de fertilité et d'éclosion diminue. (JANSEN, 1996)

Le facteur de bioconcentration du Lindane étant de 2, il faudrait avoir 6 mg/kg de Lindane dans les œufs pour constater une diminution du succès de reproduction chez la caille. (MACKAY, 1998)

Les concentrations de Lindane en Camargue dans les œufs sont 10 à 100 fois plus basses et de plus aucune perturbation de la reproduction n'a été observée chez l'Aigrette garzette, pourtant considérée comme espèce particulièrement sensible aux composés organochlorés.

Donc les concentrations en Lindane mesurés dans les œufs d'Aigrettes garzettes ne devraient pas gêner le succès reproducteur.

L'œuf représente cependant un marqueur de la contamination environnementale puisque la concentration en Lindane des œufs prélevés à Carrelet (zone de rizières)est plus élevée qu'ailleurs.

C) Les PCBs

Les polychlorobiphényles sont les composés de notre étude qui ressortent avec les plus fortes concentrations dans les œufs d'Aigrettes garzettes.

Cependant, ces résultats ne sont pas inquiétants face aux nombreuses données que l'on possède concernant l'Aigrette garzette mais aussi les autres hérons.

La plus forte concentration rapportée de 53 mg/kg de poids humide, fût mesurée dans un œuf de héron Bihoreau, ramassé dans la région des Grands Lacs.

Des valeurs de l'ordre de celles qui sont les plus fortes de notre étude (12 mg/kg) entraînent une induction du cytochrome P450 sur les Grands hérons bleus. (CUSTER, 1997)

Une étude menée sur des embryons de poulets âgés de 14 jours, montre que ces mêmes valeurs de notre étude suffisent à induire le cytochrome P450 1A du foie de ces embryons. (MACHALA, 1996)

Mais nous ne pouvons rien conclure en ce qui concerne l'Aigrette garzette car nous n'avons aucune information en ce qui concerne le potentiel d'induction de son cytochrome.

Nous savons aussi que les PCBs entraînent des déformations lors du développement de l'embryon, qu'ils peuvent aussi dévier le comportement parental : jeter les œufs hors du nid par exemple.

Les seuils en dessous desquels rien n'est observé sont 7,8 mg/kg pour les œufs du Grand héron bleu et 10,9 mg/kg pour ceux du héron Bihoreau. (BARRON, 1995)

De grandes concentrations en PCBs ont été trouvées dans seulement 3 œufs de notre étude, appartenant à la même colonie et donc représentant 30 % de l'échantillon. Or il a été récemment observé dans cette colonie plusieurs malformations sur de jeunes poussins telles que des becs croisés ou des oedèmes aux pattes.

Les concentrations en PCBs ainsi que le succès reproducteur de l'Aigrette garzette devront être tout particulièrement suivis dans cette colonie.

Le fait que les congénères PCBs les plus chlorés soient ceux qui se retrouvent dans les plus grandes proportions dans les œufs, s'explique par une meilleure métabolisation des congénères faiblement chlorés dans le foie des oiseaux. Nous savons que ces derniers situés en haut de la chaîne alimentaire métabolisent difficilement les PCBs.

Cette observation se retrouve dans toutes les autres études.

Nos résultats ont montré que les [PCBs] sont plus fortes dans les œufs fraîchement pondus.

Ceci s'oppose à ce qui a été observé pour les œufs de hérons Bihoreaux où la [PCBs] dans les œufs augmente avec l'avancée de la saison des pontes. (CUSTER, 1983)

D) « Bioindicateur »

Les oiseaux pêcheurs sont les meilleurs indicateurs de la contamination des terres humides en organochlorés et PCBs.

Notre étude montre qu'il y a une différence de contamination des œufs en fonction de la source de pollution.

Aujourd'hui, la question des réserves (exogène ou endogène) utilisées pour la fabrication des œufs, est toujours débattue.

Cependant les oiseaux migrateurs pour reconstituer leur réserve perdue au cours de la migration, puisent beaucoup de nourriture sur leur lieu de nidification et leurs œufs devraient bien refléter la pollution locale.

Deux résultats de notre étude tendent à le prouver.

D'une part, seulement de très faibles concentrations en DDT ont été détectées dans les œufs ; or, certaines Aigrettes garzettes hivernent en Afrique de l'Ouest où le DDT est encore utilisé.

D'autres part, les plus basses concentrations en DDE correspondent au site contrôle où le DDT n'a pas été utilisé depuis cinquante ans. Les Aigrettes de cette colonie ont moins de chance de manger des proies contaminées par les produits de dégradation du DDT.

E) Contamination des lieux d'alimentation.

Enfin, là où les rizières occupent la plus grande surface autour de la colonie et pour lesquelles le Lindane est toujours utilisé, nous avons trouvé les concentrations en Lindane les plus fortes par comparaison avec les deux autres colonies.

Tous ces résultats suggèrent que la femelle prospecte pour se nourrir, pendant la saison de reproduction, près de sa colonie.

Les œufs pondus dans la colonie de la Palissade, encadrée d'une part par le complexe industriel de Fos-sur-Mer et d'autre part par l'embouchure du Grand Rhône contiennent très significativement les plus fortes concentrations en PCBs.

Un résultat qui a été rapporté pour d'autres sites industriels avec différents effets.

C'est pourquoi les concentrations en PCBs et le succès reproducteur devront être plus particulièrement suivis dans la colonie de la Palissade, dans l'avenir.

F) Conclusion

Malgré une activité humaine importante en Camargue, les niveaux d'organochlorés ne semblent pas avoir d'effets néfastes chez les hérons en Camargue en général.

La principale menace vient des fortes concentrations en PCBs dans les œufs pondus près du complexe industriel.

Pour cette raison, un intérêt tout particulier devra être porté à cet endroit.

Il est possible d'établir un rapprochement entre les concentrations en Lindane élevées dans les œufs d'une colonie en particulier et une légère synchronisation de la collecte des œufs avec l'épandage du Lindane dans les rizières.

Nous n'avons aucune donnée sur la séquence de ponte dans notre étude, en effet, entre le début de la saison de reproduction et la fin, la concentration en contaminants peut varier de 15% à 35%. Or la collecte des œufs dans notre étude ne couvre que 15 jours sur les 3 mois de la période de ponte. Les variations au sein d'une ponte dans un même nid sont négligeables mais pas les variations entre les différents nids tout au long de la saison de ponte. Aussi dans une étude future serait-il intéressant d'étaler la collecte des œufs en Camargue sur les 3 mois.

CONCLUSION

Excepté dans certains endroits particulièrement pollués à proximité de pôles industriels ou de zones aux pratiques agricoles intensives, les populations de hérons ne sont pas en danger sur l'ensemble du globe de nos jours.

Les mortalités par intoxication aiguë aux hydrocarbures chlorés, signalées un peu partout dans le milieu des années 40 lors de l'introduction du DDT et de la dieldrine, ne se rencontre aujourd'hui que dans les pays en voie de développement essentiellement, où leur utilisation n'est pas encore interdite. Mais dans ces pays la surveillance de la reproduction des ardéidés n'est pas une priorité et aucune étude de toxicologie ne s'entreprend.

Les deux points forts à définir pour monter une étude toxicologique sont le choix des toxiques à rechercher et le choix du matériel d'étude. Le but de l'étude est de quantifier la pollution du milieu et de cerner les sources de contamination.

Le choix des toxiques repose sur une bonne connaissance physico-chimique et biologique de ceux-ci afin de mieux comprendre comment s'exerce leur nocivité.

A l'heure actuelle, les hydrocarbures chlorés qui peuvent être analysés dans un être vivant sont surtout les résidus de produits interdits depuis plusieurs années longs à se dégrader.

Il est alors d'autant plus délicat de parvenir à dissocier les effets toxiques précis de chaque contaminant pris individuellement car il existe souvent des intercorrélations entre les différents composés dans un individu.

La conservation des terres humides méditerranéennes et de leurs populations avicoles, est devenue une priorité aujourd'hui avec le développement d'une activité humaine de plus en plus importante et polluante.

La contamination d'un milieu aquatique par les hydrocarbures chlorés peut se faire par voie aérienne ou directement par déversement dans ses eaux.

Les hydrocarbures chlorés s'accumulent fortement le long de la chaîne alimentaire.

Les oiseaux piscivores possèdent les plus fortes concentrations en hydrocarbures chlorés d'une part, parce qu'ils sont particulièrement sensibles aux organochlorés et PCBs car ils possèdent une faible activité enzymatique monooxygénase microsomale hépatique et ils peuvent donc présenter de la difficulté à détoxifier les xénobiotiques, et d'autre part à cause du phénomène de bioaccumulation car ils sont en bout de chaîne alimentaire.

C'est pourquoi les hérons sont d'excellents bioindicateurs de la qualité de leur environnement aquatique et qu'ils sont utilisés depuis de nombreuses années dans les études de toxicité.

En Camargue, l'Aigrette garzette *Egretta garzetta* est une espèce sentinelle pour informer de la pollution des zones humides variées qui l'entoure.

Sa reproduction est parfaitement suivie depuis 1967 et même si cette espèce se porte toujours bien, ses œufs n'en sont pas moins contaminés.

Sur les trois colonies étudiées, celle entourée de rizières, possède les œufs les plus riches en Lindane, où il a été utilisé jusqu'en 1998.

Les œufs de la colonie proche du complexe industriel de Fos-sur-Mer, sont les plus chargés en PCBs et ces teneurs sont probablement suffisantes pour avoir un impact sur la reproduction de l'Aigrette garzette, mais d'autres études seront nécessaires pour en préciser la nature exacte et l'importance.

Au contraire, les œufs de la colonie de la Tour du Valat, site hautement protégé depuis de nombreuses années, sont très peu contaminés. Il est encourageant de constater que ces efforts de protection permettent de conserver des îlots de terres humides quasi vierges de pollution humaine où la faune n'est pas en danger.

Cette étude montre qu'en 1996, la contamination des œufs d'Aigrettes garzettes n'est pas inquiétante pour la survie de l'espèce mais n'est pas non plus négligeable surtout pour la colonie près des industries.

Avec l'activité humaine qui ne cesse d'augmenter au cours du temps, une menace pèse sur la conservation des hérons coloniaux de Camargue. Il est donc essentiel de poursuivre les études d'écotoxicologie.

Aussi opportunistes et adaptables qu'ils soient, l'avenir des hérons est plus que jamais étroitement associé à la protection de nos dernières zones humides.

Que ce soit pendant la période de reproduction ou en dehors, les Aigrettes sont devenues dépendantes des zones artificielles constituées, entre autres, par les rizières. L'espèce se porte bien mais il faut rester vigilant, car tout changement dans les pratiques agricoles et la gestion de certains marais pourrait avoir des conséquences désastreuses sur sa survie.

Dans l'avenir des solutions doivent être trouvées pour diminuer d'une part la contamination du Rhône par les activités industrielles et agricoles, et pour empêcher d'autre part la diffusion de cette pollution par les pratiques de la riziculture et de la chasse aux gibiers d'eaux notamment, dans les marais camarguais.

Des décisions devront ensuite se prendre pour préserver l'une des plus remarquables zone de terres humides de la Méditerranée.

CONCLUSION

La conservation des terres humides méditerranéennes et de leurs populations avicoles est devenue une priorité aujourd'hui avec le développement d'une activité humaine de plus en plus importante et polluante.

Les hydrocarbures chlorés s'accumulent fortement le long de la chaîne alimentaire .

Les oiseaux piscivores possèdent les plus fortes concentrations en hydrocarbures chlorés, d'une part parce qu'ils sont particulièrement sensibles aux organochlorés et PCBs (en effet, ils possèdent une faible activité enzymatique monooxygénase microsomale hépatique et ils peuvent donc présenter de la difficulté à détoxifier les xénobiotiques), et d'autre part à cause du phénomène de bioaccumulation (ils sont en bout de chaîne alimentaire) .

C'est pourquoi les hérons sont d'excellents bioindicateurs de la qualité de leur environnement aquatique et qu'ils sont utilisés depuis de nombreuses années dans les études de toxicité.

En Camargue, l'Aigrette garzette *Egretta garzetta* est une espèce sentinelle pour informer de la pollution des zones humides variées qui l'entoure.

Sa reproduction est parfaitement suivie depuis 1967 et même si cette espèce se porte toujours bien, ses œufs n'en sont pas moins contaminés.

Cette étude montre qu'en 1996, la contamination des œufs d'Aigrette garzette n'est pas inquiétante pour la survie de l'espèce mais n'est pas non plus négligeable surtout pour la colonie près des industries.

Avec l'activité humaine qui ne cesse d'augmenter au cours du temps, une menace pèse sur la conservation des hérons coloniaux de Camargue. Il est donc essentiel de poursuivre les études d'écotoxicologie.

LE PROFESSEUR RESPONSABLE
de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Vu et permis d'imprimer

LYON, le

Le Président de l'Université
Président du Comité de Coordination
des Études Médicales. F. MAUGUIERE

VU : LE DIRECTEUR
de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon

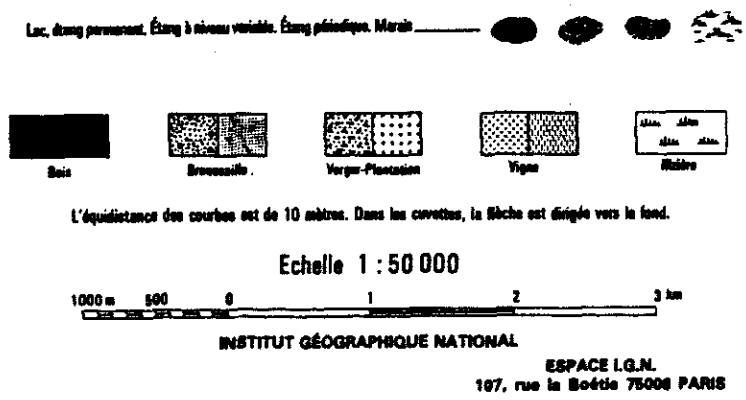
Le Directeur empêché
Le Directeur - Assesseur

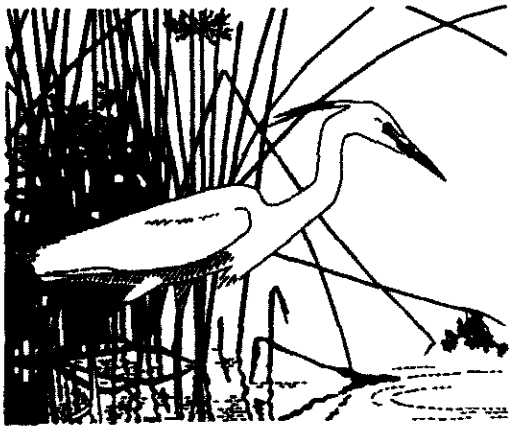
Professeur Guy CHANTEGRELET
PROFESSEUR J.-F. CHARY

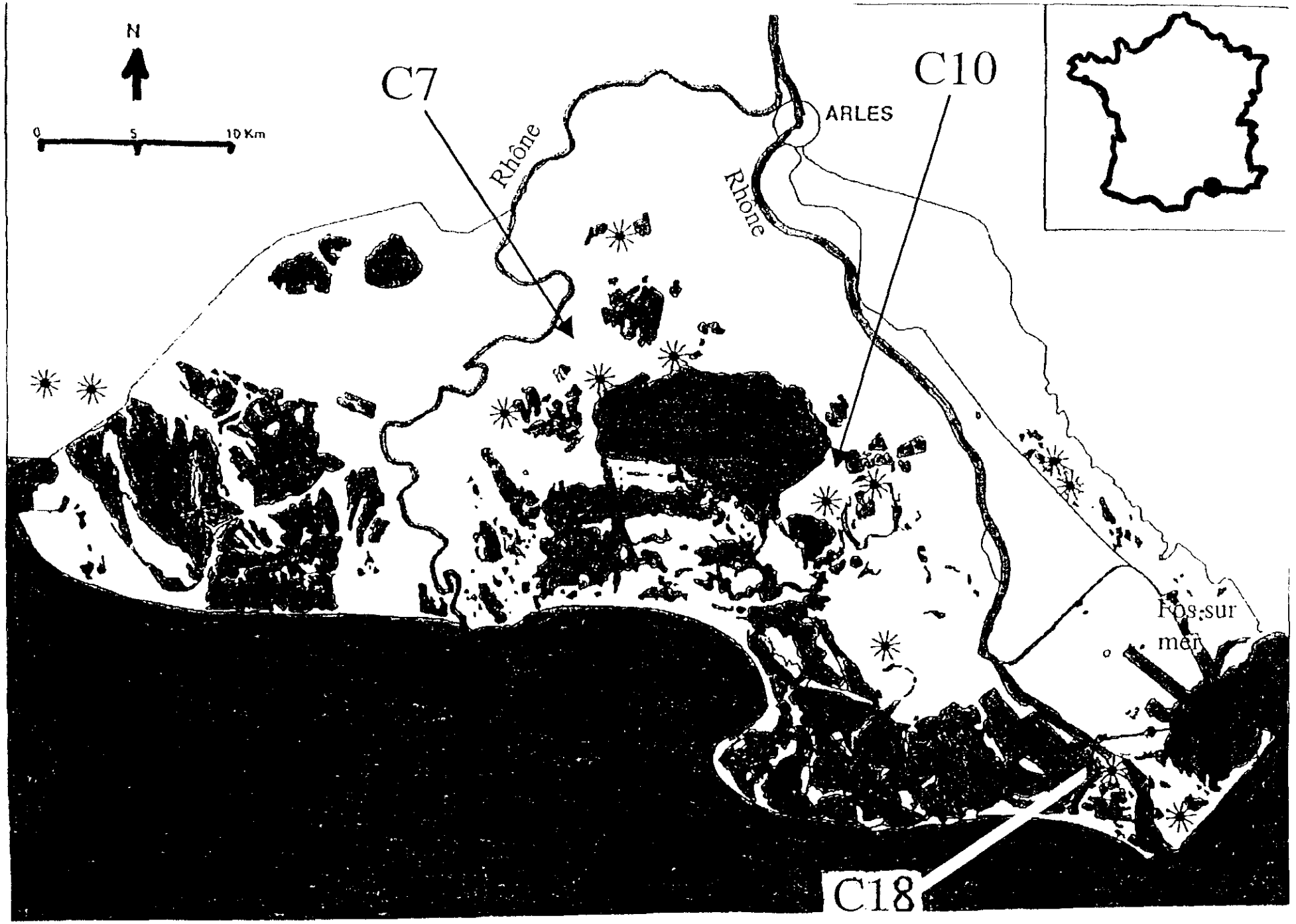
ANNEXE 1

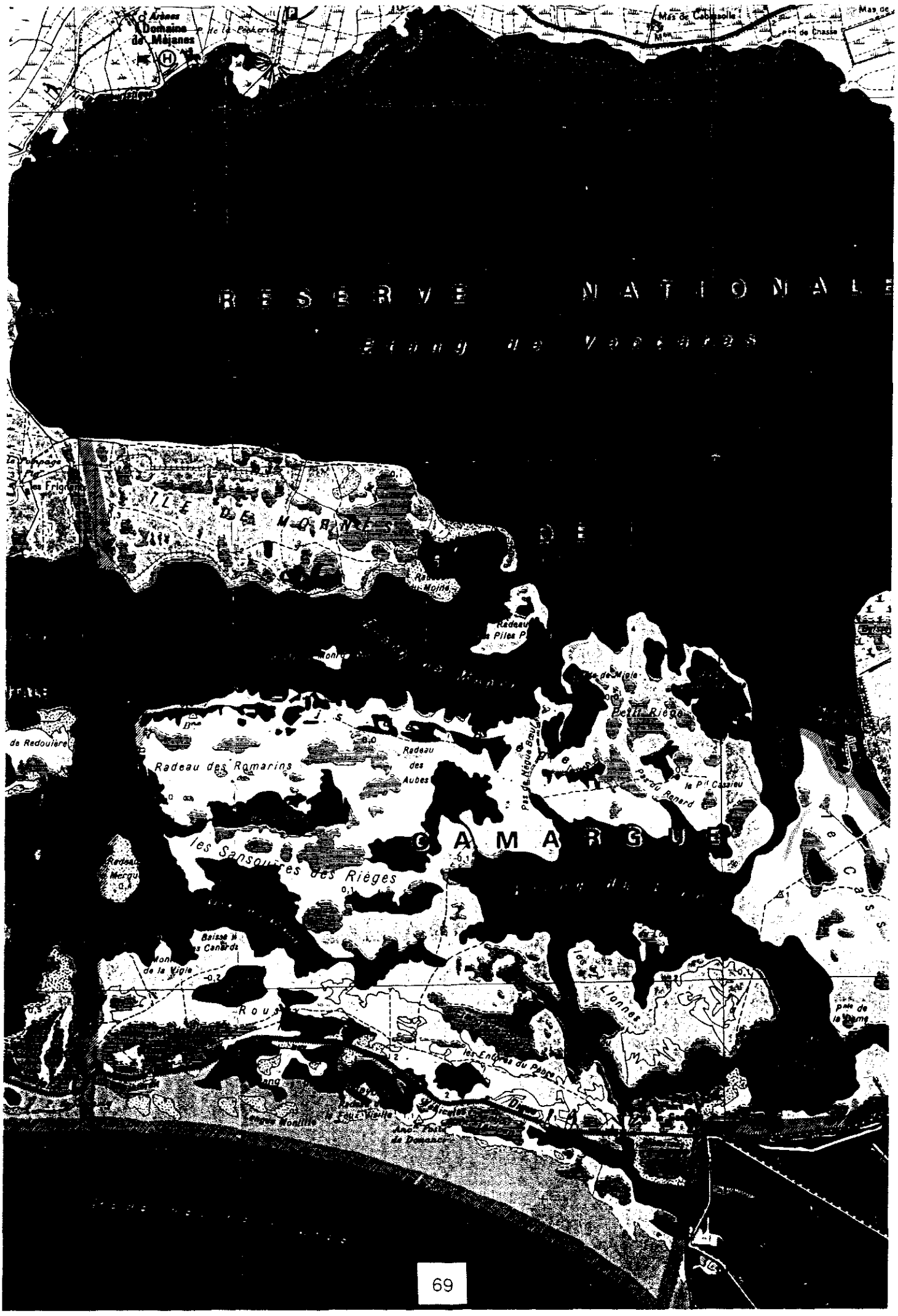
Situation géographique des trois colonies d'Aigrettes garzettes en Camargue

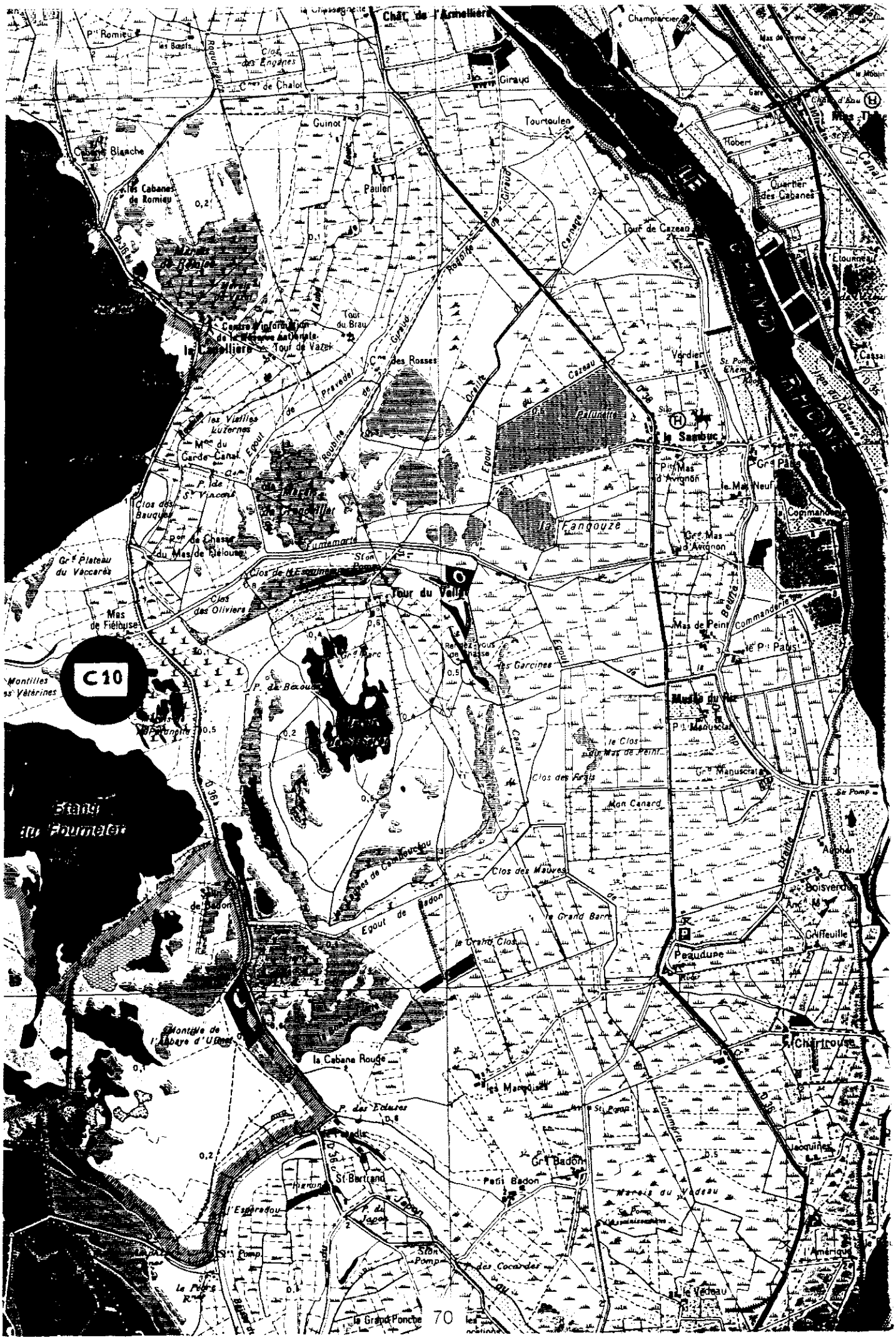
C7 = Carrelet
C10 = La tour du Valat
C18 = La Palissade

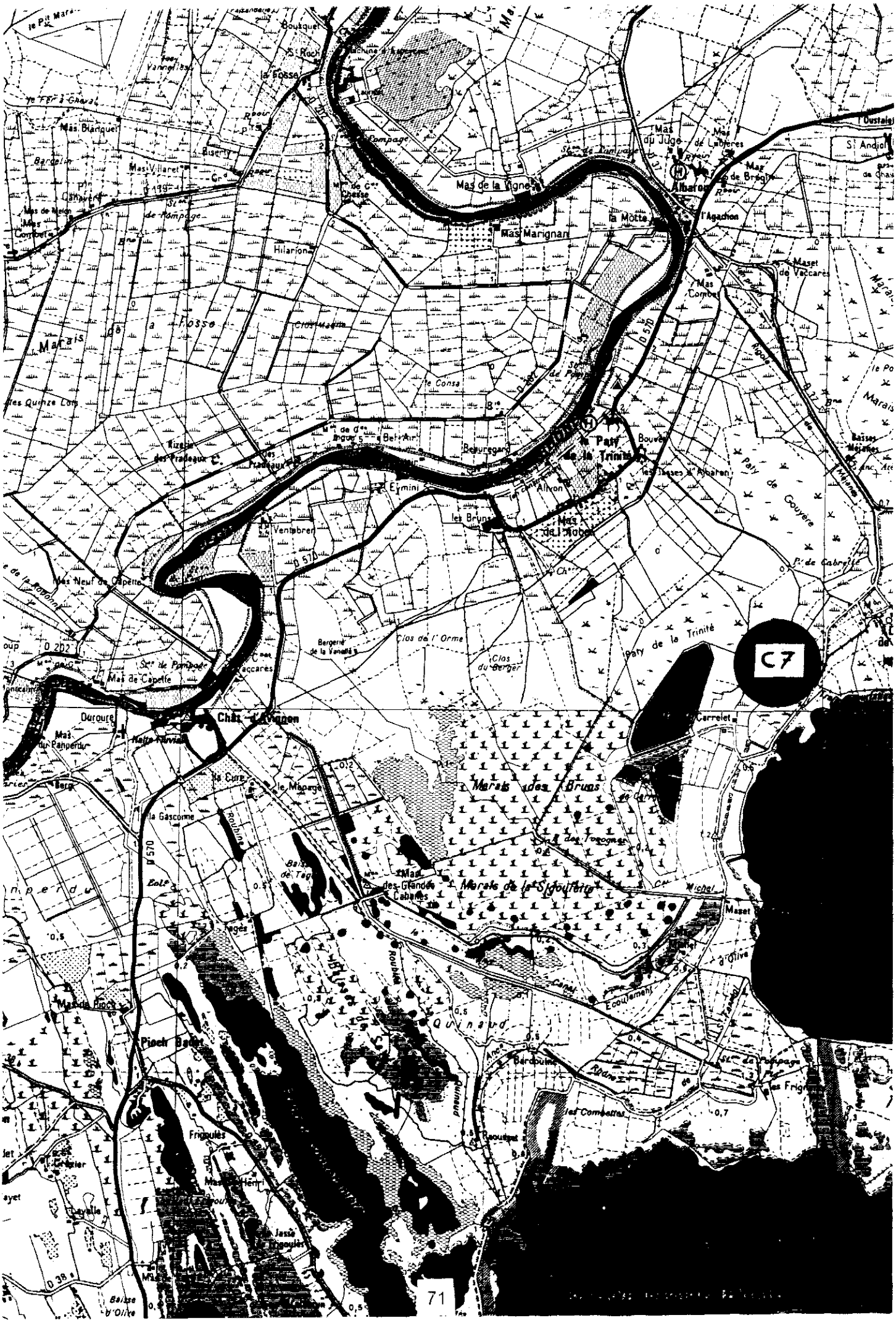


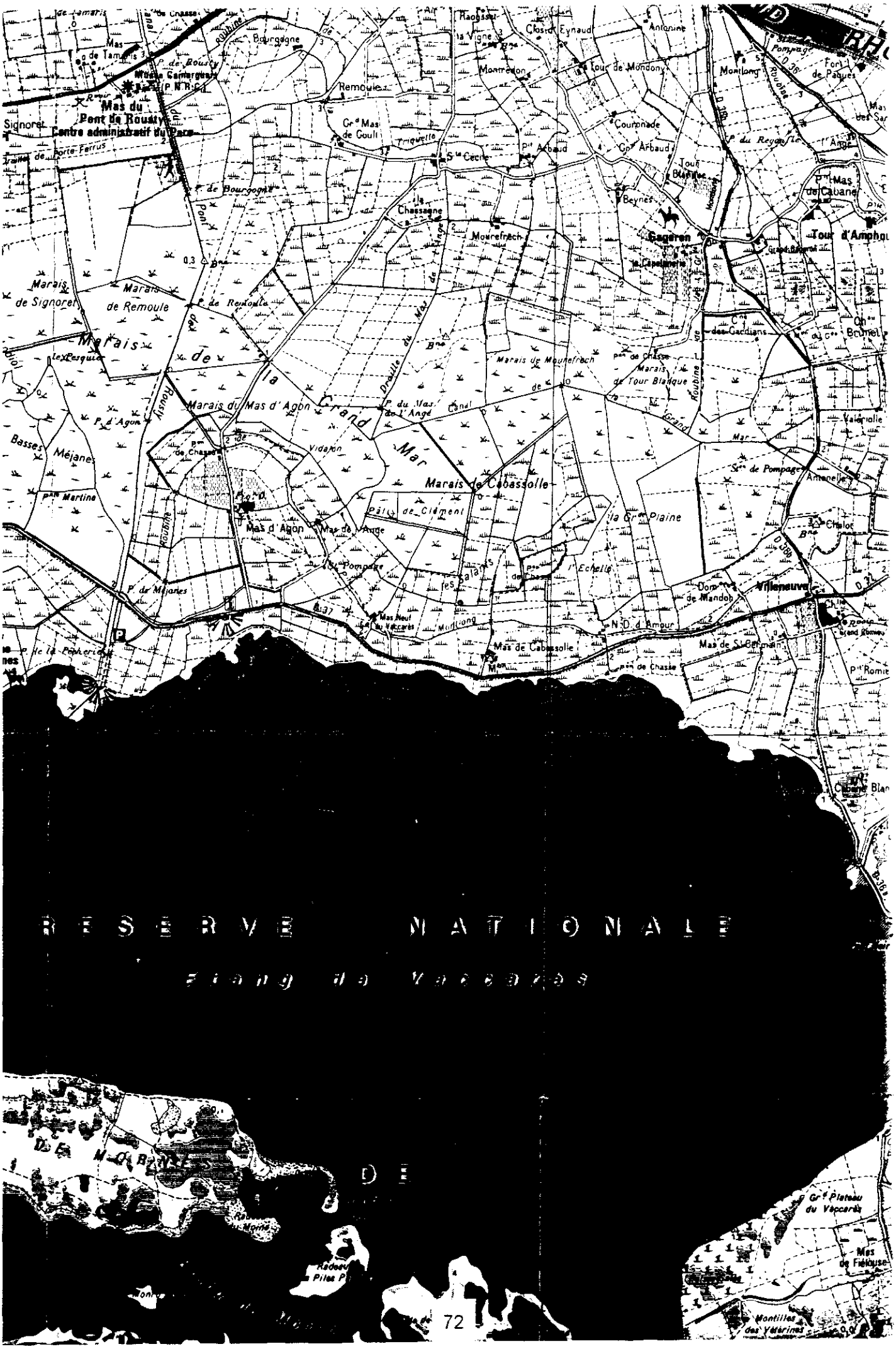


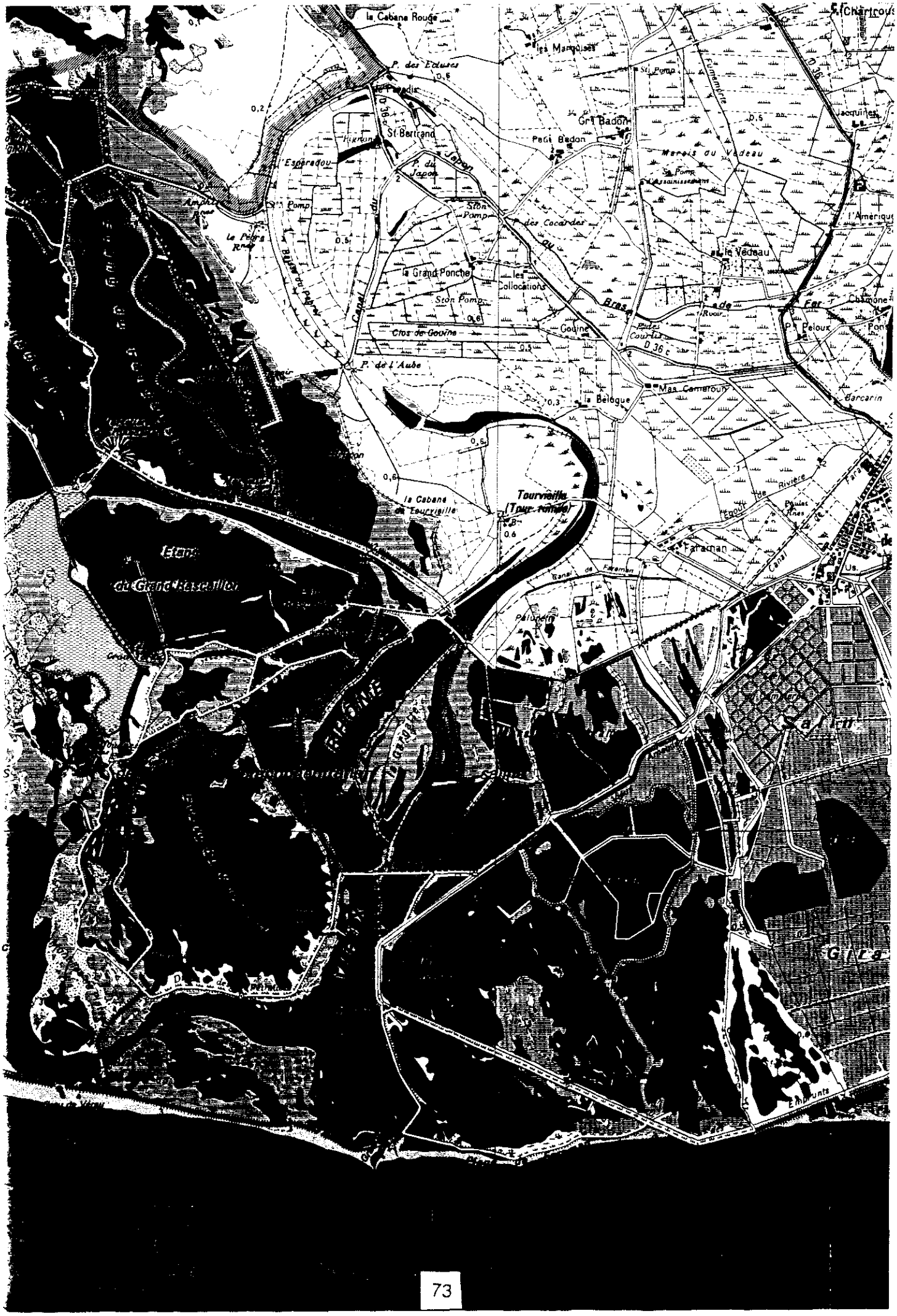

N
0
5
10 Km
C7
Rhône
Rhône
ARLES
C10
Fos-sur
mer
C18


Domaine de Majanes
Mas de Cabanelle
RESERVE NATIONALE
Radeau des Romarins
Radeau des Aubes
Petit Riège
CAMARGUE
les Sansouires des Rièges
Lionnes


C10
Chât. de l'Armellière
Giraud
Guinot
Tourtoulen
Paulen
Les Cabanes de Romieu
Tour de Cazeau
Tour du Brau
Tour de Vazek
Les Rosses
Les Vieilles Luzernes
Mas du Garde Canal
Clos des Bauques
Gr. Plateau du Vaccarès
Mas de Fiélouse
Clos des Oliviers
Tour du Valat
Les Garcines
Mas de Peint
Le Sambuc
Le Mas Neuf
Le Tangouze
Clos des Mauves
Mon Canard
Le Grand Barre
Le Grand Clos
Peaudune
Boisverde
Griffeuille
Aphian
Chartrouse
Jacquines
Gr. Badon
Petit Badon
Les Marquises
Les Cabane Rouge
St Bertrand
Le Grand Ponche
Le Vedeau
Etang du Fournelet
Canal
Rhône
Cumemarte
Egout de Badon
Egout de Pravedal
Roubine
Carnage
Cazeau
Belme
Dorette
Aube
Jarron
Cocardes
Pompe
Stn Pompe
Gare
Hôtel
Mas de Peint
Commanderie
Le Pt Pabst
Gr. Manusciat
Le Clos du Mas de Peint
Clos des Vieux
Clos de l'Esquinade
Clos des Mauves
Les Cocardes
Le Pt Pabst
Gr. Mas d'Avignon
Le Mas Neuf
Gr. Pâtes
Vardier
Pelundre
Tour du Valat
Rendez-vous de chasse
Gr. Parc
P. de Beaudu
Montilles des Vétérines
Ancienne Abbaye d'Ulmet
Mas de Romieu
Les Bouts
Clos des Engranes
Chemin de Chalot
Roquefraud
Blanche
Champiancier
Mas de Lyme
Quartier des Cabanes
Hobert
Etournel
Cassa
Jonc du Caseau
Gr. Plateau du Vaccarès
Mas de Fiélouse
Montilles des Vétérines
Stn Pomp
Pompe
Gr. Pâtes
Gare
Hôtel
Stn Pomp
Pompe
Stn Pomp
Pompe
Stn Pomp
Pompe


C7
Mas Blanquet
Mas de la Vigne
Mas Marignan
la Motte
Albaron
l'Agachon
Mas du Juge
Mas de Labreres
Mas de Brégot
Mas Combes
Maset de Vaccares
Hilarion
Clos Maette
le Consa
Beauregard
Bel-Air
Eymini
Allivon
les Brunes
Mas de l'Aubes
Ventabren
Mas Neuf de Capette
Bergerie de la Vanelle
Clos de l'Orme
Clos du Berger
Mas de Capette
Durcure
Mas du Panpendur
Chez l'Avignon
la Cure
le Mourge
la Gasconne
Marais des Bruns
Marais de la Sigoulette
Mas des Glandes
Cabanes
Mas de Pioch
Pioch Badet
Frignoules
Quinaud
Bardouine
les Combettes
Carrelet
Maset
Basses Méjanes
Pays de Gouvere
Pays de la Trinité
Marais
Rizière des Tradeaux
Mas de Tradeaux
Mas de Meign
Mas Combelle
Mas Villaret
Bardelin
Cabanet
Bouquet
S. Roch
la Fosse
Mas de Cheese
Mas de Pampage
Mas de Pampage
Mas de Pampage


Mas du Pont de Rousty
Centre administratif du Parc
Signoret
Marais de Signoret
Marais de Remoule
Marais de la Grand Mar
Marais du Mas d'Agon
Marais de Cebassolle
Marais de Mourefrach
Marais de Tour Blanque
Mas d'Agon
Mas de Cebassolle
Gagéron
Villeneuve
Tour d'Amphou
Mas de Cabane
Mas de Remoule
Mas de Tamaris
Mas de Gouli
Mas de Vaccarès
Mas de Fiélouse
Gr^d Plateau du Vaccarès
Montilles des Ymérines
Radeau
Pilles
RESERVE NATIONALE
Etang de Vaccarès
DE


la Cabane Rouge
les Marquises
P. des Ecluses
St Bertrand
Grt Badon
Petit Badon
Marais du Vedeau
Jacquines
l'Espéradou
P. du Japon
Stn Pomp
la Grand Ponche
les Collocations
le Vedeau
l'Amérique
Clos de Gouine
Gouine
P. de l'Aube
Mas Camerouin
la Belogue
Barcarin
Tourneille (Tour ronde)
la Cabane de Tourneille
Etang du Grand Rosellion
Farahan
Canal de Faremin
Pelouden
Rivière
Canal
Chartrous

Laget
Gré Passon Mas
Laget Mas
Hôpital
Grand Passon
Marais du Barbaux
Canal du Rhône
Antonelle Mas
Campane Mas
la Campane
Gré Peloux
le Gré Peloux
l'Eyssélle
Bois François
les Enfores
Mas Vanel
Tapis roulant
Salle de l'Esquimau
Sauvages
Canal du Rhône
Bois François Mas
le Malebarge
ZONE INDUSTRIELLE
BOURG
les Enfores
Chât. d'Eau
Gare aux Marchandises
10.4 CT
PORT-ST-LOUIS DU-RHÔNE
Carrefour Garrouyas
Chât. d'Eau
Canal St-Louis
Faubourg Foch
Zone Industrielle du Mazet
Sciences
Mole Graveleau
Usines Chimiques
Acierie
Poste Électr.
FOS-SUR-MER
PORT DE
de Port-Louis : 34 km
Mas de Roustan
Étang de Roustan
PLAGE DES ARLES OU DE PIEMANSON
C18

ANNEXE 2

		DDE en ng/g		
		CARRELET	FIELOUSE	PALISSADE
ŒUF	1	48,0		
ŒUF	2	45,8		
ŒUF	3	76,4		
ŒUF	4	240,6		
ŒUF	5			99,9
ŒUF	6			448,0
ŒUF	7	176,1		
ŒUF	8	619,4		
ŒUF	9	61,3		
ŒUF	10	1 797,4		
ŒUF	11	115,4		
ŒUF	12	62,6		
ŒUF	13		52,8	
ŒUF	14		12,8	
ŒUF	15			22,8
ŒUF	16		59,9	
ŒUF	17			70,2
ŒUF	18		80,3	
ŒUF	19		101,0	
ŒUF	20			2 020,2
ŒUF	21		25,6	
ŒUF	22			1 344,3
ŒUF	23		117,0	
ŒUF	24			860,7
ŒUF	25		13,4	
ŒUF	26		55,8	
ŒUF	27			51,1
ŒUF	28		69,1	
ŒUF	29		328,4	
ŒUF	30		98,4	
ŒUF	31		43,7	
ŒUF	32			120,2
ŒUF	33		27,9	
ŒUF	34		33,4	
ŒUF	35		37,2	
ŒUF	36			13,6
ŒUF	37		20,3	

Moyenne totale DDE pour 37 oeufs = 86

		Epaisseur de la coquille en mm	DDE en ng/g	Indice d'épaisseur	Poids en g	Longueur en cm	Largeur en cm
ŒUF	1	0,29	48,00	1,20	1,6794	4,45	3,15
ŒUF	2	0,33	45,80	1,15	2,0935	4,65	3,90
ŒUF	3	0,33	76,40	1,20	1,5788	4,40	3,00
ŒUF	4	0,29	240,60	1,11	1,6260	4,45	3,30
ŒUF	5	0,31	99,90	1,33	1,9644	4,35	3,40
ŒUF	6	0,29	448,00	1,12	1,3636	4,05	3,00
ŒUF	7	0,31	176,10	1,30	1,9660	4,45	3,40
ŒUF	8	0,31	619,40	1,25	1,8926	4,45	3,40
ŒUF	9	0,35	61,30	1,38	2,2152	4,80	3,35
ŒUF	10	0,27	1 797,40	1,04	1,4540	4,35	3,20
ŒUF	11	0,33	115,40	1,32	1,9291	4,35	3,35
ŒUF	12	0,33	62,60	1,30	1,9988	4,60	3,35
ŒUF	13	0,31	52,80	1,30	2,0293	4,60	3,40
ŒUF	14	0,34	12,80	1,27	1,6387	4,10	3,15
ŒUF	15	0,31	22,80	1,18	1,7545	4,50	3,30
ŒUF	16	0,32	59,90	1,28	1,9625	4,50	3,40
ŒUF	17	0,37	70,20	1,25	1,9143	4,50	3,40
ŒUF	18	0,29	80,30	1,17	1,7104	4,70	3,10
ŒUF	19	0,33	101,00	1,23	1,9579	4,70	3,40
ŒUF	20	0,30	2 020,20	1,17	1,8580	4,60	3,45
ŒUF	21	0,25	25,60	1,03	1,4965	4,40	3,30
ŒUF	22	0,28	1 344,30	1,11	1,5268	4,30	3,20
ŒUF	23	0,31	117,00	1,23	1,7944	4,50	3,25
ŒUF	24	0,29	860,70	1,21	1,7045	4,40	3,20
ŒUF	25	0,32	13,40	1,17	1,5885	4,30	3,15
ŒUF	26	0,34	55,80	1,22	1,8468	4,80	3,15
ŒUF	27	0,32	51,10	1,31	1,8171	4,40	3,15
ŒUF	28	0,28	69,10	1,21	1,7175	4,30	3,30
ŒUF	29	0,30	328,40	1,39	2,0787	4,60	3,25
ŒUF	30	0,31	98,40	1,17	1,7930	4,50	3,40
ŒUF	31	0,34	43,70	1,24	1,8184	4,50	3,25
ŒUF	32	0,30	120,70	1,11	1,6150	4,70	3,10
ŒUF	33	0,30	27,90	1,14	1,8902	4,60	3,60
ŒUF	34	0,33	33,40	1,33	1,9385	4,50	3,25
ŒUF	35	0,33	37,20	1,32	2,1826	5,00	3,30
ŒUF	36	0,27	13,60	1,07	1,7148	4,70	3,40
ŒUF	37	0,33	20,30	1,34	1,9687	4,60	3,20

ANNEXE 2

Concentrations exprimées en ng/g x 10^{-3} = ppm = mg/kilo

		LINDANE en ng/g		
		CARRELET	FIELOUSE	PALISSADE
ŒUF	1	14,6		
ŒUF	2	259,7		
ŒUF	3	14,0		
ŒUF	4	29,0		
ŒUF	5			27,4
ŒUF	6			19,8
ŒUF	7	22,6		
ŒUF	8	154,8		
ŒUF	9	62,6		
ŒUF	10	284,9		
ŒUF	11	424,9		
ŒUF	12	128,9		
ŒUF	13		15,2	
ŒUF	14		16,2	
ŒUF	15			15,5
ŒUF	16		16,2	
ŒUF	17			13,8
ŒUF	18		13,8	
ŒUF	19		13,9	
ŒUF	20			88,9
ŒUF	21		73,2	
ŒUF	22			15,5
ŒUF	23		11,0	
ŒUF	24			680,7
ŒUF	25		39,9	
ŒUF	26		49,2	
ŒUF	27			11,6
ŒUF	28		7,9	
ŒUF	29		23,9	
ŒUF	30		129,8	
ŒUF	31		112,1	
ŒUF	32			16,9
ŒUF	33		11,8	
ŒUF	34		10,5	
ŒUF	35		11,7	
ŒUF	36			70,8
ŒUF	37		358,0	

Moyenne pour 37 œufs = 37

		PCBs en ng/g		
		CARRELET	FIELOUSE	PALISSADE
ŒUF	1	1 603,2		
ŒUF	2	1 556,8		
ŒUF	3	1 389,8		
ŒUF	4	1 319,6		
ŒUF	5			4 101,9
ŒUF	6			4 932,2
ŒUF	7	2 843,2		
ŒUF	8	3 405,9		
ŒUF	9	1 762,8		
ŒUF	10	1 710,9		
ŒUF	11	1 254,5		
ŒUF	12	1 266,5		
ŒUF	13		1 924,7	
ŒUF	14		596,3	
ŒUF	15			2 278,2
ŒUF	16		1 105,2	
ŒUF	17			885,7
ŒUF	18		768,6	
ŒUF	19		1 983,7	
ŒUF	20			2 658,4
ŒUF	21		1 282,2	
ŒUF	22			12 094,8
ŒUF	23		139,7	
ŒUF	24			9 310,1
ŒUF	25		910,3	
ŒUF	26		3 251,2	
ŒUF	27			5 270,2
ŒUF	28		1 766,8	
ŒUF	29		2 731,3	
ŒUF	30		986,6	
ŒUF	31		1 327,1	
ŒUF	32			9 449,9
ŒUF	33		2 077,0	
ŒUF	34		1 205,8	
ŒUF	35		1 807,3	
ŒUF	36			1 177,4
ŒUF	37		878,4	

Moyenne pour 37 œufs = 1816

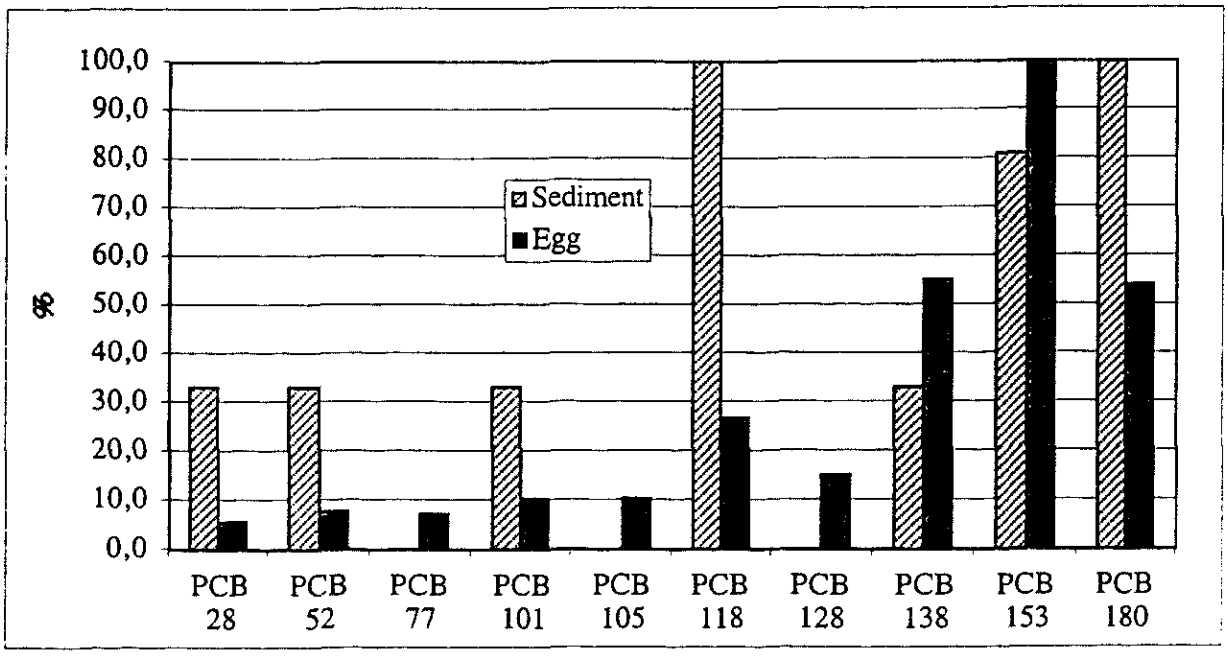
ANNEXE 3

		28%	52%	77%	101%	105%	118%	128%	138%	153ppb	180%
ŒUF	1	2,6			2,1	10,4	33,1	11,6	68,6	213,7	44,5
ŒUF	2	4,0	5,2		10,0	8,9	33,1	12,1	69,3	195,4	47,8
ŒUF	3					7,5	27,9	9,8	67,0	158,8	56,6
ŒUF	4	2,2	3,9		3,3	12,0	27,4	9,8	63,7	171,2	52,2
ŒUF	5	1,0	1,0		3,0	6,0	22,9	9,6	69,3	499,1	50,2
ŒUF	6	1,0			0,6	3,9	16,3	8,9	63,6	542,4	83,3
ŒUF	7	1,7	2,9		17,6	5,9	24,2	10,6	82,7	272,3	56,6
ŒUF	8				0,6	8,4	27,8	12,7	76,0	402,9	61,6
ŒUF	9		2,9		12,9	12,2	36,2	14,5	63,3	213,4	48,3
ŒUF	10					5,2	22,1	8,2	53,6	217,1	64,5
ŒUF	11				2,9	5,8	29,0	10,4	66,2	161,5	56,6
ŒUF	12			2,9		3,9	20,9	7,7	43,0	164,0	75,5
ŒUF	13			3,2	2,0	6,2	24,8	11,5	69,5	255,0	50,3
ŒUF	14					6,7	26,3	9,0	55,2	89,7	52,5
ŒUF	15	2,0		2,6	0,9	5,1	21,6	9,8	62,8	310,4	53,5
ŒUF	16					2,5	18,0	6,6	36,1	158,1	64,5
ŒUF	17					5,5	23,3	9,7	60,7	106,2	63,8
ŒUF	18			4,6		5,2	24,7	8,9	55,6	107,3	51,3
ŒUF	19	2,7		1,9	3,3	5,9	28,3	7,3	38,9	312,4	56,1
ŒUF	20	1,6		3,9	2,0	7,5	27,1	11,6	69,5	359,5	47,0
ŒUF	21			4,2	2,2	14,2	44,0	11,7	63,8	156,6	61,2
ŒUF	22			0,6	0,2	2,1	10,7	7,3	66,7	1 352,8	87,5
ŒUF	23						24,2	11,1	79,5	19,0	44,2
ŒUF	24	0,7	3,4	2,9	18,9	4,7	23,3	9,3	71,8	1 004,8	43,4
ŒUF	25					2,8	17,1		48,7	119,5	67,1
ŒUF	26			9,3	4,3	2,0	17,8	9,2	63,1	407,3	53,8
ŒUF	27			1,5	0,5	2,9	15,9	10,0	70,5	634,2	69,7
ŒUF	28			2,0		6,8	25,0	11,2	63,2	227,2	59,0
ŒUF	29				5,2	8,3	26,2	11,0	65,5	381,8	57,5
ŒUF	30			1,85	6,4	9,4	29,6	13,1	71,6	118,7	55,2
ŒUF	31			6,2	3,9	4,5	23,1	9,7	61,6	184,2	45,8
ŒUF	32	0,2	0,2	5,7	3,1	3,1	12,7	8,4	69,9	1 134,6	69,6
ŒUF	33	1,2		2,8	1,8	5,5	24,6	8,4	50,7	321,9	57,7
ŒUF	34			2,7	0,7	6,1	29,1	10,2	62,6	181,5	40,3
ŒUF	35			2,2	0,4	6,6	25,8	10,8	63,1	254,2	46,7
ŒUF	36			3,5	0,9	12,0	43,6	20,6	51,8	150,4	68,3
ŒUF	37			3,7	0,8	5,3	22,5	8,0	60,2	124,0	45,5

Profil des différents congénères PCBs, seul le 153 est en ng/g (ppb), tous les autres sont exprimés en pourcentage du 153 qui est le PCB majoritaire dans tous les œufs.

ANNEXE 4

Profil des concentrations des différents congénères PCBs exprimées en pourcentage du 153 (congénère prédominant) dans les 37 œufs et dans les sédiments du delta du Rhône en 96.



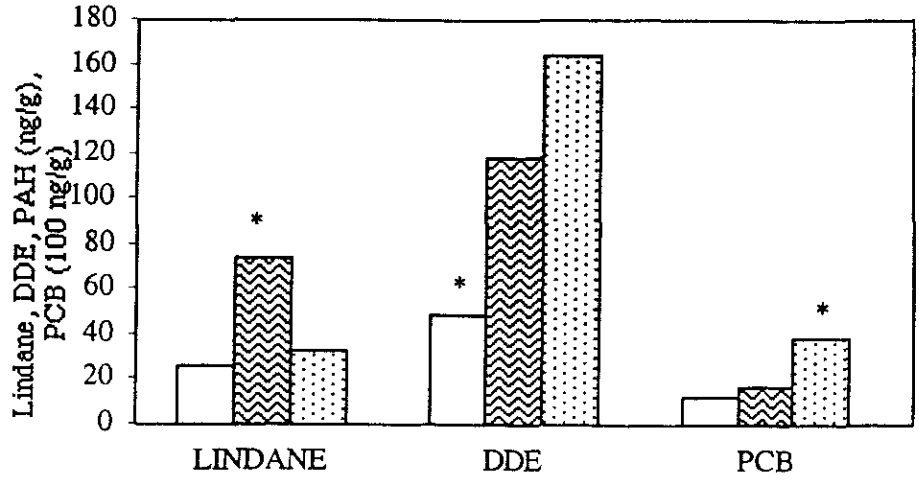
ANNEXE 5

Moyennes géométriques et valeurs extrêmes (en µg/g de poids humide) des concentrations en contaminants trouvées dans les œufs d'Aigrettes garzettes en fonction de l'âge des œufs.
Age 1 = œufs fraîchement pondus.
Age 2 = âge intermédiaire
Age 3 = œufs proches de l'éclosion.

Age	Nombre d'œufs	Lindane	DDE	PCBs
1	8	0,055 (0,012 - 0,681)	0,111 (0,013 - 1,344)	3,386 (0,910 - 12,095)
2	10	0,036 (0,011 - 0,425)	0,114 (0,013 - 2,020)	1,242 (0,140 - 4,102)
3	19	0,032 (0,008 - 0,358)	0,067 (0,014 - 0,619)	1,708 (0,769 - 9,450)

ANNEXE 6

Moyennes géométriques des concentrations des différents congénères dans les œufs en fonction des trois endroits de prélèvement des œufs.



	TOUR DU VALAT	CARRELET	PALISSADE
Surfaces couvertes de rizières situées autour des colonies.	392 ha	1707 ha	0 ha

ANNEXE 7

Contaminant /Espèces/ Références	Auteurs / Années d'étude / Références	DDE	PCBs	Dieldrine	Lindane	Autres	remarques
Héron bihoreau ou Bihoreau gris Nycticorax nycticorax	Delta du Danube, 84 (Fossi)	**1,1**	**0,38**		**0,08**		analyse sur 13 oeufs; conversion en poids humide des résultats de l'étude
	Italie, 77-85 (Fasola)	**0,82**		**0,02** (0,01-0,06)	O		
	Golfe de venise, 80 (Renzoni)	Total DDT 7,6 (poids sec)	7,9 (poids sec)				8 oeufs analysés
	Israël (plaine côtière), 75-78 (Perry)	**1,62** (0,1- 5,2)	**0,77** (0,12-2,84)				32 oeufs analysés, pour le DDE et 10 pour les PCBs, prélevés dans 12 nids, pratique d'une agriculture intensive
	Washington, Orégon, Névada, 78-80 (Henny)	**7 à 27**	**2 à 19**	**0 à 13**	**0 à 11**		232 oeufs analysés dans 8 localités de 3 états, écarts de moyenne d'un lieu à l'autre
	Oregon, Nevada, 79-83 (Henny)	(79) **4,7 à 8,21** max 130 (83) **2,03 à 2,79** max 28	(79) **6 à 19** (83) **1 à 8**	(79) **6 à 7** (83) **0 à 2**		chlordanes (79) **7 à 11** (83) **0 à 1**	En 79: analyses de 47 œufs et en 83: analyses de 60 oeufs
	Idaho, 79 (Findholt)	**2,2 à 3,5** max 24 (38 oeufs)	**0,31 à 0,41** max 1,6 (7 oeufs)	**0,06** max 0,41 (5 oeufs)		HE **0,07** (0-0,34(7 oeufs) HCB 0,05 (1 oeuf) OC **0,09** (0-1) (9 oeufs)	38 oeufs analysés dans 3 régions, écarts de moyenne géométriques, le seuil de 5 ppm est retenu pour entrainer un amincissement des coquilles
	Grands Lacs, 72-73 (Gilbertson)		Lac Ontario **304** (3 oeufs) Lac Erié **144** (5 oeufs)				Les Lacs Ontario et Erié ont toujours eu de fortes [PCB] retrouvées chez toutes les espèces piscivores. Colonies où sur 39 poussins observés, un poussin vivant avec un bec croisé est trouvé
	Lac Ontario, 72-76 (Price)	**4,5 à 12,4**	**9,8 à 63**				amincissement coquille de 14 à 17%, diminution du taux d'éclosion et des poussins à l'envol (<1) par nid
	Wisconsin (Green Bay), 78-80 (Heinz)	**4 à 5,4**	**15 à 24**				grande fréquence d'embryons anormaux
	Estuaire St Laurent, 75-76 (Tremblay)	**2,2**	**13,6**				Pas d'effet notable sur la reproduction
	Californie (baie de San Francisco), 82 (Ohlendorf)	début **2.92** (0,88-15) fin **2,77** (0,59 - 15)	début **1,85** (0,48-8) fin **4,84** (1,14-18)	7 oeufs (0 - 0,66)		chlordanes < 0,4	observation sur les Grands Hérons Bleus d'une diminution de nidification et des poussins anormaux .Analyse sur 24 oeufs, 1/2 début 1/2 fin de nidification
	Nouvelle Angleterre, 79 (Custer)	2,54 (1ère ponte) 1,64 (dernière ponte)	8,44 (1ère ponte) 5,45 (dernière ponte)				69 oeufs analysés dans 3 colonies, à partir de 4 ppm de DDE diminution des éclosions
	Caroline du nord, 79 (Custer)	0,86 (1ère ponte) 0,68 (dernière ponte)	2,65 (1ère ponte) 0,55 (dernière ponte)				36 oeufs analysés dans 2 colonies
	Vallée du Tennessee, 80-81 (Fleming)	**0,82 à 2,8** (0,21-17)	**5,6 à 19** (1,5-100)	**< 0,12** (0-3,6)		chlordanes (0-0,42) (HE, mirex, HCB) < 0,1	analyses sur 31 oeufs, dans 3 sites différents, écarts de moyennes géomériques
	Sud Californie (Salton Sea), 85 (Ohlendorf)	**8,6**					53 oeufs analysés, moyenne géométrique

ANNEXE 7

Contaminants/ Espèces/ Références	Auteurs / Années d'étude / Références	DDE	PCBs	Dieldrine	Lindane	Autres	remarques
Grand héron bleu *Ardea herodias*	Québec, 79 (Laporte)	1,44 à 15,04 moy 2,42 max 45,04	2,14 à 26,18 moy 7,88 max 172	0,14 max 14,17		HE 0,03 max 0,32, OC 0,04 max 1,66, HCB 0,024	écart des moyennes géométriques analyses de 47 oeufs dans 12 héronnières sud du Québec, dont 5 le long de l'estuaire St Laurent, diminution de l'épaisseur des coquilles de 5,3% entre 1947 et 1979
	Idaho, Nevada, Oregon,Washington, 77-82 (Fitzner)	0,44 à 4,71 max 26,2	0,36 à 3,35 max 13,2	(ND-1,16) (8 oeufs)		HE (ND-0,46) OC (ND- 0,57)	60 oeufs analysés, dans 3 régions et dans 7 colonies
	Washington Ouest (Puget Sound), 84 (Speich)	Total DDT moy 0,35 à 2,22 (0,09- 6,3)	1,39 à 15,58 (0,81-36,62)				écart des moyennes géométriques, amincissement coquille 5 à 13 %, prélèvements de 26 oeufs sur 6 lieux
	Vallée du Tennessee, 80-81 (Fleming)	2,8 à 5,2 (0,45-40)	4,6 à 9,2 (0,46- 270)	0,12 à 0,22 (0-0,66)		chlordanes < 0,2 (HCB,HE,et Mirex) < 0,1	amincissement coquille pas dangeureuse, écart de moyenne géométrique entre les 4 lieux de collecte des 40 oeufs, valeurs extrêmes entre parenthèses
Héron gardeboeufs *Bubulcus ibis*	Egypte (El Faiyum), 86 (Mullié)	3,22 max 5,89	0,61 max 1,59 (poids sec)			HCH 0,13, HCB 0,03 (poids sec)	7 oeufs analysés
	Valle du Rift (Kenya), 70-72 (Lincer)	0,22 (poids sec)					analyse sur 11 oeufs , Lac Naivasha
	Espagne (Delta de l'Ebre), 79 (Ruiz)	1,93 max 3,6					10 oeufs analysés, colonie problème oeufs brisés
	Espagne (Delta de l'Ebre), 88-89 (Ruiz)	2,6 (0,3-4,2)	3,3 (0,4- 5,5)				14 oeufs analysés
	Israël (plaine côtière), 75-78 (Perry)	0,62 (0,31-1,3)					36 oeufs analysés prélevés dans 11 nids, pas de problème reproduction, pratique d'une agriculture intensive
	Est des USA (côte Atlantique), 72 73 (Ohlendorf)	4,3 max 18					95 oeufs analysés dans 15 localités
	USA, 78 (Hafner)	0,31 max 0,38					2 oeufs analysés
	Golfe de Californie (Vallée de Mexicali), 87-88 (Mora)	En 87, sur 40 oeufs, 3,22 (2,3-4,5) En 88, sur 10 oeufs, 3,49 (2,1-5,7)	En 87, sur 31 oeufs, Aroclor 1260 0,348 (0,244-0,495)	En 87, sur 38 oeufs, 0,034 (0,023-0,048) En 88, sur 10 oeufs, 0,043 (0,031-0,061)	En 87, 37 oeufs, 0,014 (0,012-0,017) En 88, 4 oeufs, 0,016 (0,009-0,031)	HCB 0,015 max 0,032 (32 oeufs) OC 0,01 (21 oeufs) HE 0,01 (17 oeufs) endosulfan 0,019 max 0,034 (38 oeufs)	Succès reproducteur peu affecté, amincissement de 9,3% des coquilles entre 1953 et 1988
	Sud Californie (Salton Sea), 74 (Platter)	1.7 +/- 0,3					

ANNEXE 7

Contaminants/Espèces/ Références	Auteurs / Années d'étude / Références	DDE	PCBs	Dieldrine	Lindane	Autres	remarques
Héron cendré *Ardea cinerea*	Delta du Danube, 84 (Fossi)	1,4	0,43			HCH 0,14, HCB 0,04	analyse sur 3 oeufs, conversion valeur sèche en divisant la valeur par 4,71 pour obtenir valeur humide
	Lincolnshire, 67 (Milstein)	4		4,4	0,92 DDT		un jeune embryon mort dans cet oeuf, deux comportements anormaux des parents : 1 poussin vidé du nid et 1 mâle qui détruit les 21 oeufs pondus par sa femelle
	Troy, 68 (Prestt)	5,45 (0,7-17)	5,75 (1-80)	2,2 (0,3-6)			analyse sur 20 oeufs, de 20 nids, épaisseur coquille subnormale, beaucoup d'oeufs cassés, reproduction semble pas affectée
Héron pourpré *Ardea purpurea*	Valle du Rift (Kenya), 70-72 (Lincer)	0,95 (poids sec)					
	Espagne (Delta de l'Ebre), 88-89 (Ruiz)	1,3 (0,1-3)	3,2 (0,4-9,9)				
	Sud-Ouest Espagne, 72 (Baluja)	2,1					
Petit héron vert ou Héron strié *Butorides striatus*	Mississipi (YNWR), 84-85 (White)	7,4 (0,6-43)					59 oeufs analysés, succès reproducteur diminue à partir de 5,1-10 ppm de DDE, amincissement coquille de 11%
	Vallée du Tennessee, 80-81 (Fleming)	3,9 max 12	0,83 max 7,8	< 0,1		chlordanes < 0,1	analyses sur 8 oeufs, amincissement coquille de 7,6%
	Golfe du Mexique (USA), 72-73 (Ohlendorf)	0,42					
Petit héron bleu ou Aigrette bleue *Egretta caerulea*	Mississipi (YNWR), 84-85 (White)	1,1 (0,15-10)				12 oeufs DDT (0-0,82)	28 oeufs analysés
	Golfe du Mexique (USA), 72-73 (Ohlendorf)	0,34					
Crabier chevelu Ardeola ralloides	Golfe de Thermaikos(Grèce), 96(Albanis)	0,0009 (0-0,002)		0,00003	0,0006 (0-0,002)		Moyenne arithmétique
	Espagne (Delta de l'Ebre), 88-89 (Ruiz)	0,2 (0-0,5)	0,5 (0,2-1,1)				
Grande aigrette *Casmerodius albus*	Sud Californie (Salton sea), 85 (Ohlendorf)	24	0,5 max 1,1				
	Fleuve du Mississipi, 78 (Nosek)	1,8	13,3				coquille non amincie
Aigrette garzette *Egretta garzetta*	Camargue (Bouche du Rhône), 96 Etude présente	0,086 (0,013-2,02)	1,816 (0,14-12,09)	0	0,037 (0,008- 0,681)		
	Camargue (Bouche du Rhône), 78 (Heurteux)	0,385 (0-5,129)		0,065 (0-0,515)	0,004 (0-0,023)	HCB 0,006	Moyenne arithmétique, analyses de 5 oeufs de nids différents, moyenne d'épaisseur des coquilles est de 0,226 mm, la plus fine fait 0,158 mm.
	Golfe de venise, 80 (Ranzoni)	Total DDT 8,24 (poids sec)	8,13 (poids sec)				9 oeufs analysés
	Espagne (Delta de l'Ebre), 88-89 (Ruiz)	0,6 (0,2-5,3)	2,7 (1,1-31,1)				
	Delta de Göksu (Turquie), 97(Avas)	0,787 (0-1,789)		0,09 (0-0,270)	0,277 (0-0,385)		
	Israël (plaine côtière), 75-78 (Perry)	1,61 (0,17-6,26)	0,54 (0,11-0,98)				28 oeufs analysés pour le DDE et 8 pour les PCBs provenant de 10 nids, pratique d'une agriculture intensive
Aigrette neigeuse *Egretta thula*	Californie (Baie de San Francisco), 82 (Ohlendorf)	2,04 (0,88-7,1)	3,29 (0,8-13)	0,09 (0-0,34) 5 oeufs		chlordanes < 0,2	10 oeufs analysés
	Californie , 95 (Hothem)	3,01 (0,5-1,2)	5;38 (2,7-19)				
	Idaho, 79 (Findholt)	4,5 (0,42-33) 19 oeufs	0,16 (0-1,1) 4 oeufs	0,066 (0-0,85)		HE 0,04, OC 0,03, DDT 0,47	19 oeufs pas tous analysés pour tout, echec reproducteur des colonies
	Oregon, Nevada, 79-83 (Henny)	(81) 0,73 à 1,43 max 34 (83) 0,62 max 15		détectée			38 oeufs analysés en 1981 et 15 oeufs en 1983

BIBLIOGRAPHIE

ALBANIS T.A., HELA D., PAPAKOSTAS G., GOUTNER V. (1996). Concentration and bioaccumulation of organochlorine pesticide residues in herons and their prey in wetlands of Thermaikos Gulf, Macedonia, Greece. Scie. Tot. Environ. 182 : 11-19

AYAS Z., BARLAS N.E., KOLANKAYA D. (1997). Determination of organochlorine pesticide residues in various environments and organisms in Göksu delta, Turkey. Aquat. Toxicol., 39 : 171-181

BALUJA G., MURADO M., HERRANDEZ L. (1977). Organochlorine Pesticides and PCBs Distribution in Tissues of Purple Heron and Spoon Duck from the Biological Reserve of Donana (Spain). Bull. Environ. Contam. Toxicol., 17: 603-612

BARRON M.G., GALBRAITH H., BELTMAN D. (1995). Comparative reproductive and developmental toxicology of PCBs in birds. Comp. Biochem. Physiol. 112C: 1-14

BLUS L., GISH C., BELISLE A., PROUTY R. (1972). Logarithmic Relationship of DDE Residues to Eggshell Thinning. Nature, 235 : 376-377

BOUMPHREY R., HARRAD S., JONES K., OSBORN D. (1993). Polychlorinated Biphenyl Congener Patterns in Tissues from a Selection of British Birds. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 25 : 346-352

BUNCK C., SPANN J., PATTEE O., FLEMING J. (1985). Changes in Eggshell Thickness during Incubation : Implications for Evaluating the Impact of Organochlorine Contaminants on Productivity. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 35 : 173-182

BURGAT-SACAZE V., BENARD P., PETIT C., GUERRE P., DOSSIN O. (1993). Impact sublétal des polluants sur l'environnement : l'exemple du DDT. Revue Méd. Vét., 144, 6, 515-522

CEZILLY F., HAFNER H. (1995). Les oiseaux d'eau coloniaux du bassin méditerranéen écologie et conservation. Station Biologique de la Tour du Valat, Colonial Waterbird Society. 60p

CHEVREUIL M., GRANIER L. (1992). Les PCB : des polluants difficiles à éliminer. La Recherche, 242, avril 92, vol 23, 484-486

COOKE A. S., BELL A.A., PRESTT J. (1976). Eggshell characteristics and incidence of shell breakage for Grey Herons (Ardea cinerea) exposed to environmental polluants. Environ. Pollution, 11 : 59-84

CREUSOT S., PELLETIER P. (1994). Camargue entre ciel et sel. Vivre avec les Oiseaux, 6, 8-17.

CUSTER T., BUNCK C., KAISER T. (1983). Organochlorine Residues in Atlantic Coast Black-Crowned Night-Heron Eggs, 1979. Colonial Waterbirds, 6: 160-167

CUSTER T., HENSLER G., KAISER T. (1983). Clutch size, Reproductive success, and Organochlorine Contaminants in Atlantic Coast Black-Crowned Night-Herons. The Auk 100 : 699-710
Méditerranée-Corse. Qualité des cours d'eau synthèse 1995-1996, Ministère de l'Environnement, Paris, France

CUSTER T.W., HINES R.K., MELANCON M.J., HOFFMAN D.J., WICKLIFFE J.K., BICKHAM J.W., MARTIN J.W., HENSHELL D.S. (1997). Contaminant concentrations and biomarker response in great blue heron eggs from 10 colonies on the upper Mississippi river, USA, Enviro. Toxicol. Chem., 16 : 260-271

CUSTER T.W. (1996). Environmental contaminants in Kust and Hafner, Eds, Status and conservation of Herons, Academic press, New York, NY, USA, p 1-30

ERWIN R., HAFNER H. (1985). Differences in the feeding behavior of Little Egrets (Egretta garzetta) in two habitats in the Camargue, France. Wilson Bull., 97(4), 534-538.

ERWIN R., CUSTER T. (1996). Herons as Indicators National Biological survey, Patuxent, Wildlife Research Center

FASOLA M., RUIZ X. (1996). The Value of Rice Fields as Substitutes for Natural Wetlands for Waterbirds in the Mediterranean Region. Colonial Waterbirds, 19 : 122-128

FASOLA M., ROSA P., CANOVA L. (1993). The diets of Squacco Herons, Little Egrets, Night, Purple and Grey Herons in their italian breeding ranges. Rev. Ecol. Terre Vie, vol. 48, 35-45.

FASOLA M., VECCHIO I., CACCIALANZA G., GANDINI C., KITSOS M. (1987). Trends of Organochlorine Residues in Eggs of Birds from Italy, 1977 to 1985. Environmental Pollution, 48 : 25-36

FINDHOLT S. (1984). Organochlorine Residues, Eggshell Thickness, and Reproductive Success of Snowy Egrets Nesting in Idaho. The Condor, 86 : 163-169

FINDHOLT S., TROST C. (1985). Organochlorine Polluants, Eggshell Thickness, and Reproductive Success of Black-Crowned Night-Herons in Idaho. 1979. Colonial Waterbirds, 8(1) : 32-41

FITZNER R., BLUS L., HENNY C., CARLILE D. (1988). Organochlorine Residues in Great Blue Herons from the Northwestern United States. Colonial Waterbirds, 11(2) : 293-300

FLEMING W., CLARK D., HENNY C. (1983). Organochlorine Pesticides and PCB's : A Continuing Problem for the 1980s. Trans. North Am. Wild. and Nat. Resour. Conf., 48 : 186-199

FLEMING W., PULLIN B., SWINEFORD D. (1984). Population Trends and Environmental Contaminants in Herons in the Tennessee Valley, 1980-81. Colonial Waterbirds, 7 : 63-73

FOSSI C., FOCARDI S., LEONZIO C., RENZONI A. (1984). Trace-metals and Chlorinated Hydrocarbons in Birds'Eggs from thr Delta of the Danube. Environmental Conservation, 11(4) : 345-350

FURNESS R.W., GREENWOOD J.J.D. (1993). Birds as monitors of environmental change, Chapman & Hall, London, UK

FYFE R. (1971). Les pesticides et la faune. Service Canadien de la Faune. Information Canada Ottawa, Catalogue R66-4071F.

GILBERTSON M., MORRIS R., HUNTER R. (1976). Abnormal Chicks and PCB Residue Levels in Eggs of Colonial Birds on the Lower Great Lakes (1971-73). Auk, 93 : 434-442

HAFNER H., ERDMAN C., HASELTINE D., STAFFORD C. (1985). Contaminant levels in Colonial Waterbirds from Green Bay and Lake Michigan, 1975-80. Environmental Monitoring and Assessment, 5 : 223-236

HAFNER H., FASOLA M. (1992). The Relationship Between Feeding Habitat and Colonially Nesting Ardeidae. IWRB Special Publication N°20 : 194-201

HAFNER H. (1978). Le succès de reproduction de quatre espèces d'Ardeidés Egretta g. garzetta L., Ardeola r. Ralloides scop., Ardeola i. ibis L., Nycticorax n. nycticorax L. en Camargue. Terre Vie, vol 32, 279-289.

HAFNER H. (1994). Aigrette garzette (Egretta garzetta). Atlas des oiseaux nicheurs de France. Société ornithologique de France, Paris, 96-97.

HAFNER H., PINEAU O., KAYSER Y. (1994). Ecological determinants of fluctuations of breeding Little Egrets (Egretta garzetta L.) in the Camargue, S. France. Rev. Ecol. Terre Vie, 49, 53-62.

HOFFMANN L. (1959). Esquisse écologique de la camargue à l'intention des ornithologistes. Terre Vie, 13, 26-60.

HOTHEM R.L., ZADOR S.G. (1995). Environmental contaminants in eggs of California least terns (sterna antillarum browni). Bull. Environ. Contam. Toxico. 55 : 658-665

JANSEN R. (1996). Notes on the effects of sublethal doses of lindane and aldicarb on the reproduction of common quail. S Afr. J. Wildl. Res., 26 : 88-93

KERSTEN M., BRITTON R. H., DUGAN P.J., HAFNER H. (1991). Flock feeding and food intake in little egrets : The effects of prey distribution and behaviour. J Anim. Ecol., 60, 241-252.

HENNY C., BLUS L., KRYNITSKY A., BUNCK C. (1984). Current Impact of DDE on Black-Crowned Night-Herons in the Intermountain West. J. Wildl. Manage., 48(1) : 1-13

HENNY C., BLUS L., HULSE C. (1985). Trends and Effects of Organochlorine Residues on Oregon and Nevada Wading Birds, 1979-83. Colonial Waterbirds, 8(2) : 117-128

HEURTEAUX P., MESTRES R., VAQUER A. (1973). Contamination des Milieux Aquatiques Camarguais par les Résidus de Produits Phytosanitaires. La Terre et la Vie N°1 : 33-61

HEURTEAUX P., PIQUENOT S., PODLEJSKI J., PONT D., VAQUER A. (1976). Camargue- Study of pollution status and remedies. European Communities Commission / Centre National de la Recherche Scientifique, Contract n°114751 ENV.F. report August 1976, p6

KEITH J. (1971). Les pesticides et la faune. Service Canadien de la Faune. Information Canada Ottawa, Catalogue R66-4071F.

LAPORTE P. (1982). Organochlorine Residues and Eggshell Measurements of Great Blue Heron Eggs from Quebec. Colonial Waterbirds, 5 : 95-103

LINCER J., ZALKIND D., BROWN L., HOPCRAFT J. (1981). Organochlorine Residues in Kenya's Rift Valley Lakes. Journal of Applied Ecology, 18 : 157-171

LOWE T. P., STENDELL R. C. (1991). Eggshell Modifications in Captive American Kestrels Resulting from Aroclor 1248 in the Diet. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 20 : 519-522

MACHALA M., MATLOVA L., SVOBODA I., NEZVEDA K. (1996). Induction effects of polychlorinated biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons and other widespread aromatic environmental polluants on microsomal monooxygenase activities in chick embryo liver. Arch. Toxicol. 70 : 362-367

MACKAY D., SHIU W.Y., MA K.C. (1998). Illustrated handbook of physico-chemical an environmental fate for organic chemicals. Volume V. Lewis Publisher, Boca raton, FL, USA

MATHON N. (1995). Le succès de reproduction de l'Aigrette garzette Egretta garzetta en Camargue de 1982 à 1995. Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes. Faculté de Sciences et Techniques Saint-Jérôme, Marseille 1994-1995

MILSTEIN P., PRESTT I., BELL A. (1970). The Breeding Cycle of the Grey Heron. Ardea, 58 : 244-251

MORA M. (1991). Organochlorines and Breeding Success in Cattle Egrets from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico. Colonial Waterbirds 14(2) : 127-132

MULLIE W., MASSI A., FOCARDI S., RENZONI A. (1992). Residue Levels of Organochlorines and Mercury in Cattle Egret, Bubulcus ibis, Eggs from the Faiyum Oasis, Egypt. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 48 : 739-746

NOSEK J., FABER R. (1984). Polychlorinated biphenyls and Organochlorine insecticides in Great Blue Heron and Great Egret eggs from the Upper Mississipi River. Mississipi River Research Consortium (15th:1982: La Crosse, Wis.) Contaminants in the Upper Mississipi River (Eds. J.G. Wiener, R.V. Anderson and D.R. McConville), 241-259, Butterworth Publishers

OHLENDORF H., KLAAS E., KAISER T. (1979). Environmental Polluants and Eggshell Thickness : Anhingas and Wading Birds in the Eastern United States. United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Special Scientific Report-Wildlife, N°216, 94pp

OHLENDORF H., CUSTER T., LOWE R., RIGNEY M., CROMARTIE E. (1988). Organochlorines and Mercury in Eggs of Coastal terns and Herons in California, USA. Colonial Waterbirds, 11(1) : 85-94

OHLENDORF H., MAROIS K. (1990). Organochlorines and Selenium in California Night-Heron and Egret Eggs. Environmental Monitoring and Assessment, 15 : 91-104

PERRY A., SIDIS I., ZEMACH A. (1990). Organochlorine Insecticide Residues in Birds and Bird Eggs in the Coastal Plain of Israel. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 45 : 523-530

PINEAU O. (1992). Key Wetlands for the Conservation of Little Egrets breeding in the Camargue. IWRB Special Publication N°20 : 210-214

PODLEJSKI J. (1980). Les traitements phytosanitaires des rizières de Camargue. Transferts et devenir de quatre pesticides épandus sur la rizière expérimentale du centre d'écologie. C.N.R.S. Centre Ecologie Camargue d'Arles

PRESTT I. (1970). Organochlorine Pollution of Rivers and the Heron. IUCN/11T.M./B.3, 14 pages

PRICE I. (1977). Environmental Contaminants in Relation to Canadian Wildlife. Trans. North Amer. Wildl. Nat. Resources Conf., 42 : 382-396

RATCLIFFE D.A. (1967). Decrease in Eggshell Weight in Certain Birds of Prey. Nature, vol 215 : 208-210

RENZONI A., FOCARDI S., LEONZIO C., FOSSI C., DEMARTIS A. (1982). Contaminants of Resident and Migratory Birds of the Mediterranean Sea. Thalassia Jugoslavica, 18 (1-4) : 245-252

RISEBROUGH R., RIECHE P., PEAKALL D., HERMAN S., KIRVEN M. (1968). Polychlorinated Biphenyls in the Global Ecosystem. Nature, 220 : 1098-1102

RUIZ X., PETRIZ J., JOVER L. (1992). PCB and DDT Contamination of Heron Eggs in the Ebro Delta, Spain. International Waterfowl and Wetlands Research Bureau, Special Publication N°20 : 115-117

SANDOZ A. (1996). Proposition d'une méthodologie adapté au suivi de l'occupation du sol d'une zone humide aménagée : application au bassin de Fumemorte (Grande Camargue, France). Thèse Doct. Université Aix-Marseille I, France

SPEICH S., CALAMBOKIDAS J., SHEA D., PEARD J., WITTER M., FRY D. (1992). Eggshell thinning and Organochlorine Contaminants in Western Washington Waterbirds. Colonial Waterbirds 15(1) : 103-112

TREMBLAY J., ELLISON L. (1980). Breeding success of the Black-crowned Night Heron in the St. Lawrence Estuary. Can. J. Zool., 58 : 1259-1263

VAQUER A. (1973). Contribution à l'étude de la pollution des phytocoenoses aquatiques camarguaises par les résidus de certains produits phytosanitaires utilisés en rizicultures et en viticultures. Thèse de doctorat de spécialité en écologie

VOISIN C. (1976). Etude du comportement de l'Aigrette garzette (Egretta garzetta) en période de reproduction. L'oiseau et R.F.O., vol 46, N°4, 387-395.

WHITE D., FLEMING W., ENSOR K. (1988). Pesticide Contamination and Hatching Success of Waterbirds in Mississipi. J. Wildl. Manage., 52(4) : 724-729

NOM PRENOM : DOL - COLIAC SOPHIE

TITRE : IMPACT DES PESTICIDES ORGANOCHLORES ET PCBS SUR LA REPRODUCTION DE L'AIGRETTE GARZETTE EN CAMARGUE APRES ANALYSE DE LEURS CONCENTRATIONS DANS LES ŒUFS.

Thèse Vétérinaire : Lyon, le 13 septembre 2002

RESUME :

Les hydrocarbures chlorés s'accumulent fortement le long de la chaîne alimentaire. Les oiseaux piscivores dont les hérons sont d'excellents bioindicateurs de la qualité de leur environnement aquatique. Cette étude montre qu'en 1996, la contamination des œufs d'Aigrette garzette n'est pas inquiétante pour la survie de l'espèce mais n'est pas non plus négligeable, surtout pour la colonie près des industries.

MOTS CLES :

- HYDROCARBURES CHLORES
- ŒUFS
- AIGRETTES GARZETTES
- CAMARGUE

JURY :

Président : Monsieur le professeur J.DESCOTES

1er assesseur : Monsieur le professeur P.BERNY
2ème assesseur : Monsieur le Docteur T.BURONFOSSE

DATE DE SOUTENANCE :
13 septembre 2002

ADRESSE DE L'AUTEUR :
31 boulevard Henri Fabre
13012 Marseille