



**Facultés des Sciences et Techniques de St Jérôme**  
**UDESAM**  
Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie  
**Laboratoire d'Ecologie des Eaux Continentales Méditerranéennes**  
C31-32, 13397 Marseille Cedex 20  
Tél : 04-91-28-80-36/ Fax : 04-91-28-80-30



**Etude d'impact d'un éventuel traitement au B.t.i. sur le territoire  
du Parc naturel régional de Camargue.**

**Rapport scientifique**

Cartographie de la végétation et des gîtes larvaires  
potentiels dans les milieux aquatiques temporaires de Camargue.

Dr. Stéphanie Hudin  
(*doctorante, sous de Direction de F. Ramade, Université Paris*)



***Dynamique Ecologique et Sociale  
en Milieu Deltaïque***  
***1, rue parmentier - 13200 ARLES***  
***Tel : 90 93 86 66 - Fax : 90 96 07 99***  
***CNRS - ESA 5023***



Etude d'impact d'un éventuel traitement au B.t.i. sur le territoire du Parc naturel régional de Camargue.  
Rapport scientifique



## Introduction générale

Le Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) est caractérisé par la présence sur son territoire de milieux très particuliers que sont les milieux aquatiques temporaires. L'existence de ces milieux est liée à l'action de deux facteurs prépondérants:

- le climat méditerranéen, qui fait correspondre la période de forte température avec la période de sécheresse,
- les activités humaines, qui modifient les cycles de mise en eau que ce soit pour l'irrigation de terres agricoles (rizières) ou pour le développement de marais de chasse.

Ce fonctionnement artificiel permet néanmoins le maintien de ces milieux aquatiques temporaires, caractérisés par une faune et un fonctionnement bien spécifiques, et, notamment, le développement de populations de moustiques abondantes à *Aedes caspius* et *detritus*. Les gestionnaires du PNRC se trouvent donc face à un problème singulier : comment maintenir l'existence et la spécificité de ces milieux aquatiques temporaires tout en limitant une nuisance perçue à différents niveaux ?

La lutte anti-moustique envisagée dans ce cadre est donc une lutte anti-*Aedes* « de confort ». Il ne s'agirait pas de tenter une élimination totale des *Aedes*, mais seulement d'en réguler les effectifs par l'utilisation d'un larvicide biologique : le *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (B.t.i.).

Ce rapport est constitué de trois volets :

- Le premier volet concerne l'approche socio-économique, il met l'accent sur la perception des moustiques et de la démoustication par les Arlésiens et les Camarguais.
- Le second volet s'intéresse aux effets non intentionnels du B.t.i. sur les écosystèmes que sont les marais temporaires, plus précisément, il prend en compte l'action d'un éventuel traitement au B.t.i. sur les algues et le peuplement de macroinvertébrés.
- Le troisième repose sur la cartographie de la végétation des milieux aquatiques de la Camargue, et fait l'inventaire de l'ensemble des milieux qui seraient éventuellement concernés par une lutte anti – larvaire.

**Volet 3 : Cartographie de la végétation et des gîtes larvaires potentiels dans les milieux aquatiques temporaires de Camargue.**

## Introduction

Dans le cadre du programme de recherche sur l'impact d'une éventuelle démoüstication sur le territoire du Parc de Camargue, nous avons recherché les sites les plus susceptibles de favoriser la production de Diptères culicidés.

La majeure partie de la nuisance enregistrée sur ce territoire et particulièrement sur les sites sensibles d'agglomérations urbaines (Arles, Saintes-Maries de la Mer) étant essentiellement constituée par des espèces appartenant au genre *Aedes* (*A. caspius*, et *A. detritus*), ce sont donc les biotopes qui leur sont associés qui nous ont intéressés. Les études ayant porté sur l'écologie de ces espèces d'*Aedes* ont en effet permis de mieux connaître les conditions de leur développement, et il est aujourd'hui admis que la couverture végétale constitue un bon indicateur des conditions favorables à leur développement. La végétation constitue en fait un véritable intégrateur des conditions écologiques d'un biotope et représente ainsi l'expression la plus stable des différents facteurs écologiques. La cartographie de la végétation permet donc de matérialiser la résultante des divers éléments du milieu, tant physico-chimiques que biotiques (Rioux *et al.*, 1967). Cette constatation, réalisée dès le début de l'étude de l'écologie de ces Diptères culicidés, met en parallèle les associations végétales et les biotopes culicidiens et permet une "détermination" rapide du gîte par le truchement de son environnement phytosociologique (Harant et Rioux, 1954).

Cette superposition a servi de base à la lutte anticulicidienne dès les années 1960. C'est pourquoi les inventaires de la couverture végétale sont utilisés pour le repérage des gîtes larvaires.

Chaque situation de gîte larvaire culicidien est différente, mais nous avons cherché à travers une meilleure connaissance de la végétation, à préciser les probabilités de leurs localisations en Camargue, et ainsi à estimer la productivité des différents sites.

Pour cela nous avons fait appel aux recherches précédentes réalisées sur des sites comparables et peu éloignées, qui avaient porté sur l'étude de l'écologie des *Aedes*. Ces résultats sont abordés dans une première partie.

Dans une seconde partie est exposé la partie principale du travail qui a été celui des inventaires de végétation, réalisés de manière systématique *in situ*, avec un détail le plus important possible dans les limites de temps et de matériel impartis.

La partie Nord du delta de Camargue a été le sujet d'une attention encore plus poussée dans la mesure où les moustiques issus de cette partie sont les plus susceptibles d'être retrouvés dans l'agglomération urbaine d'Arles.

L'écologie des *Aedes* halophiles *A. caspius*, et *A. detritus*, mise en regard des inventaires de la végétation sur le territoire de Camargue, nous donne des clefs pour mieux évaluer les risques d'éclosion potentiels, et donc l'origine des nuisances. Ce croisement d'informations fait donc l'objet d'une troisième partie. Cependant la prise en considération des autres composantes de l'habitat terrestre de la zone Nord est également importante pour une meilleure évaluation des sources, et l'intégration de cette dimension supplémentaire est abordée dans cette partie.

## **I. L'écologie des *Aedes* et les gîtes larvaires des *Aedes* halophiles de Camargue et de *Aedes caspius* en particulier.**

### **I.1. Caractéristiques principales des biotopes préférentiels des *Aedes* halophiles méditerranéens *A. (O.) caspius* et *A. (O.) detritus*.**

Les milieux colonisés par les espèces du genre *Aedes* sont variés, mais ils sont tous caractérisés par une submersion temporaire. Les œufs sont déposés par les femelles sur un substrat humide, dont la mise en eau est la condition prépondérante à l'éclosion (Gabinaud, 1975). L'eau du gîte larvaire d'*Aedes caspius* et *Aedes detritus* est généralement saumâtre (1 à 5g/l de NaCl) mais peut être exceptionnellement douce ou fortement chargée en sel (jusqu'à 70g/l de NaCl) (Gabinaud, 1975).

Il semblerait également que les pontes d'*Aedes caspius* et d'*Aedes detritus* aient une aire de distribution légèrement décalée par rapport au centre de submersion de l'unité de mise en eau, et ces deux espèces se complètent donc dans leur utilisation de la surface disponible. La seconde espèce se retrouverait cependant plus en contrebas de la première, et serait donc la première à éclore, et aussi la dernière à disparaître.

Les facteurs abiotiques nécessaires à la ponte et à l'éclosion des larves sont variables, mais la végétation est un bon indicateur de cette variabilité, en ce qu'elle traduit à travers la composition des associations végétales, les variations du milieu.

Si les deux espèces sont connues pour être associées aux "marais temporaires d'eau saumâtre", leur écologie est aujourd'hui mieux connue et les lie à différents niveaux de perception de la végétation.

Ainsi en 1953, Mr. Rioux et Harant constataient que "*A. caspius* est inféodé, dans le Midi de la France, aux groupements du *Phragmition* Br. Bl, et en particulier du *Scirpeto-Phragmitetum mediterraneum* Tx. et Pre". La larve de cette espèce est considérée comme faiblement halophile, et se rencontrerait également dans les canaux d'eau douce. L'adulte, bon volier, pullule cependant surtout après les pluies d'automne et de printemps (Harant et Rioux, 1954).

De même, *A. detritus* est décrit comme ayant "son biotope optimum dans les associations halophiles des *Salicornietea* Br. Bl. et Tx., avec un maximum d'abondance dans le *Salicornietum fruticosae* Br. Bl" (Harant et Rioux, 1953). Il peut aussi faire des incursions dans le *Juncetalia maritimi* mais selon ces mêmes auteurs (Harant et Rioux, 1954), elles seraient plus rares.

Différents niveaux de végétation ont été utilisés pour cartographier, plus ou moins finement, les gîtes larvaires de ces espèces : la méthode phyto-sociologique, de J. Braun-Blanquet suivant des relevés comportant souvent plusieurs dizaines d'espèces, et complétés par des renseignements sur le milieu (situation géographique, géomorphologie, pédologie, géologie,...) qui désignent des Associations végétales ; la méthode des groupes écologiques statistiques, qui à travers des ensembles d'espèces végétales "ayant un comportement écologique semblable", se révèle d'une précision plus importante (Rioux *et al.*, 1967) ; ou encore la méthode des transects, qui permet de suivre l'évolution du couvert végétal.

## I.2. Les indicateurs floristiques des gîtes larvaires à *Aedes*

Pourtant, c'est une méthode éclectique qui a été adoptée dans le cadre de la lutte anticulicidienne, essentiellement basée sur la physionomie végétale. Chaque groupement est alors défini par une ou plusieurs plantes dominantes (Harant et Rioux, 1964).

Avec cette méthode, ce sont presque une quarantaine de groupements qui ont été définis dans les écosystèmes de marais temporaires halophiles méditerranéens, à travers le travail de A. Gabinaud (1975):

### Niveaux écologiques faiblement salés

1. Niveau écologique à : *Schoenus nigricans* et *Ammophila arenaria*.
2. Niveau écologique à : *Alopecurus bulbosus* et *Juncus gerardi*.
3. Niveau écologique à : *Paspalum distichum*, *Scirpus maritimus* et *Rumex crispus*.
4. Niveau écologique à : *Juncus gerardi* et *Scirpus palustris*.
5. Niveau écologique à : *Schoenus nigricans*, *Molinia caerulea*.
6. Niveau écologique à : *Oenanthe fistulosa*.
7. Niveau écologique à : *Typha angustifolia*.
8. Niveau écologique à : *Carex elata*.
9. Niveau écologique à : *Phragmites gigantea*.
10. Niveau écologique à : *Cladium mariscus*.

### Niveaux écologiques faiblement salés

11. Niveau écologique à : *Agropyrum acutum*.
12. Niveau écologique à : *Spartina versicolor* et *Agropyrum elongatum*.
13. Niveau écologique à : *Phragmites communis* et *Juncus obtusiflorus*.
14. Niveau écologique à : *Juncus maritimus* et *Inula crithmoides*.
15. Niveau écologique à : *Spartina versicolor* et *Triglochin maritimum*.
16. Niveau écologique à : *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Scirpus maritimus*.
17. Niveau écologique à : *Juncus maritimus* et *Scirpus maritimus*.
18. Niveau écologique à : *Scirpus maritimus* et *Aeluropus littoralis*.
19. Niveau écologique à : *Scirpus maritimus* et *Phragmites communis*.
20. Niveau écologique à : *Scirpus maritimus*.
21. Niveau écologique à : *Phragmites communis*.
22. Niveau écologique à : *Scirpus maritimus* et *Scirpus littoralis*.

23. Niveau écologique à : *Scirpus maritimus* et *Scirpus lacustris*

24. Niveau écologique à : *Ruppia maritima*.

### Niveaux écologiques très salés

25. Niveau écologique à : *Arthrocnemum glaucum*, *Obione portulacoides*, et *Glyceria festuciformis*.

26. Niveau écologique à : *Arthrocnemum glaucum* (forme prostrée).

27. Niveau écologique à : *Salicornia fruticosa* et *Obione portulacoides*.

28. Niveau écologique à : *Salicornia herbacea*, *Suaeda maritima*, et *Obione portulacoides*.

29. Niveau écologique à : *Salicornia herbacea* et *Glyceria festuciformis*.

30. Niveau écologique à : *Juncus subulatus*

31. Niveau écologique à : *Salicornia radicans* et *Arthrocnemum glaucum*.

32. Niveau écologique à : *Salicornia fruticosa*.

33. Niveau écologique à : *Arthrocnemum glaucum* (forme érigée), *Salicornia fruticosa* et Cyanophycées.

34. Niveau écologique à : *Arthrocnemum glaucum* (forme érigée), *Salicornia radicans* et *Salsola soda*.

35. Niveau écologique à : *Salicornia herbacea* et *Salicornia radicans*.

36. Niveau écologique à : *Salicornia fruticosa*, *Salicornia radicans* et *Salicornia herbacea*.

Ces groupes qui définissent sur le terrain des "unités de végétation" correspondent à des probabilités de productivité différentes, ainsi que l'a montré A. Gabinaud.

Pour l'espèce *A. caspius*, les groupements de végétation les plus productifs se sont révélés être, dans un ordre décroissant de productivité (avec entre parenthèses le Niveau Ecologique auquel la phytocénose peut être rattachée):

- la phytocénose à *Juncus maritimus* et *Salicornia herbacea* (NE 17)
- la phytocénose à *Salicornia fruticosa* et Cyanophycées (NE 33).
- la phytocénose à *Juncus maritimus* et Cyanophycées (NE 17).

- la phytocénose à *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum glaucum* (forme érigée), et Cyanophycées (NE 33).

Et dans une moindre mesure :

- la phytocénose à *Scirpus maritimus* (NE 20).
- la phytocénose à *Salicornia fruticosa* très recouvrante (NE 22).
- la phytocénose à *Juncus maritimus* et *Scirpus maritimus* (NE 17).
- la phytocénose à *Juncus maritimus* et *Inula crithmoides* (NE 14).
- la phytocénose à *Salicornia fruticosa*, *Salicornia radicans* et *Salicornia herbacea* (NE 36).

Pour l'espèce *A. detritus*, les groupements de végétation les plus productifs se sont révélés être, dans un ordre décroissant de productivité (avec entre parenthèses le Niveau Ecologique auquel la phytocénose peut être rattachée):

- la phytocénose à *Juncus maritimus* et Cyanophycées (NE 17).
- la phytocénose à *Juncus maritimus* et *Salicornia herbacea* (NE 17).
- la phytocénose à *Salicornia radicans*, *Salicornia herbacea*, et *Juncus maritimus* (NE 35).

Dans une moindre mesure, les groupements végétaux suivants se sont révélés être également des gîtes larvaire privilégiés de cette espèce :

- la phytocénose à *Salicornia fruticosa* très recouvrante (NE 22).
- la phytocénose à *Salicornia fruticosa* et Cyanophycées (NE 33).
- la phytocénose à *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum glaucum* (forme érigée), et Cyanophycées (NE 33).

On voit qu'entre ces deux espèces d'*Aedes*, les phytocénoses les plus productives en larves se "complètent" et c'est donc un ensemble qui devra être pris en considération dans l'interprétation des résultats des inventaires de la végétation.

## **II. La végétation halophile des sansouïres sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue**

### **II.1. Méthode des inventaires de la végétation des milieux halophiles temporaires**

#### **\* la typologie utilisée**

L'écologie des *Aedes* en question les associe aux milieux halophiles, c'est donc sur ces milieux que se sont concentrés nos efforts.

La carte d'occupation des sols du territoire du Parc Naturel Régional de Camargue éditée en 1991, et son actualisation sur support informatique en 1996, ont servi de base à l'inventaire de la végétation associée à l'écologie de ces espèces, en donnant un repérage des milieux halophiles de Camargue, définis dans cette cartographie des milieux de Camargue sous l'appellation "sansouïres".

Ce terme d'origine provençale a été défini par Mistral dans son ouvrage « *Lou Trésor dou Félibrige* » comme étant « *le terrain qui se couvre d'efflorescences salines pendant les grandes chaleurs* », et « *une terre stérile* ». Il s'agit en fait avec les sansouïres des étendues où le sol nu domine, siège d'une intense ascension capillaire des solutions salines en période de sécheresse.

Si cette définition voudrait que ce terme ne désigne que les terrains portant l'*Arthrocnemum*, l'usage, et notamment celui des cartes de végétation éditées précédemment, accepte la désignation par ce terme des terrains où se développe l'ensemble de la végétation à salicornes pérennes, soit la steppe halophile méditerranéenne qui est étudiée ici.

Il a été décidé dès le départ que les données issues de l'inventaire des biotopes possibles des *Aedes* devaient être intégrées à un logiciel de Système d'Information Géographique, et pour cela, différentes étapes ont dû être respectées.

L'utilisation d'un logiciel de SIG implique la réunion préalable des données à y intégrer : ces données doivent être compatibles avec le format de ce logiciel. Les données existantes ont donc tout d'abord été identifiées, ainsi que celles pour lesquelles un inventaire était nécessaire.

Cette prise de données a pris ici la forme de relevé des formations végétales des marais halophiles temporaires. C'est en fait la phase la plus longue de la cartographie, qui se fait sur le terrain. Mais il a d'abord fallu décider sous quelle forme les données allaient être intégrées afin que la collecte soit adaptée aux besoins.

Les surfaces que nous envisagions d'inventorier, et donc d'entrer par la suite, nous ont amenés à définir une échelle adaptée à ce niveau de précision des inventaires et de la surface totale à envisager. Plus de 10 000 ha étaient en effet cartographiées dans l'occupation des sols du Parc Naturel Régional de Camargue en 1991 sous le nom de sansouires.

L'usage de ces données allait être celui d'un suivi fin des évolutions de la végétation, et d'un outil de référence pour le support d'études sur la faune. Nous avons choisi d'utiliser la typologie du Code CORINE Biotopes, proche de la méthode phytosociologique pour les milieux considérés ici, et qui présente l'avantage supplémentaire d'être compatible avec des données existantes et à venir dans les structures de conservation de la nature. De même l'échelle des relevés a été limitée à 1/12500<sup>ème</sup>.

La possibilité de la comparaison future des données qui allaient être collectées a paru être un élément important de ce travail. La compatibilité des résultats se devait donc d'être la plus grande possible.

La typologie CORINE biotope réalisée au niveau européen suit de manière très proche la typologie des phytosociologues pour les habitats en question dans cette étude et nous a donc paru tout à fait adaptée à l'échelle envisagée (Tableau III.1).

Cette typologie se rapproche également de la méthode utilisée pour les inventaires des gîtes culicidiens, basée sur la physionomie végétale. Dans ces cartes phyto-écologiques, chaque groupement est défini par une ou plusieurs plantes dominantes, visibles à l'observateur dès le premier abord. (Rioux *et al.*, 1967). Cette méthode est en effet applicable sur ces terrains, où les différents niveaux d'eau et variations fines des conditions écologiques sont traduits par des groupements végétaux quelque peu simplifiés en raison des conditions de salure qui exercent une pression forte sur ces organismes, et où donc seuls un nombre restreints d'espèces se retrouvent.

**Tableau III. 1 : Correspondance principales entre les associations végétales des sansouires et la nomenclature du Code CORINE Biotopes.**

<u>Associations phytosociologiques</u>	Correspondance Code Corine-Biotopes
<u><i>Suaedo-Salicornietum patulae</i></u>	15.113 : Gazons méditerranéens à salicornes annuelles
<u><i>Puccinellio festuciformis-Athrocnetum perennis</i></u>	15.611 : Tapis prostrés de <i>Sarcocornia perennis</i> , des dépressions les plus mouillées des marais salés côtiers.
<u><i>Puccinellio festuciformis-Athrocnetum fruticosi</i></u>	15.612 : Bosquets d'arbrisseaux à <i>Sarcocornia fruticosa</i> , capable de former des fourrés étendus, bas, denses.
<u><i>Athrocnetum glauci</i></u>	15. 613 : Bosquets à <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , occupant souvent des sites quelque peu plus secs tels que les bancs coquilliers des lagunes salées.
<u><i>Halimiono-Suaedetum verae</i></u>	15. 614 : Bosquet d'arbrisseaux à <i>Suaeda verae</i> occupant les zones plus sèches des marais salés côtiers.
<u><i>Puccinellio festuciformis-Halimionetum portulacoidis</i></u>	15. 616 : Fourrés méditerranéens à pourpier marin et <i>Sarcocornia fruticosa</i> . Faciès riche en <i>Halimione portulacoides</i> au sein des groupements méditerranéens à <i>Sarcocornia fruticosa</i> .
<u><i>Limonietum gerardiano-virgati</i></u>	15. 81 : Steppes à Lavande de mer. Faciès riche en <i>Limonium</i> des steppes salées.

### **\* le travail de terrain**

Les propriétés publiques ont été assez faciles d'accès et la plupart des propriétés privées également, ce qui a grandement facilité le travail de terrain. Pour certaines, des conditions concernant la période des relevés et le temps passé ont été posées, que nous nous sommes efforcés de respecter.

Pour les relevés de terrain ce sont des clichés réalisés par l'IGN (Institut Géographique National) et tirés au 1/25 000<sup>e</sup> qui ont été utilisés, grâce à leur emprunt auprès de la RNC, et de la Fondation Sansouire à la Tour du Valat.

Ces clichés d'un survol de 1992, de très bonne qualité, ont permis de les agrandir deux fois, par photocopie couleur, fournissant ainsi un document de terrain pratique et de bonne lisibilité.

La superposition d'un support transparent a permis de délimiter les zones relevées sur le terrain, en notant leur nature, et des observations supplémentaires éventuelles (Fig. II.1).

Les couleurs qui ne sont pas toujours faciles à utiliser pour évaluer la nature de la végétation des sansouires et ne permettent donc pas une photo-interprétation étendue, présentent des contrastes tout à fait satisfaisants pour la réalisation des relevés de terrain. Néanmoins, lorsque la détermination du contour des unités de végétation a posé problème, les difficultés rencontrées ont été indiquées sur les fiches de relevés sur le terrain. L'usage des clichés de l'IFN (Institut Forestier National) en infra-rouge couleur, datant d'un survol plus récent, et à bonne échelle, a permis de renseigner les détails dont la difficulté de détermination était apparue sur le terrain.

Le résultat de ces relevés était donc un ensemble de transparents sur lesquels figuraient des « enveloppes » correspondant aux unités de végétation à l'échelle du code CORINE-biotopes, avec des indications quant à la date, la parcelle, l'état de mise en eau, la présence d'espèces compagnes, etc...

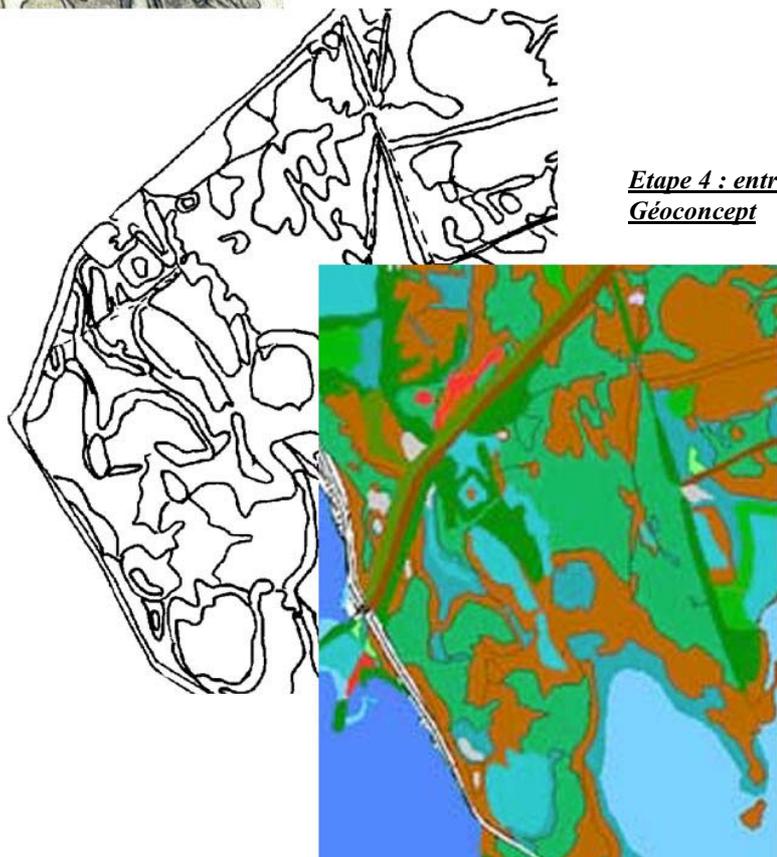
**Figure II.1 : Les étapes de recueil et d'entrée des données**

**Etape 1 : l'agrandissement de la zone de sansouire repérée**



**Etape 3 : extraction des contours**

**Etape 4 : entrée dans Géoconcept**



(Cliché IFN)

## II.2. L'entrée des données : la configuration de la base.

L'étape suivante est donc l'entrée des données collectées dans la base de données constituée dans le logiciel Geoconcept. La base de données elle-même a été définie avec une projection Lambert 2 étendu, une échelle au mètre, et pour laquelle nous avons constitué un configurateur comportant les Types et Sous-Types suivants :

### 1° Type Roselière :

- Sous type Phragmitaies (code Corine 53.11)
- Sous-type Typhaies (code Corine 53.11)

### 2° Type Scirpaies :

- Sous-type Scirpe (code Corine 53.17)

### 3° Type Jonchaies :

- Sous-type *Juncus maritimus* (code Corine 15.51)
- Sous-type *Juncus acutus* (code Corine 15.51)
- Sous-type *Juncus subulatus* (code Corine 15.58)

### 4° Type Sansouire :

- Sous-type *Sarcocornia fruticosa* (code Corine 15.612)
- Sous-type *Sarcocornia perennis* (code Corine 15.611)
- Sous-type *Sarcocornia macrostachya* (code Corine 15.613)
- Sous-type *Halimione portulacoides* dominant au sein de formation à *S. fruticosa* (code Corine 15.616)
- Sous-type *Suaeda vera* (code Corine 15.614)

### 5° Type Formation annuelles sur laisses :

- Sous-type gazon méditerranéen à salicornes annuelles (code Corine 15.113)

Ce sont ces 5 premiers types auxquels nous avons donné le plus d'attention et d'importance dans nos relevés, car il s'agit soit des sansouires elle-mêmes (Type 4), ou des types de végétation en contact direct avec elles. Nous n'avons pas cartographié toutes les Phragmitaies (Type 1) de l'île de Camargue mais les avons relevées lorsqu'elles se trouvaient dans les mêmes parcelles inventoriées que les sansouires.

Ces catégories (Type 1 à Type 5) correspondent à des zones humides à submersion continue ou temporaire, par de l'eau douce (Phragmitaies) à plus ou moins salée (Scirpaies, Jonchaies, Sansouires). On comprend cependant que l'écologie des *Aedes* ici pris en compte a amené à porter l'attention surtout sur ces derniers.

Il a fallu cependant définir des Types et Sous-Types supplémentaires ne correspondant pas strictement aux habitats recherchés, mais dont la mention dans la cartographie était rendue nécessaire pour des raisons de lisibilité :

#### 6° Type Pelouse :

- Sous-type pelouse (sans mention particulière d'espèce)
- Pelouse à *Brachypodium phoenicoides* (Gr.)
- Pelouse à Saladelles
- Montilles (pelouses à petites Papilionacées sur dunes fossile)
- Dune à Oyat (espèce dominante *Ammophila arenaria*, sur le territoire de la RNC)
- Pelouse à *Aeluropus littoralis*

#### 7° Pas de végétation halophile émergente :

- Sol nu
- Etang permanent
- Etang temporaire
- Estran

#### 8° Buissons, arbres et arbustes :

- Tamaris
- Bosquet
- Haie
- Bosquet à Phyllaire
- Genévrier de Phoenicie
- Fourrés

#### 9° Anthropique :

- Culture
- Friche
- Habitation
- Digue, route
- Talus

La constitution d'un SIG, afin que celui-ci soit cohérent, a dû prendre en compte divers éléments qui ne constituaient pas le but premier de cette étude.

C'est pourquoi le détail de ces derniers Types et Sous-Types n'était pas nécessaire, et seule leur présence à ce niveau de précision a été indiquée, dans un souci non de recherche de détail, mais surtout de lisibilité de la carte finale.

### **II.3. L'entrée des données : superposition des couches et précision.**

Après la constitution du configurateur de la base de données vient l'étape de l'entrée des données à proprement parler. Selon les logiciels et la nature des données, cette entrée peut se faire par numérisation des relevés, ou par entrée point par point à l'aide d'une tablette graphique. C'est cette dernière méthode qui a été utilisée, car la grandeur de l'échelle utilisée impliquait la nécessité d'une grande précision dans le rendu des données. Tout d'abord, la projection choisie pour l'intégration des données a été celle du Lambert II étendu, toujours dans un souci de compatibilité des données disponibles sur le territoire de la Camargue, et la précision d'entrée des données, celle du mètre.

Le fond de carte de l'IGN au 1/25 000<sup>ème</sup> a servi de base à l'entrée graphique géoréférencée des données recueillies sur le terrain. La surface correspondante à l'île de Camargue a donc été intégrée à la base, sous la forme de dalles de 7500m\*10000m. La géoréférence des repères (les coins de ces fonds) afin de permettre une bonne correspondance et un bon calage des données, donne le bénéfice de la précision de cette échelle, inférieure au mètre.

Nous avons donc sur cette base entré les objets géographiques (les « enveloppes ») en calant les points chaque fois que cela était nécessaire.

La précision de l'ensemble dépend donc de l'élément qui est le moins précis de cette superposition de couches, et il s'agit de la projection Lambert II étendu, qui est moins fiable dans le Sud de la France qu'elle peut l'être dans le Nord. La précision du fonds de carte au 1/25000<sup>ème</sup> est en effet très grande (de l'ordre du mètre), et celle de l'entrée des données sous Géoconcept également (égale à celle du fonds utilisé). La précision des relevés intégrés à la base est donc de l'ordre du mètre et selon les parcelles, se situe entre 1 et 5%. Cette marge d'erreur incontournable avec l'utilisation des logiciels SIG et des manipulations induites a paru tout à fait acceptable pour l'utilisation des données.

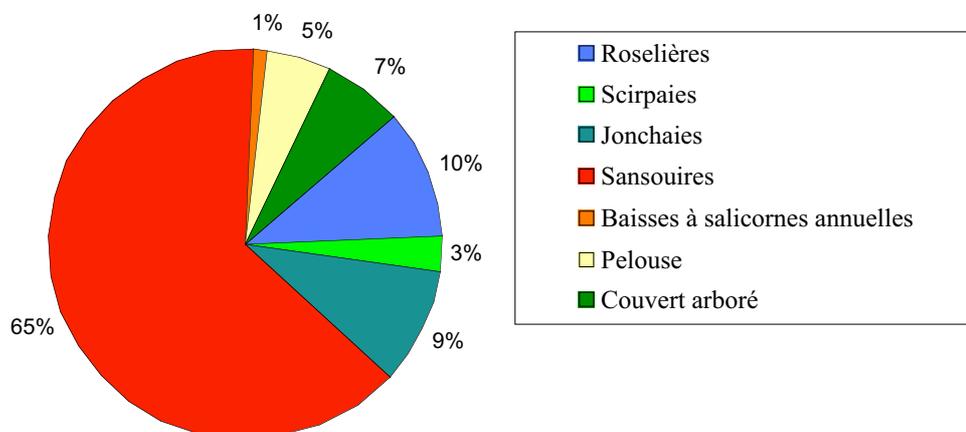
## II.4. Les résultats obtenus

Le résultat de cet inventaire de la végétation des milieux halophiles temporaires sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue est une base de données, dont l'analyse va permettre différentes interprétations et modélisations quant aux gîtes culicidiens.

Alors que la surface en sansouires était estimée à travers la carte d'occupation des sols du Parc Naturel Régional de Camargue à 10 165 hectares, et que ces milieux constituaient notre cible principale dans la présente étude, nous avons été amenés à intégrer une surface d'environ 18 000 hectares de milieux terrestres. Cette surface est constituée par 13767 polygones qui sont autant d'objets géographiques intégrés à la base de données de Geoconcept.

La végétation ainsi inventoriée n'est donc pas seulement constituée par les Sansouires, ou même seulement les formations végétales les plus halophiles rencontrées en Camargue, mais représente bien cette mosaïque que mettent en avant tous les écologues ayant étudié la Camargue. La végétation ainsi inventoriée a donc comporté en proportions différentes des sansouires, bien sûr, des jonchaies, des scirpaies, mais aussi des formations végétales moins halophiles telles que Roselières, et aussi des formations arborées, souvent formant les bordures des parcelles inventoriées. (Fig III. 2)

**Figure II.2 : Proportion des différentes formations végétales inventoriées**



Les formations végétales halophiles des habitats temporaires, qui couvrent une surface totale de 9875 hectares (Fig. III.3) sont donc constitués dans cet inventaire en majorité par les Sansouires, soit les groupements végétaux réunis dans le Type 4 qui ne totalisent "que" 8216 hectares (Fig. III. 4), en comparaison des 10 165 estimés.

Figure III. 3. Les formations végétales des milieux halophiles temporaires.

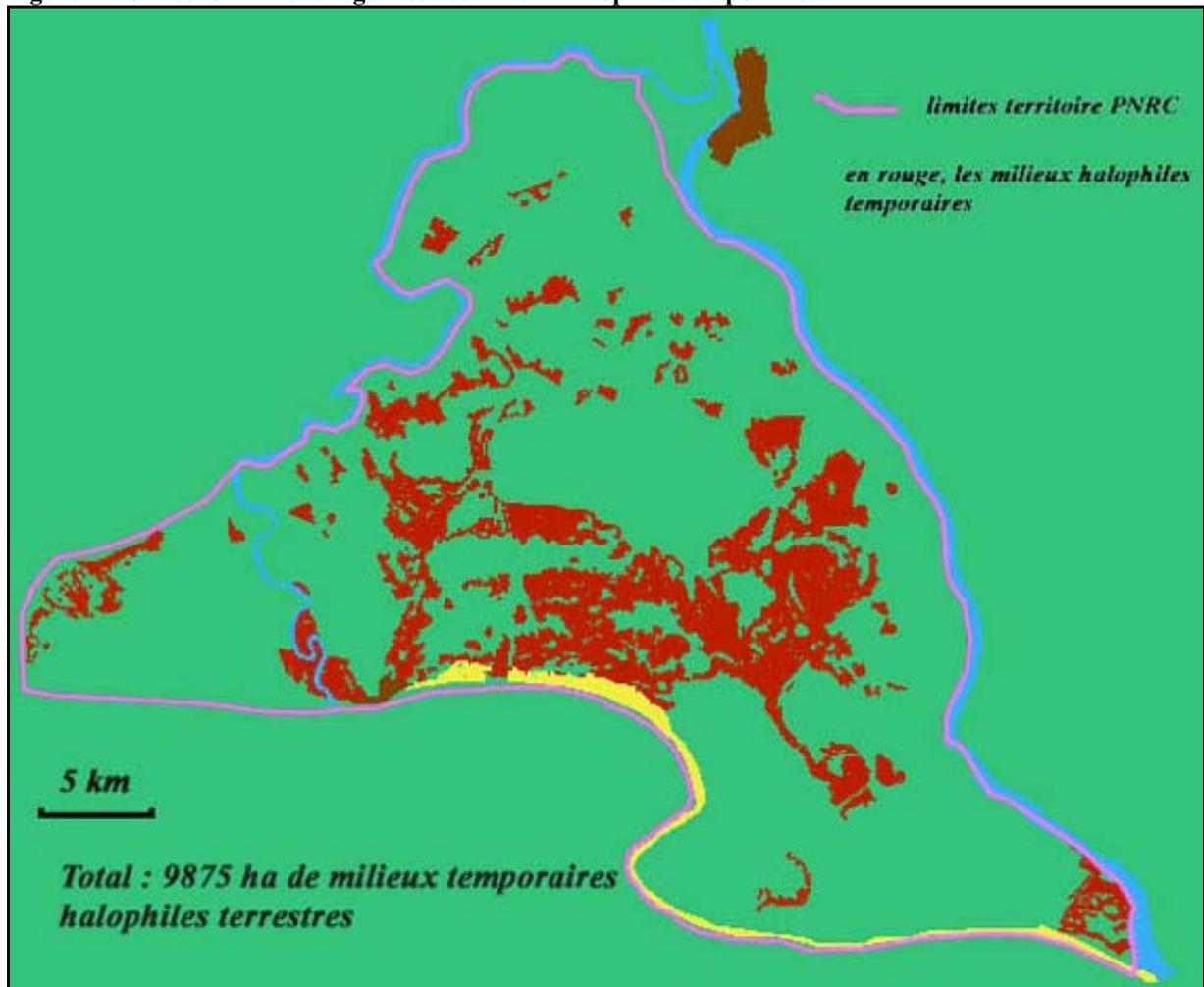
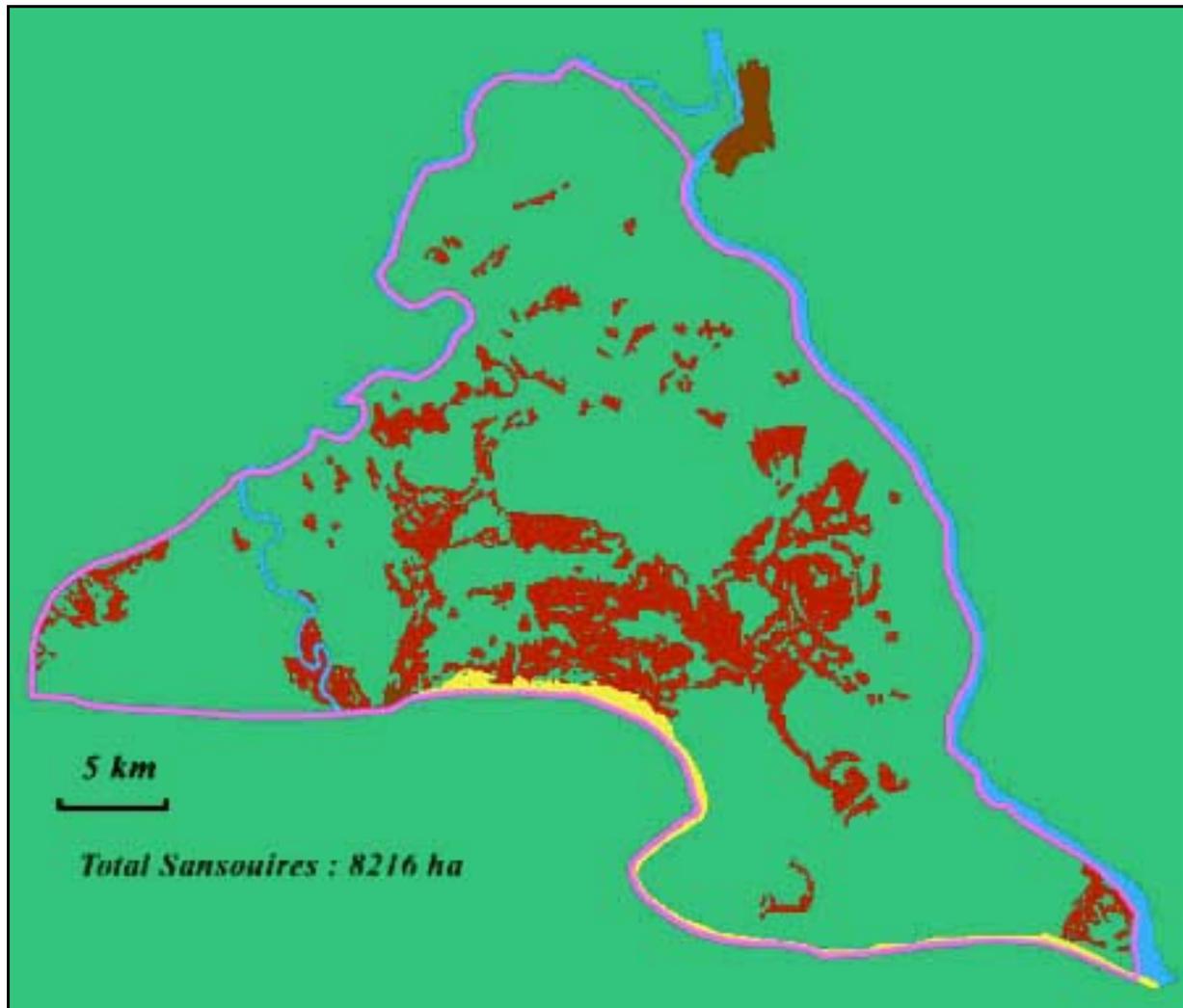


Figure III. 4. Les sansouires (type 4 de notre typologie) sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue.



Cependant, ces milieux halophiles temporaires, et même les sansouires considérées séparément, constituent eux aussi une mosaïque de polygones. Ces polygones ont été différenciés et renseignés sur le terrain et dans la base de donnée, selon non seulement l'espèce dominante, mais aussi dans les champs complémentaires, avec les espèces accompagnatrices, ainsi que le type de gestion. En effet la prise de données sur le terrain a comporté une différenciation d'unités de végétation non seulement selon l'espèce dominante, mais aussi lorsque cela était pertinent, selon les espèces accompagnatrices. La signification de certaines espèces compagnes indique en effet le potentiel plus ou moins important d'une zone qui comporte déjà un risque en elle-même (une zone à *Salicornia fruticosa*, par exemple, est potentiellement plus productive dans les sous-zones à Cyanophycées). C'est donc cette dimension supplémentaire qui va permettre de dresser une carte d'évaluation des risques de gîtes culicidiens.

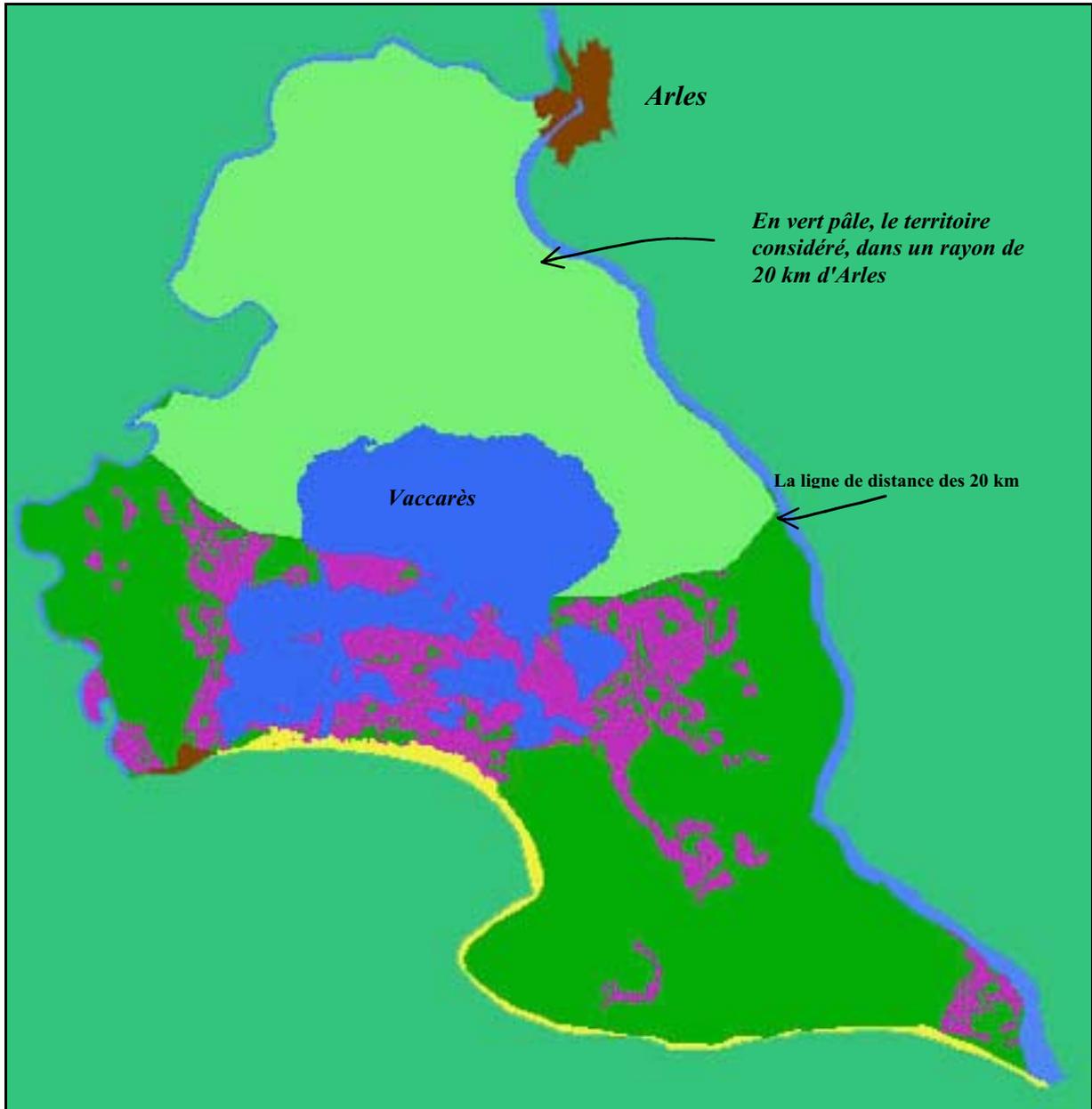
### **III. Les gîtes larvaires d'*Aedes caspius* et *Aedes detritus* sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue. Carte de gîtes préférentiels.**

La carte de la végétation permet, au stade des prévisions, de calculer l'étendue des gîtes potentiels et d'estimer, *ipso facto*, le volant moyen d'insecticides, de matériel d'épandage et de personnels (Rioux *et al.*, 1967). Ainsi que des recherches récentes l'ont encore confirmé, il est en effet possible de prévoir les surfaces des gîtes culicidiens potentiels, et leur localisation (Franquet *et al.* 2002).

Si il est possible de considérer, sur l'ensemble du territoire de Camargue, que les milieux halophiles temporaires, caractérisés par les formations végétales des Sansouires, des Jonchaies à *Juncus maritimus* et *J. subulatus*, ainsi que les Scirpaies, sont des sources privilégiées de la nuisance qui se retrouve en agglomération d'Arles, et constituent donc une surface totale de 9 875 hectares de gîtes culicidiens "naturels", la démoustication éventuelle "de confort" nous amène à considérer plus particulièrement une zone couvrant les surfaces se trouvant à moins de 20 km d'Arles. Les adultes des espèces *A. caspius* et *A. detritus*, bons voiliers, peuvent en effet, par vent portant, se retrouver à 40 km de leur lieu d'éclosion (Harant et Rioux, 1954). Une distance de 20 km paraît une bonne estimation de la distance moyenne de voyage, hors conditions particulièrement favorables et peu fréquentes (vent du Sud, alors qu'en Camargue, le Mistral, vent du secteur N, N-E, constitue les \_ de l'anémométrie). De plus cette distance ne comprend que peu de zones au statut plus particulièrement protégées, et où une démoustication serait difficile à envisager.

Il a donc été considéré que cette distance donnerait une bonne estimation des milieux naturels éventuellement "candidats" au traitement anticulicidien. Cette distance mesurée vers le Sud, donne une surface qui couvre en fait la tête de Camargue, et s'étend vers le sud en suivant une ligne qui longe la limite Nord de la presqu'île de Mornès, coupe la pointe de Fiérouse et longe la Tour du Valat au Nord (Fig III. 5).

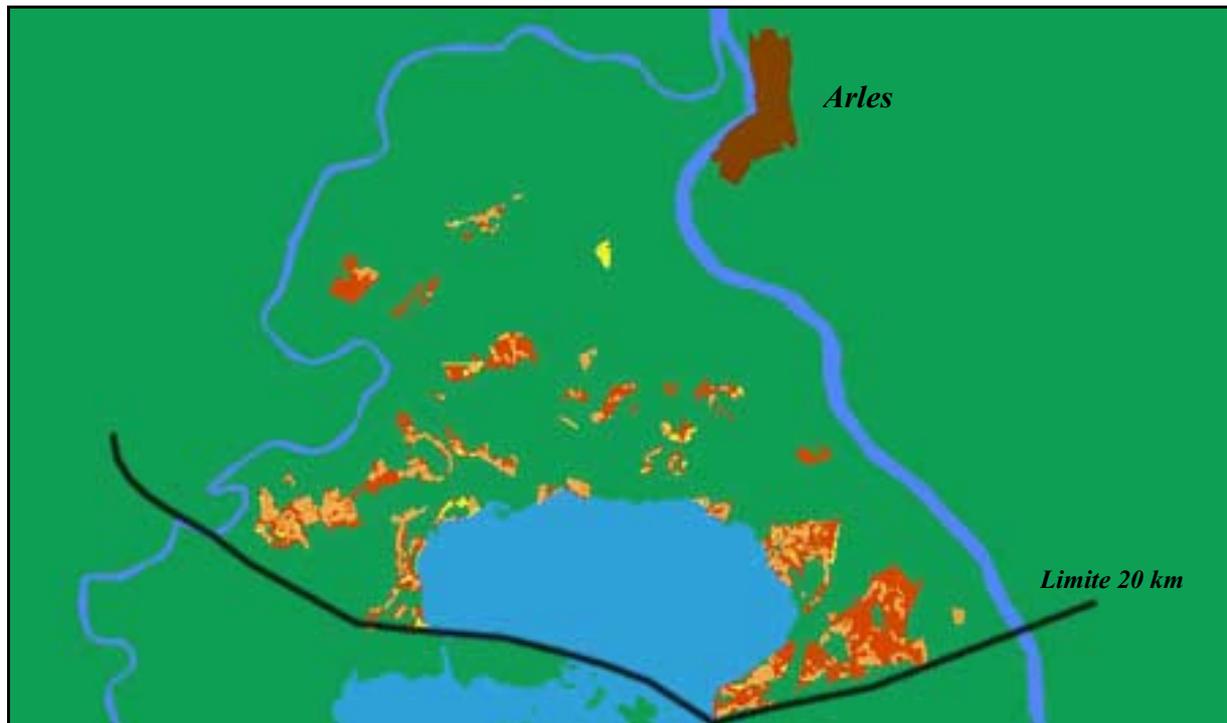
Figure III.5. La surface comprise dans un rayon de 20 km de distance d'Arles



Cette délimitation couvre une surface de 26 730 hectares d'habitats terrestres, dont seulement 3 300 ha sont effectivement des milieux temporaires halophiles naturels qui constituent des gîtes culicidiens potentiels.

L'intégration des données sur la productivité potentielle des gîtes larvaires caractérisés par des formations végétales préférentielle nous permet alors de dresser une carte des risques de productions de larves lors de mises en eau, naturelles, ou artificielles (Fig. III.6).

**Figure III. 6. Carte d'évaluation des risques d'éclosion de larves d'*Aedes caspius* et *A. detritus* dans la partie Nord de la Camargue.**



Les zones considérées de risque majeur apparaissent ici en rouge, et couvrent une surface de 1 800 hectares, celles de risque moindre apparaissent en orange en totalisant une surface de 614 hectares, tandis que les zones à risque comparativement peu important sont représentées sur 834 hectares (en jaune).

On voit donc que la majorité des surfaces prises en compte ici (soit 3 300 hectares de milieux naturels halophiles) constituent de bons gîtes larvaires potentiels, avec 55% en zone de risque majeur de haute productivité de larves.

Cependant, il faut rappeler que ces éclosions se déroulent lors de mise en eau qui se produit de manière naturelle au printemps et en automne. A cela, il faut ajouter la dimension de gestion anthropique des systèmes hydrauliques. Si de nombreux milieux naturels ne sont

pas gérés artificiellement en Camargue, et que la proportion (un tiers seulement dans l'ensemble de la Grande Camargue) des surfaces sur lesquelles une telle gestion est appliquée est normalement minoritaire, cette proportion s'inverse dans cette partie Nord considérée.

En effet dans la plus grande partie de ces terrains il y a mise en eau estivale, pour des raisons de gestion cynégétique ou de pâturage. Il s'agit d'ailleurs aujourd'hui avec cette gestion de la raison majeure de la dégradation des milieux naturels en Camargue (Hudin, S., 2002).

La démostication éventuelle doit donc tenir compte de cette dimension de mise en eau artificielle, dans les différentes unités de mise en eau, dont le rythme peut être différent entre elles, mais pas au sein d'une même unité (Fig. III.7).

**Fig III. 7. Les unités de mise en eau principales dans la partie N de Grande Camargue**



L'artificialisation de l'hydraulique des milieux naturels va également de paire dans cette partie N avec les cultures rizicoles qui semblent être des gîtes larvaires tout aussi productifs que les milieux naturels. Avec une surface estimée de plus de 10 000 hectares dans cette seule partie de la Camargue, les rizières constituent donc une source de nuisance pour les citadins d'Arles d'autant plus grande que les sites sont plus proches : la majorité des milieux naturels halophiles temporaires se trouve en effet à une distance supérieure à 8 km d'Arles.

Leur mise en eau vernale, et leur maintien en eau estival, contribue à la nuisance enregistrée au cours de la période estivale. Cette production de larves devra donc être prise en compte dans le cadre d'une éventuelle démoustication.

**Figure III. 4. Les rizières en tête de Camargue : un gîte larvaire proche de l'agglomération**



## Conclusion

Menés entre janvier 2000 et fin janvier 2002 les inventaires de la végétation des milieux halophiles de Camargue nous ont permis d'identifier les principales sources de la nuisance due aux *Aedes* au sein des milieux naturels.

Il est indéniable que les milieux naturels halophiles de Camargue constituent des gîtes larvaires à *Aedes caspius* et *Aedes detritus* : la composition floristique de ces milieux est en effet associée à ces espèces.

Nous avons donc ainsi pu estimer à une surface totale de 9 875 hectares les gîtes potentiels à *Aedes* sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue. En différenciant une zone correspondant à un rayon de distance 20 km d'Arles, cette surface a pu être ramenée à un peu plus de 3 300 hectares. Cette surface comporte une majorité (55%) de gîtes à haute productivité potentielle.

Cependant ces données doivent être mises en regard de gîtes larvaires potentiels de ces mêmes espèces qui ont une origine anthropique, les marais de chasse, bien représentés en tête de Camargue, et les rizières, qui couvrent également une grande surface (10 000 hectares) dans cette partie du delta. Ces deux types de gestion hydraulique favorisent en effet une production de larves à l'origine sans doute d'une nuisance plus importante que celle due aux milieux naturels, puisqu'elle touche les estivants.

Il faut également rappeler que la majeure partie des gîtes larvaires culicidiens en milieu naturel se trouvent à bonne distance de l'agglomération d'Arles (+ de 8 km). Dans le cadre d'une démoustication éventuelle de "confort", la dimension de gestion anthropique doit donc être le premier souci d'une lutte anticulicidienne respectueuse du fonctionnement naturel des écosystèmes.

La gestion hydraulique des marais de chasse constitue en effet non seulement une artificialisation de ce fonctionnement naturel, et entraîne une simplification des communautés végétales et animales qui y sont associées, mais aussi une cause de gêne publique en ce qu'elle contribue à la production de larves d'*Aedes* à une période de l'année où les activités de plein air sont favorisées. De même, les rizières en tête de Camargue pourraient être à l'origine d'une grande partie de cette gêne.

La prise en considération des différents modes de gestion devra donc faire partie de la mise en place d'une éventuelle démoustication, car les milieux naturels ne constituent pas les seules sources de la nuisance due aux *Aedes* en Camargue.

## Références citées

- Coste, H., 1937. Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. Trois tomes. Paris, Librairie des Sciences et des Arts, 1807 p.
- Franquet, E., Metge, G., Vigo, G., Lagneau, C., Courtesol, C., 2002. Distribution spatiale des pontes d'*Aedes (Ochlerotatus) caspius* (Pallas) (Diptera : Culicidae) dans un marais temporaire du littoral méditerranéen français. Ann. Limnol. 38 (2) 2002 : 163-170.
- Gabinaud, A., 1975. Ecologie de deux *Aedes* halophiles du littoral français : *Aedes* (O.) *caspius* (O.) (Pallas 1771) et *Aedes (Ochlerotatus) detritus* (Haliday 1833) (Nematocera : Culicidae). Utilisation de la végétation comme indicateur biotique pour l'établissement d'une carte écologique. Application en dynamique des populations. Thèse d'Etat. Univ. Montpellier : 451p.
- Harant, H., Rioux, J.A., 1954. Note sur l'écologie des Diptères Culicidés. II.- Biotopes des *Aedes* halophiles. Annales de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Montpellier, t. XXIX, fasc. III et IV, pp 71-76.
- Hudin, S. 2001. Quatrième rapport intermédiaire sur l'étude d'impact d'un éventuel traitement au B.t.i. sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue. Rapport final. Pp 60-65.
- Hudin, S., 2002. Ecologie de la conservation des milieux halophiles temporaires de Camargue, en particulier des sansouires. Thèse de doctorat, Université d'Orsay, Paris XII. 255p.
- Hudin, S. 2000. Second rapport intermédiaire sur l'étude d'impact d'un éventuel traitement au B.t.i. sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue. Pp 103-110.
- Molinier, R., et Tallon, G., 1970. Podrome des unités phytosociologiques observées en Camargue. Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille, 30 : 5-110.
- Molinier, R., et Tallon, G., 1974. Documents pour un inventaire des plantes vasculaires de la Camargue. Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille, 34 : 7-165.
- Réserve Nationale de Camargue, 1996. Carte d'occupation du sol dans le Parc Naturel Régional de Camargue. Echelle 1/50 000ème.
- Réserve Nationale de Camargue, 2001. Carte de la végétation pérenne, non encore publiée.
- Rioux, J.-A., Croset, H., Corre, J.-J., Simoneau, P., Gras, G., 1967. Les bases phytocécologiques de la lutte anticulicidienne. Annales de Parasitologie, t. 42, n°6, pp. 665-680.

## Conclusions générales

L'enquête sociologique a mis en évidence une réponse complexe. Les Camarguais et les Arlésiens seraient davantage dans une posture du type « oui, mais » :

- Oui, on est gêné par les moustiques, mais on s'y est quand même plutôt habitué.
- Oui, le moustique est un nuisible, mais il est aussi utile à la nature.
- Oui, on est plutôt favorable à une démoustication des zones habitées, mais on souhaite préserver les zones « naturelles »

Ces indécis constituent le plus grand nombre. Cette indécision est révélatrice d'une cohabitation chez les individus de références *anthropocentriques* et *biocentriques*.

Toutefois, quelques individus, dès lors qu'ils réunissent certaines caractéristiques se différencient peu ou prou de cette indécision générale. Nous avons identifié deux types de rapports au moustique qui se démarquent de la tendance à l'indécision générale : les « incommodés » et les « immunisés ».

Bien que la question des moustiques et de la démoustication représente un souci certain pour les Camarguais et les Arlésiens, elle ne constitue pas pour autant pour eux une préoccupation omniprésente. En effet, 61,4% des personnes interrogées se déclarent peu ou assez peu préoccupées par la question. Ce sont les Saintois qui se déclarent les moins préoccupés (75% d'entre eux se disent peu ou pas du tout préoccupés contre respectivement 56,4% et 57,1% chez les Arlésiens et les Saliniers).

Les Camarguais savent finalement peu de choses de la démoustication. Outre les 46,7% de l'échantillon qui ne savent pas quel est l'organisme qui démoustique dans la région, ceux qui avancent un nom proposent essentiellement la commune (23,1%). Seulement 3,8% des personnes de l'échantillon citent l'E.I.D. De même, les connaissances techniques des Camarguais en matière de démoustication sont peu développées. En effet, 80,63% des individus interrogés disent ne pas pouvoir citer le nom d'un insecticide utilisé par les organismes de démoustication. Quant aux individus proposant des noms d'insecticides, ils citent en premier lieu le D.D.T. et le décis.

Si les Camarguais connaissent peu les termes du débat (qui démoustique, comment, avec quels produits, ...), en revanche, il leur paraît plus aisé d'en identifier les protagonistes. Ils

désignent clairement la sphère du tourisme comme le principal demandeur en matière de démoustication. Ils y incluent les touristes et les professionnels du tourisme. Quant aux acteurs désignés comme des « anti » démoustication, ce sont en premier lieu les « écolos », protecteur de la nature, puis les agriculteurs.

Le débat sur la démoustication ne s'inscrit pas dans la dichotomie maintenant classique en matière de conflits d'aménagement de la nature qui tendent à opposer les couples production-prédation et protection-découverte. Ici, les acteurs de la protection de la nature et de la production agricole sont désignés comme les tenants d'une même position, l'anti-démoustication, face au tourisme.

Enfin, et dans la continuité des observations précédentes, on retiendra que la question de la démoustication est étroitement liée pour les individus à la question du développement (ou non développement) touristique de la Camargue. A ce titre, le moustique est tour à tour désigné comme un perturbateur de l'activité touristique ou comme un élément de régulation des flux touristiques considérés comme menaçants pour la Camargue. De plus, le point de vue que les individus se font sur un possible développement touristique de la Camargue a une influence certaine sur leur rapport à la démoustication et aux moustiques.

**L'étude écologique** a montré tout d'abord une forte variabilité des situations rencontrées (différences dans le type de mise en eau, dans le peuplement de macroinvertébrés à maturité). De plus, les algues comme les macroinvertébrés présentent une forte variabilité spatiale, mettant l'accent sur la difficulté d'échantillonner ces milieux aquatiques temporaires.

L'étude des algues n'a pas montré de relation évidente avec les traitements au B.t.i., en particulier, **à court terme**, nous n'avons pas constaté de prolifération due à la disparition des filtreurs que sont les *Aedes* et éventuellement d'autres taxons.

La faune de macroinvertébrés échantillonnés dans chacun des deux sites expérimentaux (Rousty et Meyranne) est représentative de la faune des milieux aquatiques temporaires. Il apparaît que le peuplement en place est moins sensible au B.t.i. que le peuplement en phase de colonisation. En ce qui concerne ce dernier, nous constatons un effet négatif des traitements à 8l.ha<sup>-1</sup> sur la dynamique des populations de Diptères chironomidés (dans deux cas sur deux). Dans le cas le plus net, l'effet se fait sentir immédiatement après le traitement, dans le second

cas l'effet se fait sentir entre T0+2 et T0+8, se qui est plus discutable sachant que la rémanence du B.t.i. est faible.

L'effet des traitements à  $31.\text{ha}^{-1}$  sur le peuplement en phase de colonisation est moins net, il semble exister dans 1 cas sur 4 à Rousty et 1 cas sur 3 à Meyranne. Ceci montre bien la *suB.t.i.*ilité du signal à mesurer. Comme Pont (1989) l'avait déjà écrit, ce type de traitement n'engendre pas de réduction brutale des effectifs des biocénoses. A court terme, la dose  $31.\text{ha}^{-1}$ , semble être la dose maximale acceptable par la faune des milieux aquatiques temporaires étudiés.

**La cartographie** des milieux halophiles montre que sur un rayon de 20 km, c'est 3300 ha de milieux « naturels » qui seraient susceptibles de fonctionner en *Aedes*, auxquels il faudrait ajouter les marais de chasses et près de 10 000 ha de rizière.

Les Diptères chironomidés échantillonnés à Rousty semblent être représentatifs des peuplements des milieux aquatiques temporaires, avec dominance de *Tanytarsus* et *Polypedilum nubifer* (ex pharao). On retrouve en effet ces deux taxons, déjà dominants dans l'étude de Pont (1989), et sur le domaine de la tour du Valat, dans la station de l'Emprunt du buisson vert (82% des émergences) et le marais de St Serein (31% des émergences de chironomidés) (Tourenq, 1976). Ces espèces sont bien adaptées à la résistance aux assecs, en effet, en absence d'eau de surface, les larves peuvent restées enfouies dans des sédiments jusqu'à 20 jours, et même pendant toute la période d'assec pour *Polypedilum nubifer*, s'il y a de la végétation et de la matière organique. En ce qui concerne les rizières, qui peuvent aussi fonctionner en *Aedes*, le peuplement de chironomidés est un peu différents, et n'a pas été pris en compte, étant donné que l'étude était axée sur les peuplements des milieux « naturels » du PNRC.

A noter l'importance du maintien d'un fonctionnement en métapopulations : en cas de mortalité avérée sur un site traité, l'existence dans le voisinage de sites traités de façon décalée ou non traités permettrait une recolonisation efficace du système perturbé.

Il reste cependant que cette étude ne considère évidemment pas des effets éventuels à long terme. Si une lutte anti-larvaire était envisagée dans ces milieux temporaires de Camargue, il semblerait indispensable d'accompagner les traitements par un suivi des effets non intentionnels sur le fonctionnement des écosystèmes Camarguais, en prenant en compte des organismes en fin de chaîne trophique, tels que l'avifaune ou l'ichtyofaune.