

## **CULEX MODESTUS (FICALBI), VECTEUR DE VIRUS WEST NILE EN CAMARGUE : UNE ESPECE EN AUGMENTATION DANS LA DOMBES ? \***

**Jennifer A. Pradel <sup>1</sup>, Thomas Martin <sup>1,2</sup>, Delphine Rey <sup>2</sup>,  
Rémi Foussadier <sup>2</sup> et Dominique J. Bicout <sup>1</sup>**

### **RESUME**

Le virus West Nile (WN) circule régulièrement sur le littoral méditerranéen français depuis sa réémergence en Camargue, en 2000. Bien que le foyer ne semble pas s'étendre, le cas d'émergence d'arboviroses dans de nouvelles contrées nous a incités à nous intéresser, en Dombes, à un des principaux vecteurs de virus WN en Camargue : *Culex modestus* (Ficalbi). En effet, la zone humide de la Dombes est parsemée de centaines d'étangs hébergeant les gîtes larvaires de cette espèce. De plus, située à 300 km de la Camargue, elle accueille de nombreux oiseaux migrateurs qui peuvent introduire le virus WN. Nous présentons dans cet article l'étude entomologique que nous avons menée en 2007 sur 39 étangs. Les objectifs étaient d'estimer la fréquence de *Cx. modestus* et de la comparer avec celle des années 70. Nous observons que *Cx. modestus* est très répandu (retrouvé dans plus de 80% des étangs) alors qu'il semblait l'être beaucoup moins au début des années 70 (présente dans moins de 25% des étangs). Nous discutons de la nature de ces différences (variations interannuelles ? évolution des populations ?) ainsi que des facteurs qui peuvent les expliquer. Cette étude s'intègre dans un cadre plus global consistant à étudier la bio-écologie et les facteurs déterminant la présence d'autres espèces, potentiellement vectrices d'arbovirus, qui sont également présentes dans les étangs.

**Mots-Clés :** *Culex modestus*, étangs, Dombes, abondance.

### **SUMMARY**

The West Nile (WN) virus emerged in 2000 in the Rhone Delta in the South of France, and has since regularly been found along the Mediterranean coastline. Although there is no evidence of spread of the WN virus spreading in France it seemed interesting to study one of the main vectors of WN in France, in the Dombes region: *Culex modestus* (Ficalbi). Indeed, this area may be considered at risk of WN virus introduction since (1) it is located along one of the major bird migration routes, (2) it is situated about 300 km north of the Camargue region and iii/ it has hundreds of piscicultural ponds which attract many migratory birds, putative carriers of arboviruses like the WN virus. This article reports an entomological study carried out in 2007 on 39 ponds that harbor *Cx. modestus* larval habitats.

.../..

\* Texte de la communication orale présentée lors des Journées AEEMA, 22-23 mai 2008

<sup>1</sup> Unité biomathématiques et épidémiologie, Laboratoire TIMC-EPSP UMR5525, ENVL, 1 av Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile, France

<sup>2</sup> Entente interdépartementale Rhône-Alpes pour la démoustication. BP2, 73310 Chindrieux, France  
Mails des auteurs correspondants : Jennifer.Pradel@imag.fr ; d.bicout@vet-lyon.fr

.../..

The main objective of this study was to estimate *Cx. modestus* distribution in the Dombes and to compare it with that in the 1970's. Results show that this species is very common (present in more than 80% of ponds) whereas it seemed much less frequent about 30 years earlier when it was found in fewer than 25% of ponds. We discuss this difference and its cause ; is it yearly variations or does it reflect a significant change in population ? This study is part of a wider framework observing the bio-ecology of other supposed vectors of arboviruses whose larval habitats are also found in ponds and identifying factors determining their presence.

**Keywords** : *Culex modestus*, Ponds, Dombes, Abundance.




---

## I - INTRODUCTION

---

Après plus de trente années d'absence apparente, le virus West Nile (WN) (*Flavivirus, Flaviviridae*) a réémergé en France à la fin de l'été 2000, en causant une épizootie d'encéphalites équine au cours de laquelle 21 chevaux sont morts sur les 76 cas répertoriés [Murgue *et al.*, 2001]. Depuis, le virus WN a été responsable d'une autre épizootie équine ainsi que de cas sporadiques équins et/ou humains dans plusieurs départements du littoral méditerranéen [Mailles *et al.*, 2003 ; Armengaud *et al.*, 2007] ; mais les lieux et années d'émergence de la maladie sont difficiles à prévoir. En dehors de ces périodes, le virus WN est détecté par le dispositif de surveillance de l'avifaune, révélant une circulation du virus à bas bruit en Camargue [Hars *et al.*, 2004, Hars *et al.*, 2008].

Le cycle du virus WN fait intervenir de nombreux acteurs. L'amplification virale s'effectue entre des oiseaux et des moustiques ornithophiles du genre *Culex* principalement. La transmission aux mammifères ou à l'homme peut se produire si des moustiques « passerelles » sont à la fois ornithophiles et mammiphiles. *Cx. pipiens* Linné (1758) et *Cx. modestus* Ficalbi (1890) sont les principaux vecteurs de virus WN en France [Balenghien *et al.*, 2007a et 2007b]. *Cx. modestus*, en Camargue, présente une compétence vectorielle très élevée vis-à-vis du virus WN, supérieure à celle de *Cx. pipiens* [Balenghien *et al.*, 2007].

Contrairement à la situation épidémiologique rencontrée sur le continent Américain – où le

virus WN a connu une extension sans précédent après sa première observation en 1999 aux USA - les foyers français ne semblent pas s'étendre. D'autres zones humides particulièrement accueillantes pour l'avifaune migratrice pourraient être favorables à la circulation du virus WN en France. Parmi celles-ci, la Dombes (Ain) nous a semblé intéressante à étudier pour plusieurs raisons. En effet, c'est une mosaïque de zones humides et une zone très accueillante pour l'avifaune migratrice venant d'Afrique ou d'Europe du Nord. Elle est géographiquement proche de la Camargue (située à 300 km environ des Saintes-Maries-de-la-Mer) et connectée à celle-ci par le couloir rhodanien - délimité par le Massif Central à l'Ouest et par les Alpes à l'Est - axe majeur de circulation par lequel remontent des influences climatiques méditerranéennes. Par ailleurs, les flux réguliers d'oiseaux migrants entre la Camargue, ou plus généralement d'autres zones d'enzootie, et la Dombes représentent autant de possibilités d'introduction du virus WN. C'est également une zone où se développent de nombreuses espèces de moustiques [Pichot, 1978 ; Pradel *et al.*, 2007] et une importante zone d'élevages de volailles, de bétail, de petits ruminants mais également d'équidés. On trouve ainsi en Dombes tous les éléments nécessaires à l'installation d'un cycle épidémiologique du virus WN : les oiseaux comme réservoirs ou hôtes amplificateurs, les moustiques comme vecteurs et les chevaux ou autres mammifères comme hôtes sensibles.

En 2001, un an après l'épizootie de Camargue, une enquête sérologique a été menée sur plus de 350 oiseaux résidents de la réserve naturelle de la Dombes. L'absence de mise en évidence d'anticorps permettait de conclure à l'absence de circulation ou à une circulation à très bas bruit du virus [Lena *et al.*, 2006]. Les auteurs soulevaient, entre autres, la question de la présence des vecteurs et de leur capacité vectorielle en Dombes. *Cx. modestus* a été observé sous forme de larves dans les années 70 [Pichot, 1978] et des captures d'adultes effectuées en 2006 ont montré que *Cx. modestus* était présent dans la région [Pradel *et al.*, 2007]. Cependant, l'abondance,

la bio-écologie et la compétence vectorielle des populations de cette espèce en Dombes ne sont pas ou très peu connues.

Nous nous sommes intéressés principalement à la distribution et l'abondance de *Cx. modestus* en Dombes. Les objectifs de cette étude étaient 1/ de faire un état des lieux de la sa fréquence et de son abondance en Dombes et 2/ de comparer la fréquence de 2007 avec celles des années 70. Le gîte type de *Cx. modestus* en Dombes a été décrit comme un bord d'étang riche en végétation [Pichot, 1978], notre étude s'est donc focalisée sur un échantillon d'étangs en Dombes.

---

## II - MATERIELS ET METHODES

---

### 1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### 1.1. LA DOMBES

La Dombes (46°00'13"N ; 05°01'42"E) est un plateau argileux d'environ 48 000 ha, peu élevé (285 m d'altitude en moyenne), situé au nord de Lyon et limité au nord par la Bresse, à l'est par l'Ain, au sud par le Rhône et à l'ouest par la Saône. Elle se caractérise par ses nombreux étangs, près de 1200, dont la création remonterait au Moyen-âge et qui couvrent 11 000 ha environ, soit le quart de sa surface (figure 1). Les étangs sont aujourd'hui utilisés pour la pisciculture, l'agriculture et la chasse. La Dombes présente une variété de milieux humides de transition, allant de zones de pleine eau des étangs aux forêts humides, favorables au maintien d'une grande biodiversité [Avocat, 1975].

#### 1.2. LES ETANGS

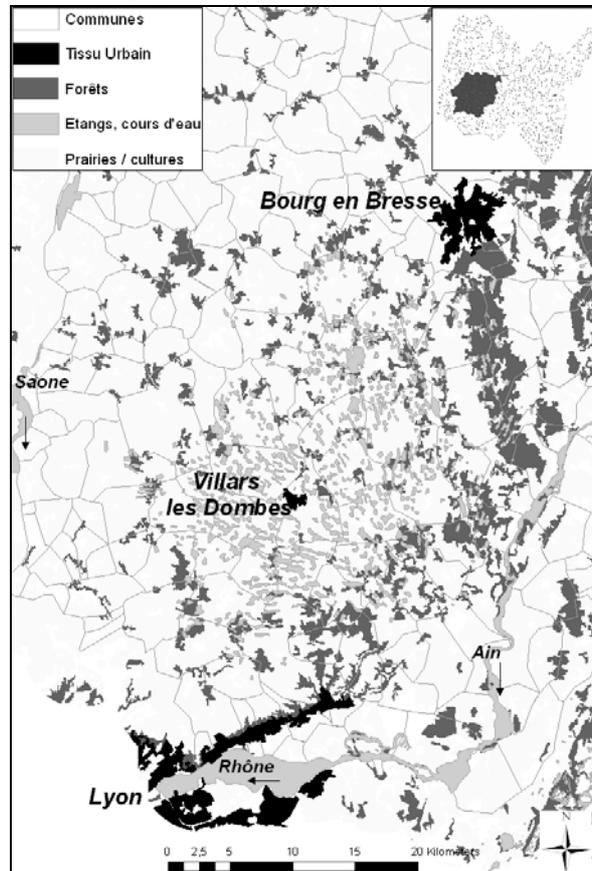
Les étangs sont peu profonds (80 cm de profondeur en moyenne) et en général entourés par une ceinture de végétation plus ou moins importante, constituée de roselières avec des roseaux (*Phragmites australis*, *Phragmites communis*), des phalaris (*Baldingera arundinacea*) ou des massettes

(*Typha sp.*). Une diversité de formations végétales comme des scirpaies (*Scirpus sp.*), des jonçaiies (*Juncus sp.*), ou des cariçaies (*Carex sp*) sont également trouvées près des étangs. La végétation aquatique, très variée également, peut constituer de grands herbiers.

Les étangs sont exploités en système d'assolement triennal : alternance d'une période de deux à trois ans d'« évologie » (étang en eau), dédiée à la culture du poisson, et d'une année d'« assec », pour la culture de céréales (maïs ou avoine) ou la mise en jachère. Ils peuvent être isolés les uns des autres ou organisés en chaîne ; dans ce cas, ils sont reliés par un réseau dense et complexe de fossés permettant de diriger l'eau vers un cours d'eau ou un/plusieurs étang(s) lors de la vidange d'un étang situé en amont.

Si l'homme gère la répartition de l'eau dans les étangs, l'eau provient des précipitations exclusivement. Généralement, la plupart des étangs piscicoles sont vidés chaque année à l'automne pour la pêche puis remis en eau pour une nouvelle année de culture du poisson, avant le printemps. Le bon remplissage des étangs est donc tributaire des précipitations automnales et hivernales.

**Figure 1**  
**Carte de localisation de la Dombes**



## 2. ECHANTILLONNAGE DES SITES D'ETUDE

### 2.1. SELECTION DES ETANGS ET DES GITES

Les sites d'étude n'ont pas été sélectionnés de manière aléatoire dans la mesure où la quasi-totalité des étangs en Dombes sont privés. Les étangs retenus pour l'étude étaient ceux pour lesquels une autorisation a été obtenue auprès des propriétaires ou des gestionnaires. Dans les étangs, les sites de prospection étaient des formations végétales (définies comme des zones de végétation homogène au niveau floristique) de la végétation de ceinture inondée ou aquatique. Le nombre de sites prospectés par étang dépendait de la diversité des formations végétales, de leur étendue et de leur accessibilité principalement.

### 2.2. GEO-REFERENCEMENT DES SITES

Tous les sites retenus ont été géo-référencés avec un GPS ou par le relevé de leurs

coordonnées sur une carte IGN 1/25000, actualisée en 2001.

## 3. COLLECTE DES MOUSTIQUES

L'enquête entomologique a consisté à collecter les larves et adultes dans l'écosystème des étangs entre avril et octobre 2007 selon les protocoles suivants.

### 3.1. ENQUETE LARVAIRE

La collecte des larves s'apparente à une enquête transversale, où chaque gîte a été prospecté une fois, entre avril et septembre par la méthode de dipping à l'aide d'une louche de 150 ml [Service, 1993]. Les prélèvements ont été effectués aléatoirement dans le gîte régulièrement tous les 3 à 5 mètres le long d'un transect dans le site afin de détecter les espèces présentes. L'effort de

prospection a été relativement important : toute la longueur du site a été parcourue si son étendue le permettait. Si la formation végétale était hétérogène (profonde/peu profonde, ensoleillée/ombragée, couverture végétale importante/faible...), chaque partie différente a été inspectée. Les larves collectées ont été ramenées au laboratoire, tuées puis conservées dans de l'alcool à 70° en vue de l'identification.

### 3.2. ENQUETE ADULTE

Les captures d'adultes ont été effectuées dans l'environnement de deux étangs de la même commune. Ceux-ci ont été choisis pour le nombre important de gîtes larvaires et l'abondance de *Cx. modestus* dans ces gîtes. Les captures ont été effectuées une nuit par mois, de mai à octobre à l'aide de quatre pièges lumineux à CO<sub>2</sub> (Bioquip, CA, USA). Trois pièges ont été placés dans trois formations végétales distinctes d'un même étang, un autre a été placé en lisière de bois à 200 m environ de l'eau libre d'un deuxième étang. Les pièges ont été suspendus entre 0,5 et 1 mètre au-dessus de la surface de l'eau et espacés d'au moins 200 mètres les uns des autres afin d'éviter les interactions. Les captures ont eu lieu par beau temps et sans vent. Les adultes ont été tués par le froid et conservés au congélateur à -18°C en vue d'identification.

Les larves et les adultes ont été identifiés à partir de critères morphologiques d'après les clefs d'identification de Becker [2003] et Schaffner [2001]. Certains échantillons ont été envoyés à l'EID-Méditerranée pour confirmation. Les nymphes ont été élevées jusqu'à l'émergence des adultes pour leur identification. Les mâles ont été conservés en vue de l'identification ultérieure des génitalia afin de confirmer les espèces proches difficiles à distinguer au stade larvaire ou adulte femelle.

## 4. FREQUENCE ET ABONDANCE DE *CX. MODESTUS* EN DOMBES

Afin de caractériser le statut de *Cx. modestus* dans la zone d'étude en 2007, nous avons estimé sa fréquence et son abondance.

### 4.1. FREQUENCE

La présence de larves de *Cx. modestus* a été déterminée par l'enquête larvaire. Lorsqu'une

ou plusieurs larves était détectée dans un étang, celui-ci était considéré comme « positif » ; dans le cas contraire, il était « négatif ». La fréquence de *Cx. modestus* était le pourcentage d'étangs positifs dans notre échantillon.

La fréquence de *Cx. modestus* a été calculée, selon la formule suivante :

$$F = \frac{n}{N} \cdot 100$$

Avec F, la fréquence ; n, le nombre d'étangs positifs et N, le nombre total d'étangs prospectés. Nous avons adopté les classes de fréquence suivantes : 0-20% : « sporadique » ; 20,1-40% : « peu fréquent » ; 40,1-60% : « modéré » ; 60,1-80% : « fréquent » ; 80,1-100% : « constant » [Dziedzowski, 1972, cité dans Rydzanic *et al.*, 2003].

### 4.2. ABONDANCE

L'abondance de *Cx. modestus* au niveau adulte et larvaire a été estimée en calculant son abondance relative, c'est-à-dire le pourcentage d'individus de *Cx. modestus* collectés par échantillon. Elle a été définie avec la formule suivante :

$$A = \frac{y}{Y} \cdot 100$$

Avec A, l'abondance relative ; y, le nombre d'individus de *Cx. modestus* par échantillon et Y, le nombre total d'individus collectés par échantillon.

Les larves ayant été obtenues de manière aléatoire dans le site de prospection, nous avons considéré que l'abondance relative n'avait de sens que pour les prélèvements suffisamment grands (contenant plus de 30 larves). Elle a donc été calculée uniquement pour les échantillons rencontrant ce critère.

L'abondance relative de *Cx. modestus* dans la population adulte a été calculée pour l'ensemble des pièges et de la période d'étude : y et Y représentaient le nombre total d'individus de *Cx. modestus* et le nombre total d'adultes capturés.

Selon Trojan, 1992 [cité par Rydzanic *et al.*, 2003], l'abondance relative d'une espèce peut être caractérisée comme suit : A < 1% : espèce satellite ; 1,1 < A < 5% : espèce sub-dominante ; A > 5,1% espèce dominante.

### 4.3. COMPARAISON AVEC LES ANNES 1970

Nous avons comparé les résultats de fréquence avec une enquête entomologique larvaire de grande ampleur menée dans plusieurs types de gîtes en Dombes au début des années 70 [Pichot, 1978]. Nous avons sélectionné les gîtes associés aux étangs, puis les étangs étudiés ont été localisés et géo-référencés grâce au nom de l'étang, de la commune et du lieu-dit, mentionnés dans le listing descriptif de l'ensemble des gîtes étudiés. Enfin, nous avons utilisé les données de présence/absence de *Cx. modestus* pour calculer la fréquence de l'espèce dans les étangs au début des années 70. Aucune donnée n'étant disponible sur les effectifs

larvaires, nous n'avons pas étudié son abondance dans les gîtes à cette période.

### 4.4. REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

La distribution de *Cx. modestus* dans les étangs étudiés en 2007 et au début des années 70 ont été représentés sur un Système d'Information Géographique (SIG) avec le logiciel Arcmap version 9.01™. Les limites communales de l'Ain proviennent de la base de données IGN GeoFla pour l'Ain et les couches hydrologiques proviennent de la DIREN de la région Rhône-Alpes, téléchargeables gratuitement sur le site : [http://www.rdbmrc-travaux.com/spge/site\\_v2/sous\\_rubrique.php3?id\\_rubrique=110](http://www.rdbmrc-travaux.com/spge/site_v2/sous_rubrique.php3?id_rubrique=110).

---

## III - RESULTATS

---

### 1. DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON

En tout, 151 formations végétales de 39 étangs répartis sur 12 communes de la Dombes ont fait l'objet de prospections larvaires entre avril et septembre 2007. Au début des années 70, 79 gîtes de 49 étangs avaient été prospectés sur 20 communes entre mars 1972 et juillet 1974. La figure 2 présente la répartition des sites ; l'étude menée dans les années 70 couvre une zone plus grande que celle de 2007. En considérant un rayon de 1,5 km autour du barycentre des étangs on observe que près de la moitié (48,7%) des étangs prospectés en 2007 se trouvent à proximité immédiate de ceux étudiés dans les années 70.

### 2. FREQUENCE ET ABONDANCE DE *CX. MODESTUS* EN DOMBES

Au total, 13906 larves et 5031 adultes de 4 genres ont été collectés et identifiés (tableau 1).

#### 2.1. FREQUENCE DE *CX. MODESTUS*

Les fréquences de *Cx. modestus* sont présentées dans le tableau 2 et sous forme de carte, figure 3. En 2007, 84,8% des étangs

étaient positifs ; *Cx. modestus* est une espèce « constante » dans les étangs d'après les définitions utilisées par Rydzanic *et al.* [2003]. Dans les années 70, *Cx. modestus* était retrouvé dans 22,4% des étangs, suggérant que *Cx. modestus* était peu fréquente à cette période.

#### 2.2. ABONDANCE RELATIVE DES ADULTES ET DES LARVES

Dans les captures d'adultes, *Cx. modestus* était particulièrement abondant et représentait près de 77% des adultes récoltés (tableau 1).

Au niveau larvaire, lorsque *Cx. modestus* était présent, dans près de 90% des cas, l'espèce composait plus de 5% des larves collectées dans le gîte. Elle représentait plus de 25 % des individus collectés dans la moitié des cas [Pradel *et al.* 2008a].

L'interprétation de l'abondance relative sur l'ensemble des prélèvements (tableau 1), est délicate due à la technique d'échantillonnage, difficile à standardiser en raison de la variété des gîtes larvaires (profondeur, superficie, formation végétale, densité larvaire, ...).

Figure 2

Distribution des étangs étudiés dans les années 70 et en 2007 (A).  
Représentation des zones tampons de 1,5 km de rayon autour des étangs étudiés (B).

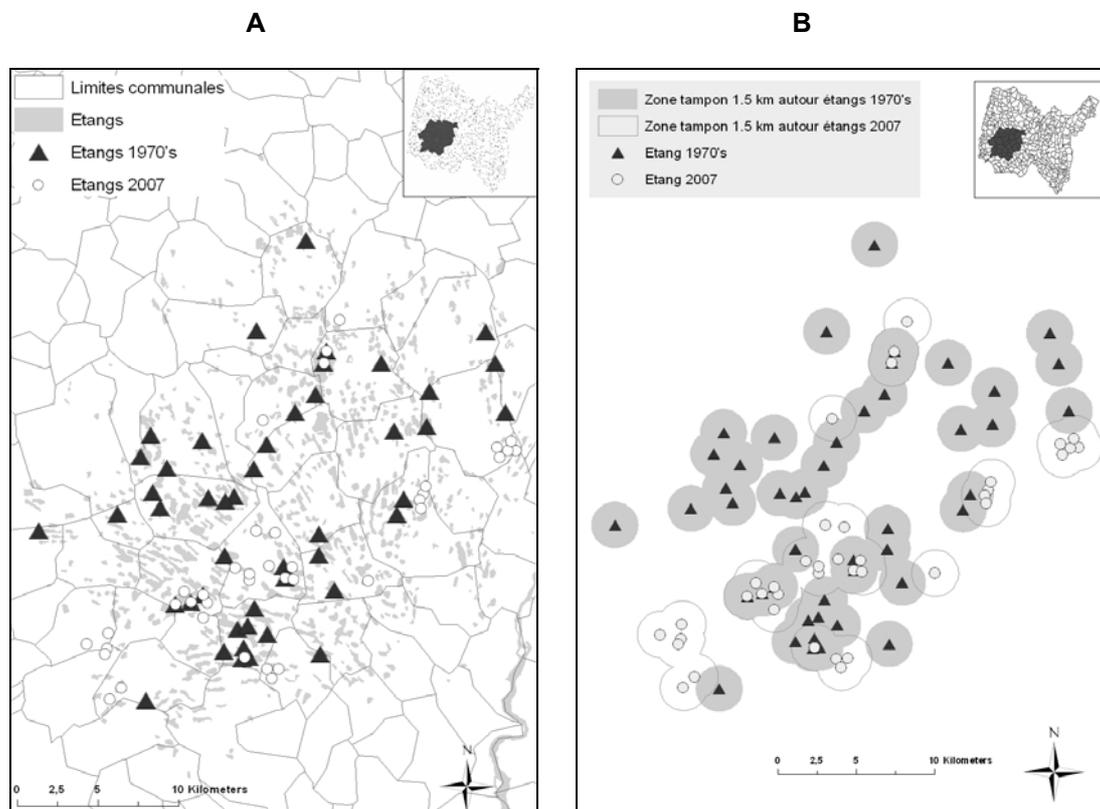


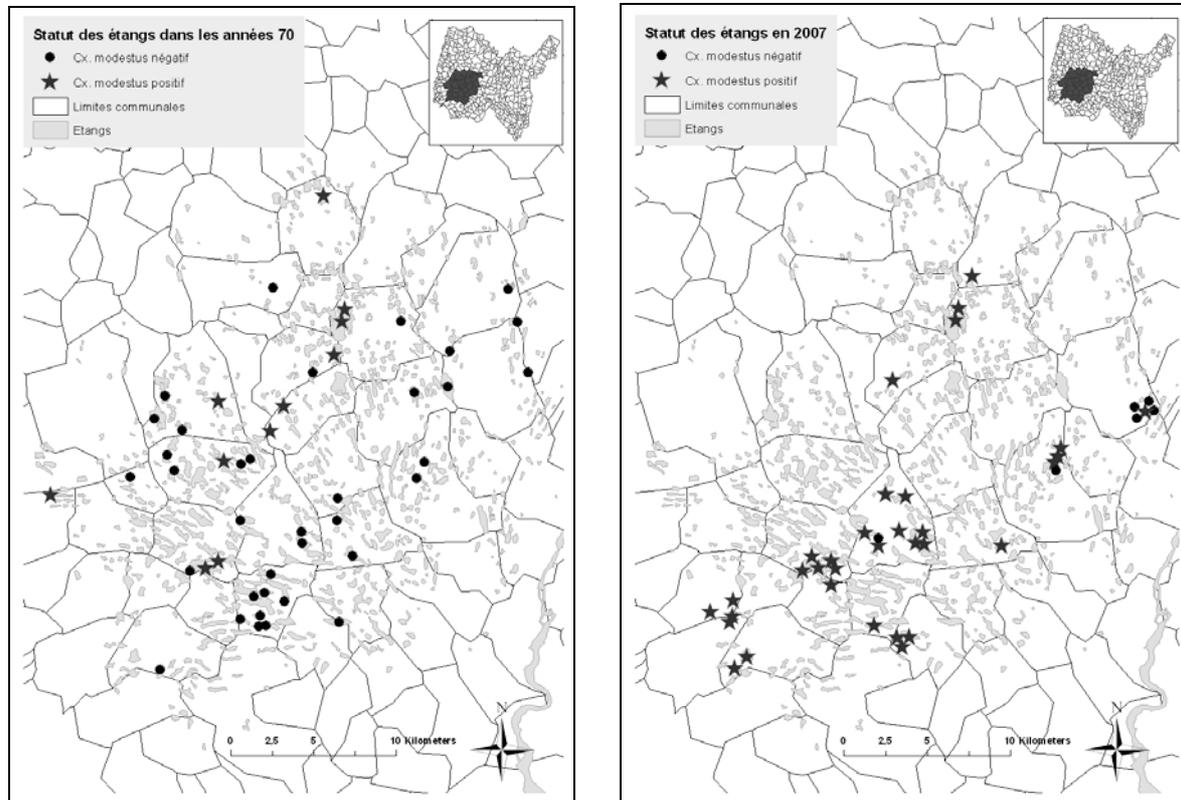
Tableau 1

Résultats des prospections larvaires et des captures d'adultes effectuées entre mai et octobre 2007

Genre	Larves		Adultes	
	Collectés	Proportion	Collectés	Proportion
<i>Culex sp.</i>	9 860	70,9%	4 887	97,1%
<i>Anopheles sp.</i>	3 016	21,7%	47	0,9%
<i>Aedes sp.</i>	848	6,1%	95	1,8%
<i>Culiseta sp.</i>	182	1,3%	2	3,9 e-4%
Total	13 906	-	5 031	-
<b><i>Cx. modestus</i></b>	<b>2 757</b>	<b>19,8% du total</b> <b>27,9% des <i>Culex sp.</i></b>	<b>3 878</b>	<b>77,1% du total</b> <b>79% des <i>Culex sp.</i></b>

**Rappel** : les adultes ont été collectés près de deux étangs, les larves dans 39 étangs. Les résultats « adultes » ne peuvent donc pas être directement comparés aux données « larves ».

**Figure 3**  
**Présence de *Cx. modestus* dans les étangs**  
**dans les années 1970 (22,4 % d'étangs positifs) et en 2007 (84,6 % d'étangs positifs)**



## IV- DISCUSSION

### 1. DE LA COMPARAISON DES DEUX ETUDES

Nous mettons en évidence de grandes différences de fréquence des populations de *Cx. modestus* entre le début des années 70 - où l'espèce semblait peu fréquente, voire sporadique selon les années (tableau 2) - et 2007, où l'espèce apparaît comme très fréquente. Nous discutons dans cette partie les origines possibles de ces variations en considérant plusieurs facteurs d'origine méthodologique, anthropique et naturelle.

L'enquête entomologique réalisée dans les années 70 a été effectuée entre mars et octobre des années 1972, 1973 et 1974, ce

qui comprend la période d'activité présumée de *Cx. modestus*, qui s'étend généralement de mai à octobre en Dombes [Pichot, 1978]. Les résultats des années 70 ont été présentés en englobant les 3 années d'étude, ce qui peut masquer des variations interannuelles importantes et sous-estimer la fréquence de *Cx. modestus* à cette période. Or, la fréquence de *Cx. modestus* dans les étangs varie de 11 à 30% en fonction des années (tableau 2) [Pradel *et al.*, 2008a]. Quelle que soit l'année considérée, la fréquence de *Cx. modestus* peut donc bien être qualifiée de sporadique à peu fréquente.

Tableau 2

**Présence de *Cx. modestus* dans les gîtes larvaires et les étangs, dans les années 70 en comparaison avec 2007.**

Un étang est considéré comme positif (+) si au moins une larve de *Cx. modestus* est trouvée dans l'étang ; sinon, il est négatif (-).

	1972	1973	1974	1972 – 1974	2007
Période d'étude	Mars – Oct.	Mai – Oct.	Mars – Juin	Mars – Oct.	Avril – Sept.
Nb. de gîtes	37	32	10	79	151
Nb. D'étangs	14	27	9 *	49	39
Nb. de sites prospectés Par étang (moy. ± sd)	2,6 ± 2,1	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,4	1,6 ± 0,5	3,8 ± 2,4
Nb. de gîtes positifs	4 (11%)	8 (25%)	1 (10%)	13 (16%)	101 (67%)
Nb. d'étangs positifs	3	8	1	11	33
Proportion	21%	30%	11%	22%	85%
Intervalle de confiance (95%)	(3% – 56%)	(12% – 47%)	(0 – 45%)	(11% – 34%)	(73% – 96%)
Fréquence de <i>Cx. Modestus</i>	Sporadique à modéré	Sporadique à modéré	Sporadique à modéré	Sporadique à peu fréquent	Fréquent à constant

\* un étang a été prélevé deux fois en 1973 et 1974.

La localisation précise de certains étangs et l'appartenance de certains gîtes aux étangs appropriés n'a pas toujours pu être établie de façon certaine si le nom de l'étang ou du lieu-dit n'était pas assez précis ou manquait. Dans ce cas, nous avons fait des hypothèses et établi deux bases de données : l'une maximisant (57), l'autre minimisant (49) le nombre d'étangs. Le véritable nombre d'étangs prospectés par Pichot se situe donc dans cette fourchette. En l'absence d'informations plus précises, nous nous sommes basés pour cette étude sur la taille d'échantillon la plus faible. Par conséquent, si le nombre d'étangs inclus dans l'étude est supérieur, la fréquence de *Cx. modestus* dans les étangs serait plus faible. Les fréquences que nous avons calculées sont donc des estimations maximales pour cette période.

Les étangs étudiés à chaque période ne couvrent pas tout à fait les mêmes zones, il est donc possible que nos résultats soient biaisés par un effet géographique. Nous avons effectué les mêmes calculs sur des échantillons 1970s et 2007 couvrant des zones comparables en conservant les étangs situés dans un rayon de 0,5, 1,5 et 3km les uns des autres. Cela ne montre pas de différence par rapport aux observations que nous venons de rapporter (données non présentées).

**2. ABONDANCE DE *CX. MODESTUS* DANS LA POPULATION ADULTE**

L'abondance des adultes est un paramètre intervenant dans l'estimation de la capacité vectorielle. Dans notre étude, l'abondance relative de *Cx. modestus* dans la population s'est avérée très élevée mais doit être nuancée. En effet, trois des quatre pièges étaient placés dans un étang contenant de nombreux gîtes larvaires de *Cx. modestus*. Les adultes s'éloignant peu des gîtes, la population de *Cx. modestus* a sans doute été surestimée.

Ces résultats montrent que la population d'adultes, autour d'étangs hébergeant de nombreux gîtes de *Cx. modestus*, peut être très importante. Ceci atteste un succès du développement larvaire, de l'émergence et de la reproduction de l'espèce dans l'environnement *a priori* défavorable qu'est l'étang piscicole. En effet, les étangs contiennent de nombreux prédateurs de larves de moustiques, et d'insectes plus généralement : crustacés, insectes et poissons en particulier. L'intensité de production ainsi que le type d'activité piscicole (étangs de pose, d'alevinage ou de pêche réglée) peuvent avoir un impact sur l'abondance de *Cx. modestus* et les densités d'adultes grandement varier d'un étang à l'autre.

### 3. VARIATIONS INTERANNUELLES OU AUGMENTATION DES POPULATIONS DEPUIS UNE TRENTAINE D'ANNEE ?

Notre étude de terrain est basée sur des observations portant sur la seule année 2007 ; il est donc difficile de dire si les différences observées entre les années 70 et 2007 relèvent de variations interannuelles, aussi importantes soient-elles, ou d'évolution d'abondance des populations de *Cx. modestus* en Dombes depuis une trentaine d'années. Il faudrait disposer d'observations supplémentaires. L'épisode d'influenza aviaire dû au virus H5N1 survenu en Dombes en 2006 n'a pas permis d'effectuer l'étude cette année-là. Néanmoins, le contexte sanitaire en 2008 est, comme en 2007, favorable ce qui a permis d'envisager une nouvelle campagne de prélèvements au printemps. La conduite d'une étude similaire pendant deux ou trois années consécutives permettrait d'établir la fréquence moyenne actuelle des populations de *Cx. modestus* et de la comparer avec le niveau d'il y a 30 ans.

### 4. ORIGINE DES DIFFERENCES OBSERVEES ?

S'il n'est pas possible pour le moment de répondre à la question précédente, nous pouvons d'ores et déjà nous intéresser aux facteurs qui peuvent influencer sur la présence et l'abondance de certaines espèces. Le tableau 3 résume les facteurs qu'il conviendrait de considérer et leurs impacts possibles. On peut en distinguer trois types : les facteurs méthodologiques, naturels et anthropiques.

➤ Concernant les méthodes, l'effort de prospection (surface de gîte prospectée, nombre de prélèvements par gîte et nombre de gîtes prospectés par étang) ainsi que le type d'habitat pourraient influencer sur les espèces et le nombre d'individus collectés. Ces aspects ne sont pas suffisamment détaillés dans l'étude de Pichot pour que l'on puisse écarter la possibilité que des différences méthodologiques puissent être à l'origine d'une partie des différences observées.

➤ L'écosystème de la Dombes, pourtant apparemment en équilibre naturel, est entiè-

rement artificiel. Les facteurs anthropiques doivent donc être pris en considération, d'autant plus que leurs impacts sur les vecteurs ou les maladies qu'ils transmettent peuvent être beaucoup plus importants que les facteurs naturels [Sérandour *et al.*, 2007 ; Ponçon *et al.*, 2007 ; Reiter, 2001]. La complexité du fonctionnement des étangs en Dombes et la diversité des acteurs intervenant sur ces milieux (pisciculteurs, agriculteurs, chasseurs) rend l'étude des actions humaines particulièrement complexe. La période de remplissage des étangs ainsi que le nombre d'étangs qui sont mis en eau chaque année sont décidés par l'homme. Mais cela dépend également de la quantité de précipitations automnales et hivernales ainsi que des accords entre les propriétaires ou gestionnaires des étangs d'une même chaîne [Bérard, 1982]. Les durées d'évolage dépendent de l'utilisation qui est faite de l'étang : les pisciculteurs privilégient des durées d'évolage courtes (trois ans en général), le particulier qui loue ses étangs pour la chasse favorisera au contraire une durée d'évolage plus longue (quatre, cinq ans ou plus). La gestion de l'assec est également différente si l'étang est utilisé pour la chasse. Or, le nombre d'années d'évolage et la gestion de l'assec influencent la végétation des étangs (type de végétation, surface, ...) [Bareau, 1982 ; L. Curtet, com. pers.]. Et l'on sait que la végétation (espèce, type, densité, hauteur...) est un critère déterminant la ponte des femelles pour de nombreuses espèces [Becker, 2003 ; Pichot, 1978]. Enfin, le profil des berges des étangs (en pente douce ou en baquet) a également une importance puisque c'est un facteur qui influence la biodiversité, tant animale que végétale [Broyer *et al.*, 1998], donc probablement aussi celle des culicidés.

De nombreux facteurs devraient donc être pris en considération pour affiner la connaissance de ceux qui influencent la présence des espèces.

➤ Parmi les éléments naturels, les conditions météorologiques qui prévalaient pendant les études de terrain doivent être observées. Les conditions météorologiques étaient très différentes, comme l'attestent les diagrammes ombrothermiques présentés figure 4.

➤ Les années 1972 à 1974 étaient globalement plus froides que la normale (-1,0°C en moyenne <sup>3</sup>) alors que 2007 était

une année particulièrement chaude (+0,7°C en moyenne) et une année de records météorologiques (figure 4A).

Tableau 3

Tableau récapitulatif des facteurs pouvant influencer sur la présence de *Cx. modestus*

Type	Facteur	Impacts
Méthode de prospection	Matériel utilisé	Espèces et quantité de larves
	Effort de prospection - Longueur de gîte - Durée de prospection	Richesse spécifique Quantité de larves
	Habitat prospecté	Espèces
Naturel	Végétation de l'étang Précipitations	Disponibilité de gîtes
	Températures hivernales	Diapause et survie des femelles hibernantes Taille et précocité de la 1 <sup>ère</sup> génération
	Températures estivales	Vitesse de développement larvaire Abondance des populations
Anthropique	Profil des berges de l'étang	Biodiversité végétale et animale
	Gestion de la végétation (Bordante vs aquatique)	Gîtes d'hivernation des femelles hibernantes Disponibilité des gîtes, camouflage des larves
	Gestion piscicole	Disponibilité de gîtes Prédation des larves
	Gestion cynégétique	Disponibilité de gîtes larvaires
	Gestion de l'assec : type de culture et période et durée d'assec	Disponibilité et qualité des gîtes larvaires
	Environnement de l'étang en cultures (intrants)	Survie des stades aquatiques Richesse spécifique

L'hiver 2006-2007 a été très doux comme l'automne 2006, le plus doux jamais observé depuis l'enregistrement des données météo à la Station de Marlieu, en 1956. Cette douceur a pu influencer de manière très importante sur la survie des femelles hibernantes de *Cx. modestus*, sur le développement larvaire et, *in fine*, sur la taille de la population.

Les conditions de précipitations étaient également très différentes, 2007 étant une année particulièrement arrosée à partir de mai tandis que les années 70 sont déficitaires de 1972 à 1974 (figures. 4A et 4B) [Pradel *et al.*, 2008a].

Avec les températures, les précipitations influent sur l'intensité de l'évapotranspiration donc sur le niveau d'eau dans les étangs et la disponibilité des gîtes larvaires.

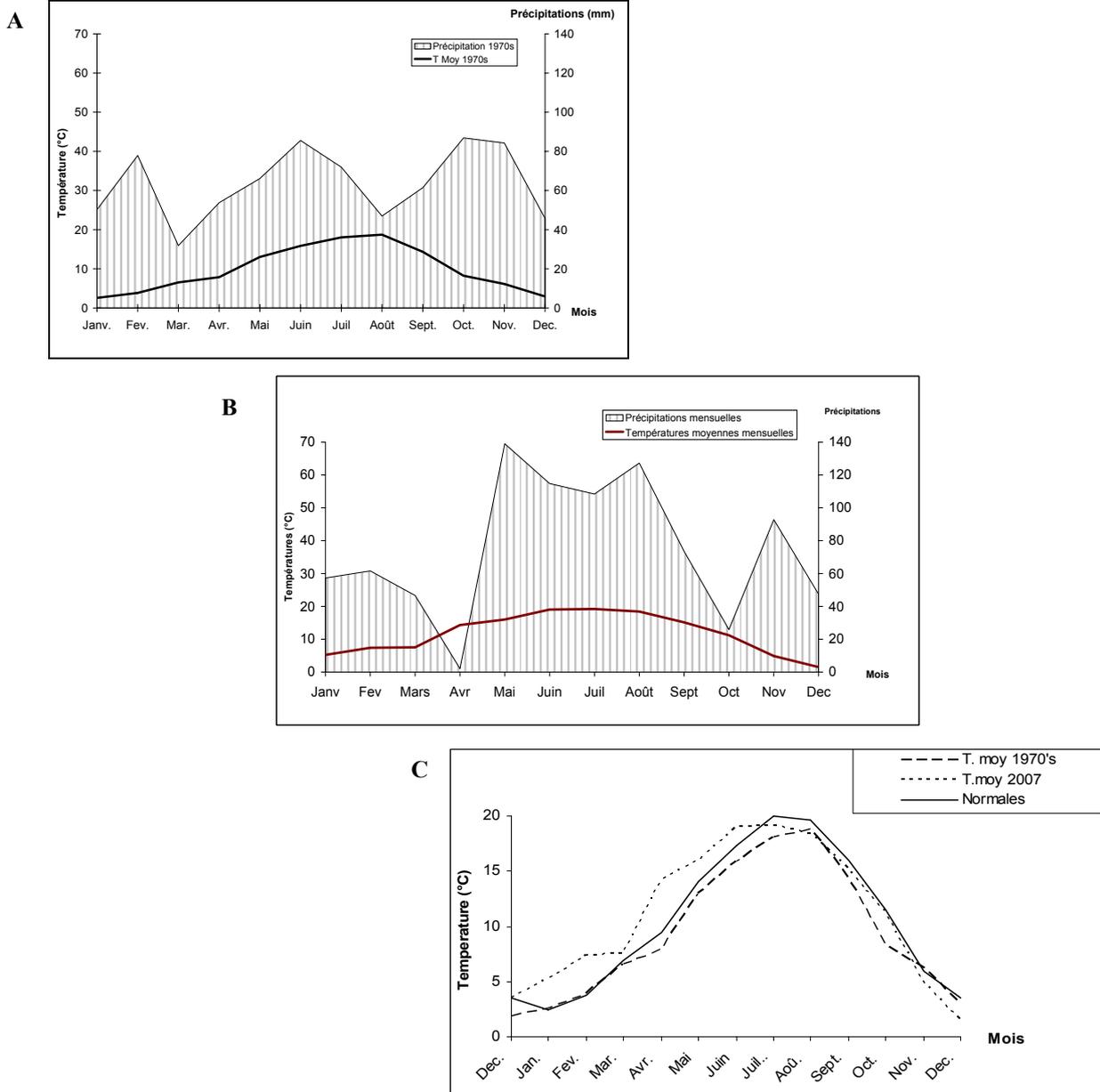
Le changement climatique global connaît d'importantes disparités géographiques, et concerne aussi la Dombes. Une étude récente a montré que depuis 1964 le climat a changé, en particulier du point de vue des températures : les températures mensuelles moyennes de 11 mois sur 12 ont connu une hausse significative de 0,2 à 3°C en fonction des mois et les températures estivales ont augmenté de 2,5°C [Bernard *et al.*, 2007]. De nombreuses études montrent que le changement climatique, la hausse des températures surtout, a des impacts sur les systèmes naturels et sur tous les aspects de la diversité biologique [Giec1, Giec2]. Les effets sont perceptibles sur les périodes de reproduction, de migration, sur la durée de la saison d'activité et sur la répartition de nombreuses espèces animales.

<sup>3</sup> Différence entre la température moyenne annuelle normale et la moyenne (sur 1972, 1973 et 1974) des températures annuelles moyennes.

Figure 4

Diagrammes ombrothermiques établis à partir des données de températures mensuelles moyennes et de précipitations mensuelles dans les années 70 (A) et en 2007 (B). Courbes des températures mensuelles moyennes observées dans les années 70, en 2007 et normales (C).

NB. 1- Les données ont été obtenues auprès de la station Météo – France de Marlieu. 2 - Pour la période 1970s, la courbe des températures mensuelles moyennes a été obtenue en calculant la moyenne des températures mensuelles moyennes des années 1972, 1973 et 1974.



Pour les moustiques, les impacts peuvent s'exercer sur la vitesse de développement larvaire, la survie des individus, la durée du cycle gonotrophique, le nombre de repas de sang, *etc.*, mais également sur les interactions virus-vecteur (durée du cycle d'incubation extrinsèque) et, *in fine*, sur la compétence vectorielle. Ces changements peuvent

entraîner d'importantes modifications du risque de circulation d'agents pathogènes portés par les vecteurs [Githeko *et al.*, 2000 ; Reiter, 1988].

Selon les auteurs, *Cx. modestus* est une espèce « de répartition mésogéenne connaissant quelques extensions nordiques », ou « une espèce paléarctique largement

répandue en Europe, exception faite des pays nordiques » [Mouchet, 1970, Schaffner *et al.*, 2001]. Pour Rioux [1958], *Cx. modestus* « affecte l'ensemble des régions méditerranéennes avec une avancée sur la Russie méridionale et quelques stations ectopiques le long du littoral atlantique ». *Cx. modestus* a également été trouvé en Grande-Bretagne, ce qui constitue selon Marshall une localisation aberrante de l'espèce, dont l'introduction serait probablement d'origine anthropogène (transports aériens) [Marshall, 1945]. Il serait intéressant de connaître les caractéristiques thermiques optimales de développement de *Cx. modestus* afin de voir si la Dombes était, est, ou deviendra une zone où cette espèce est susceptible d'abonder...

Si le changement climatique en Dombes se poursuivait dans le même sens que celui observé jusqu'à présent, l'année 2007 pourrait se rapprocher d'une année « normale » par rapport aux conditions climatiques de la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle. Si 2007 s'avérait être du point de vue des températures une année très favorable aux populations de *Cx. modestus*, il est possible que le nombre d'années très favorables au maintien de fortes populations de *Cx. modestus* augmente dans les années à venir.

Cependant, ceci doit être nuancé car leurs gîtes larvaires sont localisés dans des étangs dont l'avenir dépend également des impacts qu'auront les changements climatiques sur les activités humaines, agro-piscicoles et cynégétiques. Ces aspects ne sont, à notre connaissance, pas encore étudiés mais seront déterminants et primordiaux à prendre en considération.

Dans ses travaux, Mouchet se demande « si *Cx. modestus* n'est pas capable de jouer le même rôle épidémiologique (de vecteur de virus WN) dans d'autres parties de son aire de

répartition ». Il constate en effet « une concordance entre les zones de pullulation de *Cx. modestus* et les foyers d'infection à virus WN » [Mouchet *et al.*, 1970]. Pourtant, bien que *Cx. modestus* soit bien implanté en Dombes, le virus ne semble pas avoir circulé jusqu'à présent [Lena *et al.*, 2006].

Une étude approfondie de la compétence vectorielle des populations de *Cx. modestus* en Dombes vis-à-vis du virus WN serait intéressante à conduire. Cela permettrait de les situer par rapport aux populations de Camargue.

Il serait également intéressant de connaître les caractéristiques de l'étang et de la végétation favorables à l'installation de *Cx. modestus* [étude en cours, Pradel *et al.*, 2008b] comme les surfaces de gîte larvaire que peuvent fournir les bords d'étangs en Dombes. On pourrait ensuite les comparer à celles de Camargue, où c'est l'important développement des rizières qui a permis une extension des gîtes de reproduction et à *Cx. modestus* d'abonder [Ponçon *et al.*, 2007].

Les résultats que nous avons présentés ici s'incluent dans un cadre plus global consistant, d'une part, à mieux connaître les espèces culicidiennes associées à l'écosystème si particulier des étangs de la Dombes - commun à quelques rares zones humides françaises comme la Brenne (Indre), et, d'autre part, à étudier les facteurs qui influent sur la présence et l'abondance de ces espèces, potentiellement vectrices de virus WN ou d'autres virus [Pradel *et al.*, 2008b]. Une meilleure connaissance de ces facteurs permettrait de dresser une typologie des étangs favorables au développement de certaines espèces de moustiques représentant un danger potentiel pour la santé humaine ou animale.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

Avocat C. - La Dombes, milieu naturel ou milieu en équilibre ? Introduction à une éco-géographie de l'espace dombiste. *Revue de géographie de Lyon.*, 1975, **50**, 35-58.

Armengaud, A., Cicchelerio V., Capek I. et al. - Surveillance du virus West Nile en France dans les départements du pourtour

méditerranéen, 2003–2006. *BEH*, 2007, **29–30**, 264-267.

Balenghien T., Fouque F., Sabatier P. et al. - Quels sont les vecteurs du virus West Nile dans le Sud de la France? *Environnement, Risque et Santé*, 2007a, **6**, 453-459.

Balenghien T., Vazeille M., Reiter P. et al. - Evidence of laboratory vector competence

- of *Culex modestus* for West Nile virus. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 2007b, **23**, 233-236.
- Bareau H. - Contribution à l'étude phytosociologique des étangs de la Dombes. Essai de synthèse des groupements aquatiques et subaquatiques au niveau européen : 2 Vol, 1982, Thèse de doctorat d'ingénieur, Sciences biologiques fondamentales et appliquées, Paris 11.
- Becker N., Zgomba M., Petric D. et al. - Mosquitoes and their control, 518 pages, London, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003.
- Bérard L. - Terres et eau en Dombes, technologie et droit coutumier, 264 pages, Paris, Edition de la Maison des sciences de l'homme, 1982.
- Bernard A., Lebreton P. - Les oiseaux de la Dombes, une mise à jour, 150 pages, La Dombes, N° 27, 2007.
- Broyer J., Benmergui M., Curtet L. et al. - Etangs, une question d'équilibre. Principes simples pour la gestion et l'aménagement de l'étang Dombiste. Plaquette LIFE/MATE/Région Rhône-Alpes, Conseil général de l'Ain et ONCFS, 1998, 16p.
- GIEC 1 - Contribution du groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. Bilan 2007 des changements climatiques : Les bases scientifiques physiques. Résumé à l'intention des décideurs. Traduction provisoire et non officielle du 2 février 2007. Disponible à l'adresse : [http://www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe\\_de\\_travail\\_i\\_du\\_giec\\_\\_\\_2007](http://www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_i_du_giec___2007).
- GIEC 2 - Les changements climatiques et la biodiversité. Document technique V du GIEC, 75 pages. Publié sous la direction de Gitay, H., Suarez, A., Watson, RT. et al., 2002. Disponible à l'adresse : <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-fr.pdf>.
- Githeko A., Lindsay R., Confalonieri U.E. et al. - Climate change and vector-borne diseases : a regional analysis. *Bull. World Health Organ.*, 2000, **9**, 1136-1147.
- Hars J., Auge P., Chavernac D et al. - Surveillance de l'infection de l'avifaune camarguaise par le virus West Nile. *Revue ONCFS Faune sauvage*, 2004, **261**, 54-58.
- Hars J, Mortamais M., Pradel J. et al. - Circulation du virus West Nile dans l'avifaune française. Bilan de sept années de surveillance. *Epidemiol. et Santé Anim.*, 2008, **53**, 29-41.
- Hubálek Z., Halouzka J. - West Nile Fever - a reemerging mosquito borne viral disease in Europe. *Emerg. Infect. Dis.*, 1999, **5**, 643-50.
- Lena P., Bureau E., Reynard S. et al., - Enquête sérologique pour le virus West Nile dans l'avifaune de la Dombes (Ain) en 2001 : Absence de mise en évidence d'une circulation virale. *Revue Méd. Vét.*, 2006, **157**, 614-620.
- Mailles A., Dellamonica P., Zeller H. et al. - Human and equine West Nile virus infection in France, August-September, 2003. *Euro Surveill*, 2003, **7**, 2312.
- Marshall J.F. - Records of *Culex (Barraudius) modestus* Ficalbi (Diptera, Culicidae), obtained in the South of England. *Nature*, 1945, **156**, 172-173.
- Mouchet J., Rageau J., Laumond C. et al. - Epidémiologie du virus West Nile : étude d'un foyer en Camargue. V- Le vecteur : *Culex modestus* Ficalbi Diptera ; Culicidae. *Ann. Inst. Pasteur Paris*, 1970, **118**, 839-855.
- Murgue B., Murri S., Zientara S. et al. - West Nile in France in 2000 : the return 38 years later. *Emerg. Infect. Dis.*, 2001, **7**, 692-696.
- Pichot J. - Recherches sur les culicidae de la Dombes. Etude faunistique - écologie larvaire. 1978 Thèse de Doctorat d'état de Biologie humaine, Lyon, Université Claude Bernard, 271 pages.
- Pradel J., Rey D., Foussadier R. et al. - Etude écologique des moustiques (Diptera, Culicidae) - vecteurs potentiels d'arbovirose dans la région Rhône Alpes. *Epidem. et santé Anim.*, 2007, **51**, 81-94.
- Pradel J., Martin T., Rey D., Foussadier R., Bicot D.J. - Is *Cx. modestus*, Vector of West Nile Virus in the South of France, spreading in the Dombes region ? 2008a, *In progress*.
- Pradel J., Martin T., Rey D., Foussadier R., Bicot D.J. - Ponds-associated mosquito species in the Dombes region, France.

- Habitat characterization and species associations. 2008b, *In progress*.
- Ponçon N., Balenghien T., Toty C. et al. - Effects of local anthropogenic changes on potential malaria vector *Anopheles hyrcanus* and West Nile virus vector *Culex modestus*, Camargue, France. *Emerg. Infect. Dis.*, 2007, 12, 1810-1815.
- Reiter P. - Weather, vector biology and arboviral recrudescence 1988. In: *The Arboviruses : Epidemiology and ecology*, TP. Monath. Florida, CRC Press, 1, 245-255.
- Reiter P. - Climate Change and mosquito-borne disease. *Envir. Health Perspect.*, 2001, 109, 141-161.
- Rioux J.A. - Les culicidés du « Midi » méditerranéen : Etude systématique et écologique. 303 pages, Paul Lechevalier, Paris. 1958.
- Rydzanic K., Lonc E. - Species composition and seasonal dynamics of mosquitoes larvae in Wroclaw, Poland area. *J. Vect. Ecol.*, 2003, 2, 255-266.
- Schaffner F., Angel G., Geoffroy B. et al. - Les moustiques d'Europe. Paris, IRD édition et EID Méditerranée, 2001.
- Serandour J., Girel J., Boyer S. et al. - How human practices have affected vector-borne diseases in the past : a study of malaria transmission in Alpine valleys. *Malaria Journal*, 2007, 6, 115. Accessible en ligne à l'URL suivante : <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=2042507&blobtype=pdf>
- Service S.W. - Mosquito ecology. Field sampling methods, 988 pages. E. S. publishers. London, Chapman et Hall., 1993.



## Remerciements

Nous remercions vivement le Parc ornithologique de Villars-les-Dombes, et en particulier le Dr. Vétérinaire Eric Bureau pour nous avoir hébergés et pour avoir mis à notre disposition les étangs de la Réserve naturelle pour cette étude.

Nous tenons également à remercier les personnes qui nous ont orientés en particulier M<sup>me</sup> Chapelain (Syndicat d'exploitants des étangs), M. Godefroy (garde de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage de Birieux, M. Rousset, garde chasse privé et M. Cote.

Merci également à Francis Schaffner (Université de Zurich), Grégory L'Ambert et Jean Baptiste Ferré (EID-Méditerranée) pour nous avoir aidés dans la confirmation des espèces de *Culex*.

Nous remercions tous les propriétaires et gestionnaires d'étangs pour leur confiance et de nous avoir permis de mener notre étude : M. Bodin, M. Badelere, M. Barranco, M. Castagnier, M. Curtet, M. De Framond, Dr. Delors, M. Jambon, M. La Virotte, M. Meric de Bellefon, M. Pannetier, M<sup>me</sup> Pradel et M. Robin.

Cette étude a bénéficié d'une collaboration avec la Fondation Pierre Vérots dans le cadre d'une convention. Enfin, ce travail a été effectué dans le cadre général du projet Analyse du Changement Climatique et de ses Impacts sur l'Eau et la Santé (ACCIES).