

# Distribution spatiale des pontes d'*Aedes (Ochlerotatus) caspius* (Pallas) (Diptera : Culicidae) dans un marais temporaire du littoral méditerranéen français

E. Franquet<sup>1</sup>,  
G. Metge<sup>1</sup>  
G. Vigo<sup>2</sup>  
C. Lagneau<sup>2</sup>  
C. Courtesol<sup>2</sup>

Mots-clés : Culicidae, ponte, sédiment, micro-habitats, macrophytes.

Dans la région méditerranéenne, une composante importante des habitats aquatiques est constituée par les zones humides stagnantes temporaires. Ces milieux ont des usages multiples (chasse, agriculture, protection des oiseaux), mais sont en contre partie liés à une nuisance forte : le développement de moustiques, du genre *Aedes*, en particulier.

L'objet de cet article est la mise en évidence d'une relation existant entre les caractéristiques des habitats (aux échelles macro et micro-géographique) et la distribution spatiale des pontes d'*Aedes caspius*.

Les groupements végétaux, par l'intermédiaire des espèces discriminantes, permettent de localiser avec précision les différents niveaux de fertilité des aires de pontes des *Aedes caspius*. Les variables explicatives humidité, texture, oxydes ferriques sont traduites d'une manière pertinente par la végétation, cette dernière pouvant être appréhendée de manière opérationnelle par l'utilisation des niveaux écologiques "outils techniques et opérationnels" de l'Entente Interdépartementale pour la Démoustication du littoral Méditerranéen (EIDM).

## Oviposition preferences of *Aedes (Ochlerotatus) caspius* (Pallas) (Diptera : Culicidae) in a temporary mediterranean littoral marsh in France

Keywords : Culicidae, oviposition, sediment, micro-habitat, macrophytes.

In the mediterranean area, humid zones are a main component of the aquatic habitat. These zones are used for multiple activities — hunting, agriculture and bird protection —, but they constitute an important public nuisance in harbouring the development of *Aedes* larval mosquitoes.

The aim of this paper is to present the relationships between habitat characteristics and the spatial distribution of oviposition of *Aedes caspius*.

Oviposition sites appear to be selected by the insects based on vegetation community composition. Humidity, substrate composition and ferric oxides are determinants of vegetation community structure. Identification of these ecological niches may be used in operational techniques for control of *Aedes* populations by the EIDM.

---

1. IMEP, UMR CNRS 6116, Lab. d'Ecologie des Eaux Continentales Méditerranéenne, Université Aix-Marseille III, Case C31, 13 397 Marseille Cedex 20, France.

E-mail : evelyne.franquet@ecm.u-3mrs.fr

2. Entente Interdépartementale pour la Démoustication du littoral Méditerranéen, 165 rue Paul Rimbaud, B.P. 6036, 34030 Montpellier Cedex 1, France

## 1. Introduction

Le littoral méditerranéen français comprend un grand nombre de marais temporaires. Ces milieux résultent des précipitations automnales mais aussi, pour la plupart, de mises en eau artificielles (marais de chasse, cultures). Ces marais temporaires sont des gîtes à moustiques ; ce sont des sites de ponte et de développement larvaires, en particulier, pour les espèces *Aedes (Ochlerotatus) caspius* (Pallas) et *A. (Ochlerotatus) detritus* (Haliday) (Rioux 1958, Sevenet & Andarelli 1963).

Ces dépressions temporairement inondées présentent des caractéristiques variables aux échelles macro-géographiques (variation inter-dépressions) et micro-géographiques (inter-microhabitats). A l'échelle macro-géographique, les dépressions diffèrent par leur mode de mise en eau (fréquence, durée et origine des arrivées d'eau), dépendant de l'histoire (hydrodynamique des eaux de surface) et des aménagements. A l'échelle du micro-habitat, chaque dépression présente une mosaïque, dont la structure est caractérisée, en partie, par le sol et le couvert végétal.

L'objectif de ce travail est de mettre en relation la variabilité spatiale de la distribution des pontes de *Aedes (Ochlerotatus) caspius* avec les conditions environnementales existantes aux échelles du macro et du micro-habitat. La distribution spatiale des pontes de cette espèce reste relativement peu étudiée (Metge & Hassaine 1998, Hassaine et al. 2001), en comparaison avec celles d'autres espèces d'*Aedes* telles que *A. (Ochlerotatus) aegypti* (L.) (e.g. Canyon et al. 1999a, 1999b, Edman et al. 1998), *A. (Ochlerotatus) notoscriptus* (Skuse) (Williams 1999), alors que les émergences d'*A. (Ochlerotatus) caspius*, en particulier, représentent une nuisance publique forte, contre laquelle l'EIDM lutte depuis plus de 25 ans.

## 2. Site d'étude

Le site d'étude (Fig.1) est un marais de chasse, mésosalin, peu profond, situé à l'est du Grand-Rhône, au niveau de son embouchure. Ce site comprend trois dépressions (Stations 1, 2 et 3) dont les caractéristiques environnementales résultent à la fois de facteurs anciens, morpho-pédogénétiques (divagations du Rhône et avancées de la mer) et de facteurs actuels (dynamique des nappes, des sels, transport des sables, submersion et sédimentation).

La station 1 est caractérisée par des sols chlorurés, sulfatés et sodico-calciques, des eaux de surface oligo à mésosalines et des eaux de nappe hyperhalines. Elle

se situe sur la partie déprimée du bourrelet alluvial. La station 2 est caractérisée par des sols chlorurés, sodico-calciques et sodico-magnésiens, des eaux de surface oligohalines et des eaux de nappe fortement halines. Elle se situe sur la partie externe du bourrelet. La station 3 est caractérisée par des sols chlorurés, sodiques et sodico-magnésiens, des eaux de surface oligo à mésosalines et des eaux de nappe hyperhalines. Elle se situe sur la partie latérale du bourrelet.

## 3. Matériel et méthodes

### 3.1. Matériel

Les prélèvements d'œufs ont été réalisés pendant la période d'assec estival (août 2000). Les échantillons de 200 cm<sup>3</sup> de sol sont prélevés par un emporte-pièce de forme prismatique et de section carrée (100 cm<sup>2</sup>). L'épaisseur de l'échantillon est limitée à 2 cm car moins de 5 % des œufs se trouvent à une profondeur supérieure (Gabinard 1975, Metge & Hassaine 1998). Chaque échantillon de sol est référencé (Fig.1), placé dans un sachet plastique et conservé à 4°C jusqu'au moment de l'extraction des œufs.

Les œufs sont extraits du reste de sol par agitation et tamisage (vide de maille des tamis successivement utilisés : 1,5 mm, 0,5 mm, 0,31 mm et 0,08 mm) puis par flottaison. Le mélange retenu par le dernier tamis est introduit dans l'ampoule à décantation préalablement remplie d'une solution saturée de chlorure de sodium. Les particules qui flottent dans la saumure sont recueillies sur un papier filtre. Une fois extraits, les œufs d'*Aedes (Ochlerotatus)* sont identifiés (Gabinard et al. 1975) et comptés sous une loupe binoculaire. Seuls, les œufs viables sont pris en compte.

### 3.2. Plan d'échantillonnage

Pour chacune des 3 stations, les échantillons ont été réalisés suivant deux transects (Nord-Sud et Est-Ouest). Sur chacun des transects, les échantillons sont prélevés au hasard (Fig. 1). Chaque point de prélèvement est décrit par une série de variables qualitatives définies à l'œil nu ou au toucher (Tableau 1).

### 3.3. Analyses des données

Le tableau croisant les 14 variables (soit 57 modalités) et les 71 lignes a été analysé par une Analyse des Correspondances Multiples (ACM, Tenenhaus & Young 1985). Cette analyse permet d'établir des corrélations entre les différentes modalités des variables considérées, et en particulier de caractériser les points à forte densité d'œufs.

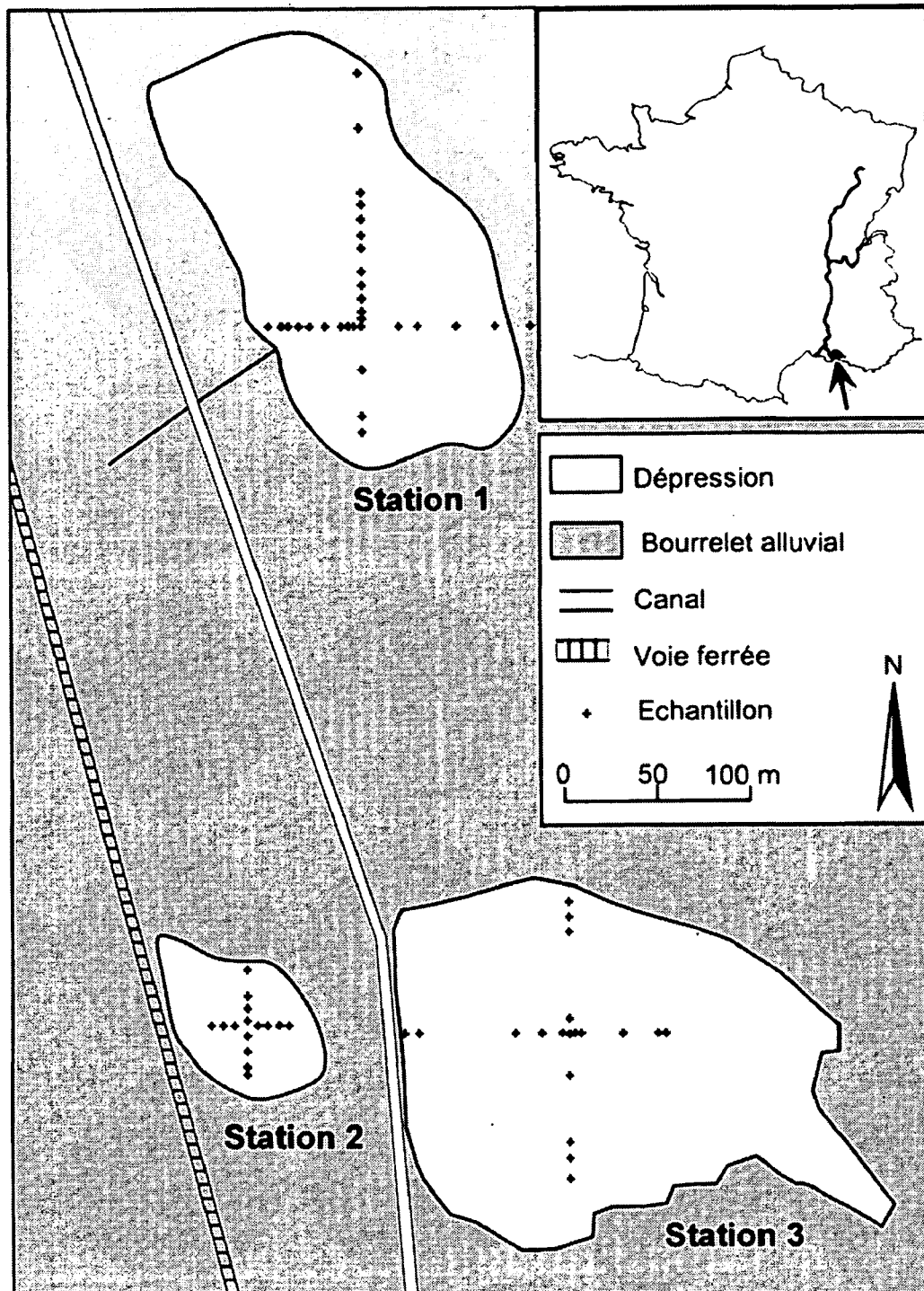


Fig. 1. Carte du site d'étude.

Fig. 1. Location of the studied site.

Les effets des différentes variables sur la moyenne des densités d'œufs ont été testés par des tests de Student (cas où les variables ont deux modalités) sur données non appariées ou par des analyses de variance à un facteur (cas où les variables ont plus de 2 modalités, ANOVA 1). Pour réaliser ces tests, les données ont été transformées de la façon suivante :  $y = \text{Log}(x+1)$ .

Pour certaines variables, des modalités comportant un nombre trop faible d'occurrence ont été regroupées, lorsque cela a été possible ou supprimées. Les regrou-

pements ont été effectués suivant les résultats de l'ACM. Pour l'ANOVA concernant les espèces végétales, quatre regroupements ont été réalisés : Js - Js+Pha - Js+Jm, Jm+Pha - Jm+T, Jm+Sf - Jm, Pha - Bom+Pha, de plus les modalités SN, Se, Sf et Ty ont été éliminées, car trop peu représentées. Ceci conduit à 5 classes et 64 réplicats pour cette variable.

Les analyses multivariées ont été réalisées par le logiciel ADE 4.0 (Thioulouse et al. 1997) et les tests statistiques par le logiciel Statview.

Tableau 1. Liste des modalités des 14 variables qualitatives.  
Table 1. List of modalities for 14 qualitative variables.

Variables	modalités
Densité oeufs	0 à 2 3 à 99 100 à 999 > 999
Station	1 2 3
Orientation	Nord Sud Est Ouest
Distance (%)	1 à 24 25 à 46 47 à 84 85 à 100
Humidité du sol	Frais sec
Couleur du sol	Olive Gris-olive Gris-olive foncé Noir
Texture du sol	Argilo-limoneuse Argilo-sableuse Sablo-limoneuse + Sablo-argileuse Sableuse
Oxydes de Fer	absents présents
Racines	absentes présentes denses
Matière organique	Absentes Présentes
Cyanobactéries	Absentes Présentes
Hauteur végétale (cm)	0 à 35 36 à 53 54 à 97 98 à 114 115 à 250
Recouvrement végétal	0 à 18 19 à 46 47 à 88 89 à 100
Espèces végétales	Sol nu (Sn) Bom : <i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Pallas Pha : <i>Phragmites australis</i> ((Cav.) Stuedel Bom + Pha Jm : <i>Juncus maritimus</i> (Lam.) Jm + Pha Js : <i>Juncus subulatus</i> Forsskal Js + Jm Js + Pha Sf : <i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A. J. Scott Jm + Sf Se : <i>Salicornia europaea</i> (L.) Ty : <i>Typha</i> (L.) Jm + T : <i>Tamarix</i> (L.)

## 4. Résultats

### 4.1. Macro-habitats

La figure 2 montre une différence significative ( $F(2, 68) = 15,2$  avec  $p < 0,0001$ ) entre la station 1, comprenant en moyenne 9 œufs par  $dm^2$ , et les stations 2 et 3 comprenant respectivement 138 et 166 œufs par  $dm^2$ .

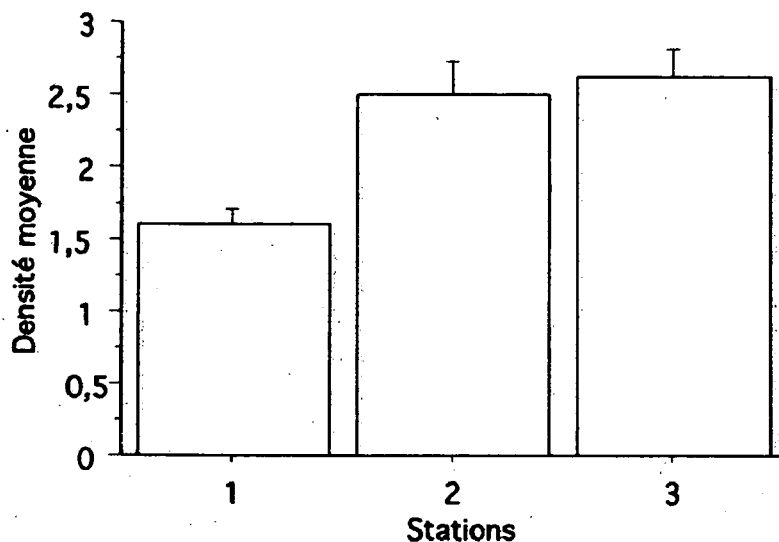


Fig. 2. Densités moyennes des œufs d'*Aedes caspius* dans les stations 1, 2 et 3. Les barres représentent la déviation standard, les densités sont en échelle logarithmique.

Fig. 2. Mean densities of the *Aedes caspius* eggs in the stations 1, 2 and 3. The bars are the standart deviations.

### 4.2. Micro-habitats

Le plan F1xF2 de l'ACM (Fig. 3) permet de caractériser les micro-habitats préférentiels de pontes. Cette analyse met en relation les densités élevées d'œufs d'*Aedes (Ochlerotatus) caspius* avec un sol frais (avec 162 œufs par  $dm^2$  contre 20 dans un sol sec), de couleur gris-olive à gris-olive foncé (avec respectivement 126 et 133 œufs par  $dm^2$  contre 21 et 48 dans un sol olive ou noir), à texture argilo-limoneuse à argilo-sableuse (avec respectivement 159 et 55 œufs par  $dm^2$  contre 4 et 6 dans des sols plus sableux) et à forte teneur en oxydes de fer (avec 92 œufs par  $dm^2$  contre 76). La végétation favorable est constituée de *Juncus subulatus* accompagné de *J. maritimus* et de *Ph. australis*, avec une hauteur supérieure à 1m et une couverture supérieure à 50 %.

Les variables ayant un effet significatif (Tableau 2) par rapport aux effectifs d'œufs concernent le substrat par sa texture, son degré d'humidité et les teneurs en oxydes ferriques. Les variables "matières organiques"

et "recouvrement" ont quant à elles un effet non significatif. En ce qui concerne la végétation, au niveau spécifique, les aires significativement plus "fertiles" sont colonisées par le groupe *Juncus subulatus* - *Juncus maritimus* et *Juncus subulatus* - *Phragmites australis* souvent de superficie réduite dans des groupements à *Juncus maritimus* et *Phragmites australis* de superficie plus grande.

## 5. Discussion

La texture argilo-limoneuse, l'humidité du sol et la présence des oxydes ferriques semblent donc significativement favorables à la ponte et au développement des œufs d'*Aedes*. La texture du sol, en modifiant la perméabilité de ce dernier, a un fort impact sur la distribution spatiale des œufs. Les sols à texture sableuse, plus perméables, ne favorisent pas le maintien de plans d'eau superficiels suffisamment longtemps. De plus, les sols humides favorisent la conservation des œufs et sont sûrement très attractifs pour les femelles en quête de lieux de ponte. Enfin, la présence d'oxydes ferriques traduit des conditions d'oxydo-réduction favorables à l'éclosion des œufs (Sinègre 1974), par l'anoxie établie après submersion. Ceci explique pourquoi la station 1, située dans la partie déprimée du bourrelet alluvial est beaucoup plus pauvre en œufs d'*Aedes*.

Les variables "matières organiques" et "recouvrement" ont quant à elles un effet non significatif d'après les tests. Cependant, l'examen des données brutes montre une différence notable de quantité de matière organique entre les stations 2 et 3, très fertiles en œufs, et la station 1, peu fertile. Il en est de même pour le recouvrement. Ces deux variables mériteraient des mesures plus précises afin de mettre en évidence leur rôle dans le choix du lieu de ponte.

En ce qui concerne la végétation, les aires les moins fertiles sont occupées par *Phragmites australis* en peuplement monospécifique ou en groupement avec *Bolboschoenus maritimus*. Ces micro-habitats, lorsque les conditions mésologiques sont satisfaisantes, offrent des conditions de submersion plus longues et ne sont pas favorables aux pontes. Cette hypothèse est étayée par la variable distance, exprimée en distance relative par rapport au diamètre total de la dépression. Les plus fortes densités d'œufs ont été mesurées sur les distances comprises entre 48 et 80 %, ce qui correspond, en période de ponte, à la frange supérieure du plan d'eau.

### Remerciements

Cette étude a été financée par le Programme "Life-environment". Nous remercions les équipes opérationnelles de l'EIDM, en particulier MM. Babinot et Bardin, pour leur travail de terrain et leurs conseils.

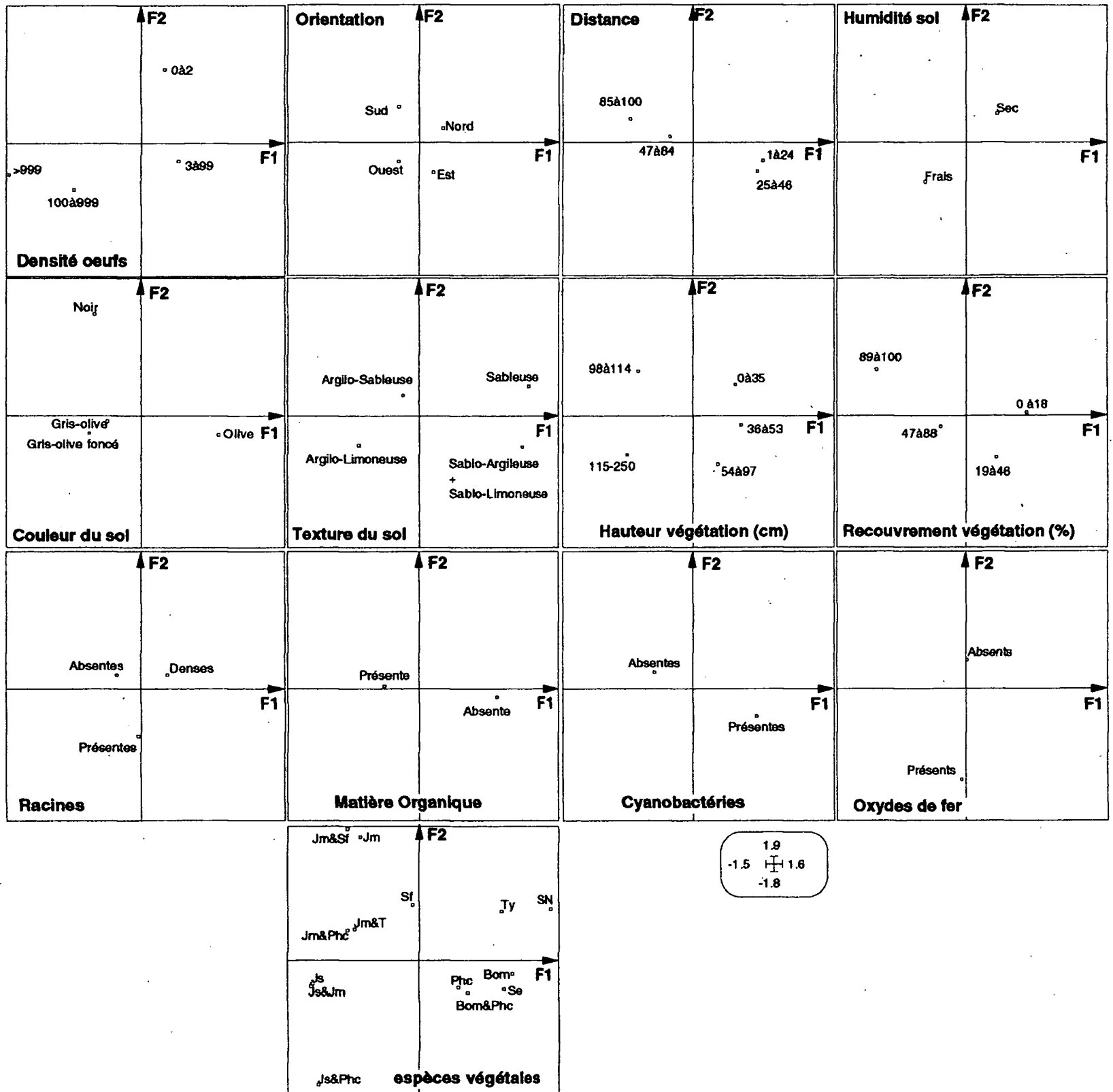


Fig. 3A. Cartes factorielles (F1xF2) des variables issues de l'ACM. Les codes des relevés correspondent aux transects (OA = station 1 ouest, EA = station 1 est, NA = station 1 nord, SA = station 1 sud, OL = station 2 ouest, EL = station 2 est, NL = station 2 nord, SL = station 2 sud, OM = station 3 ouest, EM = station 3 est, NM = station 3 nord, SM = station 3 sud) suivis du N° de l'échantillon.

Fig. 3A. Factorial maps (F1xF2) of the variables calculated from the MCA. The samples labels are the name of the transects (OA = station 1 West, EA = station 1 East, NA = station 1 North, SA = station 1 South, OL = station 2 West, EL = station 2 East, NL = station 2 North, SL = station 2 South, OM = station 3 West, EM = station 3 East, NM = station 3 North, SM = station 3 South) with the number of the replicate.

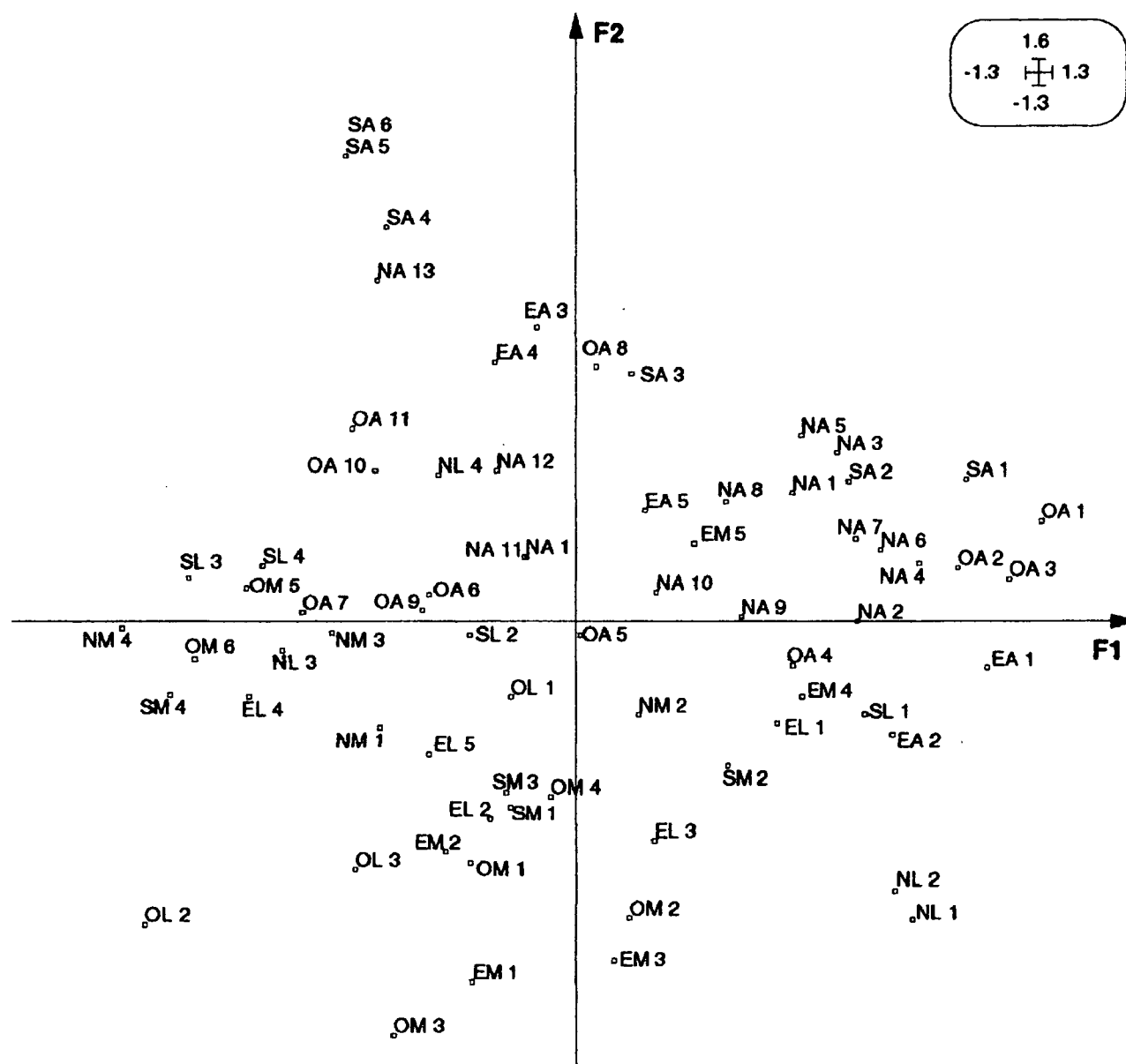


Fig. 3B. Carte factorielle (F1x F2) des relevés issus de l'ACM. Codes des relevés : voir Fig. 3A.

Fig. 3B. Factorial map (F1x F2) of the samples from the MCA. Samples labels : see Fig. 3A.

Tableau 2. Résultats des tests de student et ANOVA 1.

Table 2. Student tests and ANOVA 1 results.

Variabes	Valeur de F ou t	Résultat du test
Orientation	F (3,67) = 0,26	p = 0,85 NS
Distance	F (3,67) = 0,48	p = 0,69 NS
Humidité du sol	t (69 ddl) = -4,49	p < 0,001***
Couleur du sol	F (3,67) = 2,25	p = 0,09 NS
Texture du sol	F (3,67) = 5,43	p = 0,021 **
Matière organique	t (69 ddl) = -1,44	p = 0,16 NS
Racines	F (2,68) = 0,41	p = 0,66 NS
Cyanobactéries	t (69 ddl) = -1,78	p = 0,08 NS
Oxydes de Fer	t (69 ddl) = -2,86	p = 0,006***
Espèces végétales	F (5,58) = 3,97	p = 0,006 ***
Hauteur de végétation	F (4,66) = 1,59	p = 0,19 NS
Recouvrement végétal	F (3,67) = 1,26	p = 0,30 NS

### Travaux cités

- Canyon D.V., Hii J.L.K. & Muller R. 1999a. — Effect of diet on biting, oviposition, and survival of *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae). *J. Med. entomol.*, 36 : 301-307.
- Canyon D.V., Hii J.L.K. & Muller R. 1999b. — Adaptation of *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae) oviposition behavior in response to humidity and diet. *J. Ins. Physiol.*, 45 : 959-964.
- Edman J.D., Scott T.W. & Clark G.G. 1998. — *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae) movement influenced by availability of oviposition sites. *J. med. Entomol.*, 35 : 578-583.
- Gabinaud A. 1975 — Ecologie de deux *Aedes* halophiles du littoral français: *Aedes (O.) caspius (O.)* (Pallas 1771) et *Aedes (O.) 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.
- Gabinaud A., Crosset H., Cousserans J. & Rioux A. 1975. — Ecologie de deux *Aedes* halophiles, *Aedes (O.) caspius* et *Aedes (O.) detritus* dans le midi de la France. I. Structure et critères d'identification de deux espèces au stade œufs. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 50 : 123-130.

- Hassaïne K., Gourmala S. & Metge G. 2001. — Cinétique démographique des populations pré-imaginale d'*Aedes mariae* (Diptera : Culicidae) des côtes occidentales algériennes. *Ann. Limnol.*, 37 : 1-11.
- Metge G. & Hassaïne K. 1998. — Study of the environmental factors associated with oviposition by *Aedes detritus* along a transect in Algeria. *J. Am. Mosqu. Contr. Ass.*, 14 : 283-288.
- Rioux J.A. 1958. — Les Culicidae du midi méditerranéen. In *Encyclopédie entomologique*, Lechevalier, Paris : 35 p.
- Senevet G. & Andarelli L. 1963. — Les moustiques l'Afrique du nord et du bassin méditerranéen. III. Les *Aedes*. Première partie : généralités. *Arch. Inst. Pasteur Alger*, 41 : 115-141.
- Sinègre G. 1974. — Contribution à l'étude physiologique d'*Aedes (Ochlerotatus) caspius* (Pallas 1771) (Nematocera, Culicidae). Ecllosion, dormance, développement, fertilité. Thèse d'Etat. Univ. Montpellier : 285 p.
- Tenenhaus M. & Young F.W. 1985. — An analysis and synthesis of multiple correspondence analysis, optimal scaling, dual scaling, homogeneity analysis and other methods for quantifying categorical multivariate data. *Psychometrika*, 50 : 91-119.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. & Olivier J.M. 1997. — ADE-4 : a multivariate analysis and graphical display software. *Stat. and Comp.*, 7 : 75-83.
- Williams C.R. 1999. — Spatial heterogeneity in oviposition preference of the mosquito *Aedes notoscriptus* in Adelaide, South Australia. *Austr. J. Entomol.*, 38 : 354-358.