

DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE LA POSSIBILITE DE PRESENCE DES VIRUS INFLUENZA A EN CAMARGUE EN FONCTION DES MILIEUX ET DE LA PERIODE

La transmission des virus influenza A faiblement pathogènes d'un oiseau à l'autre se fait principalement par voie oro-fécale, *via* l'eau au sein de l'avifaune. Les virus peuvent être stables plusieurs mois dans l'eau. Tout plan d'eau accueillant des oiseaux sauvages, surtout des canards, peut donc être une source de contamination des oiseaux sauvages.

L'abondance et la diversité spécifique des oiseaux sauvages, comme les conditions environnementales sont propres à chaque région géographique et déterminent les caractéristiques du cycle épidémiologique des virus influenza dans cette zone. C'est pourquoi, il est primordial d'étudier ces facteurs localement.

La Camargue est un des sites les plus exceptionnels de France en termes d'accueil et de diversité de l'avifaune. Située au carrefour de plusieurs voies de migrations, elle accueille des milliers d'oiseaux chaque année susceptibles de transporter des virus influenza A. L'objectif de cette étude est de déterminer concrètement quelles sont les zones et les périodes favorables ou non à la présence des virus influenza A en Camargue.

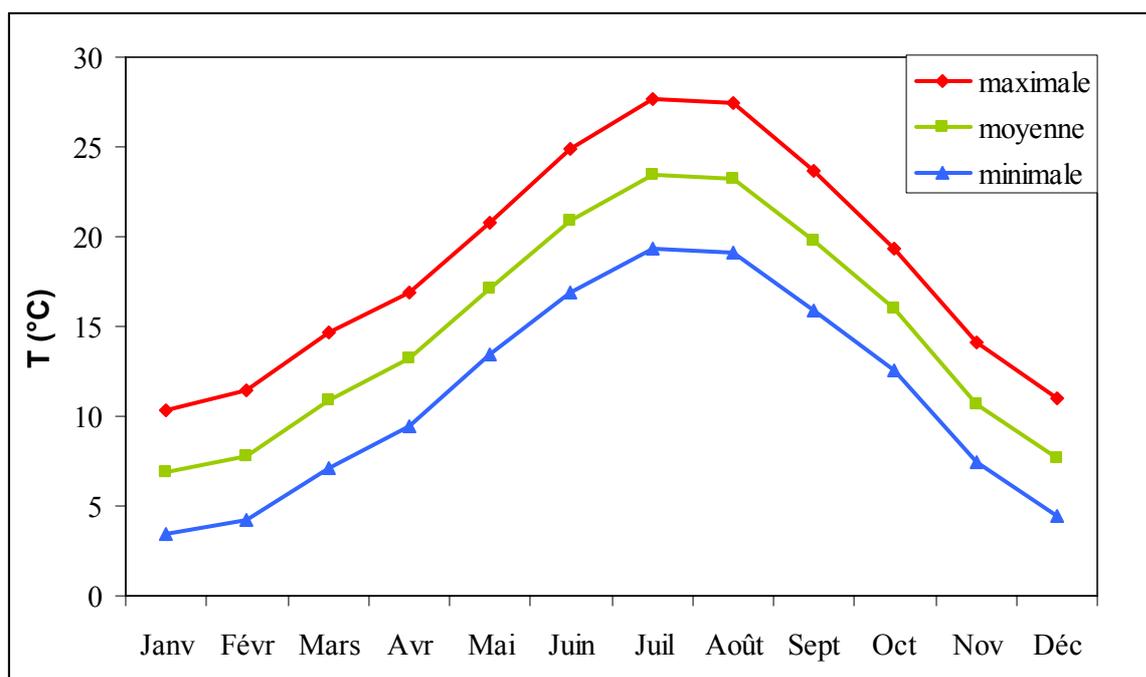
I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, LA CAMARGUE

1.1. Le climat

En Camargue, le climat est méditerranéen, très marqué par les vents (Mistral et vents marins) qui soufflent plus de 200 jours par an. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 600 mm en moyenne et ne compensent pas l'évaporation qui est supérieure à 900 mm/an sous l'effet du vent. Les hivers sont en général doux avec des températures minimales moyennes mensuelles supérieures à 0 °C. Des épisodes froids peuvent cependant survenir et les eaux de surface des marais peuvent geler (Isenmann, 2004). En moyenne, la température varie entre 7 et 23 °C. La température maximale varie entre 10°C en hiver et 28°C en été (*cf* figure 8).

Le climat de la Camargue est cependant marqué par des variations de températures importantes, dues à sa localisation géographique dans le couloir rhodanien, à la proximité des massifs alpins et cévenols, et à l'abondance des surfaces en eau qui maintiennent un taux d'humidité élevée (Isenmann, 2004).

Figure 8 : évolution des températures moyennes mensuelles en Camargue de 1978 à 2007 (source : d'après les données de la station du Grau du Roi).



1.2.Des milieux diversifiés

La Camargue est perçue par le grand public comme un espace sauvage exceptionnel. Pourtant, la réalité est un peu différente. La Camargue est avant tout un milieu très anthropisé et contrôlé, sur lequel interviennent différents acteurs animés par des objectifs très différents, contribuant à construire ainsi une Camargue mosaïque composée de milieux très diversifiés.

1.2.1. Un milieu original perturbé et anthropisé (Isenmann, 2004)

La Camargue est formée par la "grande Camargue" qui correspond à l'espace situé entre les deux bras du Rhône et la "petite Camargue" à l'ouest, entre le petit Rhône et le canal de Sète (cf figure 9). Initialement, le delta était difficile à exploiter en raison de nombreuses contraintes : salinité de l'eau, inondations des terres par le Rhône et la mer, pluies variables et imprévisibles, limitant les possibilités d'exploitation de la zone. Peu à peu, le delta fut aménagé afin de contrôler le niveau de l'eau. La construction de digues commença à partir du Moyen Age et se termina à la fin du XIX^{ème} siècle. Tout un réseau de canaux d'irrigation et de drainage fut ainsi tracé.

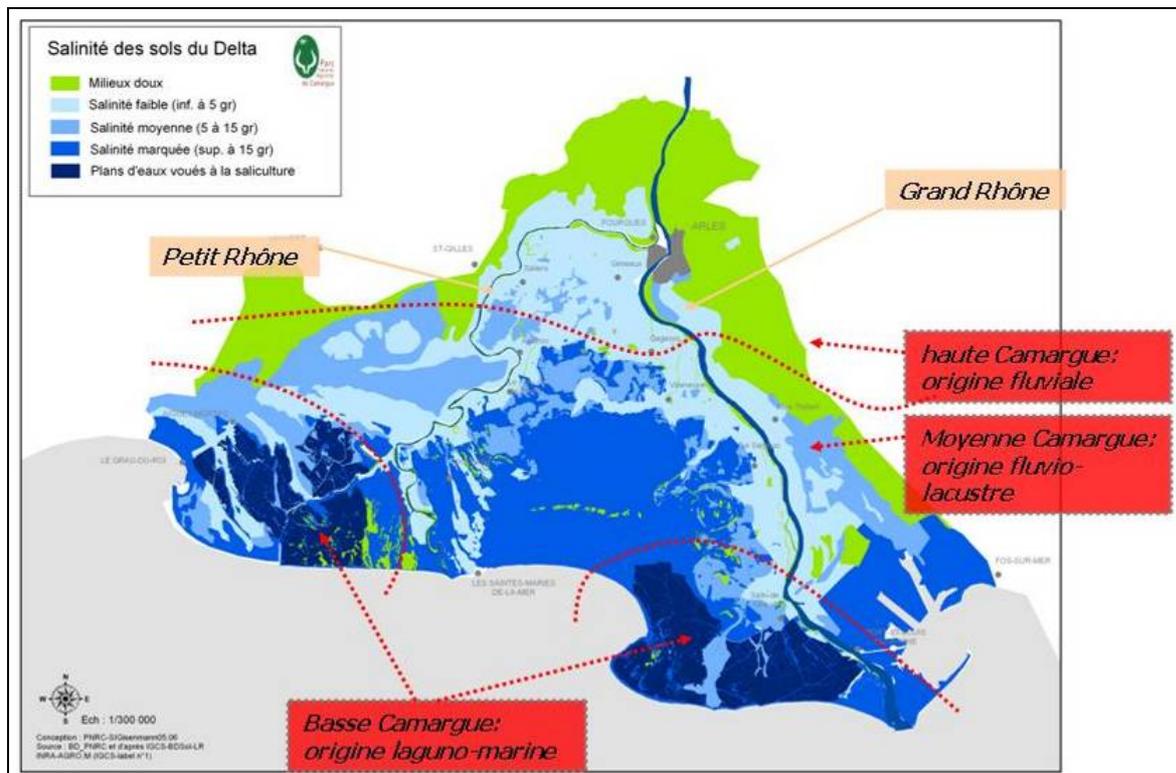
L'écosystème camarguais est principalement caractérisé par deux variables : la salinité et l'alternance submersion/assèchement, composantes qui sont d'autant plus structurantes que la Camargue est un espace plat (moins de 2 m de dénivellation). Le delta subit l'influence du Rhône et de la mer, qui déterminent ainsi un gradient de salinité nord-sud (cf figure 9). Le nord de la Camargue (appelée également Camargue fluvio-lacustre, cf figure 9), dominée par l'influence du Rhône, a une salinité basse. Au contraire, l'eau de mer peut pénétrer dans les territoires du sud, et s'y évaporer générant des milieux à forte salinité. Entre ces deux zones, la

concentration saline est intermédiaire et fluctue selon l’approvisionnement en eau douce (naturelle par les précipitations, ou contrôlée par l’homme). A l’origine, le niveau d’eau variait en Camargue en fonction des pluies, des crues, des invasions marines et de l’évaporation. Actuellement, il dépend principalement de l’eau pompée dans le Rhône et dans la mer ainsi que des précipitations. La Camargue est divisée en plusieurs bassins par le réseau hydraulique :

- les bassins salés situés au sud-est (Salin de Giraud) et au sud-ouest (Salin d’Aigues-Mortes) d’une part sont consacrés à l’exploitation du sel, dans laquelle l’eau douce est éliminée le plus possible.
- le bassin d’eau douce d’autre part couvre le reste de la Camargue dont une grande partie est exploitée à des fins agricole ou pastorale, et dans lequel on cherche à éliminer le sel.

Ces deux variables sont liées à une forte imprévisibilité : le climat méditerranéen est en effet caractérisé par de forts écarts à la moyenne, souvent plus significatifs que les valeurs des moyennes elles-mêmes. Ainsi, les variations de température, d’ensoleillement ou d’hygrométrie peuvent être très élevées et modifier considérablement les biotopes : submersion ou sécheresse, évolution de la concentration en sel de l’eau. Cependant, les effets de cette imprévisibilité sont globalement amortis par le jeu des pompes. La gestion des différentes zones détermine la typologie des milieux et va notamment jouer un rôle majeur sur l’évolution de la salinité et de l’assèchement/submersion de ces milieux.

Figure 9 : les grands ensembles biogéographiques de la Camargue et la variation de salinité des différentes zones déterminée par les influences du Rhône et de la mer (source: PNR de Camargue, 2009)



1.2.2. Différents milieux (Isenmann, 2004 ; PNR de Camargue, 2007)

On peut distinguer des milieux dits "naturels" et d'autres "artificiels". En réalité, tous les milieux sont artificialisés, mais un espace dit "naturel" désigne un milieu proche d'un état originel. La salinité varie beaucoup selon les milieux : on distingue les milieux doux (moins de 5 g/L), les milieux saumâtres (entre 5 et 25 g/L) et les milieux salés (plus de 25 g/L).

La Camargue rassemble divers habitats naturels : plages et dunes en zone littorale ; étangs et lagunes en basse Camargue ; marais doux, saumâtres et boisements en moyenne et haute Camargue. A cela s'ajoute également les « sansouïres » (steppes saumâtres à salicornes, *Salicornia*, paysage emblématique de la Camargue), les pelouses et les prés salés méditerranéens (cf figure 10).

Les étangs et lagunes : milieux saumâtres ou salés à grand parcellaire en position centrale

La partie centrale formée par l'étang du Vaccarès, les étangs des Impériaux, Monro et Malagro et les étangs inférieurs, nommés également « étangs du système Vaccarès », constituent une interface d'eau saumâtre entre les deux bassins hydrauliques doux et salé. En effet, c'est un grand espace non fragmenté pouvant être occasionnellement alimenté par de l'eau de mer qui subit peu l'influence des aménagements hydrauliques, d'autant plus qu'il appartient à la réserve de Camargue dont l'objectif est de gérer cet espace en respectant le climat méditerranéen (notamment en laissant un assec estival). La salinité se situe entre 5 et 20 g/L dans le Vaccarès et jusqu'à 40-50 g/L pour l'Impérial, situé plus au sud. La salinité et l'alternance assèchement/submersion varient en fonction des conditions météorologiques. Ces milieux abritent plus de la moitié du peuplement hivernal des canards et foulques du fait de la tranquillité consécutive au statut de réserve, de l'étendue et de la disponibilité des ressources.

Les mares et marais permanents ou temporaires, doux à saumâtres

Disposés autour du bassin central, ils peuvent être divisés en deux grands ensembles. D'une part, ce sont des milieux peu aménagés et de grande surface unitaire (Tour du Valat, étang de Consécanière, They de Roustan) caractérisés par un assèchement estival des zones peu profondes (ce qui correspond à l'appellation « marais temporaires ») et des variations saisonnières de la salinité. D'autre part, ce sont des milieux aménagés, divisés en petites parcelles, affectés le plus souvent à la chasse. Un léger assec printanier mis à part, le niveau d'eau douce à faiblement saumâtre est maintenu toute l'année dans ces marais permanents.

Les « sansouïres »

Les « sansouïres » sont des formations végétales basses dominées par des halophytes ligneux (essentiellement des salicornes) qui s'étendent entre les étangs, lagunes et marais saumâtres à salés. Elles se développent sur des sols sous lesquels la nappe d'eau est salée à sursalée. Elles sont en général inondées en hiver et sèches en été.

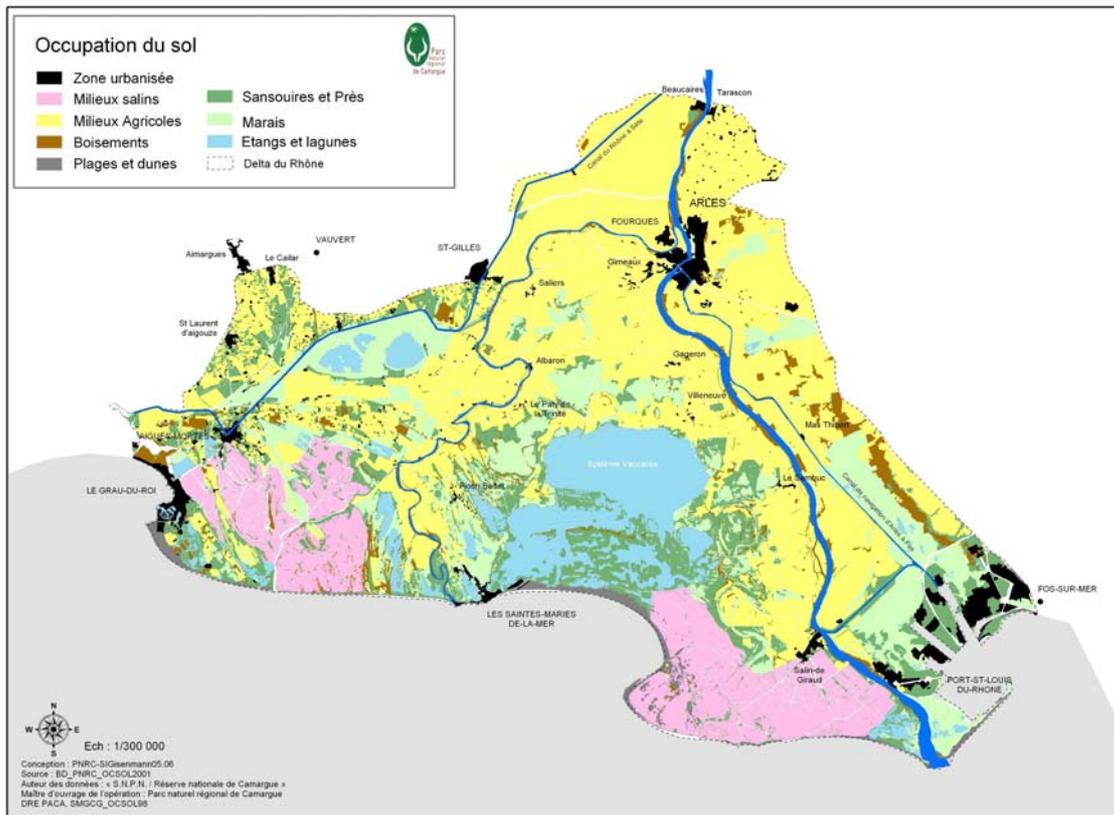
Les salins

Ce sont d'anciennes lagunes qui ont été aménagées pour l'exploitation du sel et des étangs de grande dimension localisés entre des digues aménagées. La circulation de l'eau est organisée de telle façon que sa concentration en sel s'accroît au fur et à mesure qu'elle progresse dans le circuit. La récolte du sel s'étale approximativement d'avril à septembre et peut être divisée en quatre grandes phases : pompage, pré-concentration, concentration et récoltes à partir d'août. D'octobre à avril, c'est la période dite de repos consacrée à l'entretien des bassins, au stockage des eaux vierges et à l'expédition du sel. Donc, entre ces deux grandes périodes, les bassins mis en eau ne sont pas les mêmes et la salinité supérieure, à 35 g/L varie selon les sites et les mois. De nombreux laridés et limicoles nichent dans les salins, ainsi que les tadornes de belon. Quelques canards hivernent également dans cette zone.

Les milieux agricoles

Ils sont situés en général sur les parties les plus hautes, les moins salées et les moins inondables, donc surtout dans la partie septentrionale de la Camargue et le long des deux bras du Rhône. Ce sont des milieux très morcelés par les réseaux de drainage et d'irrigation. En Camargue c'est surtout du riz qui est cultivé. Les rizières sont en eau d'avril à septembre et parfois même en hiver. Elles sont des terrains d'alimentation importants pour de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau dont les canards et les laridés.

Figure 10: les différents milieux en Camargue (source: PNR de Camargue, 2009)

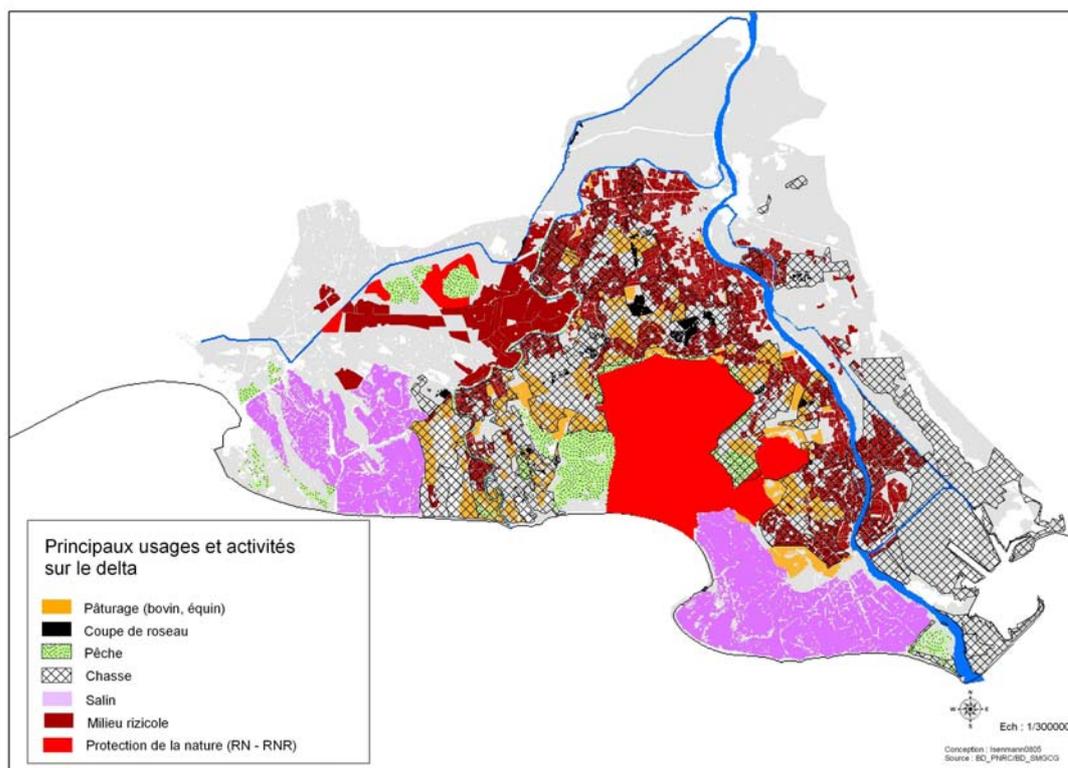


1.2.3. La Camargue, zone de chasse majeure du gibier d'eau (Isenmann, 2004)

La chasse au gibier d'eau en Camargue est une activité économique importante. Elle a permis d'éviter la raréfaction des zones humides en empêchant la transformation des marais en terres agricoles. Elle concerne environ 6500 chasseurs dont 5000 sur les espaces communaux et maritimes (5000 ha), 1200 sur les chasses privées (35 000 ha), et 300 sur les salins (*cf* figure 11). La saison de chasse s'étale d'août à février.

Les milieux à vocation cynégétique couvrent un peu plus de 75 % de la superficie aquatique camarguaise. Ils assurent l'alimentation de la quasi-totalité des populations de canards. Les marais de chasse sont des milieux très aménagés optimisant les conditions naturelles pour l'accueil des canards. Ainsi, les gestionnaires cherchent-ils à contrôler le degré de salinité et le niveau de l'eau grâce à tout un ensemble de réseaux de digues et de canaux de pompage. Ils peuvent ainsi maintenir de l'eau douce presque toute l'année pour attirer les anatidés.

Figure 11 : principaux usages et activités humains sur les différents milieux en Camargue (source : PNR de Camargue, 2009)



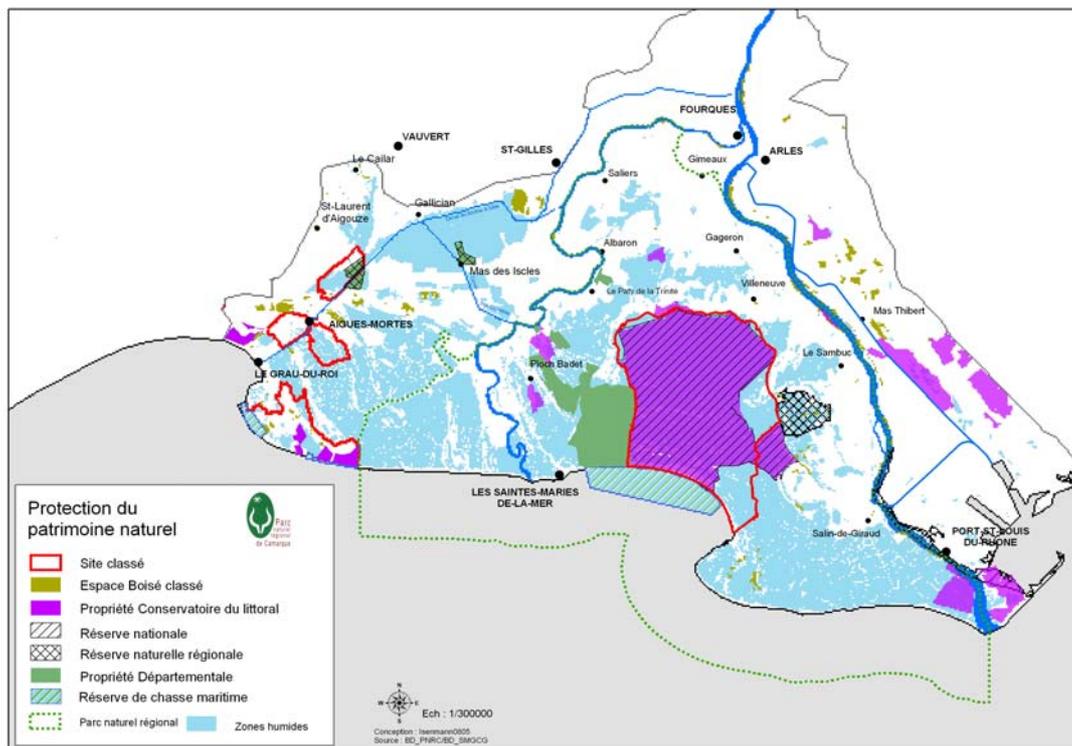
1.2.4. La Camargue et les espaces protégés (Isenmann, 2004)

La Camargue bénéficie de nombreux labels prestigieux :

- Parc naturel régional de Camargue. Créé en 1970, il mène une action globale de protection des espaces et des espèces, de soutien des activités économiques traditionnelles et d'accueil du public. Son territoire recouvre 86 000 ha (partie « delta » de la commune d'Arles et la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer) ;
- Réserve de Biosphère MAB (« Man and the Biosphere ») – Unesco. Ce sont des sites qui font preuve d'approches innovantes en matière de conservation, de sciences écologiques et de développement durable et reconnus comme tels par le Programme MAB de l'Unesco ;
- Site Ramsar (zone humide d'importance nationale)

Les espaces protégés concernent 20 000 ha sur une superficie totale de 145 000 ha. La réserve nationale de Camargue, créée en 1929 par la Société nationale de protection de la nature, couvre 13 000 ha dont une grande partie de l'étang du Vaccarès et l'ensemble des étangs situés entre le Vaccarès et la mer. Les autres réserves ont été créées par la suite et émanent d'initiatives variées notamment du Conseil général des Bouches du Rhône (3400 ha), du Conservatoire du littoral (1750 ha) et de la Tour du Valat (1100 ha). La figure 12 montre les espaces protégés en Camargue.

Figure 12 : les espaces protégés en Camargue (source: PNR de Camargue, 2009)



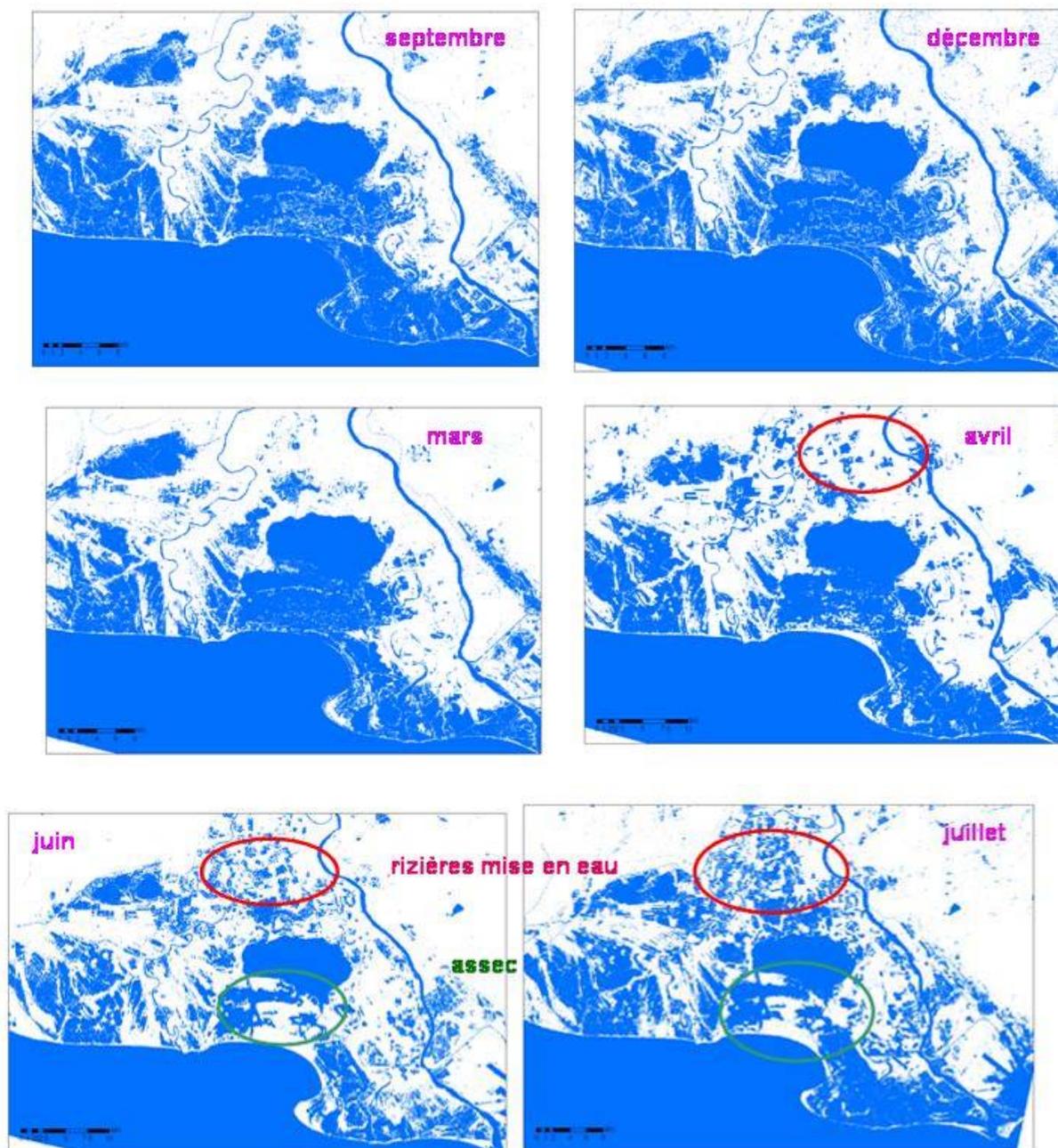
1.3. Variation temporelle de la submersion, de la salinité et du pH des plans d'eau de Camargue

1.3.1. Dynamique de la submersion des plans d'eau de Camargue

La figure 13 représente la submersion des habitats de Camargue à différents moments de l'année. La surface des zones submergées est maximale de septembre à mars. Durant cette période, la carte hydrologique est à peu près constante, avec cependant des étendues d'eau un peu plus faibles au mois de mars. A partir du mois d'avril, les rizières situées principalement au nord de la Camargue sont mises en eau, et certaines zones, s'assèchent (lagune de Batayolles, quelques zones du Saint Seren (Tour du Valat), Ulmet-amphise et du Charnier-Scamandre). C'est en juin que la surface en eau est la plus faible : malgré les rizières encore en eau, de nombreuses zones se sont asséchées, surtout dans la partie centrale (étangs et lagunes du système Vaccarès). Certains marais sont remis en eau à partir du mois de juillet.

Une carte avec les noms principaux des marais, étangs et lagunes de Camargue est disponible en annexe 1.

Figure 13: cartes hydrologiques de Camargue de septembre 2005 à juillet 2006.



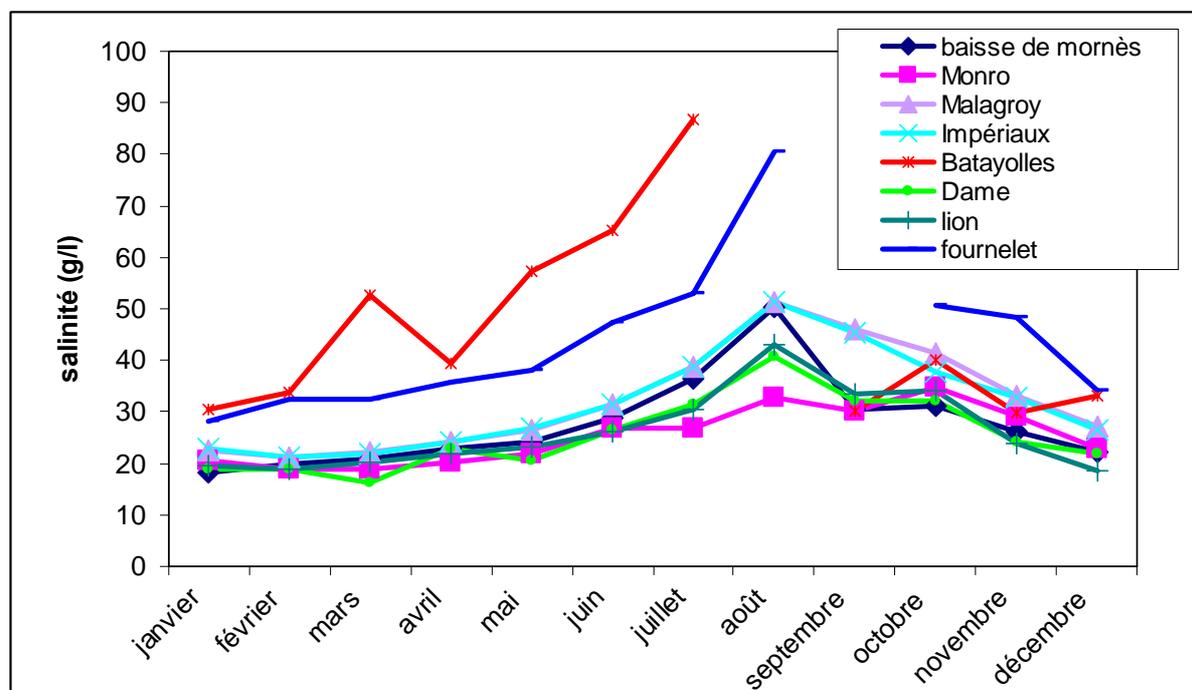
1.3.2. Dynamique temporelle de la salinité des plans d'eau de Camargue

Les variations de salinité sont liées principalement à l'évaporation de l'eau, aux précipitations et aux apports d'eau douce. Lorsque l'eau s'évapore, sa concentration en sel augmente. Les précipitations vont au contraire entraîner la dilution du sel dans un bassin par l'apport d'eau douce. Dans toute la Camargue, la salinité moyenne augmente à partir d'avril-mai et jusqu'en août.

Ses variations vont être plus ou moins importantes selon le type de milieu. La salinité dans les marais à vocation cynégétique est contrôlée afin de rester la plus basse possible. Elle

augmente au cours de la saison, mais l'apport d'eau douce pour remettre les marais en eau, fin juin-début juillet, diminue fortement la concentration en sel. Au contraire, les étangs du système du Vaccarès sont ceux subissant les plus fortes variations de salinité jusqu'à 30 g/l de différence entre janvier et août, du fait d'un assec estival (S.N.P.N/Réserve nationale de Camargue, 2009) (cf figure 14).

Figure 14 : évolution de la salinité moyenne de 2003 à 2008 de certains étangs du système Vaccarès (source: d'après les données de la S.N.P.N/ Réserve nationale de Camargue, 2009)



La salinité varie également selon les années en fonction des conditions météorologiques. Elle augmente les années sèches et diminue les années humides. Par exemple, les années 2005 à 2008 ont été des années très sèches, et la salinité des étangs du système Vaccarès a été très élevée, jusqu'à 15 g/l de plus le même mois en 2008 par rapport à 2001 (S.N.P.N/Réserve nationale de Camargue, 2009).

1.3.3. Variation temporelle du pH des plans d'eau de Camargue

Le pH influence la durée de persistance des virus influenza A. Un pH trop acide (pH < 5,8) ou trop basique (pH > 9) inactive les virus. En Camargue, peu de mesures de variation du pH au cours de l'année ont été effectuées dans les différents plans d'eau. Pour augmenter le nombre d'informations, nous avons également pris les informations relatives à des étangs de l'Hérault, proches de la Camargue.

Canaux d'irrigation, rizières et canaux de drainage (De Groot, 1992 ; El-Habr, 1987 ; Godin, 1980)

Dans le canal de l'Aube de Bouic (canal d'irrigation), le pH varie peu et se situe entre 7,6 et 8,2.

Dans les rizières, le pH varie au cours de la saison de mise en eau des rizières (mai à septembre) entre 6,8 et 8,5. Il a tendance à diminuer au cours de la saison mais peut fortement fluctuer, notamment durant le premier mois après la mise en eau (absence d'équilibre acido-basique).

Dans les canaux de drainage, le pH suit également la même tendance. Il diminue fortement d'avril à juillet (de 8,4 à 6,8).

Dans les canaux de drainage, le pH suit également la même tendance. Il diminue fortement d'avril à juillet (de 8,4 à 6,8).

Étangs (De Groot, 1992 ; FOGEM, 2006)

Le pH des étangs en Camargue se situe entre 7,1 et 9,7 (cf tableau 5). Pour la majorité des étangs étudiés (6 étangs sur les 8 étudiés), le pH a tendance à augmenter pendant l'été. Pour 3 de ces étangs, le pH peut être supérieur à 9 de juin à août.

Tableau 5: pH de huit étangs de Camargue ou de l'Hérault à proximité (source : d'après les données de DeGroot, 1992 ; FOGEM, 2006)

Etang	Date d'étude	pH	Période où pH entre 9 et 9,5. <i>Autres remarques</i>
Marette	2000-2004	7,2-9,5	juillet à septembre 2 années sur les 4 + 1 fois en novembre. <i>Variations importantes selon les années</i>
Médart	2000-2004	7,6-9,7	juin à septembre pendant 3 années
Ponant	2003-2004	7,6-8,6	<i>valeurs plus élevées de juin à août</i>
Scamandre	2003-2004	7,6-9	pic en octobre
Charnier	2003-2004	8-8,7	
Crey	2003-2004	8-9,6	juillet à septembre
Sicarex	2000-2004	7,1-9,2	1 année en mars et juin
Vaccarès Est	1990-1991	8,1-8,9	<i>valeurs plus élevées de juin à août</i>
Vaccarès Centre	1990-1991	8,2-8,9	<i>valeurs plus élevées de juin à août</i>
Vaccarès Ouest	1990-1991	8,2-9,1	<i>valeurs plus élevées de juin à août</i>

Marais (Grillas, 1992 ; El-Habr, 1987)

Le pH des marais varie entre 7,2 et 10 (cf tableau 6). En général, il reste inférieur à 9. Le pH est plus élevé de mai à juin pour trois marais temporaires, d'avril à mai pour un autre. Pour l'un des deux marais permanents, les valeurs sont plus élevées de juin à août alors que pour l'autre c'est en mai et juin. A Relongues Nord, le pH ne suit pas tout à fait la même tendance que les autres marais: le pH est très élevé en avril, puis diminue par la suite jusqu'à une valeur de 7,4 puis augmente de septembre à novembre où il atteint 9 et reste à peu près stable de novembre à décembre.

Tableau 6: pH de marais situés sur le domaine de la Tour du Valat (source : d'après les données de Grillas, 1972 et El-Habr, 1987)

Marais	Date d'étude	pH	Période où pH entre 9 et 9,5. <i>Autres remarques</i>	Type de marais
St Seren	1986-1987	7,5-8,9		Sec en juillet-août
Relongues	1986-1987	7,9-9,1	De mai à juin	Sec en juillet-août
Relongues Nord	1985	7,4-10	pH=10 en avril, puis pH=9 en novembre	sec en août-septembre
Relongues Sud	1985	7,5-8,7	<i>Valeur plus élevée en mai</i>	sec en août
Baisse Basse	1985	7,6-9,5	De mai à juin	Permanent
Baisse salée	1985	7,3-8,9	<i>valeur plus élevée de juin à août</i>	Permanent
Redon	1985	7,2-9,4	d'avril à mai	sec en août-septembre

Mares temporaires (Waterkeyn, communication personnelle)

Trois mesures ponctuelles du pH ont été réalisées sur 30 mares temporaires de la Tour du Valat à des heures différentes au mois de décembre 2005, février 2006 et avril 2006. La surface de ces mares est comprise entre 500 et 100 000 m².

Le pH des mares temporaires en Camargue est très basique et augmente avec la saison (cf tableau 7). Il est supérieur à 9 pour 11 mares sur 30 en février et pour 14 sur 19 en avril.

Tableau 7: pH de 30 mares temporaires situées sur le domaine de la Tour du Valat (source: d'après les données de Waterkeyn, communication personnelle)

Mois	valeurs du pH	nombre de mares avec pH≥9	nombre de mares en eau
Décembre 2005	7,45 - 9,9	2	30
Février 2006	8,09 - 9,35	11	30
Avril 2006	8,01 - 10,5	14	19

Bilan

En Camargue, très peu de données du pH sont disponibles. D'après des données ponctuelles anciennes et récentes, il apparaît que:

- le pH est neutre à basique dans les rizières et les canaux de drainage et d'irrigation, entre 6,8 et 8,6 ;
- le pH est à tendance basique dans les étangs, marais et mares temporaires.

Dans les étangs, marais et mares temporaires, le pH a tendance à augmenter à partir de février-mars et atteint un maximum en mai-juin pour la plupart. Il peut alors pour certains de ces plans d'eau devenir supérieur à 9 et parfois supérieur à 9,5.

Pour seulement trois étangs, nous avons des données disponibles sur quatre années: des variations importantes du pH sont observées pour un des étangs; pour les deux autres, son évolution suit à peu près le même profil chaque année.

Le pH varie au cours de la journée. Il est plus élevé en milieu de journée (12-14 h). Il n'existe pas de données sur l'amplitude de la variation du pH en Camargue. De plus, l'heure à laquelle ont été faites les mesures n'est pas toujours disponible.

Le facteur principal jouant sur le pH dans un plan d'eau est la photosynthèse et la teneur en O₂. Elles expliqueraient les variations annuelle et journalière du pH (El-Habr, 1987). La différence de pH selon les plans d'eau pourrait donc être liée notamment au type de milieu, à la richesse en organismes vivants (plantes,...), au volume d'eau. Le pH de petites mares pourrait alors être supérieur et varier plus en amplitude que celui des étangs.

1.4.Site majeur d'accueil des canards

1.4.1. Un quartier d'hivernage important

La Camargue accueille des milliers d'oiseaux migrateurs de septembre à mars, et sert également d'étape migratoire pour les milliers d'oiseaux hivernant en zone sahélienne.

Neuf espèces de canards hivernent régulièrement et en effectifs importants en Camargue. Une dixième espèce, la sarcelle d'été ne fait qu'y transiter pendant les migrations d'automne et de printemps. Les canards de surface représentent en moyenne 89 % du peuplement d'anatinés (cf tableau 8). La sarcelle d'hiver puis le canard colvert sont les deux espèces les plus abondantes en Camargue. Ils constituent à eux seuls 60 % du peuplement total loin devant les canards siffleur et souchet (9 à 10 % du total) (Isenmann, 2004).

Tableau 8: effectifs moyens et maximaux des anatinés par espèce en Camargue entre 1964 et 2002 (source: Isenmann, 2004)

	moyenne hivernale	écart type	coefficient de variation	maximum	% total anatinés
Sarcelle d'hiver <i>Anas crecca</i>	21241	5643	0,26	81000	32,4
Colvert <i>Anas platyrhynchos</i>	17627	7901	0,38	74000	26,9
Siffleur <i>Anas penelope</i>	6842	1857	0,27	28500	10,5
Souchet <i>Anas clypeata</i>	6305	1879	0,3	21500	9,6
Chipeau <i>Anas strepera</i>	5369	1820	0,34	20000	8,2
Milouin <i>Aythya ferina</i>	5162	2989	0,58	37000	7,9
Nette rousse <i>Netta rufina</i>	1919	913	0,48	8000	2,9
Morillon <i>Aythya fuligula</i>	1372	981	0,71	13500	2,1
Pilet <i>Anas acuta</i>	1004	613	0,61	9500	1,5

1.4.1.1. Effectifs hivernants (Tamisier et Dehorter, 1999 ; Isenmann, 2004)

Peuplement

Des dénombrements mensuels par avion sont effectués en Camargue de septembre à mars depuis l'hiver 1964-1965. Ils couvrent l'ensemble des zones humides et sont donc supposés fournir une évaluation exhaustive du peuplement diurne des canards.

Les effectifs de canards suivent une courbe en cloche au cours de l'année (*cf* figure 15). Ils commencent à arriver sur place fin août. Les comptages sont maximaux en novembre-décembre, puis commencent à décliner entre décembre et janvier pour finalement s'effondrer en mars. Chaque mois, les écarts à la moyenne sont relativement élevés, montrant une forte variabilité interannuelle. La Camargue accueille en moyenne 115 000 canards chaque année.

La chronologie d'arrivée et de départ est différente selon les espèces (*cf* figure 16). Les espèces granivores (sarcelles d'hiver, canards colverts) sont en général plus précoces que les herbivores (canards chipeaux et siffleurs).

L'analyse des effectifs de 1964 à 2002 indique une tendance à la baisse des populations (bien que non significative statistiquement) qui concerne toutes les espèces à l'exception des canards colverts dont la population croît depuis 1984. Les facteurs déterminant la forte variabilité interannuelle des chiffres enregistrés sont difficiles à caractériser. L'effet des basses températures pendant les hivers froids n'explique que partiellement cette variabilité (40 % au mieux pour le cas de la sarcelle d'hiver) et n'affecte que quelques espèces (sarcelle d'hiver, canards colvert et souchet). Pour le moment, les modifications climatiques consécutives au réchauffement global n'ont pas d'effet important visible ou prévisible à court terme sur les effectifs de canards hivernant en Camargue.

Figure 15 : effectifs moyens mensuels et écart-types des anatinsés en Camargue de 1964-1965 à 2001-2002 (source : Isenmann, 2004)

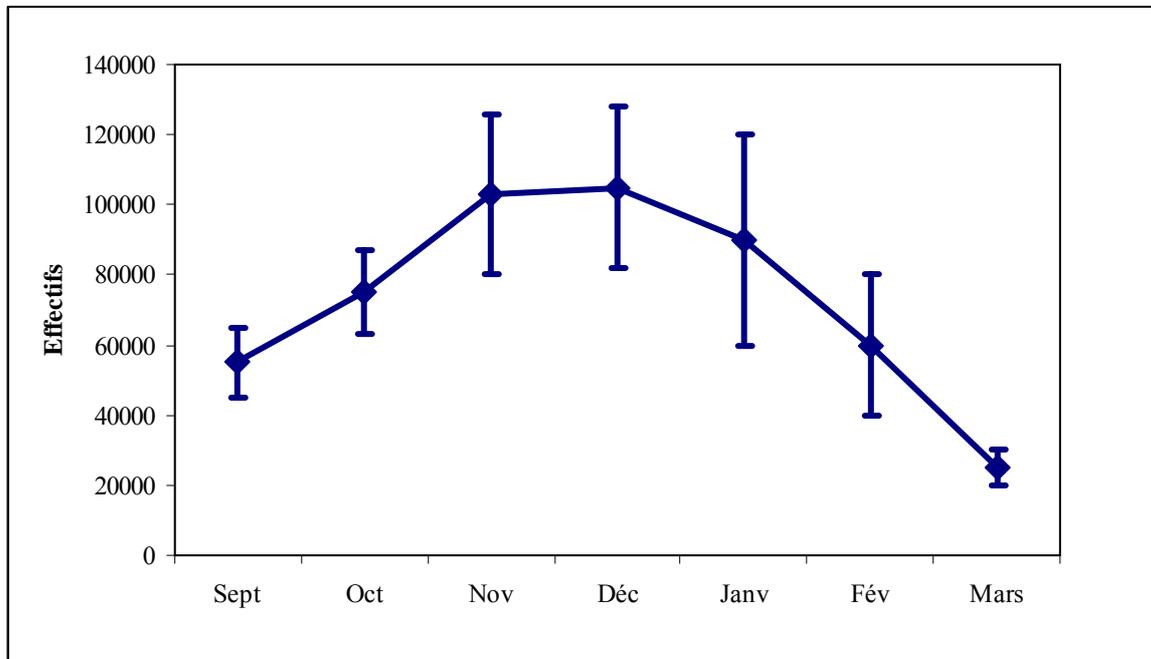
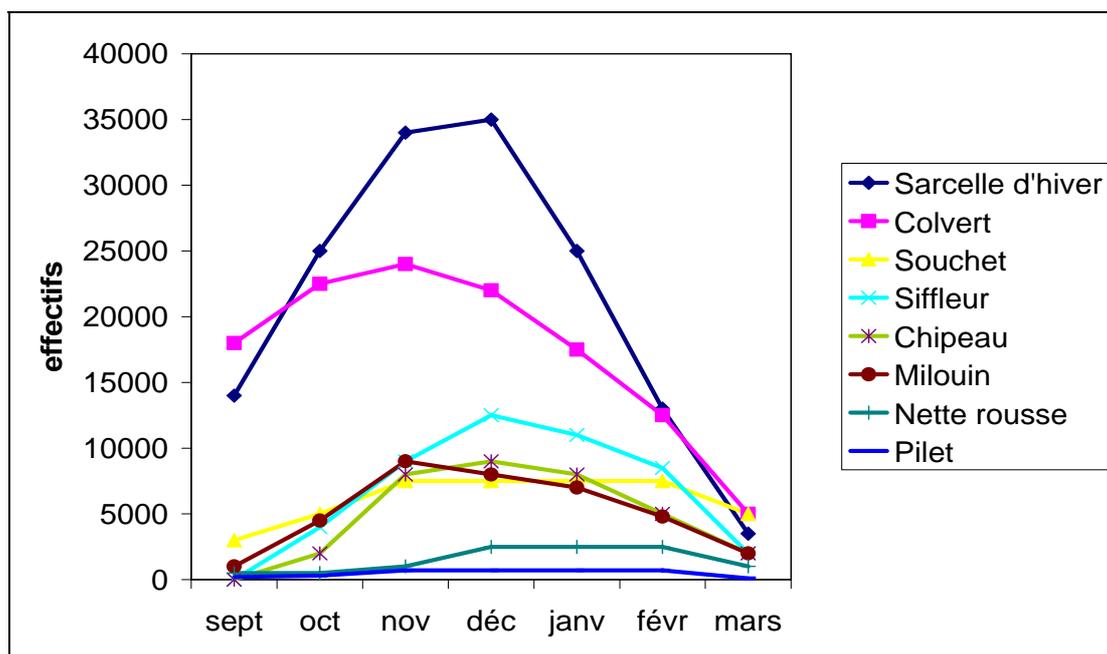


Figure 16: effectifs moyens mensuels des principales espèces d'anatinés en Camargue de 1964-65 à 2001-2002 (source : Isenmann, 2004)



Effets de la chasse sur les populations camarguaises de canards

Il est difficile d'estimer l'impact de la chasse sur les canards. En Camargue, 150 000 oiseaux en moyenne sont abattus chaque année. Les dénombrements de canards effectués durant les mois où ils sont les plus abondants évaluent leur nombre à 115 000 canards, soit un chiffre plus faible que la quantité d'oiseaux victimes de l'activité cynégétique. Cependant, le prélèvement total par la chasse représente un cumul sur toute une saison alors que le décompte des oiseaux vivants fournit une abondance instantanée, et ne prend pas en compte les canards en transit.

Depuis les années 1970, de plus en plus de canards colverts d'élevage sont volontairement lâchés pour la chasse. La plupart de ces animaux sont introduits entre fin juin et début août, avant l'ouverture de la chasse. Ce sont en général de jeunes canards non volants de 6 à 8 semaines. Une autre pratique consiste à libérer des canards reproducteurs en février-mars après la fermeture de la chasse. Certains continuent à lâcher des canards pendant la saison de chasse. Il est très difficile d'estimer le nombre d'individus concernés, qui pourrait se situer entre 50 000 et 60 000 par an.

1.4.1.2. Répartition spatiale des canards

Durant la journée, les canards se rassemblent par groupes de plusieurs milliers à dizaines de milliers d'individus sur des plans d'eau ouverts appelés "remises". La nuit, ils se dispersent sur les gagnages, sur lesquels ils se nourrissent.

Les unités fonctionnelles

Comme on l'a vu précédemment (cf partie I, chapitre II), d'après le modèle des « unités fonctionnelles », la distribution des canards et les déplacements entre remises et gagnages

concernent des groupes sociaux qui demeurent stables pendant la durée de l'hivernage. Ce sont les mêmes individus qui exploitent les mêmes remises et les mêmes gagnages. Trois unités fonctionnelles chez les sarcelles d'hiver de Camargue ont pu ainsi être identifiées par Tamisier en 1981. Cependant, il n'est pas sûr que ce soit les mêmes actuellement.

Répartition diurne des canards

Les canards se regroupent la journée sur les remises (étangs ou marais). Le comptage par avion effectué de septembre à mars depuis 1964 permet d'avoir une idée de la répartition diurne des canards et d'étudier ces remises.

➤ Etude des distributions moyenne et instantanée des canards

Tamisier et Dehorter (1999) rapportent l'analyse des données compilées de 1964 à 1995. Au cours de cette période, 34 sites (étangs ou marais) ont regroupé 80 % des effectifs de canards, les 15 premiers en abritant 50 %. La distribution varie selon les espèces: celle des canards colverts est plutôt dispersée alors que les fuligules milouins se regroupent sur une dizaine de sites.

Les comptages mensuels par marais fournissent des données de répartition instantanée. Sur les 30 années d'études, les distributions moyennes et instantanées sont équivalentes pour les canards colverts et les sarcelles d'hiver. Elles diffèrent au contraire pour les canards siffleurs et souchets : en effet, ces deux espèces utilisent souvent deux ou trois remises distinctes le même jour.

➤ Caractéristiques des remises

Deux critères majeurs permettent de caractériser les différentes remises : la salinité de l'eau et le statut de protection du site (Isenmann, 2004).

La plupart des remises, soit 60 à 70 %, bénéficient d'un statut de protection. En termes de densité d'oiseaux accueillis, elles sont 3,4 fois plus attractives que les milieux situés en zone de chasse. Les réserves en milieu doux sont 18 fois plus attractives que celles qui sont situées en milieu saumâtre ou salé. Deux tiers des canards exploitent des réserves comme remises, mais chaque espèce a son propre type de distribution. Les canards colverts utilisent massivement les réserves salées. Les sarcelles d'hiver se retrouvent aussi bien sur les réserves salées, douces ou dans les chasses. Les canards chipeaux et siffleurs, herbivores, continuent de se nourrir le jour dans les espaces chassés, qui rassemblent environ la moitié des effectifs de ces deux espèces. L'autre moitié recherche les réserves douces et salées pour les canards chipeaux et exclusivement les réserves salées pour les canards siffleurs. Les canards pilets ne sont presque jamais retrouvés sur les réserves douces et ont tendance à utiliser majoritairement les réserves salées. La moitié des canards souchets se retrouvent dans les réserves salées et un tiers sur les zones de chasse.

➤ Variation de la distribution au cours du temps

Trente années d'étude ont permis de démontrer que les remises conservaient leur fonction d'une année sur l'autre mais que la taille comme la diversité des espèces sur la majorité d'entre elles pouvaient varier sur des pas de temps irréguliers ou avec l'évolution de leur statut de protection (chassées à protégées) (Tamisier et Dehorter, 1999). Ainsi les effectifs de chaque site peuvent-ils varier sensiblement au gré des circonstances.

Au cours de la même saison, ce ne sont pas toujours les mêmes remises qui sont exploitées, et cela pour toutes les espèces de canards. Il existe une dynamique chronologique séquentielle de l'utilisation des remises qui évolue avec les besoins spécifiques des canards en fonction des saisons. Ainsi, avant le départ en migration, les canards sélectionnent-ils de préférence des habitats riches en nourriture (milieux doux sur chasses ou réserves).

Inversement, en milieu de saison, ils utilisent préférentiellement les réserves salées moins pourvues en ressources alimentaires.

Répartition nocturne des canards

➤ en fonction des types de milieu (Isenmann, 2004)

La nuit, les canards s'alimentent sur des zones appelées "gagnages". Les habitats sélectionnés sont :

- les milieux de salinité nulle ou faible, c'est-à-dire les marais doux naturels ou aménagés (marais de chasse) : ils attirent toutes les espèces ;
- les rizières, quand elles sont maintenues en eau après la récolte (septembre) : elles attirent essentiellement les canards colverts et les sarcelles d'hiver et dans une moindre mesure les canards pilets ;
- les « sansouïres », espaces saumâtres irrégulièrement inondés attractifs pour les sarcelles d'hiver ;
- les étangs saumâtres qui n'attirent que peu d'oiseaux (surtout des canards siffleurs, et quelques sarcelles d'hiver, canards colverts et pilets), et les salins seulement exploités par les canards siffleurs.

Les espèces granivores (canards colvert et pilet, sarcelle d'hiver) préfèrent les milieux doux incluant les rizières. Le canard chipeau, herbivore, se nourrit exclusivement dans des milieux doux. Le canard siffleur sélectionne des milieux doux, saumâtres à salés mais se nourrit peu sur des espaces agricoles comme des champs de céréales plus ou moins inondés.

Les densités de canards sur les lieux de gagnage sont faibles entre 0,1 à 15 individus à l'ha. Elles sont élevées sur les marais doux (15 individus/ha) et sur les rizières (9 individus/ha), et dans une moindre mesure dans les « sansouïres » (5 individus/ha). Le canard siffleur est le seul à se nourrir dans les milieux saumâtres à salés. La densité dans ces milieux est globalement faible, mais le canard siffleur se nourrit en groupe et donc la densité peut atteindre localement 8 individus/ha dans ces secteurs.

➤ En fonction de la salinité

L'attractivité des milieux est liée en partie à la salinité. Ainsi, en Camargue (Pirrot, 1992) :

- la biodiversité végétale aquatique et la biomasse de graines sont plus élevées dans des milieux dont la salinité est inférieure à 5 g/L ;
- les mollusques appartenant aux taxons *Limnea*, *Physa*, *Planorbis* sont plus abondants en milieux doux (salinité inférieure à 2 g/L) alors que les espèces du genre *Hydrobia* le sont plus en milieux salés ;
- les larves de Chironomidés se répartissent en deux groupes: un premier se développe de manière optimale dans des eaux de salinité inférieure à 5 g/L alors que le second colonise les eaux les plus saumâtres jusqu'à 23 g/L ;
- les espèces planctoniques ne sont pas les mêmes selon le type de milieu. Les milieux les plus doux sont les plus riches tant en biomasse qu'en diversité d'espèces planctoniques.

En Camargue, les milieux doux dont la salinité est inférieure à 5 g/L offrent des ressources alimentaires plus élevées globalement. Une étude au Texas (Etats-Unis d'Amérique) montre également que la biomasse de graines, de plancton et de macro-invertébrés est plus élevée en eau peu salée (Tietje et Teer, 1988).

En Camargue, la distribution nocturne des canards peut se superposer à la carte de salinité des milieux avec une valeur seuil de 5 g/L : au dessus, les densités de canards, presque exclusivement des canards siffleurs, sont généralement très faibles. Cependant, des milieux saumâtres sont devenus récemment attractifs comme l'étang du Vaccarès pour les canards chipeaux et siffleurs. De manière générale, les canards se nourrissent peu dans des milieux saumâtres à salés.

Les canards sont sensibles à une salinité trop élevée. La teneur exacte en sel minimale causant des effets délétères n'est pas connue : elle va dépendre des ions présents dans l'eau, de l'espèce et de l'âge des individus (Leighton et Wobeser, 1994). Des groupes de dix jeunes canards colverts de 1 jour ont été abreuvés avec de l'eau contenant 0,5 g/L, 1 g/L, 1,5 g/L et 3 g/L de NaCl : une diminution de la croissance et de la solidité des os a été observée pour ceux qui ont consommé l'eau la plus salée (Mitcham et Wobeser, 1988). Des canetons colverts de 1 jour abreuvés par une eau à 2 et 4 g/L de salinité pendant 14 jours, puis ensuite par une eau de 12 g/L de salinité pendant 14 jours, ont arrêté de manger et étaient inactifs trois jours après le début du second traitement (Mitcham et Wobeser, 1988). Dans une autre étude, 14 des 18 canards colverts de 1 jour confinés sur une eau à 10 g/L sont morts dans les 4 jours (Leighton et Wobeser, 1994). Il apparaît donc que des canetons ne peuvent survivre sur une eau dont la teneur en sel est supérieure à 10 g/L, et qu'une concentration de 3 g/L aurait des effets délétères sur eux. Tietje et Teer (1988) ont comparés 182 canards souchets vivant dans le milieu naturel en eau douce (moins de 0,5 g/L de salinité) à 214 fréquentant des milieux saumâtres (entre 12 et 20 g/L). Les seconds étaient en moins bonne condition physique que les premiers si on se base sur les poids du corps, du muscle sternal et de la graisse omentale, mise à part lors de vagues de froid car les milieux saumâtres gèlent moins. Cependant, une acclimatation au sel serait possible, ce qui explique l'observation régulière de canards en milieu salé. Les canards chipeaux seraient les anatins tolérant le mieux de fortes concentrations en sel allant jusqu'à nicher sur des sites dont la salinité dépasse 15 g/L (Jehl, 2005).

➤ Autres facteurs

D'autres paramètres jouent sur la répartition des canards comme le type de végétation, le dérangement lié aux activités humaines dont les activités cynégétiques ou le pâturage. La disparition du couvert végétal peut ainsi améliorer la capacité d'accueil du milieu (Isenmann, 2004 ; Pirot, 1992). Les zones à faible salinité (inférieure à 5 g/L) peuvent produire des quantités de biomasse végétale très variables (Pirot, 1992). Les ressources alimentaires dépendent essentiellement de l'abondance des graines de cypéracées dont le développement est intimement lié à l'alternance des assècs et des phases de submersion. A l'exception des canards siffleurs, les canards se nourrissent donc principalement sur des milieux doux et surtout sur des milieux chassés (90 à 95 % du peuplement total) (cf tableau 9).

Les niveaux d'eau constituent un autre facteur pouvant expliquer la répartition des canards. Les rizières ne sont pas utilisées par certains canards dès lors que leur profondeur en eau dépasse 15 cm pour les sarcelles et 20 cm d'eau pour les canards colverts (Pirot, 1992).

Le tableau 9 suivant indique le pourcentage d'oiseaux qui exploitent en moyenne chaque hiver les différents types de milieu en fonction de leur statut et leur salinité (Isenmann, 2004).

Tableau 9: distribution nocturne des anatinés (exprimée en pourcentage d'utilisation des milieux par chaque espèce) en fonction du statut et de la salinité des milieux camarguais. (source : Isenmann, 2004).

	Chassé				Protégé		
	marais doux 27000 ha	rizières 2 à 5000 ha	salins 23000 ha	Total chassé	marais doux 3000 ha	étangs saumâtres 17000 ha	Total protégé
Colvert	83	10	0	93	4	3	7
Sarcelle d'hiver	92	1	0	93	5	2	7
Pilet	88	3	0	91	4	5	9
Chipeau	95	0	0	95	5	0	5
Siffleur	78	0	15	93	4	3	7
Souchet	95	0	0	95	5	0	5
Milouin	95	0	0	95	5	0	5
Nette rousse	95	0	0	95	5	0	5

Globalement, les canards en Camargue exploitent les milieux doux (inférieur à 5 g/L) et dont la majorité sont à vocation cynégétique. Beaucoup de facteurs distincts jouent un rôle sur la répartition nocturne des canards. Il est donc difficile de prédire les densités de canards par gagnage.

1.4.2. Un site de reproduction moins important

Effectifs

Les couples de canards se forment durant l'hiver. Seuls les canards colverts et quelques canards chipeaux se reproduisent en Camargue. La période de reproduction peut commencer à partir de février et finir fin août. Mâles et femelles appariés s'isolent pour nicher et la densité des couples nicheurs est très faible. La distance qui sépare deux nids est de l'ordre du km voire de la dizaine de km. Il est de fait très difficile d'estimer le nombre de canards nicheurs. Tamisier a estimé le nombre de couples de canards colverts à 5000 en 1979 (Isenmann, 1993). Le nombre de canards colverts a augmenté depuis (Isenmann, 2004) et il est possible que le nombre de couples soit actuellement de 10 000 (Jean-Yves Mondain-Monval, communication personnelle). Le nombre de canards chipeaux nichant en Camargue avait fortement diminué jusqu'à disparaître de 1956 à 1975, actuellement il pourrait être de 500 couples (Jean-Yves Mondain-Monval, communication personnelle).

Sites de reproduction

Les canards colverts peuvent nicher dans tout type de milieux. Leurs nids sont en général cachés dans la végétation, à proximité de l'eau. Dans une étude réalisée au Minnesota (Etats-Unis d'Amérique), les canards colverts nichaient de préférence dans des marais peu profonds à profonds (20 à 40 cm de profondeur) caractérisés par une végétation aquatique dense ; des nids ont également été retrouvés dans des prés submergés (Maxson et Riggs, 1996).

Il existerait une préférence des femelles pour des mares ou marais temporaires durant les périodes de pré-nidification et d'incubation. Du fait de l'assèchement de ces milieux, les milieux semi-permanents et permanents seraient les plus utilisés par la suite (Krapu *et al.*, 1997 ; Schricke *et al.*, 1992). Comme nous l'avons vu précédemment, les canetons colverts sont très sensibles aux teneurs en sel élevées (supérieures à 10 g/L), il est probable qu'en Camargue, les canards colverts nichent en eau douce à faiblement saumâtre.

Il est très difficile en Camargue de savoir si les canards ont des préférences de milieux pour nicher. A l'exception des salins et des milieux fortement saumâtres, ils nichent probablement dans tous les types de milieux.

1.5.Circulation des virus influenza A en Camargue (Lebarbenchon, 2008)

La Camargue est située au carrefour de plusieurs voies migratoires et constitue un site d'importance majeure pour les haltes migratoires, la nidification et l'hivernage d'une grande diversité d'espèce d'oiseaux. Elle peut donc être le lieu d'introduction et de transmission de nombreux agents pathogènes *via* les oiseaux sauvages et notamment des virus influenza A.

Des campagnes de prélèvements ont été effectuées de septembre 2005 à juillet 2008 sur des oiseaux capturés vivants, tués à la chasse ou à partir de fientes fraîches. L'analyse réalisée par l'Institut Pasteur de Paris (Unité de Génétique Moléculaire des Virus Respiratoires URA3015 CNRS EA302 Université Paris 7, Institut Pasteur) consiste en une RT-PCR en temps réel après extraction de l'ARN. Du fait de l'amélioration de la sensibilité des techniques utilisées, les prévalences estimées sont plus élevées en 2007-2008. La méthode employée est très spécifique (proche de 100 %) et le seuil de détectabilité est de 100 copies par μL de milieu d'extraction pour l'année 2007-2008.

Au total 6793 prélèvements ont été réalisés entre septembre 2005 et juillet 2008 sur 121 espèces d'oiseaux.

Parmi la centaine d'ardéidés (hérons et aigrettes), la centaine de flamants roses (*Phoenicopterus ruber*), les 200 rallidés et les 1600 passereaux analysés, aucun ne s'est révélé positif. Les seules espèces porteuses appartiennent à l'ordre des Ansériformes (sarcelles d'été et d'hiver, canards colvert, pilet, souchet, chipeau, fuligule milouin) et des Charadriiformes (mouette mélanocéphale *Larus melanocephalus*, et goéland leucophée *Larus michahellis*).

En Camargue, l'ordre des Ansériformes est le taxon le plus infecté. La prévalence est plus élevée chez les canards appartenant au genre *Anas* que pour le genre *Aythya*. La sarcelle d'été est la seule espèce du genre *Anas* à présenter une prévalence significativement plus élevée (10,3 %, n = 29 individus testés) que celle des autres canards de surface (genre *Anas*). Cependant, l'échantillon testé est faible et les prélèvements ont été réalisés au moment où le taux de prévalence est maximum (septembre-octobre). Le taux de prévalence enregistré au sein du taxon *Anas* suit la même cyclicité que celle relevée en Amérique du nord et en Europe du nord avec un pic marqué en automne (Krauss *et al.*, 2004 ; Munster *et al.*, 2007 ; Wallensten *et al.*, 2007) (*cf* figure 17). Les différences des prévalences entre les hivers peuvent s'expliquer en partie par l'amélioration des techniques d'analyse.

L'ordre des Charadriiformes est le deuxième ordre le plus infecté. La prévalence est à peu près équivalente à celle constatée en Europe du Nord (1,4 % d'après Olsen *et al.*, 2006). Elle

est de 2,8 % (n = 71 individus testés) chez la mouette mélanocéphale et de 0,5 % chez le goéland leucophée (n = 369 individus testés). Une centaine de mouettes rieuses et de goélands railleurs *Larus genei* ont été analysés sans livrer de résultats positifs. Il en est de même pour les scolopacidés testés (n = 138 dont 109 bécassines des marais, *Gallinago gallinago*).

Figure 17: prévalence globale de l'infection des oiseaux sauvages en Camargue, par les virus influenza aviaries, entre septembre 2005 et juillet 2008 (source: Lebarbenchon, 2008).

