



Région  
Provence  
Alpes  
Côte d'Azur



*GUINGAND Sophie*

*Encadrée par Mr Patrick Grillas, et Mr Olivier Boutron*

*Promoteur : Mr Emmanuel Serrusiaux*

# **Caractérisation de la vulnérabilité des zones humides de Provence-Alpes-Côtes d'Azur au changement climatique : le cas des zones humides alluviales.**



*Mémoire de fin d'étude de Master 2, Biologie de la Conservation  
Biodiversité et gestion, Département de Biologie, 2015-2016,  
publié le 1<sup>er</sup> septembre 2016, soutenu le 8 septembre 2016*

---



## Table des matières

Table des illustrations .....	1
<i>Remerciement</i> .....	5
Résumé – Abstract .....	7
I. Contexte de l'étude.....	1
II. Recherche bibliographique et état des lieux des connaissances sur les changements climatiques et les zones humides .....	4
a) Changements climatiques globaux .....	4
b) Déclinaison à l'échelle de la région PACA.....	9
c) Les zones humides .....	11
d) Le fonctionnement, la biodiversité des zones humides et l'impact du changement climatique : exemple des zones humides alluviales.....	16
III. Caractérisation de la vulnérabilité des zones humides alluviales au changement climatique à partir des groupements d'amphibiens.....	31
a) Matériel et méthodes.....	32
b) Résultats .....	39
d) Discussion .....	46
e) Perspectives .....	48
Bibliographie.....	51
Annexes .....	57
• <b>Annexe 1</b> : Sommaire du PRACC .....	56
• <b>Annexe 2</b> : extrait du tableau de croisement des données amphibiens et zones humides avec les attributs de chacune de ces couches.....	58
• <b>Annexe 3</b> : Extrait du tableau de croisement des données espèces et zones humides avec les attributs correspondants à chaque couche, et intégration des indices de vulnérabilité.....	60



## Table des illustrations

<b>Carte 1</b> : Cartographie des zones humides alluviales en région PACA (hors Bouches-du-Rhône, réalisé sur QGIS).....	35
<b>Carte 2</b> : Vulnérabilité des zones humides calculé et classée suivant l'indice de vulnérabilité globale.....	46
<b>Figure 1</b> : Étendue des glaces de mer de l'hémisphère Nord en septembre à la fin du XXe siècle et pour l'ensemble du XXIe siècle selon les scénarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5.....	7
<b>Figure 2</b> : Évolution moyenne en pourcentage des précipitations moyennes annuelles pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 sur la période 2081–2100.....	8
<b>Figure 3</b> : Evolution de la température maximale de l'air au cours de l'été (Juin-Août) en région PACA, exemple de la moyenne estivale de température maximale quotidienne (DRIAS, donnée Météo-France).....	11
<b>Figure 4</b> : Les différents types de zones humides sur la façade méditerranéenne.....	14
<b>Figure 5</b> : Les types zones humides alluviales .....	18
<b>Figure 6</b> : Le fonctionnement hydrique des zones humides alluviales .....	19
<b>Figure 7</b> : Les flux minéraux des zones humides alluviales .....	20
<b>Figure 8</b> : Les flux organiques et biologiques des zones humides alluviales.....	21
<b>Figure 9</b> : Les fonctions biologiques, biogéochimique, et les services écosystémiques des forêts alluviales.....	22
<b>Figure 10</b> : Nombre d'amphibiens recensés autour et à l'intérieur des zones humides alluviales, selon les deux types SDAGES).....	40
<b>Figure 11</b> : Distance des points d'observation d'amphibiens aux zones humides.....	41

<b>Figure 12</b> : Distribution des fréquences d'observations d'amphibiens dans les zones humides.....	41
<b>Figure 13</b> : Analyse de la relation entre la diversité spécifique calculée selon l'indice de Shannon H (non classée), et la superficie des zones humides et courbe de regression.....	42
<b>Figure 14</b> : Analyse de la distribution de l'indice global de vulnérabilité du milieu suivant la typologie SDAGE.....	44
<b>Figure 15</b> : Relation entre la superficie des zones humides alluviales et l'indice global de vulnérabilité du milieu (en fonction des deux typologies de zones humides) et courbe de regression.....	45
<b>Tableau 1</b> : les quatre scénarios RCP.....	5
<b>Tableau 2</b> : Évolution projetée de la moyenne de la température de l'air (°C) à la surface du globe pour le milieu et la fin du XXIe siècle par rapport à la période de référence 1986-2005 .....	6
<b>Tableau 3</b> : Évolution projetée de la moyenne de l'élévation des mers pour le milieu et la fin du XXIe siècle par rapport à la période de référence 1986-2005.....	9
<b>Tableau 4</b> : Typologie des zones humides en PACA .....	14
<b>Tableau 5</b> : Inventaire non exhaustif des zones humides (dernier inventaire réalisé en 2008) .....	15
<b>Tableau 6</b> : Liste des habitats d'intérêt communautaires et prioritaires de la Directive Habitats présents en PACA sur les rivières et zones humides alluviales.....	24
<b>Tableau 7</b> : Espèces d'amphibiens présentes en PACA (données Faune-PACA), statut de menace en France, capacité de dispersion et degré de dépendance à l'eau.....	33
<b>Tableau 8</b> : Répartition des zones humides alluviales en PACA (synthèse des inventaires départementaux sauf Bouches-du-Rhône, non disponible).....	34
<b>Tableau 9</b> : Attribution de la note pour l'indice de menace de l'espèce (critère UICN).....	36
<b>Tableau 10</b> : Attribution de la note pour le critère de mobilité et de dépendance à l'eau de l'espèce.....	37

<b>Tableau 11</b> : Attribution de la note pour la diversité spécifique (classification par la méthode des quartiles en 5 classes de même effectifs).....	38
<b>Tableau 12</b> : Composition spécifique des zones humides de bordure de cours d'eau (type SDAGE 5) et de plaine alluviale (type SDAGE 6), et occurrence de ces espèces dans ces zones humides.....	43





## *Remerciement*

Avoir l'occasion de faire un stage à la Tour du Valat est bien plus qu'une expérience professionnelle et un passage particulier de notre scolarité, mais une expérience humaine. Voici ce que beaucoup de chercheurs, membres du personnel et familiers de la Tour ont pu nous répéter durant ces derniers mois. Cela s'est avéré particulièrement vrai pour moi. J'y ai pu rencontrer des personnes passionnées, stagiaires ou chercheurs, venant de différents horizons, et désireux de communiquer leurs savoirs et tout cela dans une ambiance idéale, presque familiale. Cette expérience de vie a été une des plus formatrice et enrichissante que je n'ai jamais connue, et pour cela je tiens à remercier l'ensemble des chercheurs, employés, stagiaires, conférenciers, et toute personne avec qui j'ai pu avoir des échanges à la Tour.

Pour m'avoir permis de participer à leur terrain de recherche ou de stage, me permettant d'assouvir ma soif d'apprendre et de découvrir sur le terrain en dehors des objectifs de mon stage, je souhaite remercier Antoine A., Thomas B., Romain, Antoine G., ainsi que Yves et les autres personnes en charge de l'organisation des campagnes de baguage pour l'intégration chaque année des stagiaires à ces campagnes.

A Mr Grillas Patrick, un merci particulier. J'ai appris énormément, tant bien sur le fond du sujet des zones humides et des différents domaines de la conservation, tant que sur la méthodologie. Merci pour ton excellent encadrement, et ta disponibilité en tout temps malgré un emploi du temps très chargé. Je me suis sentie épaulée et écoutée tout au long de mon stage.

Merci à Anis Guelmami, pour son soutien (ô combien précieux) concernant le traitement cartographique des données. Le-dit rapport n'aurait sûrement pas la même « tête » sans ton aide.

A Lisa, évidemment, pour son aide sur ce rapport, merci pour ta relecture et tous tes conseils (cent fois j'y serais encore avec mes grandes phrases !), mais aussi pour tous les moments de complicité (un peu fous) que l'on a pu partager. Qu'il est agréable de se trouver dans un bureau (le meilleur de la tour en plus) avec une Amie qui partage les mêmes passions et hobbies.

Enfin, une pensée à mes proches, ma mère particulièrement, qui m'a soutenu tout au long de cette année, dans les moments plus ou moins difficiles, pour ces mots réconfortant et ses encouragements.

La liste est bien courte en comparaison du nombre de personnes que j'aimerais remercier une à une, avec qui j'ai collaboré, pour les moments passés, et qui resteront gravés dans ma mémoire. La Tour du Valat est une fondation où la passion pour notre métier grandit et s'enrichit, merci de m'avoir permis d'en faire partie.



## Résumé – Abstract

Alors que plus de 50 % des zones humides en France ont disparu ou ont été utilisées dans un but agricole, le contexte du changement climatique fait de ces milieux un des habitats les plus vulnérables au monde. Afin de caractériser la vulnérabilité des zones humides aux changements climatiques, avec une attention particulière portée sur les zones humides méditerranéennes, l'Agence de l'Eau et la Région PACA ont mis en place le PRACC. La méthodologie adoptée pour caractériser cette vulnérabilité se base alors sur des critères physiques, hydrologiques (relation débit-nappe, distance au cours d'eau, lithologie) et biologiques (richesse spécifique, présence d'espèces menacées, sensibilité des espèces au changement climatique). Ces critères sont alors traduits en indices permettant une quantification et la comparaison de la vulnérabilité des zones. Le cadrage méthodologique et les résultats préliminaires présentés à partir du cortège d'amphibiens sur les zones humides alluviales, est voué à s'appliquer sur l'ensemble des zones humides actuellement recensé en PACA, et s'appliquera dans la suite de l'étude à d'autres cortèges floro-faunistiques.

**Mots-clés** : zones humides, changements climatique, vulnérabilité, indices, méthodologie

Fifty percents of wetlands have disappeared or have been altered for agricultural uses. Climate change makes this habitat type one of the most vulnerable of the world. With the objective to characterize wetlands vulnerability to climate changes, with a particular attention to Mediterranean wetlands, the Agence de l'Eau and the Région PACA have launch the Regional Action Plan on Climate Change and water resources (PRACC). The methodology used to characterize this vulnerability is based on physical and hydrological criteria (lithology, distance to the river, relation between seepage and water flow) and also with biological criteria (species richness, presence of threatened species, species' sensibility to climate change). Those criteria have been translated in indicators allowing comparisons between wetlands and a hierarchical treatment of those habitats. This methodology and the resulting preliminary results obtained from amphibian's data and for the alluvial wetlands only, will be extended to the overall PACA wetland network, and with other flora and fauna taxa.

**Key words**: wetlands, climate change, vulnerability, indicators, methodology



## I. Contexte de l'étude

L'accumulation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et l'augmentation des températures qui devrait être au-delà de deux degrés dans les décennies à venir, mettent l'Homme face à une nécessité de s'adapter à ces changements (IPCC, 2013 ; GRECC PACA, 2016). Les changements climatiques, bien que partiellement connus et bien perçus, concernent de nombreux domaines. L'augmentation des températures et de l'aridité, par exemple, induiront un changement d'utilisation des ressources, notamment aquatiques, mais pourrait aussi impacter les populations humaines (flux de populations, maladies, canicules plus fréquentes ; Sowers *et al.*, 2011). D'autres impacts du changement climatique comme l'augmentation du niveau de la mer influenceront directement sur les sociétés et leurs mode de fonctionnement (érosion des côtes, déplacement d'infrastructures et de populations ; Kuhfuss *et al.*, 2016 ; Sowers 2011 ; Day *et al.*, 2008). Les changements climatiques impacteront également le fonctionnement des écosystèmes, la distribution des habitats et des espèces, et risquent d'altérer les cascades trophiques influençant ainsi la composition des écosystèmes (Burkett et Kusler, 2000 ; Erwin, 2008). Ainsi, l'adaptation, la compensation mais aussi l'atténuation de ces changements climatiques, représentent un défi majeur du 21<sup>ème</sup> siècle.

Une meilleure gestion des ressources aquatiques, des pratiques agricoles, et la limitation des émissions de GES, font partie des actions à mener pour pallier à ces changements (Jeppensen *et al.*, 2009, 2010 ; Erwin, 2008). La préservation des milieux naturels est aussi une mesure phare permettant de conserver la biodiversité qu'ils abritent, mais permettrait aussi de répondre au changement climatique global (Vos *et al.*, 2010 ; Erwin, 2008). Alors qu'il est maintenant admis que certains milieux naturels peuvent contribuer à amortir le changement climatique (comme les forêts et leur fonction de puits à carbone), d'autres milieux, leurs fonctions et fonctionnement comme les zones humides sont moins connus.

Le Groupe Régional d'Expert sur le Climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-PACA), a pour rôle d'évaluer les impacts, d'identifier les enjeux climatiques, les points de vulnérabilité des territoires, mais aussi les leviers d'action dans la région. Ce groupe, animé et coordonné par A.I.R. Climat, est composé de spécialistes pluridisciplinaires de la communauté scientifique et a pour ambition d'aider les gestionnaires et les décideurs territoriaux à mieux appréhender les questions relatives à l'évolution du climat (GREC PACA, 2016).

Les zones humides, parmi les habitats les plus sensibles aux changements climatiques (GIEC, 2007), sont à l'interface entre les milieux terrestres et aquatiques. Elles fonctionnent différemment en fonction du contexte paysager dans lequel elles s'inscrivent, de leurs ressources en eau et des régimes hydrologiques afférents. Les zones humides fournissent de nombreux services écosystémiques comme le soutien d'étiage et la maîtrise des crues et soutiennent également des activités récréatives et économiques (Baptiste *et al.*, 2012 ; Vaschalde, 2014). Celles-ci permettent aussi la régulation du climat à travers le stockage du carbone organique (Mitsh *et al.*, 2013), et peuvent amortir des événements climatiques extrêmes, qui sont d'autres effets attendus des changements climatiques (Vaschalde, 2014 ; IPCC, 2013 ; Baptiste *et al.*, 2012). Des menaces multiples pèsent cependant sur ces écosystèmes tels que la destruction ou la dégradation par les divers aménagements du territoire (urbanisation, infrastructures, etc.), l'utilisation des ressources en eau pour la consommation humaine, industrielle et agricole, ou encore les pollutions (Salmon-Monviola *et al.*, 2012 ; Jeppensen *et al.*, 2009, 2010 ; Nielsen et Brock, 2009 ; Schmid *et al.*, 2005). Les effets prédits des changements climatiques pourraient augmenter ces stress par une augmentation de la sécheresse estivale (résultant de l'augmentation de l'évapotranspiration due à la hausse des températures) et par une baisse possible des précipitations et la réduction des apports d'eau en été provenant des manteaux neigeux d'altitude. Une utilisation accrue probable des ressources en eau pour les besoins humains augmenteront également ces stress (Jeppensen *et al.*, 2009, 2010 ; Erwin, 2008 ; Burkett et Kusler, 2000).

La vulnérabilité est définie comme le dommage subi par un système, mais aussi sa capacité à subir ce dommage. Le Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) définit la vulnérabilité au changement climatique comme « le degré par lequel un système risque d'être affecté négativement par les effets du changement climatique sans pouvoir y faire face ». Elle dépend d'une part du caractère, de l'ampleur et du rythme de l'évolution climatique, des variations auxquelles le système est exposé et d'autre part de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.

En 2014, le Plan de Bassin d'Adaptation au Changement Climatique (PBACC) dans le domaine de l'eau, construit en association avec le préfet coordonnateur de bassin, les conseils régionaux, et le comité de bassin, est publié. Le PBACC abordait l'ensemble des mesures à lancer (en terme de connaissances et d'action) sur les différents secteurs potentiellement touchés par la question du changement climatique (eau, agriculture, santé, risques naturels, biodiversité, etc.). Le plan se construisait suivant trois axes concernant le changement

climatique : un bilan des connaissances scientifiques sur les impacts du changement climatique sur le bassin, une étude de la vulnérabilité des territoires à ces changements dans le domaine de l'eau, et des mesures de gestion permettant l'adaptation. Cependant, ce PBACC étant articulé au niveau national, le cas de la zone méditerranéenne et la caractérisation de la vulnérabilité des milieux humides dans cette région semblait sous-estimée (en deçà des autres régions françaises avoisinantes). Les caractéristiques climatiques, et l'influence particulière des futurs changements dans les régions méditerranéennes, nécessitait donc, d'après l'Agence de l'Eau et la Région PACA, une étude particulière centrée sur la région PACA, donnant naissance au Plan Régional d'Action au Changement Climatique de la ressource en eau (PRACC). Le PRACC reprend la définition de la vulnérabilité retenue dans le PBACC, comme étant le croisement entre l'exposition (variations climatiques auxquelles le système est exposé) et la sensibilité au changement climatique (caractéristique d'un territoire donné qui le rendent plus ou moins fragile vis-à-vis d'une exposition donnée). Autrement dit, la vulnérabilité résulte de l'interaction entre un aléa représenté par les changements climatiques et des enjeux biologiques et de conservation.

Dans ce contexte, il devenait nécessaire d'identifier les milieux les plus vulnérables au changement climatique, de les hiérarchiser et de décrire les facteurs et mécanismes en action, afin de bâtir au mieux une stratégie de prise en compte et un plan d'actions.

Les objectifs sont multiples face à la complexité des questions abordées et celle des perspectives d'évolution mais s'articulent autour de quatre axes :

1. Identifier le bilan des connaissances actuelles sur le fonctionnement des zones humides, dans un contexte de climat méditerranéen. Connaître les prédictions actuelles concernant les changements climatiques, et leurs impacts sur ces zones humides.
2. Identifier les paramètres contribuant à la résistance ou à l'adaptation des écosystèmes à ces changements, ainsi que les facteurs de fragilité (pressions).
3. Caractériser la vulnérabilité des milieux aquatiques et des zones humides du territoire régional Provence-Alpes-Côte d'Azur (et en particulier ceux à caractère méditerranéen) face aux changements climatiques et les hiérarchiser. L'analyse concerne les cours d'eau, les milieux connexes alluviaux et les zones humides et les systèmes lagunaires.

4. Proposer des actions ciblées permettant de garantir le maintien des facteurs de résistance / adaptation et la diminution des facteurs de fragilité (actions préventives et curatives).

Le projet PRACC a débuté en début d'année 2016, et se terminant à la fin de la même année ; il est coordonné par l'Agence de l'Eau et la Région PACA. Une collaboration entre la Maison Régionale de l'Eau avec Mr Garonne Christophe, faisant office d'expert pour l'étude de la vulnérabilité des cours d'eaux, et la Tour du Valat avec Mr Grillas Patrick et moi-même, pour l'expertise de la vulnérabilité des zones humides, est adoptée pour la rédaction de ce plan.

Le présent rapport présente les deux premiers axes de l'étude décrits ci-dessus, et l'état des lieux du développement de la méthodologie optée pour la caractérisation de la vulnérabilité des zones humides aux changements climatiques. Un exemple de l'application de cette méthodologie sera décrit pour le cas des zones humides alluviales. La discussion concernant les travaux à venir et les compléments apportés aux traitements seront enfin abordés.

## **II. Recherche bibliographique et état des lieux des connaissances sur les changements climatiques et les zones humides**

Afin de cibler les mécanismes clés du fonctionnement des zones humides pouvant être impactés par les changements climatiques, et les réponses induites sur les compartiments biologiques, une synthèse bibliographique a fait partie intégrante du travail. Elle était axée en premier lieu sur le bilan actuel des connaissances sur les prédictions concernant les changements climatiques, puis sur le fonctionnement des zones humides, et enfin sur les incidences du changement climatique sur les différents types de zones humides.

### **a) Changements climatiques globaux**

#### Le climat et les prévisions sur les changements climatiques

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) décrit le climat comme une « synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère » (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/cc/faq.php>). Le climat, pour les météorologues et



l'OMM, est la moyenne sur les 30 dernières années des températures et des précipitations d'une région et la fréquence des phénomènes extrêmes sur cette même période. Le climat est dynamique et sujet aux changements.

Afin de réduire les conséquences des changements climatiques et les risques qui y sont liés, le groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), créé en 1988, envisage des stratégies d'atténuation et d'adaptation des émissions de gaz à effet de serre (Stocker *et al.*, 2013). Le GIEC raisonne sur la base de Scénarios socio-économique partagés (SRES) modélisant les évolutions probables des émissions de GES. Quatre scénarios d'émission de GES (RCP pour Radiative Concentration Pathways ; Tableau 1) sont alors définis à partir desquels les climatologues projettent des scénarios climatiques.

**Tableau 4 : les quatre scénarios RCP (Moss *et al.*, 2010)**

Nom	Forçage radiatif	Concentration (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	>8,5Wm <sup>-2</sup> en 2100	>1370 eq-CO <sub>2</sub> en 2100	croissante
RCP 6.0	~6Wm <sup>-2</sup> au niveau de stabilisation après 2100	~850 eq-CO <sub>2</sub> au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 4.5	~4,5Wm <sup>-2</sup> au niveau de stabilisation après 2100	~660 eq-CO <sub>2</sub> au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 2.6	Pic à ~3Wm <sup>-2</sup> avant 2100 puis déclin	Pic ~490 eq-CO <sub>2</sub> avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin

Les émissions de gaz à effet de serre calculées sont le résultat de processus complexes et dynamiques entraînés par les tendances démographiques et le développement socio-économique et dépendants des avancées technologiques. L'évolution de ces facteurs est incertaine et différentes hypothèses concernant l'avenir économique, politique et les tendances démographiques fournissent différents projections et scénarios (Stocker *et al.*, 2013 ; Brochier et Ramieri, 2001).

### Les effets marquants attendus des changements climatiques

#### *Augmentation de la température à la surface du globe*

Il est attendu qu'à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle l'augmentation de la température à la surface du globe dépassera les 1.5 °C (pour tous les scénarios RCP sauf RCP2.6 ; Tableau 2) par rapport à l'époque allant de 1850 à 1900. Cette augmentation de la température dépasserait 2

°C pour les scénarios RCP 6.0 et 8.5. Aussi, et hormis pour le scénario RCP2.6, il est envisagé que le réchauffement se poursuivra après 2100. A plus court terme, et dans l'hypothèse qu'aucune éruption volcanique intense ou changement séculaire de rayonnement solaire n'aura lieu, une augmentation de la température entre 0.3 °C et 0.7°C entre 2016 et 2035, relativement à la période 1986-2005, est attendue (Stocker *et al.*, 2013).

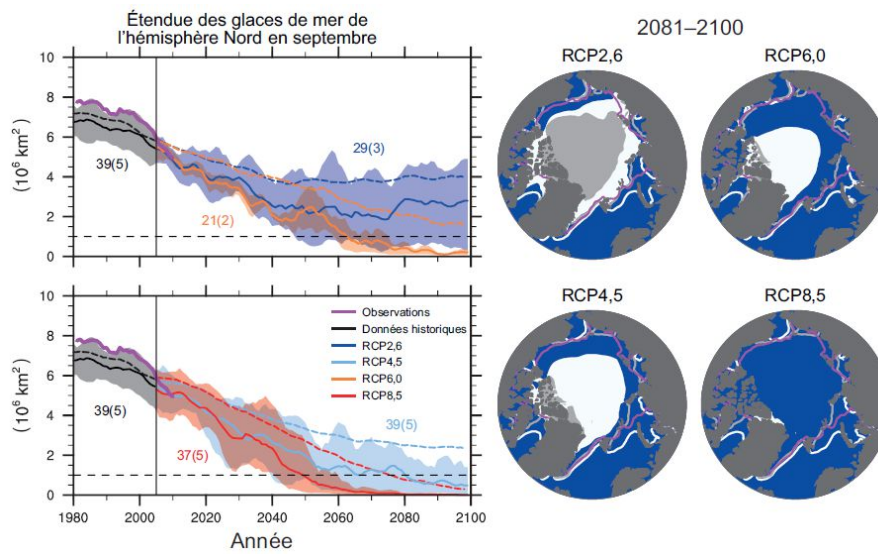
**Tableau 5 : Évolution projetée de la moyenne de la température de l'air (°C) à la surface du globe pour le milieu et la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la période de référence 1986-2005 (Stocker *et al.*, 2013).**

	Scénario	2046-2065		2081-2100	
		moyenne	Plage probable	moyenne	Plage probable
<b>Evolution de la température moyenne à la surface du globe (°C)</b>	RCP2.6	1.0	0.4 à 1.6	1.0	0.3 à 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 à 2.0	1.8	1.1 à 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 à 1.8	2.2	1.4 à 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 à 2.6	3.7	2.6 à 4.8

Il est estimé qu'à l'échelle mondiale, les océans continueront à se réchauffer au cours du 21<sup>ème</sup> siècle. La chaleur absorbée à la surface pénétrera jusqu'aux profondeurs des océans, induisant une perturbation de la circulation océanique. D'après les projections, les plus forts effets du réchauffement climatique sur les mers et océans, se concentreront au niveau de l'océan superficiel des régions tropicales et des régions subtropicales de l'hémisphère Nord. Les meilleures estimations concernant le réchauffement de l'océan sur les cent premiers mètres sont d'environ 0.6 °C pour le scénario RCP2.6, de 2 °C pour le scénario RCP8.5, et compris entre 0.3 et 0.6 °C respectif à ces deux même scénarios pour une profondeur d'environ 1000 mètres vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle (Stocker *et al.*, 2013).

Enfin, il semble très probable qu'au cours du 21<sup>ème</sup> siècle l'étendue et l'épaisseur de la banquise arctique continueront à diminuer (Figure 1). Il en est de même pour l'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère Nord au printemps, en réponse à l'augmentation moyenne des températures à la surface du globe. Ainsi les glaciers continueront de perdre de leur volume à l'échelle mondiale. Il est projeté, avec un degré de confiance moyen, que pour la fin du siècle le volume total des glaciers (en excluant les glaciers périphériques) de l'Arctique, diminuera de 15 à 55% (selon le scénario RCP2.6) et de 35 à 85% (pour le scénario RCP8.5). Il en est de même pour le manteau neigeux qui est prédit de diminuer de 7% (RCP2.6) à 25% (RPP8.5), et pour la superficie du pergélisol de surface qui tendra à diminuer selon les

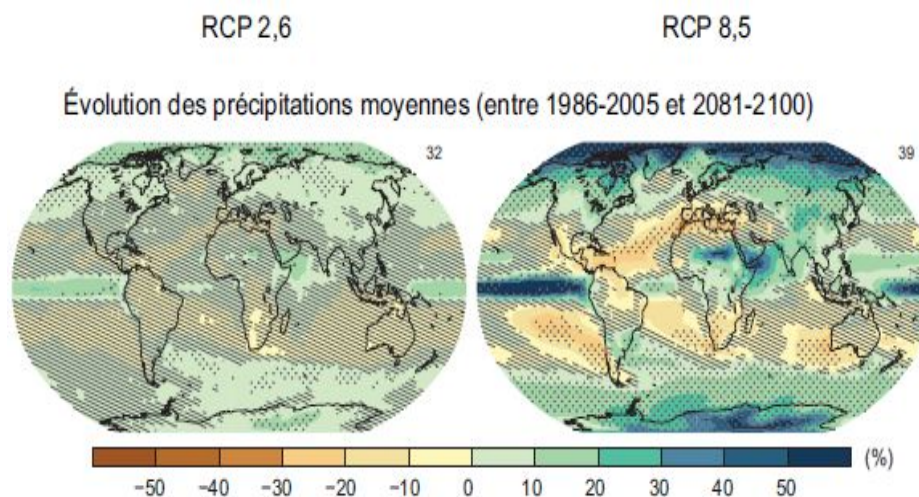
projections et les scénarios RCP2.6 et RCP8.5, respectivement de 37 à 81% (Stocker *et al.*, 2013).



**Figure 1 : Étendue des glaces de mer de l'hémisphère Nord en septembre à la fin du XXe siècle et pour l'ensemble du XXIe siècle selon les scénarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5 (Stocker *et al.*, 2013).**

#### *Impact sur le cycle de l'eau, les précipitations*

Le réchauffement climatique induira des changements dans le cycle de l'eau mais de façon non uniforme à travers le monde. Il est attendu que les contrastes augmentent au niveau des précipitations entre régions et saisons sèches et humides. La moyenne des précipitations, selon le scénario RCP8.5, devrait augmenter aux hautes latitudes et dans l'océan Pacifique équatorial d'ici la fin du siècle. Pour ce même scénario il est aussi prédit que les précipitations moyennes diminueront probablement dans les régions de moyenne latitude et dans les régions subtropicales arides, et augmenteront probablement dans de nombreuses régions humides des moyennes latitudes (Figure 2 ; Stocker *et al.*, 2013).



**Figure 3 : évolution moyenne en pourcentage des précipitations moyennes annuelles pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 sur la période 2081–2100 (Stocker *et al.*, 2013).**

#### *Elévation du niveau des mers*

Le niveau des mers est prédit de s'élever continuellement au cours du 21<sup>ème</sup> siècle (Figure 6). Selon tous les scénarios RCP, il semble très probable que le rythme de cette élévation soit plus rapide comparé à la période 1971-2010, du fait du réchauffement accru de l'océan et de l'augmentation des pertes de masses glacières (Tableau 3). Il a été projeté pour 2100, avec un intervalle de confiance moyen, que l'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 0.52 et 0.98 m et avec un rythme moyen d'élévation compris entre 8 et 15 mm par an (Stocker *et al.*, 2013).

Ces élévations sont expliquées dans les RCP en partie par la dilatation des masses d'eau et par les apports résultant de la fonte des glaciers. L'élévation du niveau des mers ne sera pas uniforme mais concernera très probablement, à la fin du siècle, 95% de la surface des océans (Stocker *et al.*, 2013).

**Tableau 6 : Évolution projetée de la moyenne de l'élévation des mers pour le milieu et la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la période de référence 1986-2005 (Stocker *et al.*, 2013)**

	Scénario	2046-2065		2081-2100	
		moyenne	Plage probable	moyenne	Plage probable
<b>Élévation du niveau moyen des mers (m)</b>	RCP2.6	0.24	0.17 à 0.32	0.40	0.26 à 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 à 0.33	0.47	0.32 à 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 à 0.32	0.48	0.33 à 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 à 0.38	0.63	0.45 à 0.82

### *Les événements climatiques extrêmes*

L'évaluation de l'évolution de l'intensité et de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes reste problématique car il s'agit de phénomènes rares. Ils sont influencés par de multiples facteurs tels que la situation météorologique, les processus thermodynamiques, les rétroactions terre-atmosphère, les conditions climatiques antérieures, et ce à petite et grande échelles.

Il manque toujours des éléments de preuves concernant le signe de la tendance pour l'intensité et/ou la fréquence des inondations sur le plan mondial, induisant des faibles degrés de confiance des prévisions. Cependant certaines tendances peuvent être soulignées. Ainsi, avec un degré de confiance moyen, les projections du scénario RCP8.5 indiquent un risque accru probable des sécheresses à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, dans les zones arides actuelles. Cet assèchement du sol serait plus marqué dans la zone méditerranéenne, dans le sud-ouest des Etats Unis et en Afrique Australe.

En ce qui concerne les cyclones, il semble probable selon les projections, que la fréquence des cyclones tropicaux tendra à diminuer au niveau mondial, mais avec en parallèle une augmentation probable de la vitesse maximale des vents et de l'intensité des précipitations imputables à ces cyclones (Stocker *et al.*, 2013).

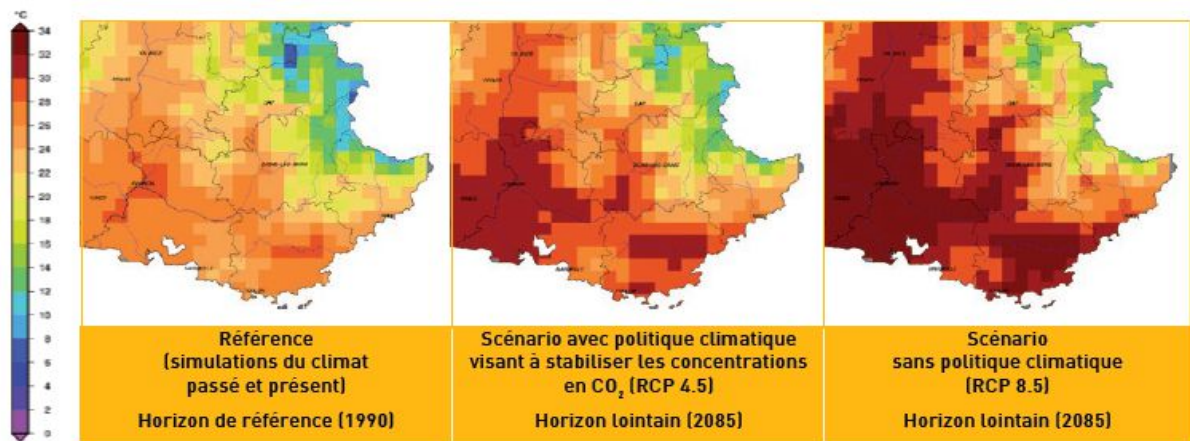
### **b) Déclinaison à l'échelle de la région PACA**

#### Caractéristiques climatiques de la région

Le climat de la région se caractérise par un passage du climat méditerranéen au climat montagnard. Ce passage, depuis la frange côtière jusqu'aux grandes Alpes, ne se fait pas d'une manière progressive mais s'effectue au gré des barrières de montagnes qui stoppent la progression de l'influence méditerranéenne vers le Nord. A l'inverse, cette pénétration peut être plus importante profitant des grandes vallées d'orientation Nord-Sud. Ainsi, sur les Alpes Maritimes, la rencontre très précoce des barrières alpines ne permet pas à l'arrière-pays de bénéficier des effets du climat méditerranéen pour les températures. La large vallée de la Durance, en grande partie d'orientation Nord-Sud, favorise la pénétration du climat méditerranéen loin dans les terres. Le climat de la ville de Gap en est une illustration avec des sécheresses fréquentes et la douceur des températures. Du fait de la proximité de la mer, et de la présence des chaînes de montagnes avec des circulations atmosphériques complexes, la pluviométrie dans la région présente des épisodes climatiques violents (sécheresse et crue) souvent très localisés.

#### Les changements climatiques attendus en région PACA

Les travaux récents du GRECC PACA (2016) ont permis d'évaluer l'état des connaissances et les tendances futures du climat dans la région, en fonction des différents scénarios climatiques. Concernant les températures de l'air, les simulations mettent en évidence une augmentation des températures (Figure 3). Ce signal est déjà perceptible dans les séries climatiques de la fin du 20<sup>ème</sup> siècle. Sur l'année 2015, la température moyenne globale - terres et océans compris - a dépassé de 0.9°C la moyenne de référence de 13.9°C calculée sur le 20<sup>ème</sup> siècle. L'écart entre la température moyenne annuelle et la température moyenne annuelle de référence (entre 1976 et 2005) serait de l'ordre de +1.9°C à +5.5°C à la fin du siècle, selon les zones géographiques et les scénarios socioéconomiques (RCP).



**Figure 3 : Evolution de la température maximale de l'air au cours de l'été (Juin-Août) en région PACA, exemple de la moyenne estivale de température maximale quotidienne (DRIAS, donnée Météo-France dans GREC PACA 2016).**

Les simulations concernant l'évolution des précipitations en Provence-Alpes-Côte d'Azur sont incertaines. Les projections climatiques fournies par les modèles montrent en effet dans la région des évolutions contradictoires, que ce soit sur la quantité globale des précipitations annuelles ou sur le nombre de jours de fortes précipitations (pluies supérieures à 20mm, soit 20 litres/m<sup>2</sup> sur une journée). Cependant, les précipitations estivales sont attendues de diminuer avec plus de certitude.

Ainsi, la région PACA risque de glisser vers un régime sud méditerranéen, se traduisant par un climat plus chaud et plus sec (notamment en été) et ce sur de plus longues périodes. Des épisodes de canicule plus longs et plus nombreux sont aussi attendus.

D'autres impacts sont attendus pour la région. Dans les zones de montagnes, il est attendu une diminution voire une disparition du nombre de jours de gel, une diminution de l'épaisseur du manteau neigeux au-dessus de 1500m voire 1800m d'altitude suivant les scénarios, et une diminution de la durée moyenne de l'enneigement au sol.

Ces effets du changement climatique induiront un climat moins agréable pour l'Homme, des contraintes fortes pour la faune et la flore, ainsi que pour la gestion des ressources en eau, et sensibilisant les forêts aux incendies.

### **c) Les zones humides**

#### Définitions des zones humides

### **Définition légale (code de l'eau, Art. L.211-1) :**

« Terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

La définition légale des zones humides a pour objectif la gestion qualitative et quantitative des ressources en eau. Elle résulte de la consultation d'experts français et d'un juriste à la demande du Ministère de l'environnement en 1991. Cette définition de milieu est basée sur la présence d'une végétation typique et de la pédologie de ces zones.

### Typologie des zones humides

Afin de mieux cerner le fonctionnement complexe des zones humides nous distinguerons ici quatre grandes catégories de zones humides selon leur fonctionnement hydrologique. Ces distinctions s'inspirent du guide de reconnaissances des zones humides (Chambaud *et al.*, 2012) :

- **Les zones humides alluviales ou d'eau courante** : zones humides présentes dans le lit majeur du cours d'eau selon la définition RMC et de typologie 5-6 selon la typologie SDAGE (Tableau 4 ; Figure 4).
- **Les zones humides de bas fond en tête de bassin** : zones humides alimentées par les eaux de ruissellement et eaux de pluies selon la définition RMC, typologie 7 selon le SDAGE (Tableau 4 ; Figure 4). Zone de source de suintement et de tourbière.
- **Les zones humides d'eau stagnante** : marais et landes humides de plaines, marais agricoles aménagés, région d'étangs, zones humides artificielles, petits plans d'eau et bordure de lac, mares (temporaires), zones humides de typologie 8 à 13 selon le SDAGE (Tableau 4 ; Figure 4).
- **Les zones humides maritimes** : embouchures de cours d'eau ou soumises aux marées, milieux littoraux saumâtres à faible renouvellement naturels ou artificiels selon la définition RMC, et typologie 2, 3,4 selon le SDAGE (Tableau 4 ; Figure 4).

Les derniers inventaires départementaux des zones humides et leurs mises à jour, par divers organismes (CEN, Conseils général, PNR, DDTM), ont permis de recenser une surface de 168 775 hectares de zones humides. Sur ce total, le type SDAGE de chaque zone humide



est généralement renseigné (sur 66 820 hectares) sauf dans l'inventaire le plus ancien, celui des Bouches-du-Rhône. Les zones humides alluviales et de cours d'eau constituent une grande majorité des zones humides en PACA (près de 70%) en terme de surface (en excluant le département des Bouches-du-Rhône dont l'inventaire n'est pas renseigné). Toujours hors Bouches-du-Rhône, ces zones humides ne sont qu'en troisième position concernant leur nombre. En effet, les zones humides de tête de bassins comptent 1 115 sites, les zones humides d'eau stagnantes comptent 998 sites, contre 826 sites pour les zones humides alluviales (Tableau 5). Cela s'explique, entre autres, par le caractère plus ponctuel de ces deux premiers habitats, et la répartition plus linéaire et étendue des zones humides reliées aux cours d'eaux. Dans la région PACA, hors Bouches-du-Rhône, 9 zones humides maritimes sont recensées.

**Tableau 4 : Typologie des zones humides en PACA (Chambaud et Oberti, 2012)**

**Typologie SDAGE (d'après AERMC et al., 2000)**

N°	Typologie SDAGE	Définitions Rhône-Méditerranée-Corse (RMC)
2	Baies et estuaires moyens plats	Embouchure de cours d'eau non soumise aux marées
3	Marais et lagunes côtiers	Milieu littoral saumâtre à faible renouvellement et naturel
4	Marais saumâtres aménagés	Milieu littoral saumâtre à faible renouvellement et artificiel
5	Bordures de cours d'eau	Zones humides présentes dans le lit majeur du cours d'eau
6	Plaines alluviales	
7	Zones humides de bas-fond en tête de bassin	Alimentation par eaux de pluies et eaux de ruissellements (tourbières, marais, prairies)
8	Régions d'étangs	Plans d'eau d'origine anthropique
9	Bordures de plans d'eau (lacs, étangs)	Queues d'étangs et bordure à hélrophytes et hydrophytes
10	Marais et landes humides de plaine	Milieus déconnectés des cours d'eau, alimentation par ruissellement, précipitations directes, remontées de nappes
11	Zones humides ponctuelles	Stagnation d'eau permanente ou temporaire
12	Marais aménagés dans un but agricole	Zones humides à vocation agricole (production)
13	Zones humides artificielles	Zones humides liées aux activités anthropiques



**Figure 4 : Les différents types de zones humides sur la façade méditerranéenne (ONEMA).**

**Tableau 5 : Inventaire non exhaustif des zones humides (dernier inventaire réalisé en 2008).**

<b>Superficie des zones humides en PACA (ha)</b>												
	3 - Marais et lagunes côtiers	4 - Marais et lagunes côtiers	5 - Bordures de cours d'eau	6 - Plaines alluviales	7 - Tête de bassin	8 - Région d'étang	9 - Plan d'eau et bordure	10 - Marais et landes humides	11 - ponctuelle	12 - aménagé dans un but agricole	13 - artificielle	TOTAL
<b>ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE</b>	0	0	14234	2239	3599	0	37	993	131	6	645	21885
<b>ALPES-MARITIMES</b>	5	0	5307	2046	814	0	293	258	52	0	51	8825
<b>HAUTES-ALPES</b>	0	0	9051	142	6683	0	108	613	264	512	291	17665
<b>VAR</b>	187	889	22	2004	354	25	0	0	160	0	2199	5841
<b>VAUCLUSE</b>	0	0	8260	3123	382	0	0	315	154	0	384	12617
<b>BOUCHES-DU-RHÔNE</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>TOTAL</b>	192	889	36874	9554	11833	25	437	2179	762	519	3570	66833

#### **d) Le fonctionnement, la biodiversité des zones humides et l'impact du changement climatique : exemple des zones humides alluviales**

Dans le cadre du bilan des connaissances sur l'impact des changements climatiques sur les zones humides et la connaissance du fonctionnement de ces milieux, des recherches bibliographiques ont été menées sur les quatre types de zones humides (alluviales et d'eau courantes, maritimes, stagnantes, et tête de bassin). Ces recherches ont ainsi pour but de préciser les effets attendus des changements climatiques sur les zones humides et plus particulièrement à travers les modifications hydrologiques. Le second objectif est de dresser la biodiversité de ces milieux, et caractériser leur vulnérabilité aux changements climatiques et plus particulièrement à l'élévation des températures, l'augmentation de la sécheresse estivale, ou, en ce qui concerne le littoral, à l'élévation du niveau de la mer et les modifications de salinité. Ici dans un souci de synthèse et afin de présenter le résultat de ces recherches seules les résultats concernant les zones humides alluviales sont présentées. Les zones humides alluviales représentant une grande majorité des zones humides en PACA, présenter ces typologies de bordures de cours d'eau et de plaine alluviales permet de décrire un milieu humide typique de la région PACA.

##### Le fonctionnement des zones humides alluviales

Situées en fond de vallées de cours d'eau, les zones humides alluviales incluent des habitats fluviaux (îlots, grèves, berges, etc.) et des annexes alluviales (prairies inondables, marais tourbeux, bras morts, ripisylves, forêts alluviales, annexes hydrauliques, etc.).

Leur capacité stockage, à plus ou moins long terme, prévient des risques d'inondation en diminuant l'intensité des crues et soutient le débit à l'étiage. La plupart d'entre elles participent à la recharge de la nappe phréatique et à l'épuration des eaux. Les zones humides ont une forte valeur paysagère. Par ces nombreuses fonctions, elles participent à la gestion quantitative et qualitative de la ressource en eau (d'après glossaire Eau France <http://www.glossaire.eaufrance.fr/> ).

## **Les différents types d'habitats dans les zones humides alluviales (Figure 5 ; d'après glossaire Eau France)**

- **Prairie inondable** : situées dans le lit majeur d'un cours d'eau, elles connaissent des inondations temporaires. Les prairies inondables sont des zones très riches d'un point de vue biologique avec la présence de nombreuses espèces animales ou végétales protégées. Selon la richesse du sol et sa durée d'engorgement y fleurissent notamment la gratiole, la fritillaire pintade, espèces protégées en France. La flore s'accompagne souvent d'un cortège animal composé d'amphibiens, de petits mammifères et surtout de nombreux insectes. Parmi ces derniers, des papillons patrimoniaux, comme le Damier de la succise, l'Azuré des mouillères, le Cuivré des marais ou des criquets comme le Criquet ensanglanté qui ne se rencontrent que dans ce type de milieu. De nombreux oiseaux, comme le Courlis cendré, le Tarier des prés, le Râle des genêts, la Pie-grièche écorcheur, le Héron cendré ou l'Aigrette garzette se reproduisent dans ces prairies. Des zones demeurant en eau plus longtemps et connectées à la rivière forment aussi de très bonnes frayères pour la reproduction du Brochet et de la Grenouille rousse. Ces prairies ont aussi un intérêt fonctionnel en termes d'absorption des crues, de filtration et d'épuration des eaux.
- **Forêt alluviale** : Ecosystème forestier inondé de façon régulière ou exceptionnelle. C'est la bande boisée située le long d'un cours d'eau dont la largeur est supérieure à 10 mètres de large. Dans les zones inondées pendant 150 à 200 jours par an les habitats sont dominés par des bois tendres (saules, aulnes et peupliers). Dans les secteurs plus hauts, inondés au plus 50 jours par an, s'installe une forêt à bois dur, composée de frênes et d'ormes. Ces habitats forestiers sont le refuge du Triton, du Castor d'Europe, de la Loutre et de nombreux oiseaux. La plupart de ces habitats sont d'intérêt communautaire.
- **Annexe hydraulique** : Ensemble de zones humides alluviales en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant par des connections soit superficielles soit souterraines : îles, bancs alluviaux, bras morts, prairies inondables, forêts alluviales, ripisylves, sources et rivières phréatiques. Ces espaces constituent d'importantes zones de transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. Ils offrent une grande variété d'habitats, dans lesquels les communautés animales et végétales (insectes, poissons, amphibiens, oiseaux, mammifères) se répartissent en fonction du niveau de submersion des terrains. Les annexes hydrauliques ont un rôle déterminant dans le cycle de vie des espèces et notamment dans la reproduction des poissons. Selon leur nature et les espèces concernées,

ce sont des zones de reproduction, de repos migratoire ou encore des aires de nourrissage. Les batraciens et les reptiles y sont aussi bien représentés que les oiseaux. La Grenouille rieuse, la Rainette verte ou méridionale, la Couleuvre à collier, côtoient la Poule d'eau, le Grèbe castagneux, le Martin pêcheur et quelques fois le Héron cendré.



**Figure 5 : les types zones humides alluviales.**

## **Fonctionnement**

### *Fonction et fonctionnement hydrologique*

Les zones humides alluviales sont alimentées par le cours d'eau (en particulier pendant les crues), les ruissellements, la nappe alluviale.

Les plaines inondables des zones semi arides (comme dans le sud de PACA) et les forêts alluviales sont des écosystèmes uniques car soumis aux conditions naturelles, et soumis à une alternance entre deux phases contrastées. La plupart du temps elles sont dans une phase sèche qui semble en superficie peu différente des écosystèmes terrestres voisins. Cependant périodiquement ces systèmes sont inondés. Les régimes de flux et d'inondation des rivières sous des climats semi-arides sont caractérisés par une extrême variabilité et imprédictibilité (Colloff et Baldwin, 2010).

La diversité des milieux terrestres et aquatiques des plaines inondables est maintenue par les variations de régime hydrologique qui influence la distribution des habitats et leur

renouvellement. Ce système biophysique complexe des zones humides alluviales a souvent été décrit comme un modèle de mosaïque en changement permanent (Arscott *et al.*, 2002 ; Ward *et al.*, 2002 ; Hohensinner *et al.*, 2005 ; Latterell *et al.*, 2006 dans Whited *et al.*, 2007). Ce modèle décrit comment les « patches » oscillent entre plusieurs stades de développement, maintenant ainsi l'équilibre des écosystèmes à une plus grande échelle (Bormann et Likens, 1979 dans Whited *et al.*, 2007). Les inondations fortes de faible occurrence (~100 ans) produisent des changements géomorphologiques par l'avulsion des canaux, ou le remplissage par des alluvions (Hauer et Lorang, 2004 dans Whited *et al.*, 2007). Les flux plus faibles et plus fréquents (occurrence entre 1-5 ans) amènent à la création d'une zone parafluviale (Fisher *et al.*, 1998 dans Whited *et al.*, 2007) où les processus de succession primaire ont lieu.

#### *Fonction et fonctionnement physique et biogéochimique*

Les flux hydriques apportent des nutriments, des sédiments et des matières en suspension, issues de l'érosion sur le bassin versant (Figure 6).



**Figure 6 : Le fonctionnement hydrique des zones humides alluviales.**

Les activités humaines sur le bassin versant influencent les apports solides et dissous (engrais répandus sur les bassins versants, des rejets industriels et urbains, etc.).

Les zones humides riveraines sont globalement des « puits » de nutriments et de matières minérales et organiques (Figure 7). Les nutriments sont absorbés par les végétaux, stockés dans les sols ou exportés. Les processus de dénitrification, qui contribuent à l'élimination de l'azote (sous forme gazeuse) des écosystèmes, ont lieu au niveau des zones dépourvues d'oxygène (saturées en eau). Les forêts alluviales ont aussi un rôle d'épuration de l'eau, notamment en ce qui concerne les pollutions azotées et phosphorées. La fixation directe par les végétaux ainsi que la dénitrification liées aux activités bactérienne, permettent de réduire les teneurs en nitrate et phosphore dans l'eau. Lorsqu'elles sont inondées les forêts alluviales permettent aussi le piégeage des sédiments (Massenet, 2013).



**Figure 7 : Les flux minéraux des zones humides alluviales**

### *Fonctions biologiques et écologiques*

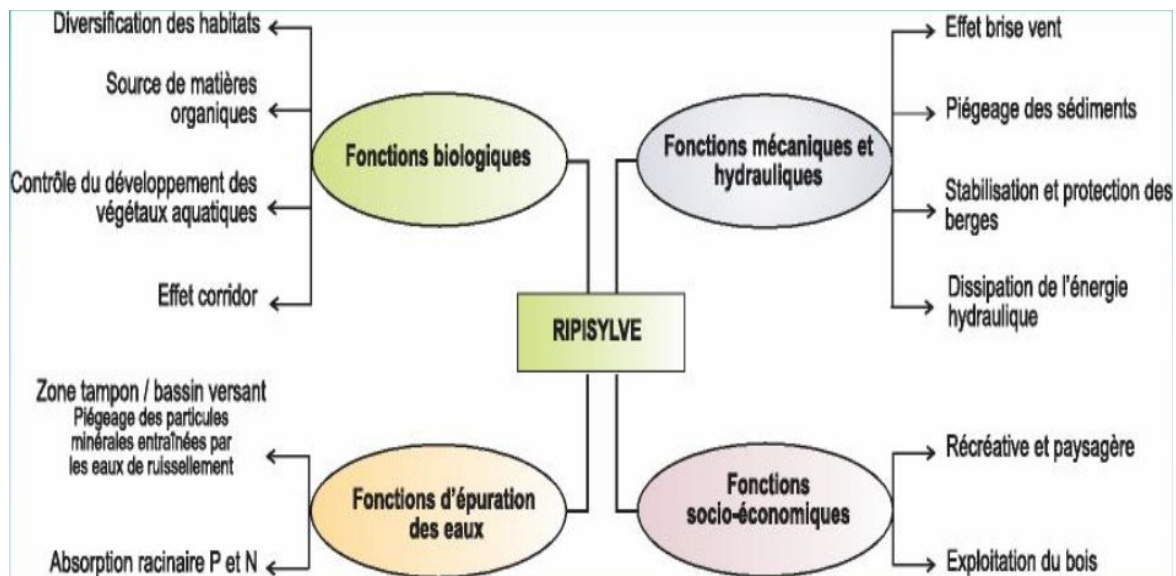
Les fluctuations du régime hydrologique induisent alternativement des effets de concentration et de dilution des minéraux et nutriments (Figure 8). Les pics de concentration imposent des contraintes aux organismes vivants dans ces zones, diminuent la richesse spécifique et affectent la structure de la forêt alluviale. En effet des conditions de faible flux d'eau induisent parfois des périodes de forte salinité que les organismes vivants doivent soit éviter soit tolérer (Nielsen et Brock, 2009).





**Figure 8 : Les flux organiques et biologiques des zones humides alluviales.**

Les forêts alluviales ont un rôle de stabilisation des berges grâce au développement de leur réseau racinaire, et de diminution de l'érosion, la végétation augmentant la rugosité du lit et diminuant ainsi la vitesse moyenne et la force érosive du courant (Figure 9). L'ombrage fourni par les arbres permet aussi de ralentir le développement des herbiers aquatiques, et limiter le réchauffement des eaux en période estivale qui pourrait être défavorable à certains biotes.



**Figure 9 : Les fonctions biologiques, biogéochimique, et les services écosystémiques des forêts alluviales (d'après Massenet, 2013 ; <http://jymassenet-foret.fr/cours/courslehavre/chapitre2rolesripisilves.pdf>).**

Les pics d'inondation, leur timing, et leur ampleur, peuvent stimuler la germination des graines et/ou la reproduction végétative de la végétation riveraines et influencer directement ou indirectement l'activité des organismes utilisant les zones de transition entre milieu aquatique et terrestre, et peuvent être alors considérées comme tamis environnemental (Capon *et al.*, 2006 ; Whited *et al.*, 2007). Un faible niveau d'eau et occasionnellement un assèchement de ces milieux pendant les périodes de sécheresse, stimule le recrutement de diverses plantes à partir des stocks de graines et augmente la productivité par la libération de nutriments. Les périodes d'inondations ou de fortes pluies, induisent quand à elle un turnover de la végétation (Johnson *et al.*, 2005). En conséquence les inondations ont le potentiel de structurer les banques de graines du sol de façon temporelle et spatiale, déterminant ainsi leur contribution à la végétation existante à travers leur germination (Capon *et al.*, 2006).

Dans les zones humides alluviales non directement au contact de la rivière, les espèces fortement mobiles peuvent se déplacer et se disperser via les espaces terrestres qui font office de corridors, et se servir de différentes zones humides alluviales comme site de nourrissage ou de nidification pour les oiseaux (Kingsford et Porter, 1994 ; Brock et Jarman, 2000). Les espèces moins mobiles ou à faible dispersion, telles que les plantes ou le zooplancton, sont contenues dans les zones humides comme populations plus isolées (jusqu'à la prochaine inondation permettant la connectivité des milieux ; Brock et Jarman, 2000). Ces trames

d'habitats de zones humides alluviales sont aussi vulnérables, par leur connectivité, aux invasions d'espèces exotiques, menaçant potentiellement la faune et la flore locales.

## **Biodiversité**

### *Habitats d'intérêt communautaire*

Les zones humides alluviales présentent un nombre important d'habitats d'intérêt communautaire (Tableau 6 ; Salles et Coucoureux, 2012). Ces habitats ont des exigences précises en termes hydrologiques. Certains d'entre eux dépendent d'une alimentation en eau froide (par exemple H7240-Formations pionnières alpines du *Caricion bicoloris-atrofuscae*). D'autres habitats seront eux vulnérables à la régulation et au dynamisme des cours d'eau (H3140- Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara spp.*, H91E0- Forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior*, H92A0- Forêt galeries à *Salix alba* et *Populus alba*), au maintien du niveau d'humidité du sol (H6410- Prairies à *Molinia* sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux) ou encore au remblaiement des zones humides (H7210- Marais calcaires à *Cladium mariscus* et espèces du *Caricion davallianae*).

**Tableau 6 : Liste des habitats d'intérêt communautaires et prioritaires de la Directive Habitats présents en PACA sur les rivières et zones humides alluviales.**

<b>Code EUR</b>	<b>Nom de l'habitat</b>	<b>Statut DH</b>	<b>Enjeu de conservation</b>
<b>H3140</b>	Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à <i>Chara spp.</i>	IC	Fort
<b>H3220</b>	Rivières alpines avec végétation ripicole herbacée	IC	Moyen
<b>H3230</b>	Rivières alpines avec végétation ripicole ligneuse à <i>Myricaria germanica</i>	IC	Moyen
<b>H3240</b>	Rivières alpines avec végétation ripicole ligneuse à <i>Salix eleagnos</i>	IC	Moyen
<b>H3250</b>	Rivières permanentes méditerranéennes à <i>Glaucium flavum</i>	IC	Moyen
<b>H3260</b>	Rivières des étages planitiaire à montagnard avec végétation du <i>Ranunculion fluitantis</i> et du <i>Callitricho-Batrachion</i>	IC	fort
<b>H3270</b>	Rivières avec berges vaseuses avec végétation du <i>Chenopodion rubri p.p.</i> et du <i>Bidention p.p.</i>	IC	Moyen
<b>H3280</b>	Rivières permanentes méditerranéennes du <i>Paspalo-Agrostidion</i> avec rideaux boisés riverains à <i>Salix</i> et <i>Populus alba</i>	IC	Moyen
<b>H3290</b>	Rivières intermittentes méditerranéennes du <i>Paspalo-Agrostidion</i>	IC	Moyen
<b>H5310</b>	Taillis de <i>Laurus nobilis</i> (Chênaies pubescentes méditerranéennes à Laurier-sauce)	IC	Moyen
<b>H6410</b>	Prairies à <i>Molinia</i> sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux	IC	Fort
<b>H6420</b>	Prairies humides méditerranéennes à grandes herbes de <i>Molinio-Holoschoenion</i>	IC	Fort
<b>H6510</b>	Pelouses maigres de fauche de basse altitude ( <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> )	IC	Fort
<b>H7210</b>	Marais calcaires à <i>Cladium mariscus</i> et espèces du <i>Caricion davallianae</i>	Prioritaire	Moyen
<b>H7240</b>	Formations pionnières alpines du <i>caricion bicoloris-atrofuscus</i>	Prioritaire	Fort
<b>H91B0</b>	Frênaie thermophiles à <i>Fraxinus angustifolia</i>	IC	Moyen
<b>H91E0</b>	Forêts alluviales à <i>Alnus glutinosa</i> et <i>Fraxinus excelsior</i> ( <i>Alnio-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i> )	Prioritaire	Moyen
<b>H91F0</b>	Forêts mixtes de <i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Ulmus minor</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> ou <i>Fraxinus angustifolia</i> riveraines des grands fleuves ( <i>Ulmenion minoris</i> )	IC	Fort
<b>H92A0</b>	Forêt galeries à <i>Salix alba</i> et <i>Populus alba</i>	IC	Moyen
<b>H92D0</b>	Galeries et fourrés riverains méridionaux ( <i>Nero-Tamaricetea</i> et <i>Securigenion tinctoriae</i> )	IC	Très fort

## *Le cortège végétal*

La flore des zones humides alluviales est diversifiée compte tenu des situations géographiques et climatiques diverses que l'on peut rencontrer en région PACA. Il n'existe pas à ce jour d'inventaire de la flore patrimoniale des zones humides alluviales en PACA, mais des documents tels que les DOCOB « Rhône aval » (PNR de Camargue, 2013) et de la Durance (SMAVD, 2009), les fiches habitats Natura 2000 de la DREAL (Salles et Coucoureux, 2012) ainsi que les cahiers d'habitats Natura 2000 habitats humides d'intérêt communautaire (Bensettiti, 2002), nous permettent de dresser une liste non exhaustive de la flore typique de ces zones humides et cours d'eau. Une seule plante rattachée aux petits cours d'eau est actuellement classée en tant qu'enjeu de conservation en PACA, le Trèfle des rochers (*Trifolium saxatile*, code EUR 1545). Cette espèce est tributaire de conditions hydrauliques particulières telles que les érosions torrentielles, les charriages, ou dépôts d'alluvions neufs. Le maintien des conditions hydraulique est donc nécessaire à la conservation de cette plante à fleurs (Salles et Coucoureux, 2012).

Les habitats de bordures de rivières lenticues à eaux oligo-mésotrophes calcaires (code habitat H3140) seront colonisés par les Characées et les Potamots pectinés (*Stuckenia pectinata* ; Salles et Coucoureux, 2012).

Les habitats de rivières et des berges de rivières (code habitat H3220, H3230, H3250, H3280, H3270, H3290) sont caractérisés par des peuplements d'Epilobe de Fleischer (*Epilobium fleischeri*), de Chondrille fausse-chondrille (*Chondrilla chondrilloides*), Calamagrostide faux-roseau (*Calamagrostis arundinacea*) et Fausse roquette à feuille de cresson (*Erucastrum nasturtiifolium*), le Myricaire d'Allemagne (*Myricaria germanica*), le Glaucière jaune (*Glaucium flavum*), l'Onagre bisannuelle (*Oenothera biennis*), le Mélilot blanc (*Melilotus albus*), le *Chenopodium rubrum*, la Renouée à feuille de patience (*Persicaria lapathifolia*), le Paspalum faux-paspalum (*Paspalum paspalodes*), la Saponaire officinale (*Saponaria officinalis*), le Peuplier blanc (*Populus alba*), la Renoncule aquatique (*Ranunculus aquatilis*), la Petite lentille d'eau (*Lemna minor*), la Menthe aquatique (*Mentha aquatica*), ou encore le Cresson de fontaine (*Nasturtium officinale* ; Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

Dans les habitats de taillis (H5310) se développeront le Chêne pubescent (*Quercus pubescens*), Chêne vert (*Quercus ilex*), Laurier-sauce (*Laurus nobilis*), If commun (*Taxus*

*baccata*), Filaire à larges feuilles (*Phillyrea latifolia*), Viorne-tin (*Viburnum tinus*), Chèvrefeuille de Toscane (*Lonicera etrusca*), Garance voyageuse (*Rubia peregrina*) et le Millepertuis androsème (*Hypericum androsaemum* ; Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

La flore des habitats de pelouse et de prairies des milieux alluviaux (H6410, H6420, H6510) est caractérisée par des espèces telles que la Molinie bleuâtre (*Molinia caerulea*), le Jonc à tépales aigues (*Juncus acutiflorus*), le Scirpe jonc (*Scirpoides holoschoenus*), la Molinie faux-roseau (*Molinia caerulea*), Choin noirâtre (*Schoenus nigricans*), Lin bisannuel (*Linum bienne*), le Fromental élevé (*Arrhenatherum elatius*), la Gaudinie fragile (*Gaudinia fragilis*), ou encore le Serratule hétérophylle (*Klasea lycopifolia* ; Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

La flore des marais calcaires et des formations pionnières alpine (H7210, H7240) se compose entre autre de Marisque (*Cladium mariscus*), Roseau commun (*Phragmites australis*), Petite massette (*Typha minima*), de Laiches et Joncs (*Carex spp*, *Juncus spp*), ou encore de Choin noirâtre (*Schoenus nigricans* ; Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

Enfin, les formations de ripisylves (H91E0, H91F0, H92A0, H92D0) sont, pour la région PACA, dominées par des peuplements d'aulnaies-saulaies, peupleraies noires avec la présence de Frêne élevé (*Fraxinus excelsior*), et à sous-bois de Reine-des-prés (*Filipendula ulmaria*), d'Angélique des bois (*Angelica sylvestris*), de Ficaire (*Ficaria verna*), d'Anémone des bois (*Anemone nemorosa*), d'Anémone fausse renoncule (*Anemone ranunculoides*) et de Corydale à bulbe plein (*Corydalis solida*). D'autres formations à Frêne avec un sous-bois de Laurier rose (*Nerium oleander*), de Gattilier (*Vitex agnus-castus*), et de Tamaris commun (*Tamarix gallica*), ou encore des formations de Tamaris à sous-bois de Scirpe à feuille de jonc et de Choin noirâtre, se retrouvent en PACA dans ces zones humides alluviales (Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

#### *Les espèces exotiques envahissantes*

Les zones humides alluviales en PACA (notamment le site du Rhône aval), ayant un caractère thermophile, sont favorables au développement des espèces exotiques à caractère envahissant. De plus, des facteurs naturels tels que les crues, ou encore les travaux d'aménagement et d'entretien ou l'exploitation du bois, causent des perturbations mettant le

sol à nu, laissant la place et temps aux espèces envahissantes de s'installer telles que des Jussies (*Ludwigia spp*) ou la Renouée du Japon (*Reynoutria japonica* ; PNR de Camargue, 2013). Par exemple, des habitats comme les galeries et fourrées riverains méridionaux seront envahies par *Acacia dealbata* et *Arundo donax*, les forêts mixtes riveraines des grands fleuves seront entre autre menacées par le Faux indigo, et les forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior* seront sensibles aux Renouées du Japon et/ou Solidages (Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

### *Les invertébrés*

Sept espèces d'intérêt communautaire ont pu être observées dans le cadre du DOCOB Rhône aval : le Grand Capricorne (*Cerambix cerdo*), l'Agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*), la Cordulie à corps fin (*Oxygastra curtisii*), le Gomphe de Graslin (*Gomphys graslinii*), le Lucane cerf-volant (*Lucanus cervus*) (toutes inscrites à l'annexe II), et le Gomphe à pattes jaunes (*Gomphus flavipes* ; annexe IV). Plus communément en PACA le papillon patrimonial la Diane (*Zerynthia polyxena* ; protégée à l'annexe IV), a été recensé. Les enjeux de conservation sont centrés sur le Gomphe à pattes jaunes qui se reproduit dans le Rhône et la Cordulie à corps fin qui semble se reproduire essentiellement dans les lônes et annexes fluviales (PNR de Camargue, 2013). Les odonates sont généralement sensibles à la qualité de l'eau et à la structure de leur habitat, mais souvent aussi au morcellement de leur habitat (Salles et Coucoureux, 2012 ; Bensettiti, 2002).

Au niveau du site d'intérêt communautaire (SIC) de la Durance, l'Ecaille chinée (*Euplagia quadripunctaria*), très répandue au niveau des forêts alluviales, est très abondante. Les prospections de l'ONEMA ont confirmé la présence dans ce même site de l'écrevisse à pattes blanches (SMAVD, 2009).

### *Les amphibiens et reptiles*

Ces espèces sont très liées aux zones humides et sont un bon indicateur de l'état écologique de la zone humide qu'elles fréquentent notamment pour les milieux de faible superficie et/ou temporaires (OZHM, 2012). Ces espèces sont sensibles aux changements de leurs milieux de vie, et fonctionnent souvent par métapopulation. La connectivité de leur habitat est donc un facteur clé pour la survie de ces espèces. La présence de prédateurs, du fait des activités humaines (pêche, aquariophilie), ou de la connectivité avec d'autres milieux, est un risque majeur pour la pérennité des populations d'amphibiens. Les précipitations, la

variation de l'hydropériode et les niveaux d'eau, sont des facteurs important pouvant affecter la colonisation du site et les processus d'extinctions pour certaines espèces d'amphibiens (Cayuela 2012). Ces zones humides servent aussi d'habitat pour des espèces telles que la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis* ; code *EUR 1220*) dont les habitats favorables doivent être conservés et protégés, notamment les berges et talus meubles qui sont propices à la ponte ; le Discoglosse sarde (*Discoglossus sardus*) présent uniquement dans le Var sur les îles d'Hyères en PACA, ou encore le Spéléomante de Strinati (*Speleomantes strinati* ; Code *EUR 1994*), espèce endémique des Alpes Maritimes à enjeu de conservation très fort, et qui peut se retrouver aux abords des petits cours d'eau, et dans les ripisylves (Salles et Coucoureux, 2012).

### *Les mammifères*

Parmi les mammifères remarquables présents dans ces zones humides nous comptons le Castor d'Eurasie (*Castor fiber* ; code *EUR 1337*) et la Loutre d'Europe (*Lutra lutra* ; Code *EUR 1355*) ainsi que de nombreuses espèces de chiroptères.

Les populations de Castor sont dépendantes de la conservation des berges et des annexes hydrauliques, mais aussi de l'amélioration de la dynamique fluviale, et de l'amélioration de la continuité des corridors écologiques. Cette espèce est liée à un habitat spécifique que sont les cours d'eau avec une ripisylve d'au moins 5 mètres de large sur les berges. Cette espèce représente un fort enjeu de conservation (PNR de Camargue, 2013 ; DREAL PACA, 2012). En PACA la Loutre est très rare. Elle semble en reconquête en Camargue, à Aygues, et dans la Durance. Cette espèce utilise des habitats spécialisés tels que les cours d'eau permanents, riche en poissons, avec des berges naturelles offrant des caches. Afin de maintenir cette espèce et/ou faciliter son installation la préservation et la restauration des berges naturelles, en évitant les enrochements, et en conservant les ripisylves et mégaphorbiaies sont des actions à favoriser (Salles et Coucoureux, 2012).

Les ripisylves, proposant une diversité importante d'arbres, permettent l'installation de plusieurs espèces de chiroptères. Neuf espèces citées en Annexe II de la Directive Habitat ont alors été dénombrées, le Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), le Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), le Rhinolophe euryale (*Rhinolophus euryale* ; rare en Provence), le Minoptère de Schreibers (*Minopterus schreibersii*), la Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus* ; très peu dénombrée), le Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*), le Grand Murin (*Myotis myotis*), le Petit Murin (*Myotis blythii*), ainsi que le



Murin de Capaccini (*Myotis capaccinii* ; très rare en France). Les ripisylves représentent pour certaines espèces, comme le Grand Rhinolophe, des corridors et des territoires de chasse primordiaux. Une eau de bonne qualité et de courant faible peut être aussi un facteur important pour le maintien d'espèces exclusives des rivières comme le Murin de Capaccini (PNR de Camargue, 2013 ; SMAVD, 2009).

### Les potentiels impacts du changement climatique sur les zones humides alluviales

#### *Impact de l'augmentation des températures et des perturbations de l'hydrologie*

Bien que l'hypothèse des modifications des cumuls annuels de précipitation ne soit pas validée en PACA (avec cependant une augmentation très probable des sécheresses estivales), des diminutions des précipitations en hiver et en été sont déjà observées dans certaines parties de la région (GREC PACA, 2016). Des modifications des cycles hydrologiques des zones humides sont attendues, en particulier une augmentation de la sévérité des sécheresses estivales. La réduction probable des débits estivaux (IRSTEA, 2014) pourrait conduire à une diminution des niveaux des nappes souterraines et donc à la réduction des fréquences, durées et/ou hauteurs d'eau dans les zones humides alluviales. Cette tendance est aggravée par l'enfoncement du lit des cours d'eau résultant de l'endiguement et la réduction des apports de sédiments (notamment sur la Durance). Les conséquences directes et indirectes de l'enfoncement du lit des rivières sont nombreuses (Landon, 2007) et les plus sensibles pour les zones humides sont certainement la capacité d'autoépuration des cours d'eau, la déconnexion des annexes fluviales, la diminution des échanges avec la nappe, la diminution des fréquences d'inondations des milieux riverains et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques.

Les inondations de fortes ampleurs arrivant durant les phases de refroidissement, et les inondations moins étendues se produisant durant les périodes de réchauffement, le réchauffement global du climat pourrait induire une baisse du nombre des événements de fortes inondations (Whited *et al.*, 2007) avec tout de même des prédictions favorisant l'hypothèse d'une augmentation de l'intensité des événements extrêmes (Stocker *et al.*, 2013). Le climat méditerranéen est caractérisé par des événements climatiques extrêmes avec des précipitations très importantes sur des périodes courtes. De tels événements restructurent fortement les habitats fluviaux et riverains et une variation dans leur fréquence ou intensité pourrait affecter fortement les écosystèmes humides (Whited *et al.*, 2007 ; Finlayson *et al.*, 2013). Cependant, en région PACA, l'analyse de la fréquence des événements pluvieux

intenses méditerranéens ne met pas en évidence de tendance d'évolution du nombre d'épisodes (GREC PACA, 2016).

### *Réponses biologiques*

Les réponses écologiques des biotes des zones humides au changement climatique seront influencées par les éventuelles modifications physiques des milieux et par la tolérance individuelle des espèces à l'altération des conditions de températures, d'humidité, de sécheresse et de concentration en sels dissous (Nielsen et Brock, 2009).

Les effets attendus principaux sont des modifications des communautés végétales avec une diminution des communautés caractéristiques des zones humides au bénéfice des espèces non hygrophiles (Finlayson *et al.*, 2013). Parmi ces changements, les plus probables sont la diminution des ripisylves, leur colonisation par des essences de milieux secs (pins, chênes, etc.). Selon les situations, ces changements pourraient également induire une diminution des hydrophytes vivaces au bénéfice des espèces annuelles sur les marges des plans d'eau (Grillas comm. pers.).

Le changement climatique aura aussi un impact sur les réseaux trophiques aquatiques (invertébrés) qui pourraient être simplifiés avec la diminution de l'hydropériode (Finlayson *et al.*, 2013).

La diminution des fréquences ou des champs d'inondation pourraient impacter la dispersion des semences et la structuration temporelle et spatiale des banques de graines dans le sol. Les banques de graines du sol dans les zones humides alluviales périphériques de la plaine pourraient voir leur abondance diminuer simplement par le résultat de la mortalité des graines et réduction des apports. Le potentiel des communautés des plantes de la plaine inondable à répondre aux variabilités futures du climat, pourrait en conséquence être réduit (Capon *et al.*, 2006).

La déconnexion des annexes fluviales et l'abaissement des niveaux d'eau pourraient également réduire la connectivité et limiter les capacités de déplacements et les habitats de reproduction des poissons (Landon, 2007). Les amphibiens, abondants dans les zones humides alluviales, sont particulièrement sensibles aux changements climatiques. La modification de la distribution spatiale en réponse aux changements climatiques est deux fois plus rapide chez les amphibiens que celle des oiseaux ou des papillons (Parmesan, 2007). L'augmentation des températures modifie les dates d'émergence des adultes, accélère la

métamorphose des larves, conduisant à une taille adulte plus faible et peut affecter leur métabolisme, limitant leur capacité à stocker des réserves (Greenberg *et al.*, 2013 ; Reading, 2007 ; Saenz, 2006). De même, la diminution des niveaux d'eau peut impacter la reproduction des amphibiens dans les zones humides alluviales (Reading, 1998) et l'augmentation des températures peut affecter leur métabolisme.

### **III. Caractérisation de la vulnérabilité des zones humides alluviales au changement climatique à partir des groupements d'amphibiens**

Dans le cadre du projet, plusieurs niveaux de vulnérabilité sont abordés : la vulnérabilité de la biodiversité des zones humides et des ressources en eau. La vulnérabilité des ressources en eau en PACA a été en partie analysée lors du projet sur les risques, ressources et gestion durable de la Durance (R2D2 ; IRSTEA, 2014). Cette analyse implique un travail de modélisation conséquent et nécessitant des données dont nous ne disposons pas. Ainsi une approche régionale sur l'impact des changements climatiques sur la biodiversité des zones humides est privilégiée. Ces impacts sont évalués à partir des informations existantes sur la distribution spatiale et les enjeux de conservation des espèces, et des facteurs intrinsèques aux espèces tels que la mobilité et le degré de dépendance à la présence d'eau. L'évaluation de la vulnérabilité des zones humides est faite à partir de données de répartition faunistique sur des espèces de groupes de plantes, oiseaux, mammifères, de reptiles, d'amphibiens et d'odonates. Ces données sont issues des bases de données faune PACA (LPO) et SILENE, mais aussi de la base de données de la Société Française d'Odonatologie (SFO). Dans chaque groupe et pour l'étude de la sensibilité de ces zones humides et la définition des enjeux biologiques, une attention particulière est portée aux espèces menacées, à enjeux, ou présentes sur les listes rouges régionales. Un indice synthétisant ces enjeux (présence d'espèces menacées, espèces en limite d'aire, capacité de dispersion) est calculé, et permet une hiérarchisation de la vulnérabilité des zones humides. Le calcul de l'indice de vulnérabilité, et le choix méthodologique adopté pour l'attribution des différentes notes de vulnérabilité des zones humides, sont inspirés de l'étude de hiérarchisation des espèces végétales patrimoniales dans les Alpes sud-occidentales du projet ALCOTRA n°258 (Le Berre, 2015)

Dans le cadre de ce rapport, comme étape préliminaire de test méthodologique, seule la vulnérabilité des zones humides alluviales est étudiée à partir des données de distribution d'amphibiens uniquement.

### **a) Matériel et méthodes**

#### Cible taxonomique : les amphibiens

Les espèces d'amphibiens présentes dans la base de données Faune PACA sont détaillées dans le Tableau 7 (25 563 observations entre 1937 et 2016). Le statut de menace n'étant pas disponible au niveau régional, le statut national est pris en compte (Liste rouge nationale). On y dénombre deux espèces vulnérables présentes dans la région PACA : le Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) et le Pélobate cultripède (*Pelobates cultripedes*).

La capacité de dispersion faible, moyenne, ou forte est évaluée en fonction du kilométrage parcourable par l'espèce au cours de sa vie ; elle a été estimée par classe à partir de la littérature scientifique (Lescure et De Massary, 2012 ; Sordello, 2012 ; Guillot, 2014 ; Graitson, 2008 ; Tableau 7). Une capacité de dispersion d'une centaine de mètres est considérée comme faible, une dispersion d'environ un kilomètre est considérée comme modérée, et au-delà (souvent pour les espèces se dispersant à une dizaine de kilomètres) elle est considérée comme forte (Grand et Boudot, 2007).

La dépendance à la ressource en eau est estimée à partir du caractère territorial de l'espèce, de sa capacité de dispersion, et des activités se déroulant au niveau ou à proximité directe du point d'eau (chasse, accouplement, nourrissage, etc.). Celle-ci a été estimée par classe à partir de la littérature scientifique (Lescure et De Massary, 2012 ; Sordello, 2012 ; Guillot, 2014 ; Graitson, 2008 ; Tableau 7). Une espèce se dispersant peu, ayant la majeure partie de ses activités à proximité de l'eau, et possédant un caractère territorial plus ou moins prononcé sera considéré comme fortement dépendante à l'eau (Grand et Boudot, 2007).

La limite d'aire est considérée comme existante si l'espèce présente des noyaux de population isolés dans la région ou en France ou si un département de la Région PACA constitue pour elle une limite de répartition mondiale ou nationale (Lescure et De Massary, 2012 ; Tableau 7).

**Tableau 7 : Espèces d'amphibiens présentes en PACA (données Faune-PACA), statut de menace en France, capacité de dispersion et degré de dépendance à l'eau.**

Nom latin	Nom Français	Statut France	Capacité de dispersion	Dépendance à l'eau	Limite d'aire
<i>Alytes obstetricans</i>	Alyte accoucheur	LC	Modérée	Modérée	NON
<i>Bufo bufo</i>	Crapaud commun	LC	Forte	Faible	NON
<i>Bombina variegata</i>	Sonneur à ventre jaune	VU	Modérée	Modérée	OUI
<i>Discoglossus sardus</i>	Discoglosse sarde	LC	Faible	Forte	OUI
<i>Epidalea calamita</i>	Crapaud calamite	LC	Faible	Modérée	NON
<i>Hyla meridionalis</i>	Rainette méridionale	LC	Modérée	Faible	NON
<i>Pelobates cultripes</i>	Pélobate cultripède	VU	Modérée	Faible	NON
<i>Pelodytes punctatus</i>	Pélodyte ponctué	LC	Modérée	Forte	NON
<i>Pelophylax perezi</i>	Grenouille de Perez	NT	Modérée	Forte	OUI
<i>Pelophylax ridibundus</i>	Grenouille rieuse	LC	Modérée	Forte	NON
<i>Pelophylax spp.</i>	Grenouille verte indéterminée	LC	Modérée	Forte	NON
<i>Rana dalmatina</i>	Grenouille agile	LC	Modérée	Modérée	OUI
<i>Rana temporaria</i>	Grenouille rousse	LC	Modérée	Modérée	OUI
<i>Ichthyosaura alpestris</i>	Triton alpestre	LC	Modérée	Forte	OUI
<i>Lissotriton helveticus</i>	Triton palmé	LC	Modérée	Modérée	NON
<i>Salamandra salamandra</i>	Salamandre tachetée	LC	Modérée	Faible	NON
<i>Tristurus cristatus</i>	Triton crêté	LC	Modérée	Modérée	OUI

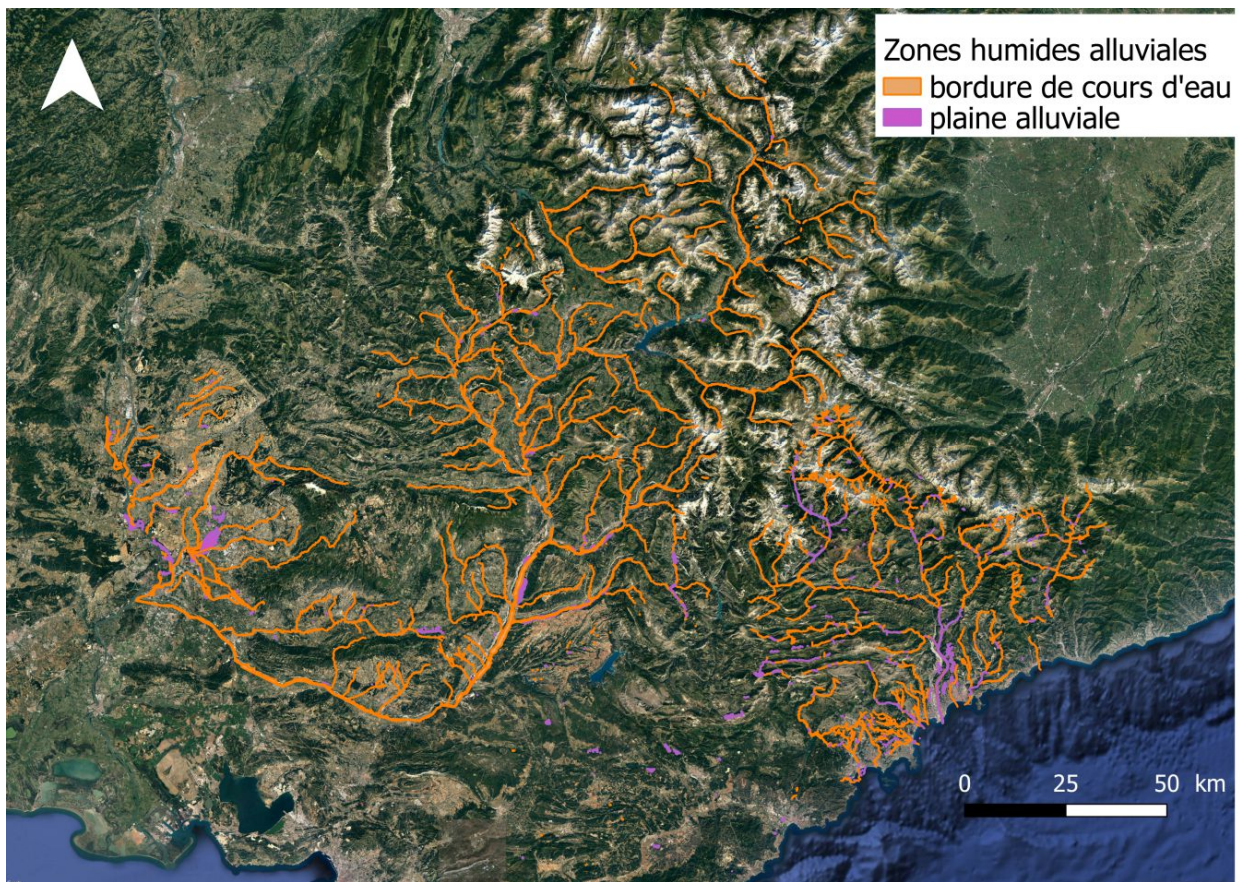
### Zone d'étude

Un inventaire des zones humides a été réalisé par département permettant de connaître la répartition et la surface des zones humides en PACA. Ces inventaires sont le plus souvent limités aux zones humides de plus de 0.01 ha et des zones humides ponctuelles peuvent manquer aux inventaires. Les enveloppes délimitant les zones humides sont disponibles sur Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour chaque département de la région avec leur identification selon la typologie du SDAGE (sauf pour le département des Bouches-du-

Rhône). Ainsi, dans ce test méthodologique les zones humides des Bouches-du-Rhône sont exclues faute d'une identification des zones humides alluviales. Les zones humides alluviales couvrent au total (hors Bouches-du-Rhône) 46 413 ha (Tableau 8 ; Carte 1).

**Tableau 8 : Répartition des zones humides alluviales en PACA (synthèse des inventaires départementaux sauf Bouches-du-Rhône, non disponible).**

<b>Département</b>	<b>Bordures de cours d'eau (nombre)</b>	<b>Plaines alluviales (nombre)</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE</b>	142	64	16456
<b>ALPES-MARITIMES</b>	49	165	7353
<b>HAUTES-ALPES</b>	234	13	9193
<b>VAR</b>	7	36	2026
<b>VAUCLUSE</b>	60	56	11383
<b>BOUCHES-DU-RHONE</b>	NA	NA	NA



**Carte 1 : Les zones humides alluviales (sous-types 5 : bordures de cours d'eau et 6 : plaine aluviale) en région PACA (hors Bouches-du-Rhône, réalisé sur QGIS ; QGIS Development team, 2014).**

#### Croisement des données zones humides et biodiversité

Les couches des zones humides par département ont été fusionnées en une couche unique (hors Bouches-du-Rhône). Sur cette couche ont été superposés les points de répartition des amphibiens. Pour les observations hors polygones zones humides, un calcul de plus proche distance des points a été réalisé sur ARCGIS (ERSI, 2011). Une nouvelle couche avec ces attributs de plus proche distance est alors générée. Par la suite une jointure par attributaire entre cette nouvelle couche et la couche zones humides est ensuite réalisée afin d'attribuer chaque observation extérieure aux polygones à la zone humide la plus proche. Les observations contenues à l'intérieurs des polygones de zones humides revêtent une valeur de distance = 0. Les informations concernant les zones humides alluviales sont extraites pour analyses.

A partir de la table d'attributs issue de ce dernier traitement cartographique, des tableaux croisés dynamiques sont générés via Microsoft Excel 2007, en ne prenant en compte que les données concernant les zones humides alluviales. Nous retenons la liste des espèces contenues dans les zones humides alluviales (et donc la richesse spécifique) et le nombre cumulé d'observations d'individus observés pour chaque espèce.

#### Calcul des indices de vulnérabilité spécifique et des zones humides

*Par espèce*

#### **Indice de menace**

Une note de 0 à 4 est attribuée à chacune des catégories de menace, depuis « préoccupation mineure » (LC = 0) à « en danger critique d'extinction » (CR= 4), pour chaque espèce (Tableau 9).

**Tableau 9 : attribution de la note pour l'indice de menace de l'espèce (critère UICN)**

Préoccupation mineure LC	Quasi menacée NT	Vulnérable VU	En danger EN	En danger critique CR
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

#### **Indice de sensibilité au changement hydrologique**

Un indice de sensibilité à une diminution de la disponibilité de l'eau (hypothèse d'augmentation de l'aridité avec le changement climatique) a été calculé pour chaque espèce. Il est basé sur la mobilité de l'espèce, sa dépendance à l'eau et prend en compte une situation de limite d'aire éventuelle (décrit en Tableau 7).

Les caractères de mobilité et de dépendance à l'eau sont exprimés suivant trois notes comprises entre 1 et 3. Une forte mobilité ou une faible dépendance à l'eau se verront attribué la note de 1, et à l'inverse, une faible mobilité et une forte dépendance à l'eau se verront attribué la note de 3 (tableau 10).



**Tableau 10 : attribution de la note pour le critère de mobilité et de dépendance à l'eau de l'espèce.**

	Faible	Modérée	Forte
Mobilité	3	2	1
Dépendance à l'eau	1	2	3

Le critère de limite d'aire est décrit suivant deux modalités : « 0 » et « 1 ». La note de « 1 » est attribuée aux espèces en limite d'aire Sud en Région PACA (exemple du Sonneur à ventre jaune), ou réparties en un noyau unique de population en PACA (exemple du Discoglosse sarde), ou endémiques de la région (exemple de la Grenouille de Perez). Ainsi, si l'espèce n'est pas en limite d'aire ou en limite Nord (le réchauffement ne devrait pas aggraver son statut de menace), la note de « 0 » lui sera attribuée.

L'indice spécifique de sensibilité sera alors le produit des trois notes :

$$\text{Indice de sensibilité spécifique (IS)} = (\text{mobilité} \times \text{dépendance à l'eau}) + \text{limite d'aire}$$

*Par zone humide*

### **Diversité spécifique**

Pour chaque zone humide l'indice de diversité spécifique est calculé d'après la formule de Shannon  $H'$  ( $H' = -\sum p_i \cdot \log_2(p_i)$ ). L'indice de Shannon donne un poids plus important aux espèces rares (et donc potentiellement plus menacée de disparition dans la zone humide et la Région), et est relativement indépendant de la taille du relevé. Cela permet donc une étude comparative des communautés des milieux (Buckland et *al.* 2005). Le log de base 2, le plus couramment utilisé est ici choisi.

Afin d'intégrer l'indice de diversité spécifique à la note globale de vulnérabilité des zones humides, celui-ci est catégorisé selon la méthode des quartiles. La variable de diversité spécifique est alors divisée en cinq classes de mêmes effectifs. La note attribuée à chaque zone humide pour la diversité spécifique qu'elle contient sera équivalente à la classe attribuée à l'indice de Shannon (Tableau 11).

**Tableau 11 : Attribution de la note pour la diversité spécifique (classification par la méthode des quartiles en 5 classes de même effectifs)**

<b>Indice de Shannon</b>	$4,9 \times 10^{-5}$ < H > $1,64 \times 10^{-4}$	$3,08 \times 10^{-4}$ < H > $4,72 \times 10^{-4}$	$4,92 \times 10^{-4}$ < H > $9,95 \times 10^{-4}$	<b>0,001</b> < H > <b>0,00236</b>	<b>0,0024</b> < H > <b>0,0613</b>
<b>Classe</b>	1	2	3	4	5
<b>Note richesse Spécifique</b>	1	2	3	4	5

### **Indice de menace**

Pour chaque zone humide, une note globale concernant le critère de menace est attribuée correspondant à la moyenne notes de chacune des espèces présente (sans pondération par les effectifs). La note de 0, attribuée aux espèces de préoccupation mineure, donnant du poids aux espèces menacées uniquement, permet aux zones humides contenant beaucoup d'espèces non menacées de ne pas avoir un poids sur cet indice plus fort que des zones humides ayant peu d'espèces menacées.

### **Indice de sensibilité au changement hydrologique**

De la même façon que pour l'indice de menace, chaque polygone de zone humide se voit attribué une note de sensibilité au changement hydrologique, calculée à partir de la moyenne des indices de sensibilité spécifiques au changement hydrologique.

### **Indice global de vulnérabilité**

Pour finir, l'indice global de vulnérabilité est calculé à partir de la somme des indices de richesse spécifique, de menace, et de sensibilité. Cette note finale est donc comprise entre 2 et 19 et donne un état de la vulnérabilité de la zone humide au changement climatique au niveau des compartiments biologiques.

### Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur R (Version 3.3.1 ; R Core Team, 2016). Dans un premier temps, l'étude de la distribution des espèces autour des zones humides, et la proportion des individus se répartissant à l'intérieur et en périphérie des zones humides est étudiée afin de choisir les données à prendre en compte : strictement les amphibiens localisés dans les polygones ou bien également ceux en périphérie. Cette étude a été réalisée sur les

effectifs d'amphibiens recensés présents uniquement à l'intérieur des polygones zones humides, et ceux lorsque les individus en périphérie sont pris également en compte (calcul de plus proche distance, voir plus haut).

La distribution des observations (suivant une loi normale, ou exponentielle) est testée afin d'effectuer des éventuels ajustements de modèle. Pour cela, la variable quantifiant le nombre d'observations par zone humide est transformée (par le log ou la racine), et la normalité de la variable transformée est testée à partir du test de Shapiro (t.test).

Une ANOVA est réalisée à partir de la variable de diversité spécifique afin d'étudier les variables explicatives de la distribution de cet indice de diversité (type SDAGE, superficie des zones humides). Suite à ces résultats, un test statistique de régression linéaire permet de déterminer la corrélation entre la diversité spécifique et la superficie des zones humides (typologie séparée et regroupée).

La composition spécifique suivant la typologie des zones humides alluviales est analysée, et permettra de faire le choix de la distinction ou non de la typologie des zones humides selon le type pour l'analyse de la diversité spécifique. Pour cela un test de Student apparié sur la composition spécifique suivant la typologie SDAGE, permettra de savoir si étudier les typologies séparément entraînerait une perte d'information.

L'analyse des indices de vulnérabilité du milieu (menace, sensibilité aux changements hydrologiques, et indice global de vulnérabilité) se fera à différents niveaux. Dans un premier temps, des tests de normalité de la distribution de ces variables sont effectués. Puis des tests de comparaisons de moyennes (Test de Wilcoxon bivarié) permettent d'étudier les différences éventuelles de ces indices selon les types SDAGES. Puis, les relations entre l'indice de vulnérabilité globale et les surfaces des sont étudiées par des tests de régression linéaire.

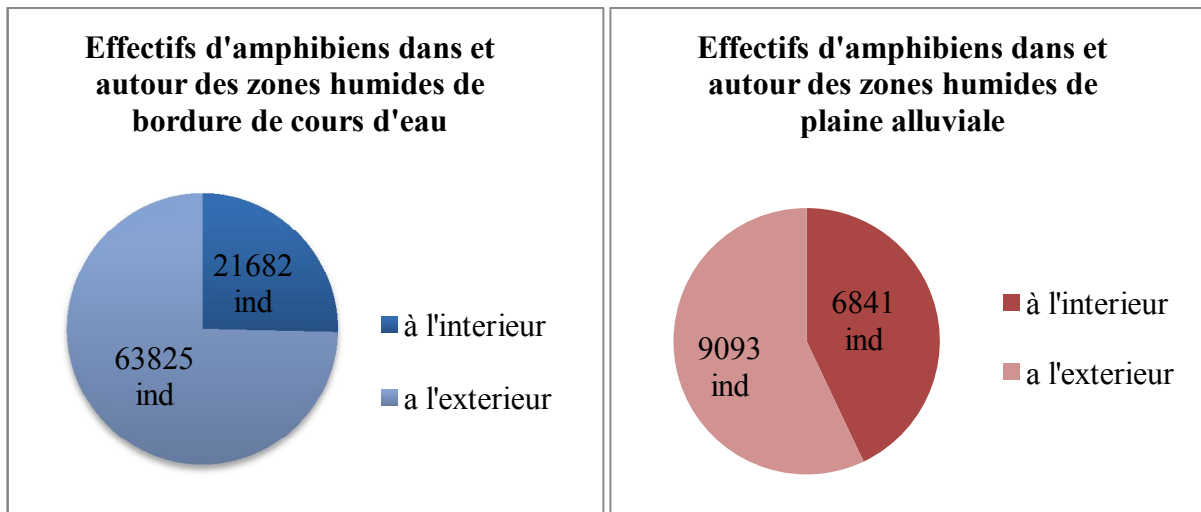
Enfin, une cartographie réalisée sur QGIS (QGIS Development Team, 2014) permettra d'évaluer les hotspots de vulnérabilité, en fonction de la distribution des indices globaux de vulnérabilité par zone humide dans la région.

## **b) Résultats**

### Distribution des espèces autour des zones humides

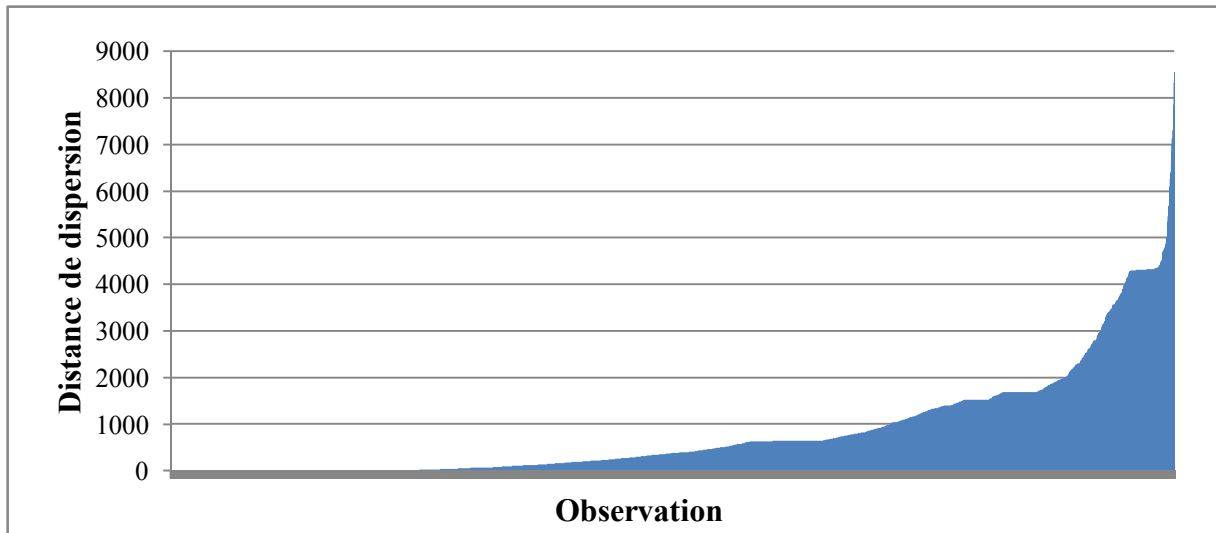
Plus de 100 000 individus ont été recensés et affectés aux zones humides alluviales. Parmi ceux-ci, 85 507 ont été attribués à des zones humides de bordure de cours d'eau dont près de 75% sont extérieurs (en périphérie) des polygones. Dans les zones humides de plaine alluviale, 15 934 amphibiens ont été recensés dont 57% en périphérie. Au total, seulement

28% des observations d'amphibiens sont dans les polygones des zones humides alluviales et 72% en périphérie (Figure 10).



**Figure 10 : Nombre d'amphibiens recensés autour et à l'intérieur des zones humides alluviales, selon les deux types SDAGE.**

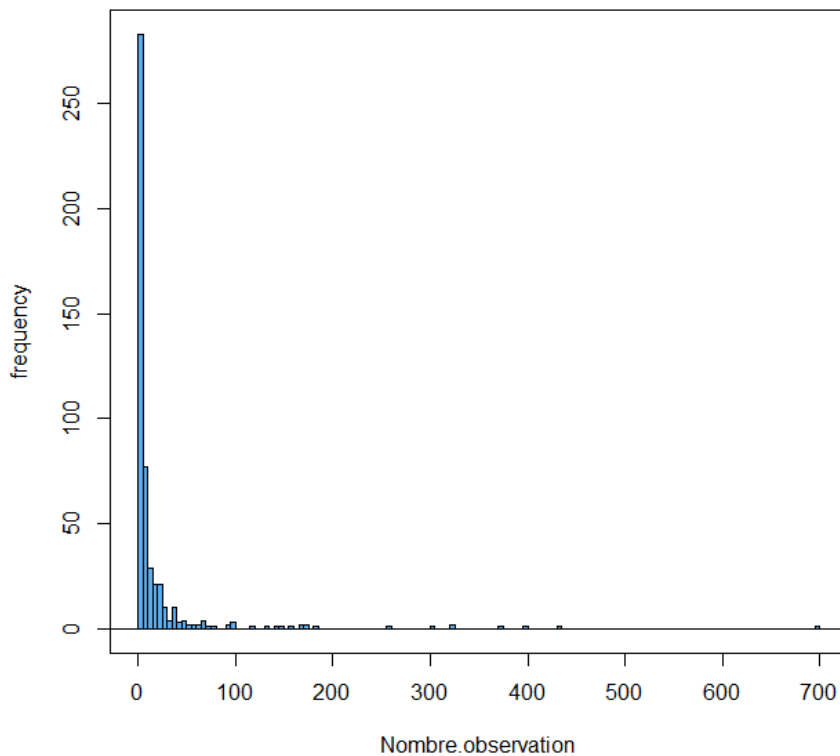
La distribution des observations d'amphibiens autour des zones humides les plus proches (Figure 11), indique que plus de la moitié des points sont situés à moins d'un kilomètre la zone humide la plus proche. A la lecture des données, les dispersions maximales observées sont attribuées à des espèces ayant de bonnes capacités de dispersion et n'ayant pas de dépendance à l'eau forte telles que le Crapaud commun, ou la Rainette méridionale. Cependant, les inventaires de zones humides n'étant jamais exhaustifs, il est possible que ces espèces situées très à l'écart de ces polygones de zone humide soient affectées à des zones humides ponctuelles non recensées. La décision est prise de considérer l'ensemble des observations d'amphibiens situés intérieurs et extérieurs aux zones humides, et sans limite de dispersion autour de ces zones, pour la suite des analyses.



**Figure 11 : Distance des points d’observation d’amphibiens aux zones humides.**

Distribution des amphibiens au niveau des zones humides alluviales

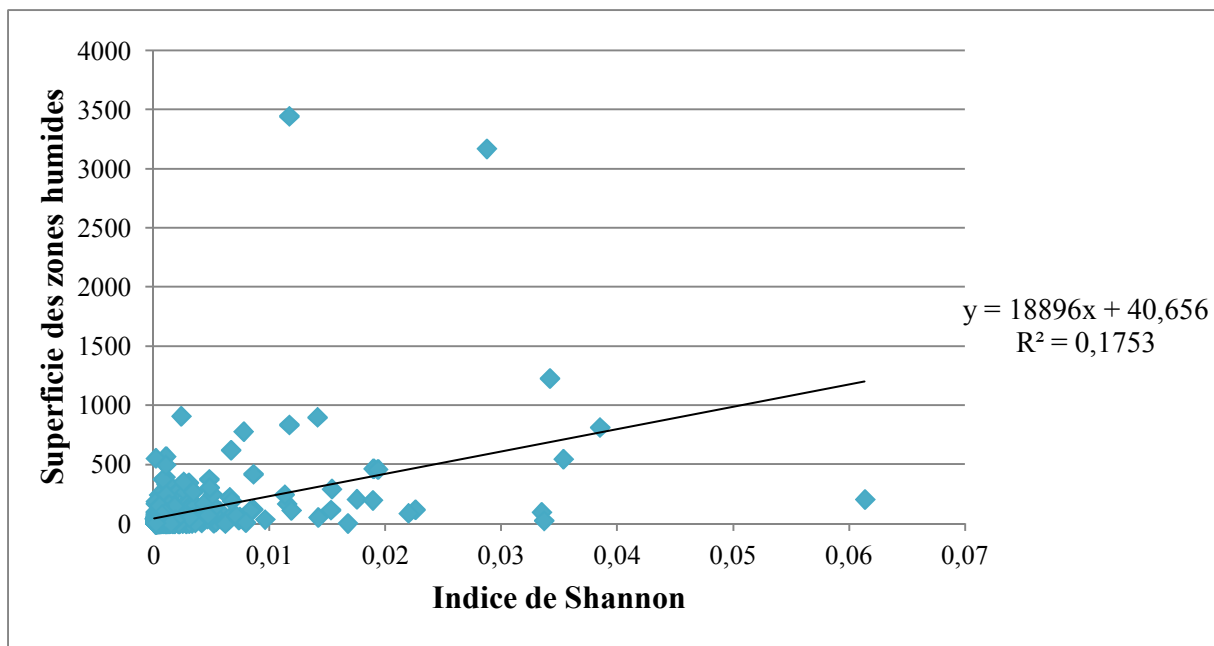
La distribution des observations (Figure 12) ne suit pas une loi normale (Shapiro, p-val < 2.2e-16) même après transformations des données (log et racine carrée).



**Figure 12 : Distribution des fréquences d’observations d’amphibiens dans les zones humides.**

### Relation de la diversité spécifique en fonction de la typologie de la zone humide et de la superficie

La diversité spécifique est significativement corrélée avec la superficie des polygones de zones humides ( $R^2 = 0.17$  ;  $p = 2.2 \times 10^{-16}$ ). Cependant la superficie des zones humides explique assez peu la diversité spécifique des zones humides alluviales ( $R^2 < 0,85$  ; Figure 13). La diversité spécifique n'est pas significativement différente entre les deux types SDAGE (Wilcoxon,  $p = 0.09487$ ).



**Figure 13 : Relation entre la diversité spécifique (indice de Shannon  $H'$ ) et la superficie des zones humides, et courbe de régression linéaire.**

### Composition spécifique en fonction des types SDAGE

La composition spécifique des peuplements d'amphibiens (Tableau 12) diffère significativement entre les deux sous-types SDAGE (t-test apparié des moyennes d'observation des espèces,  $p = 0,016$ ). Les espèces exclusives ou plus abondantes dans les zones humides de bordure de cours d'eau sont le Pélobate cultripède, l'Alyte accoucheur, le Sonneur à ventre jaune, la Salamandre tachetée, et la Grenouille rousse. Inversement le Triton crêté, le Pélodyte ponctué et les grenouilles vertes sont relativement plus abondantes dans les zones humides de plaines alluviales.

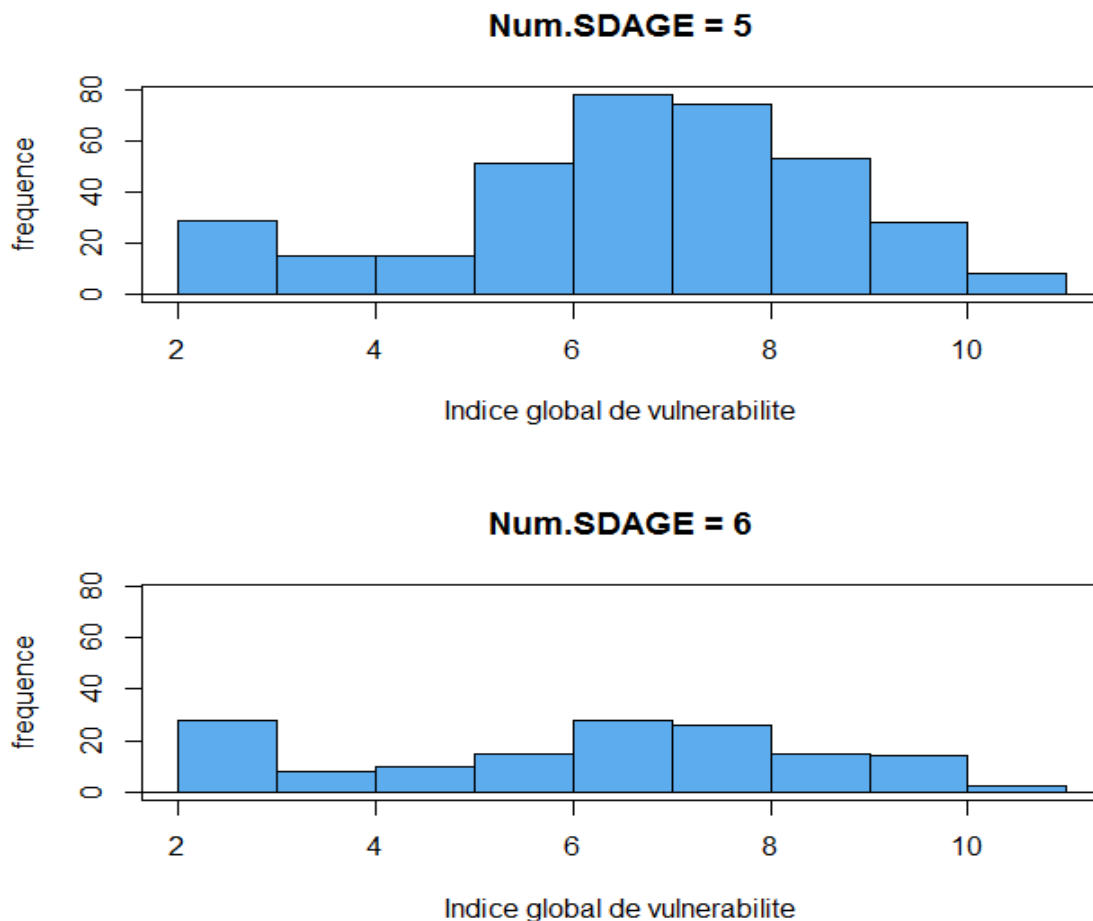
**Tableau 12 : Composition spécifique des zones humides de bordure de cours d'eau (type SDAGE 5) et de plaine alluviale (type SDAGE 6), et occurrence de ces espèces dans ces zones humides.**

Espèces	Nombre d'occurrence des espèces		
	Bordures de cours d'eau	Plaines alluviales	Total
<i>Alytes obstetricans</i>	324	21	345
<i>Bombina variegata</i>	41	3	44
<i>Bufo bufo</i>	1900	656	2556
<i>Discoglossus sardus</i>	0	12	12
<i>Epidalea calamita</i>	308	147	455
<i>Hyla meridionalis</i>	1697	700	2397
<i>Ichthyosaura alpestris</i>	2	0	2
<i>Lissotriton helveticus</i>	12	14	26
<i>Pelobates cultripipes</i>	10	0	10
<i>Pelodytes punctatus</i>	205	135	340
<i>Pelophylax ridibundus</i>	923	474	1397
<i>Pelophylax sp.</i>	664	379	1043
<i>Rana dalmatina</i>	16	6	22
<i>Rana temporaria</i>	562	52	614
<i>Salamandra salamandra</i>	238	20	258
<b>Total général</b>	<b>6902</b>	<b>2619</b>	<b>9521</b>

#### Analyse des indices de vulnérabilité des milieux

Aucune des variables indice n'est distribuée normalement ( $p\text{-val} < 10^{-12}$ ) et des tests non paramétriques sont donc effectués pour analyser la distribution des observations (Test Wilcoxon bivarié selon les types SDAGE). Le test de Wilcoxon est donc appliqué aux variables « indice de menace », diversité spécifique, « indice de sensibilité », et « indice global ». L'indice de menace ne montre pas de différence significative entre type SDAGE ( $p\text{-val} = 0,1389$ ). Les autres indices diffèrent significativement entre les types SDAGE de bordure de cours d'eau et de plaine alluviale (Sensibilité  $p\text{-val} = 0.01994$  ; Global  $p\text{-val} =$

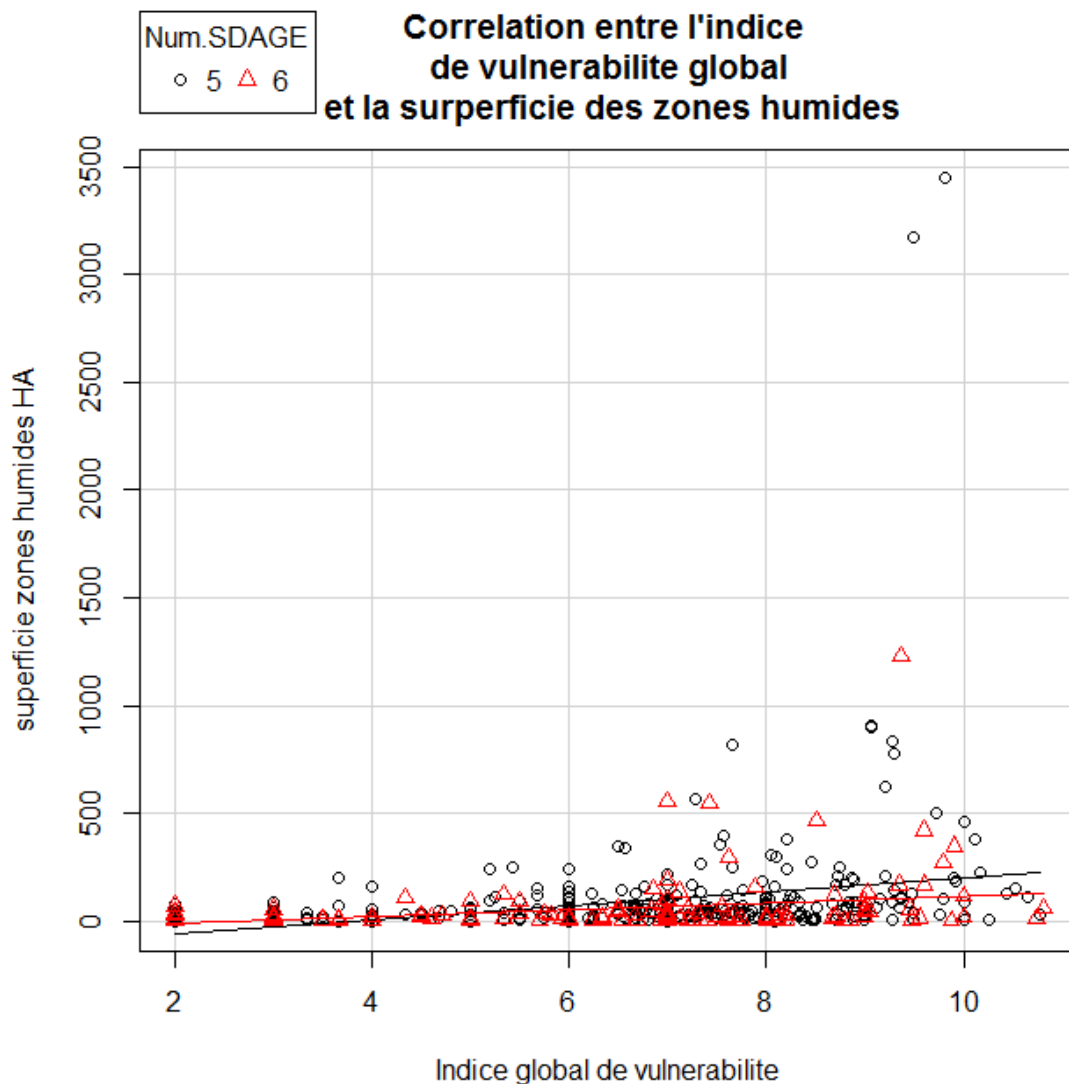
0.01228). Ainsi les analyses de vulnérabilité du milieu se feront en distinguant ces deux milieux et se concentreront sur l'indice global de vulnérabilité (Figure 13).



**Figure 14 : Analyse de la distribution de l'indice global de vulnérabilité du milieu suivant la typologie SDAGE.**

L'indice global de vulnérabilité est positivement et significativement corrélé à la superficie des zones humides alluviales mais explique une part très faible de la variance ( $p = 2.298e-07$ ,  $R^2 = 0,0527$  ; Figure 15).



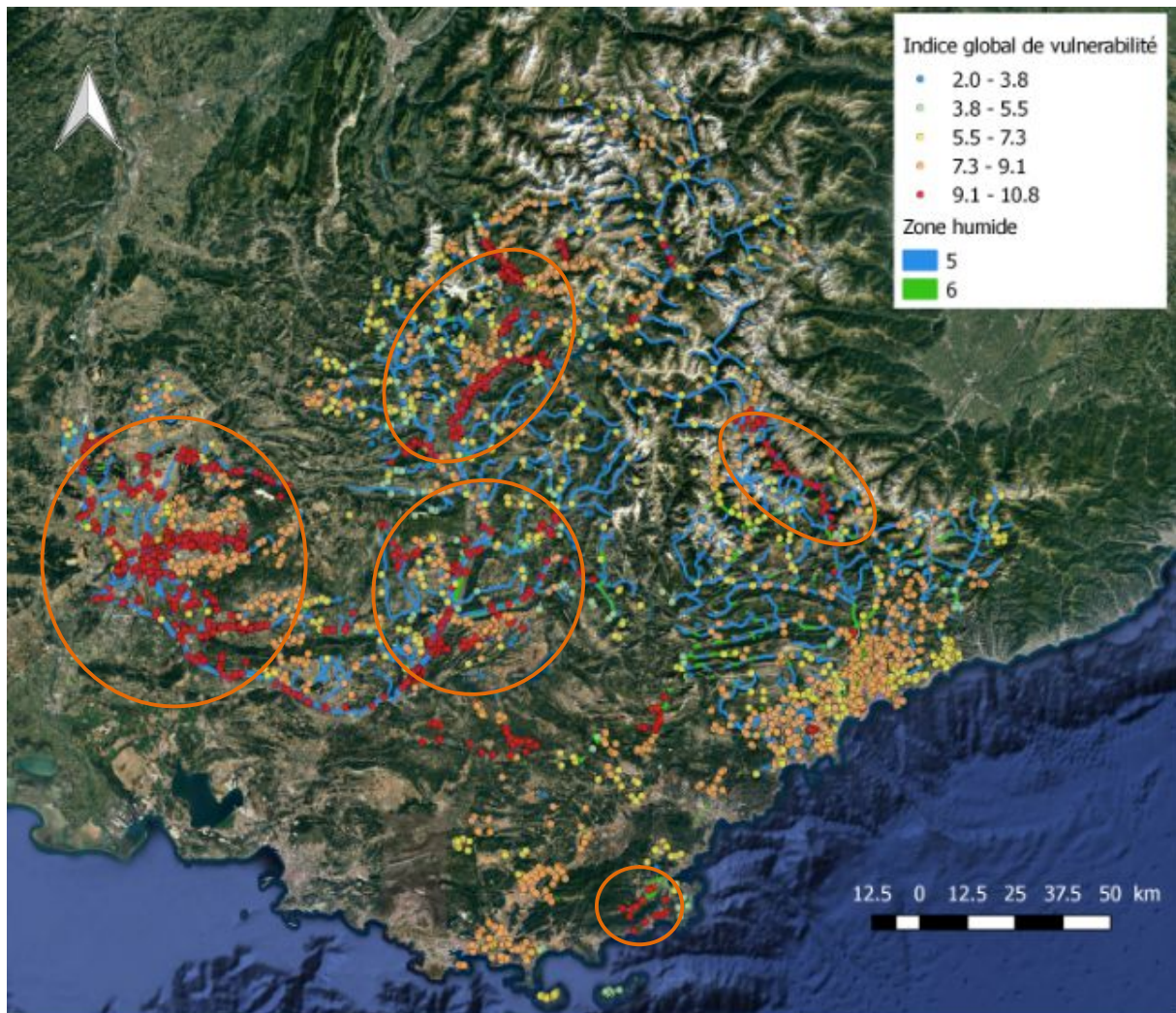


**Figure 15 : Relation entre la superficie des zones humides alluviales et l'indice global de vulnérabilité du milieu (en fonction des deux typologies de zones humides) et courbe de régression.**

### Cartographie de vulnérabilité

La cartographie de l'indice de vulnérabilité permet de distinguer les zones humides alluviales les plus vulnérables aux changements climatiques en ce qui concerne la composition en amphibien (Carte 2). Cette vulnérabilité s'échelonne de 2/19 à 10,8/19, ce qui constitue des scores assez faibles. Il est possible de distinguer cinq hotspots de vulnérabilité (regroupement de zone humide ayant un indice fort de vulnérabilité dans une même surface). Ces hotspots sont de taille variables (cercles oranges Carte 2) et correspondent pour les zones les plus au Nord et la zone centrale à une partie de la Durance situées respectivement dans les environs de Gap (05) et Forcalquier (04), pour la zone la plus à l'Ouest à une partie du

Rhône et de la Durance située autour d'Orange et Carpentras (84), pour la zone la plus au sud à la Giscle dans les environs de Fréjus (83), et pour la zone la plus à l'Est à La Tinée près de Barcelonnette (06).



**Carte 2 : Vulnérabilité des zones humides calculé et classée suivant l'indice de vulnérabilité globale.**

#### **d) Discussion**

L'étape de recherche bibliographique à permis de révéler le manque d'étude au sujet du fonctionnement des zones humides, des facteurs de sensibilité et de résilience de ces milieux. Evaluer les impacts des futurs changements globaux sur ces milieux est donc assez compliqué et les méthodes développées dans ce but sont donc souvent à dire d'expert. Des recherches plus approfondies dans les années à venir seraient un atout certain pour la préservation de ces milieux. Au contraire l'évaluation des changements climatiques et la modélisation des trajectoires sont bien renseignées et évaluée. Le bassin méditerranéen est

considéré comme un hot-spot de changement climatique, ce qui devrait intégrer le territoire de PACA. Ainsi les résultats évoqués dans le PBACC, indiquant que les zones humides méditerranéennes en PACA sont peu sensibles est très critiquable.

La distribution des amphibiens autour et à l'intérieur des zones humides (notamment la non normalité des distributions), peut s'expliquer par des efforts d'inventaires différents en fonction des années. Ces inventaires mériteraient des efforts de prospection plus poussés. En effet du fait de la biologie des espèces, un nombre plus important d'espèces situés à l'intérieur même des zones humides aurait pu être attendu, contrairement à ce qui est observé.

La dispersion des individus autour des zones humides, notamment pour les amphibiens les plus éloignées de la zone humide, peut s'expliquer par les capacités de dispersion inhérentes à chaque espèce. En effet il n'est pas rare que des espèces comme le Crapaud commun ou la Rainette méridionale effectuent des déplacements de longue distance lors des périodes de reproduction. Cependant cela ne concerne qu'un nombre limité d'espèces, et les inventaires des zones humides (notamment ce qui concerne les petites surfaces, surement temporaires, de zones humides) étant incomplets, il semble très probable que les espèces fortement dispersées soit reliées à de petites zones humides non inventoriées. Les prochaines analyses comprendront certainement un bornage des dispersions, par l'intégration d'une zone tampon autour de la zone humide, ou par l'exclusion des espèces trop éloignées des zones humides (limite à définir par la suite).

La diversité spécifique n'est pas sensible à la superficie des zones humides. Ceci est une caractéristique même de l'indice de Shannon. Cela a pour avantage de ne pas avoir à pondérer cet indice par la superficie des zones humides, comme cela aurait été le cas pour la richesse spécifique. On remarque d'ailleurs que la richesse spécifique est significativement différente entre les typologies de zones humides. Si ces richesses ne sont pas reliées à la superficie de façon marquée, les variations observées d'un point de vue composition des espèces, le ratio nombre d'espèce intérieur/ nombre d'espèces extérieur à la zone humides, est surement reliée à la distribution particulières des zones humides alluviales dans le paysage. En effet alors que les bordures de cours d'eaux revêtent un caractère linéaire et étendues dans le paysage, les plaines alluviales ont un caractère plus ponctuel et moins étendus. Plus que la surface de la zone humide, ce sont surement ces deux caractéristiques qui influent sur la présence d'un plus grand nombre d'amphibiens et d'espèces. La capacité de dispersion étant un facteur clé de la persistance d'une espèce dans un milieu, la connectivité forte des zones humides alluviales de bordure de cours d'eau avec les autres milieux humides ou non

(lorsqu'elles ne sont pas altérées), influe sûrement sur la diversité et la richesse spécifique. Cette dernière hypothèse permettrait d'expliquer aussi la faible explication des indices de vulnérabilité globale en fonction de la surface des zones humides, tout en étant significativement différent par type de zone humide alluviale.

D'après l'analyse des indices de vulnérabilité globale des milieux, il est possible de dire que peu de zones humides alluviales, avec l'analyse d'un unique groupe faunistique, sont vulnérables aux changements climatiques selon des critères biologiques. En effet seule une infime portion des polygones de zone humide a une note au dessus de la moyenne (10,5). Le bassin de la Durance semble d'une importance prioritaire pour mener des actions de protection des zones humides alluviales contre les changements climatiques. En effet les hotspots de vulnérabilité sont majoritairement situés dans ce bassin. Sur ce seul critère de biodiversité d'amphibiens il semble donc peu raisonnable de caractériser la vulnérabilité d'une zone humide sur un groupe faunistique, qui d'autant plus est assez réduit en nombre d'espèces.

#### e) Perspectives

Ce travail s'inscrit dans une perspective plus globale. Dans un premier temps la méthodologie sera appliquée aux groupes des zones humides de tête de bassin, littorales, et d'eau stagnante. L'analyse sur chacun des milieux sera élargie à d'autres groupes faunistiques comme les oiseaux, les odonates, les reptiles, et à la flore des zones humides. Les espèces retenues sont pour les plantes, la liste cumulée des taxons utilisés pour l'identification des zones humides (référence au texte de loi) dans chaque département de PACA (les listes sont établies par département par le CBN-Méditerranéen de Porquerolles). Pour les odonates, et amphibiens toutes les espèces sont retenues ; pour les mammifères seules cinq espèces (Castor d'Europe, Loutre d'Europe, Crossope de Miller et aquatique et Campagnol amphibie) et la liste des oiseaux a été retenue par avis d'expert (385 espèces). Les groupes étant de tailles hétérogènes, la méthodologie concernant l'agrégation des notes avec l'ensemble des groupes est toujours en construction. De même la méthodologie reste en construction en ce qui concerne l'étude de la vulnérabilité des zones humides à une échelle plus large comme les bassins versants ou les hydroécorégions (sommer les résultats des zones humides, recommencer l'étude de calcul d'indice avec pour découpage les hydroécorégions et non plus les zones humides...).

Dans le cadre de l'étude de l'impact du changement climatique sur ces milieux, l'intégration de paramètres physiques est en cours. La lithologie, et les différentes capacités d'absorption et de rétention de l'eau en fonction des caractéristiques géologiques du sol, sont des variables à prendre en compte. Ce critère a fait l'objet d'une étude très récente permettant l'attribution d'une note en fonction de ces caractéristiques, et sera intégrée à l'étude. Ces caractéristiques géomorphologiques ont un impact sur l'aridification des milieux dans les contextes des changements climatiques. En effet un sol avec une faible rétention de l'eau et peu filtrant aura une tendance à s'assécher vite dans un cadre de réchauffement climatique. Une autre caractéristique, l'éloignement au cours d'eau, sera aussi intégrée. Pour ce critère, la pente sera un élément pris en compte sur le postulat qu'une zone humide proche du cours d'eau mais située en amont d'une pente abrupte sera plus difficilement connectée au cours d'eau qu'une zone humide éloignée et soumise à une pente faible. Enfin les relations débit-nappes et la connectivité avec les nappes souterraines seront pris en compte sur un échantillon de sites. Ces éléments étant directement sensibles aux changements climatiques via l'augmentation de l'aridité entre autre, leur caractérisation est une étape clé du travail. Sur le bassin versant de la Durance, certains modèles combinant des facteurs abiotiques tels que l'hydrologie, la topographie, la pédologie et le climat (précipitations) seront utilisés pour aider à mieux délimiter les milieux humides potentiels (réaliser une carte avec une probabilité de présence de zones humides). Cette enveloppe, une fois créée, pourra être croisée avec des modèles régionaux de scénarios climatiques et cela permettrait de classer le territoire en fonction du degré de vulnérabilité au changement climatique. Enfin, le croisement avec d'autres données biotiques (cartes des espèces et des habitats) pourra certainement aider à affiner cette analyse et contribuer à une meilleure définition des priorités d'action en faveur de la conservation et de la restauration des zones humides, de leur biodiversité ainsi que de leurs fonctions.

Pour finir, les résultats globaux de la vulnérabilité des milieux seront superposés de façon cartographique à un masque, issus des données DRIAS Météo France, sur les écarts de températures et d'aridité, projetés suivant les scénarios climatiques. Cela permettra de cibler les zones d'action prioritaires sur les mesures de gestion et de conservation des zones humides dans les contextes de changements climatiques.

Ces différents projets auront lieu entre septembre et la fin de l'année 2016, date de fin prévue du projet de rédaction du PRACC. L'intégration à ces résultats des éléments

hydrologiques commandés par l'agence de l'eau, est un projet qui pourrait commencer d'ici l'hiver 2016.

Dans l'optique de communiquer ces résultats au grand public mais aussi au public scientifique, le présent rapport et la remise dans le contexte du projet du PRACC est mis à disposition et en consultation libre sur internet, et détaillé de façon vulgarisé par l'intermédiaire de l'initiative MEDWET. Cela s'inscrit dans le cadre d'un projet proposé par l'initiative dans le cadre de la journée internationale de la jeunesse, nommé « Parlement des jeunes méditerranéens pour les zones humides » (<http://medwet.org/fr/2016/08/12-august-un-international-youth-day/>).

## Bibliographie

- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (2014). *Plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau - BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, DREAL Délégation de bassin Rhône-Méditerranée, France. 32p.
- Baptiste *et al.* (2012). Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes. Etude des zones humides. Ministère de l'Ecologie du Développement Durable, de l'Energie, France. 144p.
- Bensettiti, F. (2002). Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3: Habitats humides. *La Documentation Française*, **3**: 457
- Brochier, F., Ramieri, E. (2001). Climate Change Impacts on the Mediterranean Coastal Zones. FEEM Working Paper No. 27.2001. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=277549> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.277549>
- Brock, M. A., & Jarman, P. J. (2000). Wetland use and conservation in the agricultural environment: managing processes for the components. *Nature conservation*, **5**: 258-268.
- Burkett, V. and Kusler, J. (2000). Climate change: potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, **36**: 313–320.
- Cayuela, H., Besnard, A., Bechet, A., Devictor, V., & Olivier, A. (2012). Reproductive dynamics of three amphibian species in Mediterranean wetlands: the role of local precipitation and hydrological regimes. *Freshwater Biology*, **57(12)**: 2629-2640.
- Chambaud, F., Lucas J., Oberti, D. (2012). Guide pour la reconnaissance des zones humides du bassin Rhône – Méditerranée. Volume 2 : fiches écorégions et clés d'identification. AGENCE DE L'EAU Rhône - Méditerranée & Corse : 264 p + annexes.
- Chambaud, F., Lucas, J., Oberti, D. (2012). Guide pour la reconnaissance des zones humides du bassin Rhône – Méditerranée. Volume 1 : méthode et clés d'identification. AGENCE DE L'EAU Rhône - Méditerranée & Corse: 138 p + annexes.
- Colloff, M. J., & Baldwin, D. S. (2010). Resilience of floodplain ecosystems in a semi-arid

- environment. *The Rangeland Journal*, **32(3)**: 305-314.
- Day, J. W., Christian, R. R., Boesch, D. M., Yáñez-Arancibia, A., Morris, J. *et al.* (2008). Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts*, **31(3)**: 477-491.
- Erwin, K. L. (2009). Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and management*, **17(1)**: 71-84.
- Finlayson, C. M., Davis, J. A., Gell, P. A., Kingsford, R. T., & Parton, K. A. (2013). The status of wetlands and the predicted effects of global climate change: the situation in Australia. *Aquatic Sciences*, **75(1)**: 73-93.
- Graitson, E. (2008). L'intérêt herpétologique des milieux rocheux de l'Ardenne centro-orientale (Province de Liège et Luxembourg, Belgique). *Bulletin de la Société des Naturalistes Luxembourgeois*, **109**: 83-91.
- GREC PACA (2016). Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.
- Greenberg C.H., Perry R.W, Franzreb K.E., Loeb S.C., Saenz D. *et al.* (2013). Climate Change and Wildlife in the Southern United States. Potential Effects and Management Options. Chap. In: James M. Vose, Kier D. Klepzig Eds, Climate Change Adaptation and Mitigation Management Options: A Guide for Natural Resource Managers in Southern Forest Ecosystems, CRC Press, pp: 379-420.
- Guillot, H. (2014). Caractérisation de l'effet d'une molécule pharmaceutique, le diclofénac, sur la dynamique de population de l'épinoche à trois épines. Master 2, Biologie, Ecologie, Evolution, Université de Poitiers.
- IRSTEA (2014). Programme Gestion et Impact du Changement Climatique du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie Convention de subvention 10-GCMOT-GICC-3-CVS-102. Projet R<sup>2</sup>D<sup>2</sup> 2050 Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050.
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K. M. *et al.* (2009). Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state,



- and potential adaptations. *Journal of Environmental Quality*, **38(5)**: 1930-1941.
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J. E., Audet, J., Søndergaard, M. *et al.* (2011). Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe: implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, **663(1)**: 1-21.
- Johnson, W. C., Millett, B. V., Gilmanov, T., Voldseth, R. A., Guntenspergen, G. R., & Naugle, D. E. (2005). Vulnerability of northern prairie wetlands to climate change. *BioScience*, **55(10)**: 863-872.
- Kingsford, R. T., Bedward, M., & Porter, J. L. (1994). Waterbirds and wetlands in northwestern New South Wales. National Parks and Wildlife Service (NSW).
- Kuhfuss, L., Rey-Valette, H., Sourisseau, E., Heurtefeux, H., & Rufray, X. (2016). Evaluating the impacts of sea level rise on coastal wetlands in Languedoc-Roussillon, France. *Environmental Science & Policy*, **59**: 26-34.
- Landon, N. (2007). Du constat d'enfoncement du lit fluvial aux actions de recharge sédimentaire: quelles solutions pour une gestion raisonnée de nos cours d'eau. *Outils de gestion de l'eau en territoire de montagne, de gestion de l'eau en territoire de montagne*, PNR du Queyras, ONEMA et MEDR, pp. 28-39.
- Le Berre, M. (2015). Projet Alcotra 258 « Natura 2000 ADM Progres » - Action 2 : Hiérarchisation des espèces végétales patrimoniales dans les Alpes sud-occidentales.
- Lescure, J., & De Massary, J. C. (2012). Atlas des amphibiens et reptiles de France. Mèze : Biotope Editions - Publications scientifiques du Muséum, 272p. ISBN: 978-2-36662-018-4.
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L. *et al.* (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, **28(4)**: 583-597.
- Nielsen, D. L., & Brock, M. A. (2009). Modified water regime and salinity as a consequence of climate change: prospects for wetlands of Southern Australia. *Climatic Change*, **95(3-4)**: 523-533.
- Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes (2012). Biodiversité - Etat et tendances des espèces des zones humides méditerranéennes. Dossier thématique N°1. France : Tour

- du Valat, 52p. ISBN : 2-910368-57-2.
- Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (Eds.). (2008). *Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthese*. GIEC.
- Parc naturel régional de Camargue (2013). Document d'objectifs NATURA 2000 Rhône aval FR9301590. Tome 1 Diagnostic, enjeux et objectifs de conservation.
- Parmesan, C. (2007). Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*, **13**(9): 1860-1872.
- Reading, C. J. (1998). The effect of winter temperatures on the timing of breeding activity in the common toad *Bufo bufo*. *Oecologia*, **117**: 469–475.
- Reading, C. J. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, **151**(1): 125-131.
- Saenz, D., Fitzgerald, L. A., Baum, K. A., & Conner, R. N. (2006). Abiotic correlates of anuran calling phenology: the importance of rain, temperature, and season. *Herpetological Monographs*, **20**(1): 64-82.
- Salles, J.M., Coucoureux, S. (2012). Habitats et espèces d'intérêt communautaire de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Fiches synthétiques d'information pour l'évaluation des incidences d'aménagements ou activités. DREAL PACA. 67 fiches habitats et 53 fiches espèces.
- Salmon-Monviola, J., Moreau, P., Benhamou, C., Durand, P., Merot, P., *et al.* (2013). Effect of climate change and increased atmospheric CO<sub>2</sub> on hydrological and nitrogen cycling in an intensive agricultural headwater catchment in western France. *Climatic change*, **120**(1-2): 433-447.
- Schmid, T., Koch, M., & Gumuzzio, J. (2005). Multisensor approach to determine changes of wetland characteristics in semiarid environments (Central Spain). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**(11): 2516-2525.
- Sordello, R. (2012). Synthèse bibliographique sur les traits de vie du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata* (Linnaeus, 1758)) relatifs à ses déplacements et à ses besoins de continuités écologiques. Service du patrimoine naturel du Muséum national d'Histoire

naturelle. Paris. 8p.

Sowers, J., Vengosh, A., & Weinthal, E. (2011). Climate change, water resources, and the politics of adaptation in the Middle East and North Africa. *Climatic Change*, **104(34)**: 599-627.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K. *et al.* (2013). IPCC, 2013: summary for policymakers in climate change 2013: the physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

Vaschalde, D. (2014). Rapport technique. Services écologiques rendus par les zones humides en matière d'adaptation au changement climatique. Etat des lieux des connaissances et évaluation économique. 78p.

Vos, C. C., Van Der Hoek, D. C., & Vonk, M. (2010). Spatial planning of a climate adaptation zone for wetland ecosystems. *Landscape ecology*, **25(10)**: 1465-1477.

Whited, D. C., Lorang, M. S., Harner, M. J., Hauer, F. R., Kimball, J. S. *et al.* (2007). Climate, hydrologic disturbance, and succession: drivers of floodplain pattern. *Ecology*, **88(4)**: 940-953.

### **Sites internet**

Code de l'environnement, Article L 211-1 :

[http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220  
&idArticle=LEGIARTI000006832979&dateTexte=20080226](http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220&idArticle=LEGIARTI000006832979&dateTexte=20080226)

Glossaire Eau France site internet : <http://www.glossaire.eaufrance.fr/>

Initiative MedWet, archives Août 2016 : <http://medwet.org/fr/2016/08>

Jean Yves Massenet cours, site internet : <http://jymassenet-foret.fr/cours/courslehavre/chapitre2rolesripisilves.pdf>

Organisation météorologique mondiale (OMM) site internet :

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>

Zones humides Eau France site internet : <http://www.zones->

humides.eaufrance.fr/identifier/inventorier-pour-connaître/typologies-d-habitats/typologie-sdage

## **Logiciels**

ESRI (2011). ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

QGIS Development Team, (2014). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

## Annexes

### Annexe 1 : Sommaire du PRACC (toujours en cours d'élaboration).

#### I. Contexte

#### II. Etat des lieux des connaissances

##### 1) Les changements climatiques

###### a. Changements climatiques globaux

- ▶ Le climat et les prévisions sur les changements climatiques
- ▶ Les effets marquants attendus des changements climatiques
  - o Augmentation de la température à la surface du globe
  - o Impact sur le cycle de l'eau, les précipitations
  - o Elévation du niveau des mers
  - o Les événements climatiques extrêmes

###### b. Déclinaison à l'échelle du bassin méditerranéen

- ▶ Climat et hydrogéomorphologie du bassin méditerranéen
- ▶ Projections climatiques pour le climat méditerranéen
- ▶ Les impacts du changement climatique dans le bassin méditerranéen

##### 2) Les caractéristiques du climat en région PACA

##### 3) Les milieux aquatiques de PACA : typologie, fonctionnement et biodiversité

###### a. Généralités

###### b. Généralités sur les cours d'eau dit méditerranéens

###### c. Les grands types de cours d'eau en PACA sous climat méditerranéen

- ▶ Les cours d'eau karstique
  - o Répartition
  - o Fonctionnement
  - o Biodiversité
- ▶ Les cours d'eau temporaires
  - o Répartition
  - o Fonctionnement
  - o Biodiversité
- ▶ Les cours d'eau permanents alpins méditerranéens
  - o Répartition
  - o Fonctionnement
  - o Biodiversité
- ▶ Les cours d'eau des collines méditerranéennes
  - o Répartition
  - o Fonctionnement

- o Biodiversité
- ▶ Les cours d'eau des plaines méditerranéennes
  - o Répartition
  - o Fonctionnement
  - o Biodiversité
- ▶ Particularité des sources
- d. Les zones humides
  - ▶ Les zones humides alluviales et d'eaux courantes
    - o Répartition
    - o Fonctionnement
    - o Biodiversité
  - ▶ Les zones humides de bas fond en tête de bassin
    - o Définition
    - o Répartition
    - o Fonctionnement
    - o Biodiversité
  - ▶ Les zones humides stagnantes
    - o Définition
    - o Répartition
    - o Fonctionnement
    - o Biodiversité
  - ▶ Les zones humides maritimes
    - o Répartition
    - o Fonctionnement
    - o Biodiversité
- 4) Les effets des changements climatiques
  - a. Les cours d'eau
    - ▶ Les facteurs abiotiques
    - ▶ La végétation aquatique
    - ▶ Les invertébrés aquatiques
    - ▶ Les poissons
  - b. Généralités sur les zones humides
  - c. Les zones humides alluviales et d'eaux courantes
  - d. Les zones humides de tête de bassin
  - e. Les autres zones humides stagnantes
    - ▶ Impact de l'augmentation des températures et des perturbations de l'hydrologie

- ▶ Les réponses biologiques aux changements climatiques
- f. Les zones humides maritimes
  - 5) Facteurs aggravants
  - 6) Résistance et résilience
  - 7) Gestion et adaptation
- III. Bibliographie

**Annexe 2 : extrait du tableau de croisement des données amphibiens et zones humides avec les attributs de chacune de ces couches.**

Nom_espèce	Nom_latin	Nombre	NEAR_ZH	NEAR_DI ST	Surf_Ha	COMMUNE	DEPT	SDAGE_type
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	0	0	20,83	RIBIERS	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	0	540,469188	20,83	RIBIERS	HAUTES-ALPES	5
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	1	1	568,2310584	24,93	RIBIERS	HAUTES-ALPES	5
<b>Alyte accoucheur</b>	Alytes obstetricans	1	3	0	14	ANTONAVES	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	3	0	14	ANTONAVES	HAUTES-ALPES	5
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	1	3	312,6693369	14	ANTONAVES	HAUTES-ALPES	5
<b>Alyte accoucheur</b>	Alytes obstetricans	1	4	0	38,49	ANTONAVES	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	4	0	38,49	ANTONAVES	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	4	0	38,49	ANTONAVES	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	4	5	0	85,78	SAINT-PIERRE-AVEZ	HAUTES-ALPES	5
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	1	5	304,7095769	85,78	SAINT-PIERRE-AVEZ	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	5	522,6553453	85,78	SAINT-PIERRE-AVEZ	HAUTES-ALPES	5
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	5	1046,967343	85,78	SAINT-PIERRE-AVEZ	HAUTES-ALPES	5
<b>Crapaud calamite</b>	Epidalea calamita	3	6	0	1,53	LE POET	HAUTES-ALPES	11
<b>Crapaud calamite</b>	Epidalea calamita	100	6	0	1,53	LE POET	HAUTES-ALPES	11
<b>Grenouille rieuse</b>	Pelophylax ridibundus	1	9	0	1,24	LE POET	HAUTES-ALPES	13
<b>Grenouille verte indéterminée (Pelophylax sp.)</b>	Pelophylax sp.	1	9	30,00718906	1,24	LE POET	HAUTES-ALPES	13
<b>Pélodyte ponctué</b>	Pelodytes	5	10	0	7,77	LE POET	HAUTES-	12



	punctatus						ALPES	
<b>Pélodyte ponctué</b>	Pelodytes punctatus	5	10	267,11569	7,77	LE POET	HAUTES-ALPES	12
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	1	11	319,516313 9	27,53	UPAIX	HAUTES-ALPES	10
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	1	11	29,0482918 1	27,53	UPAIX	HAUTES-ALPES	10
<b>Crapaud calamite</b>	Epidalea calamita	1	11	154,557527	27,53	UPAIX	HAUTES-ALPES	10
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	11	26	0	1,03	MONTMORIN	HAUTES-ALPES	7
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo / spinosus	10	26	12,6130793 4	1,03	MONTMORIN	HAUTES-ALPES	7
<b>Grenouille rieuse</b>	Pelophylax ridibundus	1	33	0	23,23	MISON	HAUTES-ALPES	13
<b>Grenouille rieuse</b>	Pelophylax ridibundus	1	78	0	12,14	LA SAULCE	HAUTES-ALPES	6
<b>Grenouille rieuse</b>	Pelophylax ridibundus	10	78	0	12,14	LA SAULCE	HAUTES-ALPES	6
<b>Grenouille rieuse</b>	Pelophylax ridibundus	8	78	0	12,14	LA SAULCE	HAUTES-ALPES	6
<b>Grenouille rieuse</b>	Pelophylax ridibundus	1	78	0	12,14	LA SAULCE	HAUTES-ALPES	6

**Annexe 3 : Extrait du tableau de croisement des données espèces et zones humides avec les attributs correspondants à chaque couche, et intégration des indices de vulnérabilité**

Nom_espèce	Nom_latin	Nombre	NEAR_FID	NEAR_DIST	Surf_Ha	DEPT	SDAGE_type	Indice menace	Indice dispersion	Indice dep eau	limite d'aire	Indice sensibilité
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	3014	4351,9763	113,68	ALPES-MARITIMES	5	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	5	1268	4358,44589	2,58	VAR	5	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	3	1268	4380,91421	2,58	VAR	5	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1640	4820,85349	1,18	ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE	5	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1264	5037,05307	8,09	VAR	5	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1264	6703,41683	8,09	VAR	5	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	3207	0	20,27	ALPES-MARITIMES	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	3174	0	12,95	ALPES-MARITIMES	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1248	0	136,98	VAR	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	3293	0	294,06	ALPES-MARITIMES	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	3293	0	294,06	ALPES-MARITIMES	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	6	1307	0	119,03	VAR	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1307	0	119,03	VAR	6	0	1	1	0	1

<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	2347	0	157,55	VAUCLUSE	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1307	0	119,03	VAR	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	2	2343	0	1229,44	VAUCLUSE	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1307	0	119,03	VAR	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	2343	0	1229,44	VAUCLUSE	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	4	1307	0	119,03	VAR	6	0	1	1	0	1
<b>Crapaud commun ou épineux</b>	Bufo bufo	1	1248	0	136,98	VAR	6	0	1	1	0	1