



HAL
open science

Identification d'indicateurs pour le suivi du bassin Rhône-Méditerranée et de ses zones humides

Anthony Joffre

► **To cite this version:**

Anthony Joffre. Identification d'indicateurs pour le suivi du bassin Rhône-Méditerranée et de ses zones humides. Sciences agricoles. 2014. dumas-01090773

HAL Id: dumas-01090773

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01090773>

Submitted on 4 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS
OUEST

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2013 – 2014

Spécialité :

Ingénieur agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

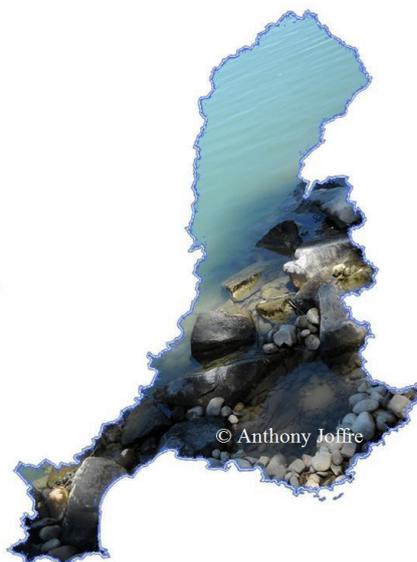
Génie de l'Environnement (Préservation et
Aménagement des Milieux – Écologie
Quantitative)

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Identification d'indicateurs pour le suivi du bassin Rhône-Méditerranée et de ses zones humides

Par : Anthony JOFFRE



Soutenu à Rennes le 18 septembre 2014

Devant le jury composé de :

Président : Yannick OUTREMAN

Maître de stage : François CHAMBAUD

Enseignant référent : Ivan BERNEZ

Jury extérieur : Sébastien GALLET, UBO Brest

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité :

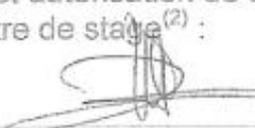
Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible⁽¹⁾.

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).

Date et signature du maître de stage⁽²⁾ :

18/09/2014

 F. CHAMBAUD

Droits d'auteur :

L'auteur⁽³⁾ autorise la diffusion de son travail

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur :

18/09/2014



Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

18/09/2014



(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Dédicace

À ma mère, dont la perpétuelle sollicitude m'a permis d'arriver jusqu'ici.

À mon père, qui m'a inculqué le sens et le goût du travail.

À ma sœur ; elle m'a bien souvent ouvert la voie.

Épigraphe

Si, dès mes premiers pas dans la montagne, j'avais éprouvé un sentiment de joie, c'est que j'étais entré dans la solitude et que des rochers, des forêts, tout un monde nouveau se dressait entre moi et le passé ; [...] je compris qu'une nouvelle passion s'était glissée dans mon âme.

ÉLISEE RECLUS

Remerciements

Ce mémoire n'aurait pu aboutir sans l'implication de certaines personnes qu'il me tient à cœur de remercier ici.

Tout d'abord, un grand merci à l'ensemble du personnel de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. Tous ses membres ont su me faire profiter de leur accueil chaleureux et de leur bonne humeur, en plus de m'offrir un cadre très professionnalisant tout au long de ces six mois de stage.

Bien entendu, je tiens à remercier plus particulièrement François Chambaud, mon maître de stage, de même que Jean-Louis Simonnot, son supérieur hiérarchique, pour leur encadrement régulier et la bienveillance qui n'a cessé de l'accompagner.

Je remercie ensuite Ivan Bernez, mon tuteur de stage et enseignant référent, pour ses conseils avisés sur bien des points à éclaircir, sa disponibilité et sa contribution globale à la rédaction de ce mémoire.

Pour leur expertise et les diverses informations, aides ou conseils qu'ils m'ont fournis, merci à Delphine Danancher et Jérôme Porteret, du Conservatoire d'Espaces Naturels Rhône-Alpes, ainsi qu'à Anthony Duvaut, Émilie Lunaud et Fabienne Barratier, de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

Dans le même esprit, je remercie plus spécifiquement Florence Louis, du service Documentation de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. Elle a été à même de me fournir d'intéressantes ressources documentaires pour constituer ma liste de références bibliographiques.

Merci aussi à mes meilleurs amis d'Agrocampus Ouest, centre de Rennes ; je n'oublierai pas de sitôt l'entraide et la camaraderie qui ont accompagné ces trois dernières années d'études.

Enfin, pas de remerciements sans une pensée toute particulière pour mes parents, ma sœur, mon oncle et mon amie d'enfance. En plus de m'avoir soutenu de manière infaillible depuis de nombreuses années, même dans les périodes les plus sombres, ils ont constitué dernièrement un comité de relecture des plus assidus...

Dédicace.....	2
Épigraphe.....	4
Remerciements	5
Sommaire	6
Liste des acronymes	8
Liste des annexes	9
Liste des figures	10
Liste des tableaux	10
I. Introduction : comment mobiliser un outil de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée afin d’optimiser sa mise en œuvre opérationnelle ?	11
A. Contexte de l’étude.....	11
1. Les zones humides, en bref	11
1.1. Définitions et typologies.....	11
1.2. Fonctions et services.....	12
1.3. Nécessité de suivi	13
2. Le bassin Rhône-Méditerranée	13
2.1. Caractéristiques géographiques et socio-économiques.....	13
2.2. Boîte À Outils (BAO) RhoMéO	14
B. Visée et objectifs	15
II. Matériels et méthodes pour la discrimination positive des indicateurs adaptés au suivi spécifique de zones humides et au suivi global du bassin RM	16
A. Suivi des zones humides.....	16
1. Identification des conditions du milieu justifiant un suivi	16
2. Détermination des actions de restauration à mener.....	16
3. Choix des indicateurs à mobiliser	16
3.1. Conditions du milieu et de mise en œuvre des indicateurs	16
3.2. Effet du type d’action de restauration.....	18
B. Suivi du bassin RM	19
1. Possibilités restreintes d’indicateurs à mobiliser	19
1.1. Indicateur I03 : dynamique hydrologique de la nappe - piézomètres	19
1.2. Indicateurs I12 et I13 : pressions de l’artificialisation et de pratiques agricoles	22
2. Choix de l’indicateur de bassin : atouts et contraintes comparés des indicateurs potentiels.....	24
III. Résultats : tendances générales dégagées par les analyses statistiques pour le suivi du bassin RM et de ses zones humides	25
A. Suivi des zones humides.....	25
1. Tests Khi-deux de contingence : relations statistiques entre caractéristiques des zones humides et indicateurs	25
1.1. Principe détaillé.....	25
1.2. Sous R.....	26
1.3. Résultats pour tous les couples « Indicateur/Variable » possibles.....	27
2. Caractérisation des relations.....	28
3. Construction de la clé dichotomique	30
B. Suivi du bassin RM	30
1. Indicateur I03 : dynamique hydrologique de la nappe – piézomètres.....	30
1.1. Principe détaillé.....	30
1.2. Résultats pour toutes les hypothèses envisagées.....	32

2.	<i>Indicateurs I12 et I13 : pressions de l'artificialisation et de pratiques agricoles</i>	
	32	
2.1.	<i>Hypothèse des SAGE</i>	32
2.2.	<i>Hypothèse des SCoT</i>	33
IV.	Discussion : limites des matériels et méthodes employés et analyse critique des principaux résultats obtenus	34
A.	Tests Khi-deux	34
B.	Clé dichotomique	35
C.	Piézomètres et sites pour l'application de l'indicateur I03	35
D.	Schémas et départements pour l'application des indicateurs de pressions	37
V.	Conclusion	39
	Bibliographie	41
	Annexes	Erreur ! Signet non défini.

Liste des acronymes

- ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
- AE : Agence de l'Eau
- AG : Adour-Garonne
- AP : Artois-Picardie
- BAO : Boîte À Outils
- BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- BSS : Banque du Sous-Sol
- C : Corse
- CEN : Conservatoire d'Espaces Naturels
- DATAR : Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale
- DGALN : Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
- DIAB : Département des Interventions et des Actions de Bassin
- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- IGN : Institut national de l'information géographique et forestière (anciennement Institut Géographique National)
- INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques
- IVD : Indemnité Viagère de Départ
- LB : Loire-Bretagne
- MAAF : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
- ME : Masses d'Eau souterraine
- ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
- PAC : Politique Agricole Commune
- RCD : Réseau de Contrôle Départemental
- RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance
- RhoMéo : Rhône Méditerranée Observatoire
- RM : Rhône-Méditerranée
- RME : Rhin-Meuse
- RMC : Rhône Méditerranée Corse
- RPG : Registre Parcellaire Graphique
- SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SAU : Surface Agricole Utile
- SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale
- SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SE : Services Écosystémiques
- SIG : Systèmes d'Informations Géographiques
- SN : Seine-Normandie

Liste des annexes

Annexe I : mise en relation entre constatations, problématiques environnementales et fonctions des zones humides	I
Annexe II : mise en relation entre problématiques environnementales, fonctions des zones humides et opérations de restauration	III
Annexe III : extraction réalisée par Émilie Lunaud des opérations de restauration financées par l'AE RMC.....	VI
Annexe IV : résultats des Khi-deux pour tous les couples « Indicateur/Variable »	XV
Annexe V : table de distribution du Khi-deux (loi de K. Pearson)	XX
Annexe VI : localisation des piézomètres BRGM implantés dans ou près d'une ZH dans le bassin RM (1:3 500 000).....	XXI
Annexe VII : répartition des piézomètres BRGM sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort avec la surface, captage prioritaire et piézomètre du bassin RM (hypothèse 1, optimale) (1:3 500 000).....	XXII
Annexe VIII : répartition des 76 sites sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort avec la surface et piézomètre du bassin RM (hypothèse 2) (1:3 500 000).....	XXIII
Annexe IX : répartition des 76 sites sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort ou potentiellement significatif avec la surface, captage prioritaire et piézomètre du bassin RM (hypothèse 3) (1:3 500 000)	XXIV
Annexe X : répartition des 76 sites sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort ou potentiellement significatif avec la surface et piézomètre du bassin RM (hypothèse 4) (1:3 500 000).....	XXV

Liste des figures

Figure 1 : typologie SDAGE pour la classification des zones humides	11
Figure 2 : carte administrative du bassin RM	13
Figure 3 : caractérisation partielle des sites tests	17
Figure 4 : schématisation du principe d'une clé dichotomique appliquée à un cas général de relation entre caractéristiques des zones humides et indicateurs mobilisables.....	18
Figure 5 : carte interactive « zones humides » de la DREAL du Languedoc-Roussillon	21
Figure 6 : schématisation de la méthode de sélection des zones humides pour l'application de l'indicateur I03 à l'échelle du bassin RM (hypothèse 1)	21
Figure 7 : évolution des surfaces agricoles et artificialisées par département français métropolitain jusqu'à la fin des années 2000	Erreur ! Signet non défini.
Figure 8 : résumé des données et tableau de contingence pour le couple « I01/Altitude » (Dataset).....	27
Figure 9 : résultats du test Khi-deux de contingence pour le couple « I01/Altitude » (Dataset)	27
Figure 10 : tableaux de contingence pour les couples « I05/Altitude » et « I05/Surface »	28
Figure 11 : partie de clé dichotomique appliquée à la relation entre la mise en œuvre de l'indicateur I05 et la surface des zones humides	29
Figure 12 : portion de la clé dichotomique finale	31
Figure 13 : carte des SAGE répartis par état d'avancement et par région du bassin RM (1 : 1 900 000).....	33
Figure 14 : cartes interactives thématiques sur les « zones humides » des DREAL du Languedoc-Roussillon et de Bourgogne	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : interrelation fonctions-SE des zones humides	12
Tableau 2 : nature des indicateurs, protocoles, fonctions et pressions de la BAO RhoMéo .	14
Tableau 3 : modélisation des données disponibles vis-à-vis des sites tests	18
Tableau 4 : hypothèses sur les caractéristiques des ME de RM à prendre en compte pour y sélectionner les zones humides sur lesquelles déployer l'indicateur de bassin I03.....	20
Tableau 5 : type de données disponibles par hypothèse pour le test Khi-deux (I03).....	22
Tableau 6 : type de données disponibles par hypothèse pour le test Khi-deux (I12 et I13) ...	24
Tableau 7 : valeurs observées de la mise en œuvre de l'indicateur I01 et des classes d'altitude rencontrées parmi les 198 sites tests	25
Tableau 8 : valeurs théoriques de la mise en œuvre de l'indicateur I01 et des classes d'altitude rencontrées parmi les 198 sites tests	25
Tableau 9 : valeur des Khi-deux observés des échantillons de sites tests	26
Tableau 10 : dépendance ou indépendance entre la mise en œuvre des indicateurs et les caractéristiques des zones humides.....	27
Tableau 11 : relations entre la mise en œuvre des indicateurs et les caractéristiques des zones humides significativement dépendantes pour construire la clé dichotomique.....	29
Tableau 12 : répartitions, par région du bassin RM, de l'ensemble des piézomètres BRGM recensés et de l'échantillon de piézomètres sélectionnés selon l'hypothèse 1.....	30
Tableau 13 : hypothèses sur les critères à prendre en compte pour sélectionner les départements sur lesquels déployer les indicateurs de bassin I12 et I13 (SAGE).....	38
Tableau 14 : les différentes possibilités pour le suivi global du bassin RM, et leur caractérisation par indicateur, échelle, coût, fréquence, représentativité/Khi-deux et compétences requises	39

I. Introduction : comment mobiliser un outil de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée afin d'optimiser sa mise en œuvre opérationnelle ?

A. Contexte de l'étude

1. Les zones humides, en bref

1.1. Définitions et typologies

Plusieurs définitions des zones humides existent (Barnaud, 1991). Toutefois, ces dernières sont communément appréhendées comme des écosystèmes à l'interface entre des milieux aquatiques et terrestres (Keddy, 2010). Elles s'assimilent de fait à des écotones, travaillant comme un continuum entre ces deux environnements (Turner, 1992). Pour l'article 1 de la Convention de Ramsar, elles sont des « étendues de marais, de fagnes, de tourbières, ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2013). D'après l'article L211-1 du Code de l'environnement, il s'agit officiellement de « 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 » (Cans *et al.*, 2007).

Les multiples combinaisons envisageables à partir des précédentes caractéristiques, de leurs différentes modalités, et de la diversité des climats, des couches géologiques, des natures d'eau et autres paramètres écologiques (niveaux trophiques, etc.) expliquent la grande variété des zones humides (Forum des Marais Atlantiques, 2013). Plusieurs typologies de ces milieux existent pour en faciliter l'approche. Par exemple, Cowardin *et al.* (1979) ont basé leur classification sur la hiérarchisation de facteurs biologiques, hydrologiques et physico-chimiques (végétation, fréquence et durée des inondations, pH, etc.). La typologie CORINE Land Cover repose quant à elle sur l'occupation biophysique du sol, tandis que celle de CORINE Biotopes est davantage orientée vers la phytosociologie (Cizel, 2010). Cela étant, l'Agence de l'Eau (AE) Rhône Méditerranée Corse (RMC) se réfère à la typologie nationale du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), basée sur les aspects écologiques, géographiques et hydrauliques (Wasson, 1996). Par systématisme, l'Agence crée plus d'homogénéité dans la conduite de ses divers projets et une cohérence à l'échelle nationale. En effet, cette catégorisation est utilisée collectivement pour la gestion des sept grands bassins hydrographiques de France. La figure 1 présente la conception du SDAGE :

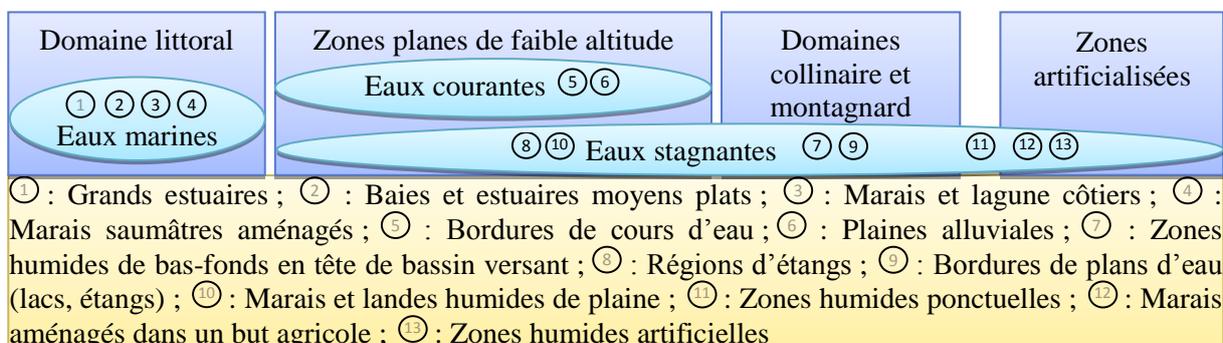


Figure 1 : typologie SDAGE pour la classification des zones humides (adaptée du Comité de bassin Rhône-Méditerranée, 2000)

1.2. Fonctions et services

Les fonctions écologiques sont les mécanismes biologiques assurant le fonctionnement et le maintien des écosystèmes (Costanza *et al.*, 1997). Elles correspondent à l'ensemble des processus (dénitrification bactérienne et rétention d'eau, par exemple) favorisant l'expression de l'écosystème dans ses dimensions biologiques, physico-chimiques et spatiales (François Chambaud, siège social de l'AE RMC). Combinant propriétés aquatiques et terrestres, les zones humides – quand elles sont en bon état écologique – accomplissent des fonctions aussi variées que la décharge/recharge des eaux souterraines, la fourniture de lieux d'habitats pour la faune et la flore, la rétention des nutriments, etc. (Adamus & Stockwell, 1983). Cependant, ces milieux n'ont pas tous les mêmes fonctions, notamment suivant leur type (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1990). Ainsi, leurs fonctions sont plus couramment appréhendées sous les trois grandes catégories suivantes : hydrologiques, physiques/biogéochimiques et biologiques (Forum des Marais Atlantiques, 2013).

Les services rendus par les écosystèmes, ou Services Écosystémiques (SE), peuvent se définir comme des contributions de la Nature au bien-être humain (Boyd & Banzhaf, 2007). Profits retirés par l'Homme de processus biologiques, ils découlent de fait des fonctions écologiques des milieux (Wallace, 2007). Le bon fonctionnement des zones humides génère pour l'espèce humaine des bénéfices, directs ou indirects, à la fois nombreux et diversifiés : de la régulation des microclimats à l'élimination des polluants (McLaughlin & Cohen, 2013). Les milieux humides s'élèvent ainsi au rang de « biens naturels » (Barbier, 2011). Les SE sont usuellement répertoriés en quatre classes distinguant les services culturels et les services d'approvisionnement, de régulation ou de support (Millenium Ecosystem Assessment (Program), 2005). Le tableau 1 propose une répartition des SE des zones humides suivant ces classes et les grandes fonctions des milieux :

SE \ Fonctions	Biologiques	Hydrologiques	Physiques/ biogéochimiques
Approvisionnement	Biomasse Diversité génétique	Eau douce Énergie hydroélectrique	Débits solides
Culturels	Éducation et esthétisme (biodiversité, paysages) Loisirs (chasse, pêche)	Tourisme et loisirs d'eau douce (baignade, navigation, etc.)	
Régulation	Pollinisation	Aléas hydrologiques (sécheresses, crues, etc.) Épuration de l'eau Recharge des nappes souterraines Soutien d'étiage Stockage/déstockage du carbone	Changements climatiques Matières en suspension Puits de carbone Érosion des berges Toxiques, polluants
Support	Espèces Habitats Milieux naturels	Cycle de l'eau	Cycle des nutriments (azote, carbone, phosphore et soufre) Formation des sols Stabilisation du littoral

Tableau 1 : interrelation fonctions-SE des zones humides (adapté de Wallis *et al.*, 2013)

1.3. Nécessité de suivi

La multiplicité des fonctions, des SE et de leurs relations détermine plusieurs « valeurs » des zones humides : productive, économique, récréative, éducative et culturelle (Barnaud, 2007). Parallèlement, ces écosystèmes sont vulnérables vis-à-vis de nombreuses pressions (agriculture, urbanisation, etc.) qui expliquent leur perte en termes d'effectifs, de densité, de diversité et de surface (Johnston, 1994). Pour l'éviter, il convient d'aborder les zones humides selon leur fonction, leur état et les pressions. La non-dégradation et la restauration des zones humides en mauvais état écologique s'inscrivent dans la stratégie de gestion du bassin, au travers des dispositions du SDAGE. Le suivi des zones humides constitue une étape qui renseigne sur leur bon fonctionnement, l'aboutissement des actions de restauration menées, et donc l'objectif final de préservation des milieux (Neckles *et al.*, 2002).

2. Le bassin Rhône-Méditerranée

2.1. Caractéristiques géographiques et socio-économiques

Comme l'illustre la figure 2, le territoire de la France métropolitaine est découpé en sept grands bassins hydrographiques : Adour-Garonne (AG), Artois-Picardie (AP), Corse (C), Loire-Bretagne (LB), Rhin-Meuse (RME), Rhône-Méditerranée (RM) et Seine-Normandie (SN). En ce qui le concerne, le bassin RM regroupe les bassins versants des cours d'eau continentaux se déversant vers le littoral méditerranéen et, le cas échéant, dans la mer Méditerranée (Changeux & Pont, 1995). D'une surface de 120 000 km², il représente environ un quart du territoire national. La figure 2 montre qu'il s'étend sur trente départements et neuf régions. La densité du réseau hydrographique, la richesse en glaciers alpins, masses d'eau souterraine, plans d'eau et zones humides, de même que la variété des morphologies des cours d'eau, témoignent de l'abondance de ses ressources hydriques. Seuls deux types SDAGE de zones humides (① et ②) n'y sont par exemple pas représentés (Comité de bassin RM, 2009).

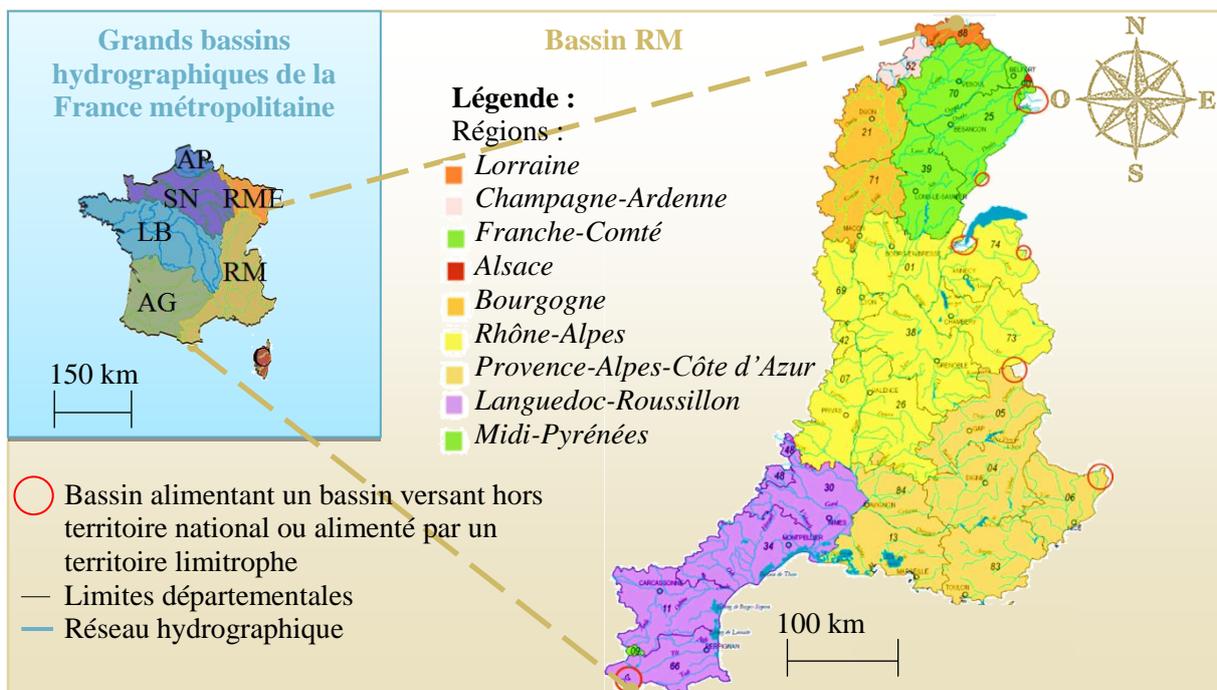


Figure 2 : carte administrative du bassin RM (adaptée du Comité de bassin RM, 2009)

Concernant les aspects socio-économiques, le bassin RM regroupe 15 millions d'habitants, soit près d'un quart de la population française (Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE), 2006). L'agriculture exercée dans ce territoire est diversifiée, et les régions spécialisées, malgré une prédominance des productions végétales, en particulier des fruits puisque plus de 60 % des vergers français y sont implantés (Agreste, 2010). L'industrie y est par ailleurs composite, même si le domaine chimique domine (Ravier, 1979). Le secteur de l'énergie est quant à lui très dynamique : le bassin génère plus de la moitié de l'électricité, deux tiers de la production hydroélectrique, et un quart de l'énergie nucléaire françaises. Tourisme et activités aquacoles sont enfin très présents ; 99 % du sel français est par exemple produit dans le bassin (Comité de bassin RM, 2009).

Finalement, nous pouvons dresser le bilan d'un bassin hydrographique, certes riche en ressources aquatiques, mais aussi très développé en termes socio-économiques. Par conséquent, les usages de l'eau comme l'irrigation, les prélèvements, ou encore les eaux de baignade, y sont très sollicités (Comité de bassin RM, 2013).

2.2. Boîte À Outils (BAO) RhoMéO

De par les caractéristiques susmentionnées, les zones humides du bassin RM sont particulièrement exposées aux nombreuses pressions existantes : agriculture, changement climatique, etc. Le besoin de suivi de ces milieux s'en retrouve renforcé. Il a pour objectifs d'avérer ou infirmer l'impact de pressions sur lesdits écosystèmes, et de mesurer les effets d'actions de gestion et restauration dans les zones révélées « à problème » (Simonnot, 2013).

En l'occurrence, le Conservatoire d'Espaces Naturels (CEN) de Rhône-Alpes a publié, en février 2014, une BAO nommée RhoMéO¹ (pour « Rhône Méditerranée Observatoire ») afin de répondre à ces enjeux. Cet outil doit permettre aux acteurs de bassin, tels que l'AE RMC, d'assurer le suivi des zones humides de façon pragmatique en s'appropriant les indicateurs testés et validés dans le bassin. Il a été conçu par la synthèse de recherches bibliographiques et de retours d'expériences de diverses catégories d'acteurs concernant des tests de suivis de protocoles scientifiques conduits sur différents types de zones humides.

Alors qu'il n'existe actuellement que deux indicateurs pris en compte par le tableau de bord du SDAGE RM pour le suivi des zones humides (leur acquisition foncière et le nombre de plans de gestion), la BAO RhoMéO propose un panel de treize indicateurs mesurables par neuf protocoles distincts. Certains pourront intégrer le tableau de bord du SDAGE afin de mieux évaluer l'état des milieux humides et les actions préconisées pour leur restauration. Propres au principe de la bioindication, ces outils peuvent témoigner d'éventuelles modifications du milieu, naturelles ou provoquées, en réponse à certaines pressions (Blandin, 1986). Leur répétabilité spatio-temporelle permet de visualiser l'évolution des zones humides à l'échelle du bassin. La BAO décline le mode opératoire des neuf protocoles, le fondement scientifique de chaque indicateur, ainsi que la méthode de calcul et d'interprétation de leur valeur. Le tableau 2 introduit la nature des indicateurs et des protocoles associés, de même que les fonctions et pressions des zones humides auxquelles ils répondent :

Indicateurs	Protocoles
I01 : Niveau d'humidité - pédologie	P01 : Pédologie
I02 : Indice floristique d'engorgement	P02 : Flore
I03 : Dynamique hydrologique de la nappe - piézomètres	P03 : Piézométrie

¹ La BAO RhoMéO est consultable à l'adresse Internet www.rhome-bao.fr.

I04 : Dynamique hydrologique de la nappe - substances humiques	P04 : Chimie			
I05 : Dynamique sédimentaire - orthoptères	P05 : Orthoptère			
I06 : Indice floristique de fertilité du sol	P02 : Flore			
I07 : Vulnérabilité à l'eutrophisation - phosphore	P04 : Chimie			
I08 : Indice de qualité floristique	P02 : Flore			
I09 : Humidité du milieu - orthoptères	P05 : Orthoptères			
I10 : Intégrité du peuplement d'odonates	P06 : Odonates			
I11 : Intégrité du peuplement d'amphibiens	P07 : Amphibiens			
I12 : Pression de l'artificialisation	P08 : Artificialisation			
I13 : Pression de pratiques agricoles	P09 : Pratiques agricoles			
Fonctions/pressions				
Hydrologiques	Biogéochimiques	Biologiques	Pression de l'artificialisation	Pression de pratiques agricoles

Tableau 2 : nature des indicateurs, protocoles, fonctions et pressions de la BAO RhoMéO (adapté de RhoMéO, 2014)

B. Visée et objectifs

Avec la BAO RhoMéO, l'AE RMC dispose d'une batterie d'indicateurs à déployer en routine dans les plans de gestion pour assurer le suivi des zones humides du bassin RM. Dans l'optique légitime d'optimiser le temps et les moyens employés, l'AE souhaite *a priori* ne recourir qu'à un nombre restreint d'indicateurs pour le suivi d'un même site. Rappelons que ce suivi doit permettre de mesurer la bonne efficacité des actions de gestion et de restauration financées par l'AE sur les milieux soumis à certaines pressions (cf. I.A.2.2.2.). Ainsi, le choix des indicateurs les plus pertinents à mobiliser à l'échelle de la zone humide, pour le suivi de cette dernière, se fera à la fois en fonction des conditions de mise en œuvre de l'indicateur (notamment vis-à-vis de la réalité du terrain) et des opérations de restauration menées.

Par ailleurs, le contexte actuel de réchauffement climatique a de nombreuses incidences sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques : aggravation des étiages et hausse du risque d'eutrophisation n'en sont que des exemples (Fabre, 2012). Or, le bassin RM sera particulièrement concerné par ce phénomène d'ici 2050 (Boé *et al.*, 2009). C'est pourquoi l'AE RMC aspire également à identifier dans la BAO RhoMéO un indicateur susceptible d'être déployé à l'échelle du bassin. L'objectif est de fournir une vision de ce territoire, à la fois globale et adaptée à la surveillance des impacts opérés par le réchauffement climatique et son incidence fonctionnelle sur les zones humides.

Coupler cet indicateur « sentinelle », à la vision précédente, basée sur l'échelle des sites et des plans de gestion, devrait permettre de réaliser un large suivi du bassin RM et des zones humides qui le composent. Dans les deux cas, ce mémoire s'appuiera sur les données disponibles depuis le premier travail de RhoMéO pour répondre à la question suivante :

Comment mobiliser un outil de suivi des zones humides du bassin RM afin d'optimiser sa mise en œuvre opérationnelle et à quelles échelles le déployer ?

Afin d'apporter tout ou partie des éléments de réponse à la question posée, nous commencerons par présenter le matériel mobilisé pour conduire la méthodologie retenue et exposée. Dans un second temps, les résultats obtenus seront formulés, puis discutés avant d'apporter une conclusion générale à ce travail.

II. Matériels et méthodes pour la discrimination positive des indicateurs adaptés au suivi spécifique de zones humides et au suivi global du bassin RM

A. Suivi des zones humides

1. Identification des conditions du milieu justifiant un suivi

Cette étape, préalable au suivi, consiste à recenser les éléments directement observables sur la zone humide en termes d'aménagements, répartition des espèces, état global du milieu, etc. L'annexe I s'inspire du travail du [Commissariat général au développement durable – Service de l'observation et des statistiques \(2012\)](#) pour proposer une liste de critères particuliers à relever lors de cet inventaire. Elle expose également le lien entre ces constatations potentielles sur le terrain et des problématiques environnementales générales telles que, entre autres, l'assèchement, l'eutrophisation et l'érosion des berges. En effet, l'objectif de ce premier travail est, à partir des précédentes observations, de déterminer si la zone humide est ou non en mauvais état écologique. Le cas échéant, il s'agit alors de définir la problématique environnementale engagée, de même que les fonctions de l'écosystème qui s'avèrent ainsi altérées et impliquent dès lors actions de restauration et de suivi du milieu pour évaluer l'effet des interventions sur la (ou les) fonction(s) de la zone humide.

2. Détermination des actions de restauration à mener

Une action de restauration écologique peut se définir comme une démarche visant à rétablir toute propriété intrinsèque à un écosystème et qui a été dégradée, endommagée ou détruite par des perturbations de diverses natures ([Jackson *et al.*, 1995](#)). Dès que les éléments associés au mauvais état écologique d'une zone humide ont été identifiés, des objectifs et actions de restauration doivent être décidés pour tenter d'y remédier. Afin de raccorder de telles opérations à ces problématiques environnementales, nous avons croisé des informations issues du [Forum des Marais Atlantiques \(2013\)](#) et d'une extraction réalisée par Émilie Lunaud, du Département des Interventions et des Actions de Bassin (DIAB) de l'AE RMC. Le premier ouvrage détermine de grands objectifs de gestion et de restauration des zones humides, et leur associe certaines actions plus précises. Le second synthétise le contexte et la nature des opérations de restauration financées par l'AE RMC ; il complète ainsi la vision précédente. Alors que l'annexe II appose la relation finalement établie entre les grandes problématiques environnementales des zones humides d'une part, les objectifs et les actions de restauration envisageables pour y répondre d'autre part, l'annexe III présente l'extraction réalisée par Émilie Lunaud.

3. Choix des indicateurs à mobiliser

Cette sélection, pour être pertinente, doit à la fois prendre en compte les propriétés du milieu – en lien avec les conditions de mise en œuvre des indicateurs – et le type d'actions de restauration menées (quelle est la fonction visée, les principales modifications du milieu qui vont être opérées et qu'il serait donc intéressant de mesurer).

3.1. Conditions du milieu et de mise en œuvre des indicateurs

Afin de déterminer les conditions des zones humides nécessaires à une bonne mise en œuvre des indicateurs, des tentatives de mesure de ces derniers ont été réalisées sur 198 milieux différents. La sélection de ces « sites tests » avait pour objectif de représenter au plus

près l'hétérogénéité des caractéristiques des zones humides du bassin RM, dans la limite des moyens humains et techniques disponibles. Pour faciliter la conduite des mesures, RhoMéO a, autant que possible, orienté son choix vers des milieux connus et pour lesquels des informations étaient déjà disponibles. La figure 3 localise les sites tests dans le bassin et représente leur répartition par catégorie (type SDAGE, zones biogéographiques, etc.) :

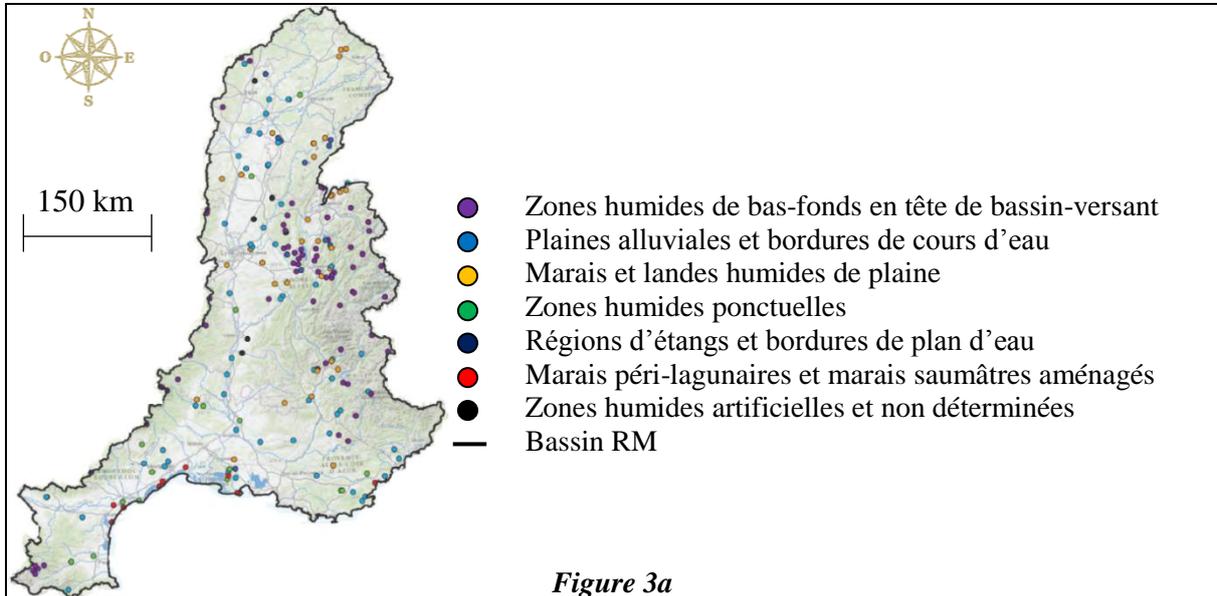


Figure 3a

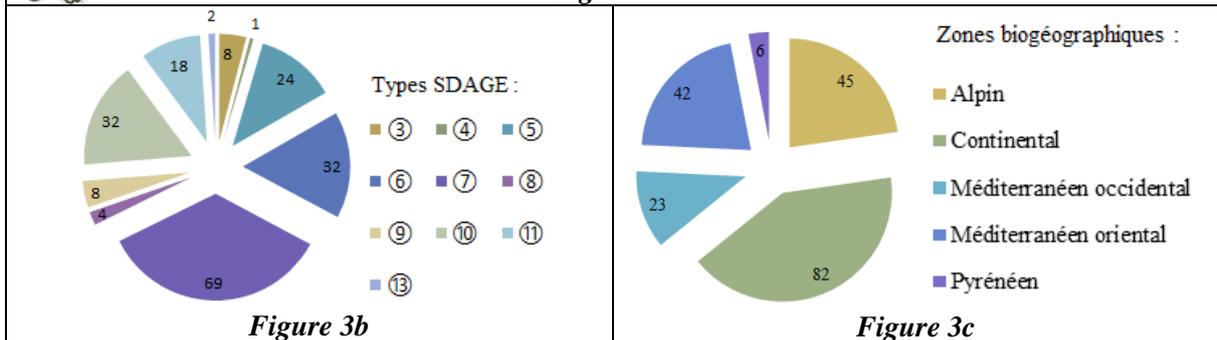


Figure 3b

Figure 3c

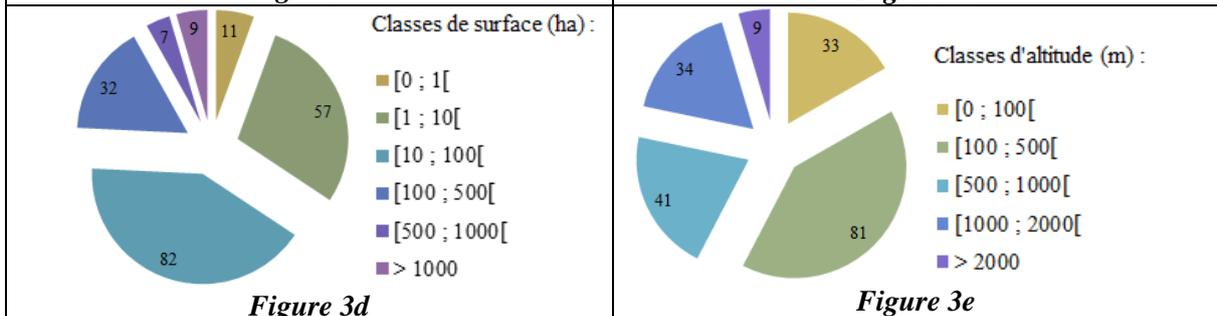


Figure 3d

Figure 3e

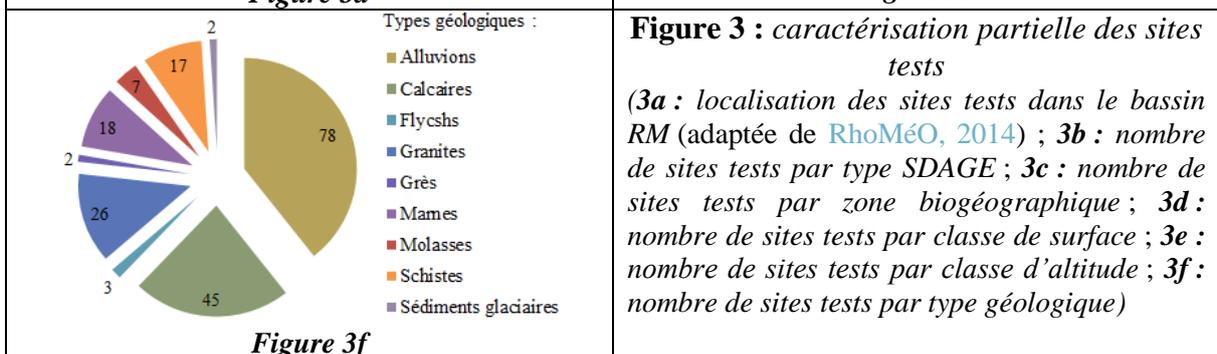


Figure 3f

Figure 3 : caractérisation partielle des sites tests

(3a : localisation des sites tests dans le bassin RM (adaptée de RhoMéO, 2014) ; 3b : nombre de sites tests par type SDAGE ; 3c : nombre de sites tests par zone biogéographique ; 3d : nombre de sites tests par classe de surface ; 3e : nombre de sites tests par classe d'altitude ; 3f : nombre de sites tests par type géologique)

En plus des caractéristiques de chaque site test, sont connus les indicateurs qui ont pu *in fine* y être mesurés ou non. Il est donc possible de déterminer statistiquement quelles caractéristiques des milieux conditionnent la mise en œuvre des indicateurs. En l'occurrence, les données disponibles sont du type tel que celui renseigné par le tableau 3 :

Sites tests	Variable 1	Variable 2	...	Variable 8	Indicateur 01	Indicateur 02	...	Indicateur 13
1	α	δ	...	η	N	Y	...	N
2	β	ε	...	θ	Y	Y	...	N
...	...	...	...	...	N	Y	...	N
200	γ	ζ	...	ι	N	N	...	Y

Tableau 3 : modélisation des données disponibles vis-à-vis des sites tests

Les variables 1 à 8 représentent les caractéristiques connues des zones humides : altitude, climat, étage, géologie, géomorphologie, surface, type SDAGE et zone biogéographique. Toutes sont qualitatives (altitude et surface sont appréciées selon les classes définies en figure 3e ; voir page 7). Les lettres grecques symbolisent leurs différentes valeurs. Pour les colonnes « Indicateur », seules deux modalités sont possibles : « Y » signifie que l'indicateur a pu être déployé sur le site test correspondant, « N » signifie au contraire qu'il n'a pas pu y être mesuré. L'objectif est alors de déterminer si la mise en œuvre (Y ou N) de chaque indicateur peut s'expliquer par certaines variables. Si oui, il faut identifier quelles modalités de ces dernières sont engagées et en quel sens. La première étape consiste en un test Khi-deux de contingence pour chaque couple « Indicateur/Variable ». Cette méthode démontre l'existence d'une corrélation entre deux variables qualitatives (Khaneboubi, 2012). Si, à l'issue d'un test, la variable s'avère être corrélée avec l'indicateur, un rapide examen du tableau de contingence correspondant permet de définir le sens de cette corrélation et la nature des modalités engagées. Cela n'est possible aussi simplement que parce que les huit variables ont un nombre relativement restreint de modalités. Le parti pris de tester les couples « Indicateur/Variable » de façon individuelle se justifie par la volonté d'élaborer une clé dichotomique en guise de grille de lecture finale des résultats. Les caractéristiques des zones humides y sont alors considérées les unes après les autres pour une compartimentation plus logique et progressive des informations, ce qui en facilite également la lecture. En fonction des valeurs prises par les propriétés des zones humides, différentes catégories d'indicateurs encore mobilisables sont ainsi proposées. Ce principe est schématisé en figure 4.

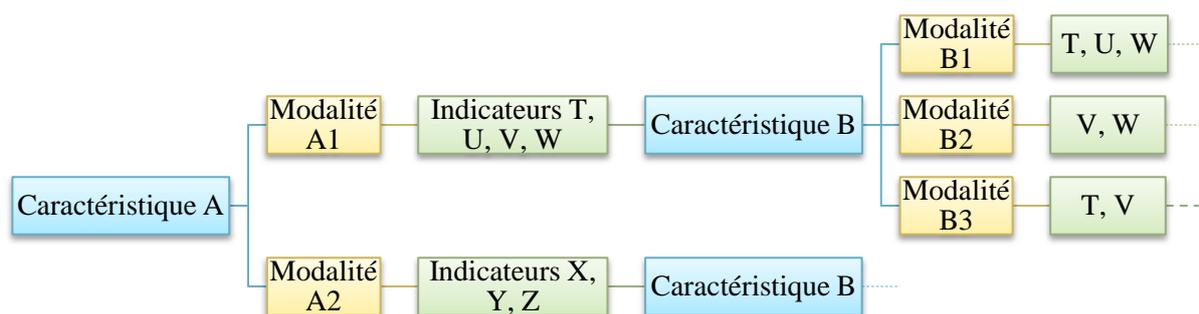


Figure 4 : schématisation du principe d'une clé dichotomique appliquée à un cas général de relation entre caractéristiques des zones humides et indicateurs mobilisables

3.2. Effet du type d'action de restauration

Comme entendu en II.A.2., les actions de restauration écologique ont la vocation d'agir sur les propriétés altérées des milieux pour favoriser leur résilience. En ce sens, elles sont susceptibles de modifier sensiblement certaines caractéristiques des zones humides, et

d'intervenir dans la sélection des indicateurs envisageables pour un suivi. Le type d'actions de restauration conduites sur un milieu est donc à bien considérer dans la prise de décision des indicateurs à y déployer. De fait, il s'avère nécessaire d'établir un rapport entre la nature de ces opérations et les modifications qu'elles opèrent finalement sur l'écosystème, en particulier vis-à-vis des éventuelles caractéristiques discriminant les indicateurs. Une telle relation permettra d'associer de façon plus directe les actions de restauration des zones humides avec les indicateurs de la BAO les plus pertinents au regard des problématiques environnementales qui ont initialement motivé l'objectif de restauration et le besoin de suivi. En l'occurrence, cette relation a pu se construire à partir des informations fournies par le [Forum des Marais Atlantiques \(2013\)](#). Elle est incluse dans l'annexe II.

B. Suivi du bassin RM

1. Possibilités restreintes d'indicateurs à mobiliser

Tous les indicateurs de la BAO RhoMéO ne sont pas envisageables pour assurer le suivi du bassin RM dans sa globalité. Certains protocoles ne s'appliquent effectivement qu'à l'échelle restreinte de la zone humide. Citons par exemple les indicateurs I05 et I09 dont le protocole commun (P05) préconise une surface des points de suivi inférieure à un hectare pour prospecter le terrain et relever les espèces d'orthoptères (criquets et sauterelles). Afin de visualiser les grandes tendances d'évolution du bassin, il faudrait donc reconduire trop souvent de telles mesures – par ailleurs souvent exigeantes en termes de temps et de compétences – pour que le rapport coût/efficacité soit réellement performant.

D'une manière générale, les indicateurs semblant pertinents pour une analyse aussi globale du territoire sont I03, I12 et I13. Le premier repose effectivement sur la dynamique hydrologique des nappes et la piézométrie. Par conséquent, il s'inscrit dans la logique du réseau piézométrique déployé dans tout le bassin pour suivre les masses d'eau souterraine. Quant aux indicateurs I12 et I13, ils portent respectivement sur les pressions de l'artificialisation et des pratiques agricoles. Les protocoles P08 et P09, auxquels ils font référence, mobilisent des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), d'imagerie spatiale (CORINE Land Cover) et de déclaration PAC (Politique Agricole Commune) des agriculteurs (registre graphique). Or, ces derniers permettent de traiter assez facilement des territoires aussi vastes que le bassin RM. Il faut alors tester la faisabilité de mise en œuvre (en termes de coût, représentativité du territoire, etc.) de ces trois options en tant qu'indicateur de bassin.

1.1. Indicateur I03 : dynamique hydrologique de la nappe - piézomètres

Déterminer si l'indicateur I03 est satisfaisant pour un suivi global du bassin RM, c'est d'abord identifier toutes les zones humides du territoire sur lesquelles il est possible de le déployer. Celles-ci doivent être en lien direct avec des Masses d'Eau souterraine (ME) puisque le principe même de l'indicateur est de mesurer la dynamique hydrologique des nappes. L'objectif est ensuite de vérifier si l'échantillon obtenu est assez représentatif du bassin (répartition homogène dans l'espace, notamment). Le cas échéant, les moyens financiers et humains requis pour déployer l'indicateur à l'échelle du territoire sont évalués par une estimation de la fréquence des mesures et des coûts occasionnés par leur mise en œuvre. Ce sont en effet les deux items systématiquement appréciés dans la BAO pour caractériser les indicateurs. Cette évaluation repose donc sur les préconisations de RhoMéO.

La liste des ME de RM, établie par l'AE RMC, caractérise notamment le lien de chacune d'entre elles avec la surface suivant cinq catégories : cette relation peut être avérée nulle, négligeable, faible, potentiellement significative ou forte. L'hypothèse de travail optimale pour le déploiement de l'indicateur revient à ne considérer que les zones humides situées sur des ME dont le lien avec la surface est avéré fort (expertise hydrogéologique disponible pour le bassin). Dans l'idéal, ces ME doivent aussi être équipées d'un piézomètre et concerner un captage prioritaire. Le piézomètre est effectivement l'outil permettant de mesurer la dynamique hydrologique de la nappe ainsi que la valeur finale de l'indicateur. Quant au captage prioritaire, il traduit une importance stratégique de la ressource en eau (avec éventuellement des problèmes récurrents de qualité des eaux) sur des milieux qu'il convient donc de suivre tout particulièrement et pour lesquels la restauration de fonction(s) peut être préconisée (remise en herbe d'une culture présente dans l'aire d'alimentation du captage pour restaurer la fonction biogéochimique, voire biologique, de la zone humide, par exemple).

Nonobstant, le captage prioritaire n'est qu'une condition préférable à la mise en œuvre de l'indicateur. Contrairement à la présence du piézomètre, il n'est pas indispensable. De plus, les ME avec un lien potentiellement significatif avec la surface ne sont pas à exclure promptement. Ces différentes modalités conduisent à tester plusieurs hypothèses, lesquelles sont répertoriées dans le tableau 4, de la plus stricte (optimale) à la plus ouverte :

Caractéristiques des ME Hypothèses	Liens avérés avec la surface		Captage prioritaire	Piézomètre
	Fort	Potentiellement significatif		
1	X		X	X
2	X			X
3	X	X	X	X
4	X	X		X

Tableau 4 : hypothèses sur les caractéristiques des ME de RM à prendre en compte pour y sélectionner les zones humides sur lesquelles déployer l'indicateur de bassin I03

L'information sur la nature du lien des ME avec la surface se trouve donc directement dans la liste susmentionnée. De même, les captages prioritaires du bassin sont déjà inventoriés et associés aux ME auxquelles ils correspondent. Même si l'AE ne dispose d'aucune donnée SIG sur les piézomètres et les zones humides de RM, la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) permet déjà de discerner les ME munies de piézomètre(s). En complément, [Gouisset \(1991\)](#) caractérise les 455 piézomètres du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) recensés en RM. Leurs coordonnées², altitude, commune, département et région d'appartenance respectifs sont notamment identifiés.

Cependant, rien n'indique dans cette dernière étude que les piézomètres sont implantés dans des zones humides. En effet, certains pourraient ne relever que de puits de captage, par exemple. Les outils de cartographie interactive proposés par les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) permettent, par département où des ME correspondent à l'hypothèse en cours, de centrer la carte à l'emplacement exact de chaque piézomètre depuis ses coordonnées. Il suffit ensuite de comparer leur localisation à celle des zones humides dont des couches SIG régionales sont ici disponibles. Pour chaque DREAL, l'échelle choisie est toujours la plus fine possible (le 2 500^e) afin de maximiser la précision. Dès qu'un élément de la couche « zones humides » apparaît dans le champ visuel de la carte, soit dans l'environnement direct du piézomètre, ce dernier est sélectionné. Il est

² Projection NTF (Paris) / Lambert Centre ou Sud France

si non éliminé de la liste. La figure 5 illustre l'utilisation des données de deux piézomètres grâce aux outils de la DREAL du Languedoc-Roussillon. L'encadré noir met en évidence ce qui a permis de centrer la carte à l'emplacement du piézomètre à partir de ses coordonnées.

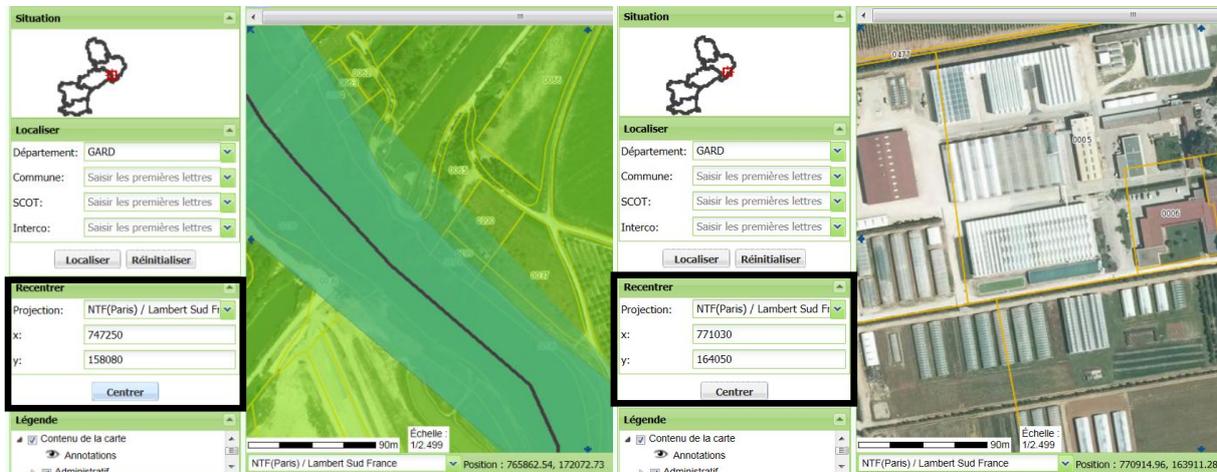


Figure 5a : exemple de piézomètre sélectionné

Figure 5b : exemple de piézomètre éliminé

Figure 5 : carte interactive « zones humides » de la DREAL du Languedoc-Roussillon

Les piézomètres restants à l'issue de l'exercice précédent sont cartographiés sous QGIS (version 2.0.1). Une zone tampon de 300 m de rayon est créée autour de chaque point pour représenter la zone humide qui lui est associée d'après les DREAL. En effet, les dimensions des cartes interactives permettent, à l'échelle 1/2 500, de visualiser 300 m de part et d'autre du piézomètre une fois que celui-ci est centré sur la carte. Comme les piézomètres ont été discriminés sur la base de l'absence/présence de zone humide sur ce même champ visuel, il semble logique de considérer les zones tampons avec ces mêmes dimensions pour symboliser les milieux. La table attributaire de la couche vecteur des ME du bassin RM permet ensuite de n'afficher que celles correspondant à l'hypothèse considérée. Une simple superposition de couches conduit enfin à visualiser les zones humides qui sont bien situées sur les ME d'intérêt. La figure 6 récapitule toute la méthode dans le cas de l'hypothèse 1 :

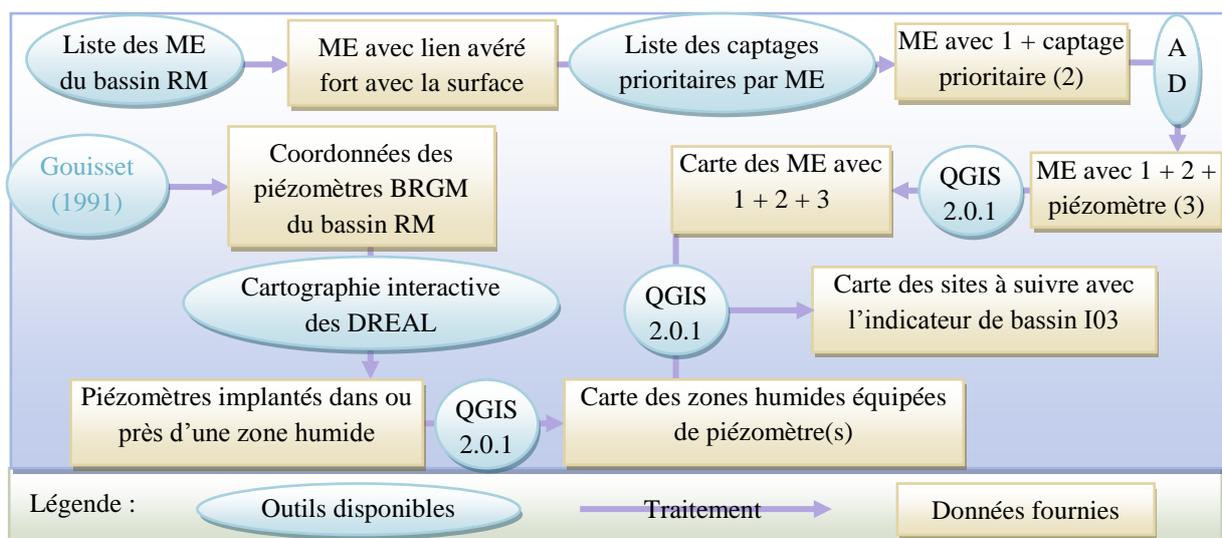


Figure 6 : schématisation de la méthode de sélection des zones humides pour l'application de l'indicateur I03 à l'échelle du bassin RM (hypothèse 1)

La finalité est de sélectionner l'hypothèse dont l'échantillon de sites est le plus représentatif du bassin. Le test Khi-deux d'ajustement est adapté à la vérification de la représentativité d'un échantillon vis-à-vis de sa population d'origine (Laurencelle, 2012). Son application au cas présent suppose de considérer comme population de départ l'ensemble des zones humides équipées de piézomètres en RM, soit tous les piézomètres sélectionnés depuis l'exercice des cartographies interactives. Il s'agit effectivement du maximum de représentativité qui peut être atteint par chaque hypothèse. L'échantillon de sites pour chacune d'entre elles regroupe ensuite, parmi les précédentes zones humides, celles qui sont situées sur les ME réunissant les conditions favorables (absence de système de captage prioritaire pour les hypothèses 2 et 4, par exemple). Une variable à disposition pour tester la représentativité des échantillons de zones humides est la localisation par commune, département et région, que nous renseigne Gouisset (1991). Conduire le test Khi-deux avec la localisation par région semble pertinent pour se rapprocher de la vision globale du bassin. Les échelles plus précises des communes et des départements sont alors moins adaptées. Le type de données ainsi disponibles par hypothèse pour réaliser le test Khi-deux est présenté dans le tableau 5 :

Régions de RM (9)	Alsace	Bourgogne	...	Rhône-Alpes	$N = \sum_{i=1}^9 Na_i$
Population (taille N)	Na_1	Na_2	...	Na_9	
Échantillon (taille n)	na_1	na_2	...	na_9	$n = \sum_{i=1}^9 na_i$

Tableau 5 : type de données disponibles par hypothèse pour le test Khi-deux (I03)

1.2. Indicateurs I12 et I13 : pressions de l'artificialisation et de pratiques agricoles

La BAO RhoMéO met en évidence la similarité des protocoles entre les indicateurs I12 et I13. Tous deux recourent effectivement aux couches SIG de CORINE Land Cover, de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) et/ou du RPG (Registre Parcellaire Graphique) pour visualiser l'occupation du sol et son évolution fait à fait des mesures. De plus, ils présentent l'avantage de s'appliquer sur les mêmes périmètres et de pouvoir donc se mesurer conjointement. Le premier concerne simplement les surfaces artificialisées tandis que le second s'applique aux surfaces agricoles. Pour le suivi spécifique d'une zone humide, le périmètre d'étude s'assimile sinon au bassin versant de la masse d'eau sur laquelle évolue le milieu (RhoMéO, 2014). Pour le suivi global du bassin RM, ce périmètre s'extrapole à l'ensemble des bassins versants de chaque masse d'eau du territoire. Au regard de la définition du bassin RM (cf. I.A.2.2.1.), cela revient à considérer ce dernier dans son intégralité.

Or, les indicateurs I12 et I13 ont chacun un coût de mise en œuvre (temps et analyse) d'environ 2 000 € par an et par département (RhoMéO, 2014). Pour les trente départements du bassin RM, le déploiement de ces deux indicateurs revient donc à dépenser 120 000 € par an, soit près de 3 % des 450 millions d'euros de budget annuel de l'AE RMC (AE RMC, 2014). Il s'agit là d'une proportion non négligeable, compte tenu des nombreux autres travaux qui doivent être financés par l'Agence : lutte contre les pollutions, gestion des risques d'inondations, préservation des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, etc. (Comité de bassin RM, 2009). Afin de réduire les coûts, il paraît donc préférable de ne pas travailler sur tout le territoire, mais de sélectionner une fois encore des périmètres plus restreints – quoique toujours représentatifs du bassin – pour y mesurer les indicateurs.

Afin de déterminer ces périmètres, deux hypothèses sont testées : les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT) et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). En effet, ces deux modèles analysent déjà les plus petites échelles territoriales

(communes ou cours d'eau, par exemple) de manière globale (Desjardins & Leroux, 2007 ; Allain, 2001). Ils définissent notamment de plus grandes entités à partir de ces premiers éléments : les bassins d'emploi dans le cas des SCoT, et les bassins versants dans celui des SAGE (François Chambaud, siège social de l'AE RMC). En ce sens, tous deux sont clairement adaptés à un suivi global du bassin RM.

Les SCoT permettent de mieux appréhender les dimensions économiques et sociales, constitutives de toute analyse territoriale (Jeune Chambre Économique Française, 2011). Cependant, les informations rattachées à ces Schémas de Cohérence Territoriale ne relèvent pas totalement du domaine d'expertise qu'il est plus habituel de rencontrer en AE... À l'inverse, raisonner en termes de SAGE s'inscrit dans une logique où l'hydrologie reste au centre du système de pensée. Le bassin RM est alors appréhendé à partir des bassins versants qui le constituent, et dont les connaissances relatives au fonctionnement sont cette fois davantage maîtrisées et connectées aux compétences du personnel des AE.

Par ailleurs, les protocoles P08 et P09 font, tous les deux, mention d'une échelle départementale pour le calcul des indicateurs I12 et I13 (RhoMéo, 2014). Il s'avère donc pertinent de définir le périmètre de mise en œuvre de ces derniers comme l'ensemble des départements au sein desquels SCoT ou SAGE sont fortement présents et impliqués dans la politique territoriale.

Pour les SCoT, un fichier Excel, en partie réalisé par la DGALN (Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature), a pu être mobilisé. Celui-ci établit la liste des SCoT nationaux, et les caractérise notamment selon leur département et leur état d'avancement (approuvé, en élaboration ou en révision). Ainsi, il est possible de sélectionner les départements du bassin RM qui concentrent plusieurs SCoT « approuvés ». Un examen préliminaire du fichier démontre effectivement que presque tous les départements du bassin ont au moins un SCoT de cette nature. La présence d'un tel schéma unique n'est donc pas une condition suffisante pour restreindre efficacement le périmètre d'application des indicateurs. De plus, les SCoT en élaboration ou en révision ne sont pas fiables dans le temps car susceptibles d'être abandonnés en cours de projet ; en conséquence, ils ne sont pas pris en compte dans la présente méthode.

Pour les SAGE, une couche SIG permet de les visualiser directement parmi les départements du bassin en fonction de leur état : en élaboration, en révision ou mis en œuvre. Pour les mêmes raisons que précédemment, il faut alors identifier les seuls départements au sein desquels des schémas parfaitement mis en œuvre sont présents. Qu'il s'agisse des SCoT ou des SAGE, il convient enfin de ne considérer que les départements précédemment sélectionnés dont les surfaces artificialisées (pour l'indicateur I12) ou agricoles (I13) sont particulièrement dynamiques. Les départements ne peuvent pas être discriminés sous QGIS d'après ce dernier critère puisqu'aucune ressource SIG n'est encore à la disposition de l'AE RMC. En revanche, les cartes du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF), de même que de la DATAR (Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale) permettent de le faire facilement, comme en témoigne la figure 7 ci-dessous :

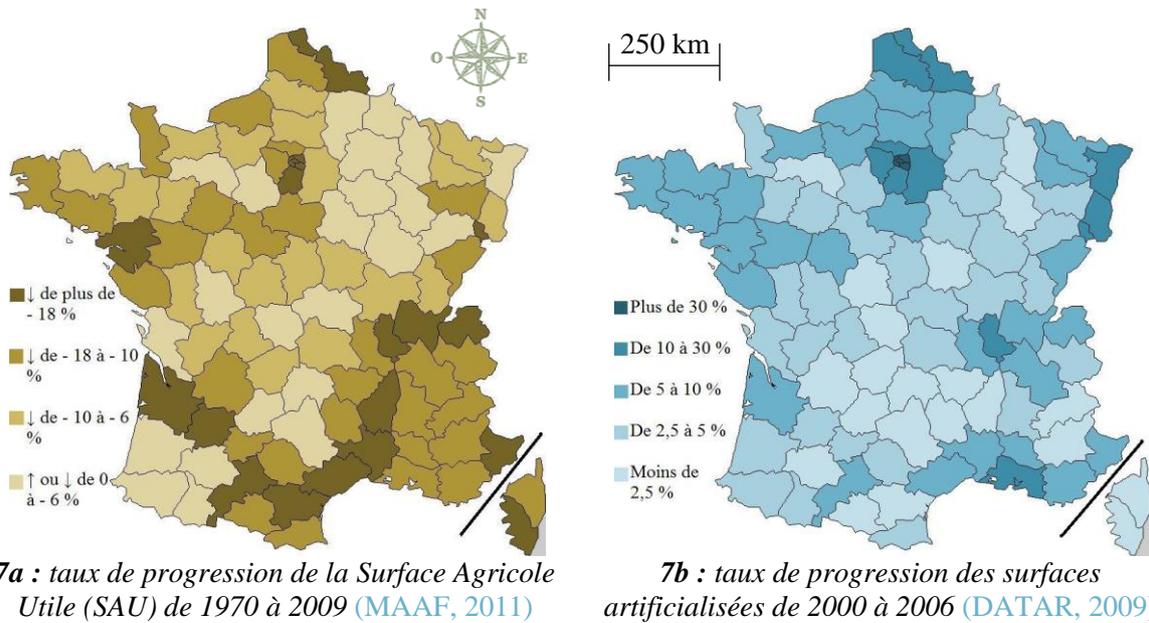


Figure 7 : évolution des surfaces agricoles et artificialisées par département français métropolitain jusqu'à la fin des années 2000

La dernière étape consiste à vérifier, pour les deux indicateurs et les deux hypothèses (SCoT ou SAGE), la représentativité des échantillons de départements finalement sélectionnés vis-à-vis du bassin RM. Pour les mêmes raisons qu'évoquées en II.B.1.1.1., un test Khi-deux d'ajustement est à mobiliser. Celui-ci permettra notamment de déterminer quelle hypothèse s'avère la plus pertinente pour un même indicateur. Le type de données à tester dans chaque cas est illustré dans le tableau 6 :

Régions de RM (9)	Alsace	Bourgogne	...	Rhône-Alpes
Population (30 départements)	Na_1	Na_2	...	Na_9
Échantillon (n départements)	na_1	na_2	...	na_9

Les Na_i sont ici les départements appartenant au bassin RM par région. Ainsi, $\sum_{i=1}^9 Na_i = 30$ avec $Na_1 = 1$, $Na_2 = 2$ et $Na_9 = 8$, par exemple.
Par ailleurs, $n = \sum_{i=1}^9 na_i$

Tableau 6 : type de données disponibles par hypothèse pour le test Khi-deux (I12 et I13)

2. Choix de l'indicateur de bassin : atouts et contraintes comparés des indicateurs potentiels

À ce stade, les trois indicateurs potentiels pour le suivi global du bassin RM sont surtout caractérisés par leurs domaines d'application respectifs et par la représentativité de ces derniers vis-à-vis de l'ensemble du bassin. Pour déterminer l'indicateur le plus performant, il faut déjà que la représentativité de son périmètre de mise en œuvre soit suffisante. En cela, les résultats des tests Khi-deux constituent le premier point de discrimination entre les trois indicateurs de départ. Leur évaluation se poursuit avec une estimation comparée des coûts, de la périodicité et des compétences requises pour leur mise en œuvre sur leurs périmètres spécifiques. En effet, ces critères sont expertisés par la BAO pour chaque indicateur et servent à matérialiser la faisabilité de leur application. L'indicateur de bassin le plus performant est celui dont le périmètre de mise en œuvre présente une bonne représentativité de RM, et avec le meilleur compromis coûts/périodicité/compétences requises.

III. Résultats : tendances générales dégagées par les analyses statistiques pour le suivi du bassin RM et de ses zones humides

A. Suivi des zones humides

1. Tests Khi-deux de contingence : relations statistiques entre caractéristiques des zones humides et indicateurs

L'obtention des résultats est présentée de manière plus avancée pour le premier couple « Indicateur/Variable » testé. Celui-ci corrèle en l'occurrence la mise en œuvre de l'indicateur I01 et l'altitude de la zone humide. Les résultats pour les autres couples sont, quant à eux, directement synthétisés en annexe IV. À noter également que les indicateurs I12 et I13 n'ont pas été testés dans la présente partie. Un simple regard préliminaire sur le jeu de données des sites tests a effectivement mis en évidence le fait que ces deux indicateurs ont chacun pu être mesurés sur tous les sites tests, quelque soit donc les caractéristiques de ces derniers. Ainsi, nul besoin de conduire les tests Khi-deux de contingence pour démontrer que la mise en œuvre des indicateurs I12 et I13 est indépendante des variables du milieu.

1.1. Principe détaillé

Sont ici déroulées les conditions générales et les étapes de calcul du Khi-deux, nécessaires pour aboutir à la conclusion finale de dépendance ou d'indépendance entre les éléments du premier couple « Indicateur/Variable » testé. L'hypothèse initiale (H_0) suppose que la mise en œuvre de l'indicateur I01 ne dépend pas de l'altitude de la zone humide, que ces critères sont indépendants. À l'inverse, l'hypothèse alternative (H_1) prétend qu'il existe une relation statistique entre eux. Grâce aux données des sites tests, il est possible de mettre en forme les valeurs observées. Le tableau 7 en présente les résultats alors que le 8 quantifie les valeurs théoriques, calculées à partir des fréquences expérimentales.

I01 Altitude (m)	Mis en œuvre	Non mis en œuvre	Total
[0 ; 100[	27	6	33
[100 ; 500[	57	24	81
[500 ; 1000[	28	13	41
[1000 ; 2000[	27	7	34
> 2000	4	5	9
Total	143	55	198

Tableau 7 : valeurs observées de la mise en œuvre de l'indicateur I01 et des classes d'altitude rencontrées parmi les 198 sites tests

I01 Altitude (m)	Mis en œuvre	Non mis en œuvre	Total
[0 ; 100[	$143 \cdot 33 / 198 \approx 23,83$	$55 \cdot 33 / 198 \approx 9,17$	33
[100 ; 500[	$143 \cdot 81 / 198 = 58,50$	$55 \cdot 81 / 198 = 22,50$	81
[500 ; 1000[	$143 \cdot 41 / 198 \approx 29,61$	$55 \cdot 41 / 198 \approx 11,39$	41
[1000 ; 2000[	$143 \cdot 34 / 198 \approx 24,56$	$55 \cdot 34 / 198 \approx 9,44$	34
> 2000	$143 \cdot 9 / 198 = 6,50$	$55 \cdot 9 / 198 = 2,50$	9
Total	143	55	198

Tableau 8 : valeurs théoriques de la mise en œuvre de l'indicateur I01 et des classes d'altitude rencontrées parmi les 198 sites tests

D'une manière générale, le Khi-deux observé d'un échantillon d'expérience pris isolément se calcule d'après la formule suivante : $\chi^2 = (\text{fréquence observée} - \text{fréquence théorique})^2 / \text{fréquence théorique}$ (Greenwood, 1996). Dans le cas des sites tests dont l'altitude est comprise entre 0 et 100 m, et où l'indicateur I01 a pu être mis en œuvre, le χ^2 est par exemple égal à $(27 - 23,83)^2 / 23,83 \approx 0,42$. Les résultats pour les autres échantillons de sites tests sont indiqués dans le tableau 9 :

I01 Altitude (m)	Mis en œuvre	Non mis en œuvre	Total
[0 ; 100[	0,42	1,10	1,52
[100 ; 500[	0,04	0,10	0,14
[500 ; 1000[	0,09	0,23	0,32
[1000 ; 2000[	0,24	0,63	0,87
> 2000	0,96	2,50	3,46
Total	1,75	4,56	6,31

Tableau 9 : valeur des Khi-deux observés des échantillons de sites tests

Le degré de liberté dl de l'expérience dépend du nombre c de colonnes et du nombre l de lignes du tableau de contingence duquel s'approchent les tableaux 7 à 9 ; il est égal à $(c - 1) * (l - 1)$ (Tenenhaus, 2007). Ici, $dl = (2 - 1) * (5 - 1) = 4$. De plus, 95 % est un intervalle de confiance usuellement considéré en statistiques (Foucart, 2013). Selon la table de l'annexe V, le fractile de la loi du Khi-deux approprié à un degré de liberté de 4 et à un intervalle de confiance de 95 % est : $\chi^2_{4dl; 0,95} \approx 9,49$. Pour valider H_0 , il faut que la valeur de ce fractile soit supérieure à la somme totale des Khi-deux observés, en l'occurrence 6,31 (voir tableau 9). C'est le cas ici donc H_0 est validée : la mise en œuvre de l'indicateur I01 et l'altitude du site test sont des variables indépendantes. En d'autres termes, l'altitude d'une zone humide ne justifie pas la possibilité d'y déployer ou non l'indicateur.

1.2. Sous R...

Maintenant que le principe général est détaillé, il faut savoir qu'il est possible d'obtenir les mêmes résultats d'une façon sensiblement plus rapide en mobilisant le logiciel statistique R. Le jeu de données considéré, prénommé Dataset sous R, est alors le même que précédemment, à savoir les colonnes « I01 » et « Altitude » pour les 198 lignes représentant les différents sites tests. Deux uniques lignes de commande permettent d'obtenir directement l'équivalent du tableau 7. Plus précisément, la fonction « `summary` » répartit les sites tests par classe de chaque variable (équivalent des cellules vertes des tableaux 7 et 8). La ligne de commande « `table(Dataset[,1] , Dataset[,2])` » produit ensuite le tableau de contingence relatif aux deux variables prises en compte par Dataset (équivalent des cellules jaunes). « `Dataset[,1]` » représente en fait la première colonne du jeu de données, soit la variable « I01 », tandis que « `Dataset[,2]` » en symbolise la colonne « Altitude ». La figure 8 illustre les résultats des deux premières lignes de commande pour Dataset.

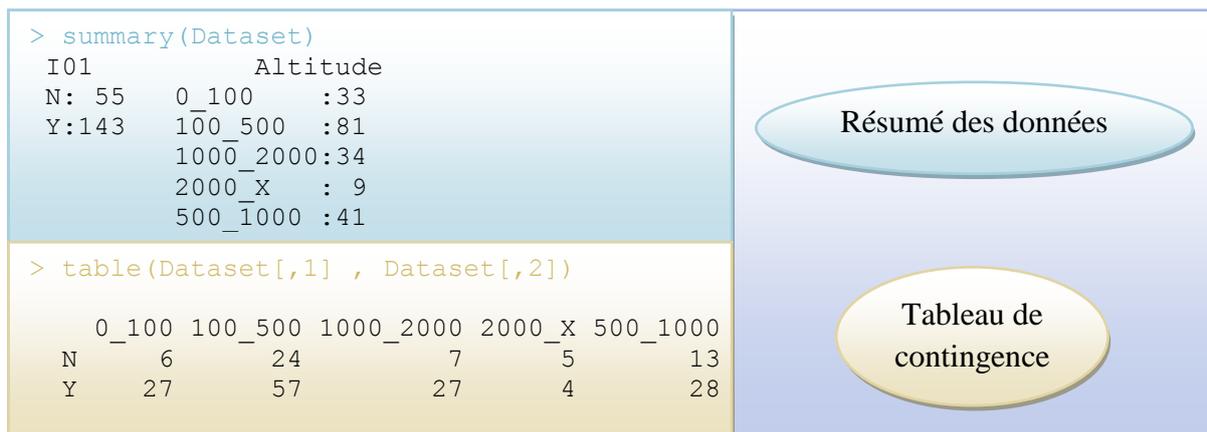


Figure 8 : résumé des données et tableau de contingence pour le couple « I01/Altitude » (Dataset)

Comme son nom le laisse supposer, c'est à partir du tableau de contingence que le test Khi-deux de contingence se calcule sous R. Cela se fait au moyen de la fonction « `chisq.test` ». La ligne de commande « `chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))` » conduit donc aux résultats du test. La somme des Khi-deux observés par échantillon (X-squared) et le degré de liberté (df) de l'expérience sont directement renseignés par rapport à la procédure plus progressive de la sous-partie précédente. La conclusion du test dépend de la valeur de la probabilité critique (p-value). Pour un intervalle de confiance de 95 %, H_0 est validée si la valeur de la probabilité critique est supérieure à 0,05. La figure 9 présente les résultats finaux du test Khi-deux de contingence pour Dataset, et corrobore par la même occasion ceux obtenus en III.A.1.1.1. :

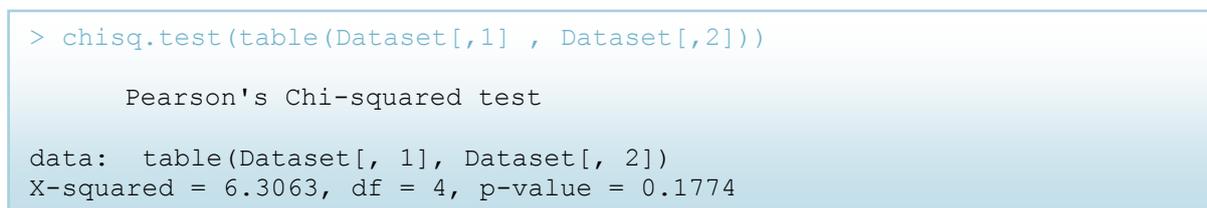


Figure 9 : résultats du test Khi-deux de contingence pour le couple « I01/Altitude » (Dataset)

1.3. Résultats pour tous les couples « Indicateur/Variable » possibles

Une fois qu'un test Khi-deux de contingence a été conduit pour chaque couple « Indicateur/Variable » envisageable à partir des huit caractéristiques des zones humides et des neuf indicateurs considérés, les valeurs des différentes probabilités critiques obtenues déterminent quels indicateurs voient leur mise en œuvre dépendre de certaines caractéristiques des milieux. Les résultats précis des tests sont repris de façon exhaustive en annexe IV mais le tableau 10 synthétise déjà la dépendance ou l'indépendance de la mise en œuvre des indicateurs vis-à-vis de chaque caractéristique des zones humides connue :

Indicateurs Variables	I01	I02	I03	I05	I06	I08	I09	I10	I11
Altitude									
Climat									
Étage									
Géologie									

Géomorphologie									
Surface									
Type SDAGE									
Zone biogéographique									
Résultats des tests Khi-deux de contingence par couple « Indicateur/Variable »									
Dépendance avérée :									
Indépendance avérée :									

Tableau 10 : dépendance ou indépendance entre la mise en œuvre des indicateurs et les caractéristiques des zones humides

2. Caractérisation des relations

À ce stade, seule l'existence de plusieurs relations de dépendance entre certains indicateurs et certaines caractéristiques des zones humide est démontrée. La nature et le sens de ces relations sont donc encore à déterminer pour finaliser l'approche globale des tests de contingence. L'objectif final de la méthode étant la construction d'une clé dichotomique, il faut notamment déterminer, pour chaque cas de dépendance avérée par le Khi-deux, quelles conditions des caractéristiques des milieux dirigent systématiquement soit vers la mise en œuvre de l'indicateur engagé, soit, à l'inverse, vers sa non-application. Ce sont alors les tableaux de contingence qui peuvent fournir les renseignements nécessaires à cette identification. Par exemple, dans le cas des couples « I05/Altitude » et « I05/Surface », la relation de dépendance entre les composantes de chaque couple est avérée (voir tableau 10), et les tableaux de contingence correspondants sont les suivants (figure 10) :

<pre>> table(Dataset[,1] , Dataset[,2])</pre>						
0_100	100_500	1000_2000	2000_X	500_1000		
N	21	77	27	7	32	
Y	12	4	7	2	9	
<pre>> table(Dataset[,1] , Dataset[,2])</pre>						
0_1	1_10	10_100	100_500	1000_X	500_1000	
N	12	46	71	21	7	7
Y	0	10	11	11	2	0

Figure 10 : tableaux de contingence pour les couples « I05/Altitude » et « I05/Surface »

Pour le premier couple « I05/Altitude », le tableau de contingence démontre que malgré l'existence établie d'une relation de dépendance entre la mise en œuvre de l'indicateur I05 et l'altitude de la zone humide, aucune classe d'altitude n'empêche entièrement l'application de l'indicateur : I05 a pu être déployé sur des sites tests appartenant à toutes les catégories d'altitude. La dépendance entre les deux composantes du couple n'est donc pas assez « marquée » pour configurer la clé dichotomique ; leur relation statistique n'est plus prise en compte. À l'inverse, le tableau de contingence du couple « I05/Surface » montre que l'indicateur n'a pu être déployé sur aucun des sites tests dont la surface est strictement comprise entre 0 et 1 ou entre 500 et 1000 hectares. Sachant depuis le tableau 10 que l'indicateur I05 et la surface des zones humides ne sont pas indépendants, il semble logique d'intégrer à la clé dichotomique finale les conditions stipulant que si la surface de la zone humide est comprise entre 0 et 1 ou entre 500 et 1000 hectares, alors l'indicateur I05 n'est pas à préconiser. Sans tenir compte des relations des autres indicateurs avec cette même

caractéristique des milieux, la portion de clé dichotomique correspondant aux seules conditions précédentes est schématisée en figure 11 :

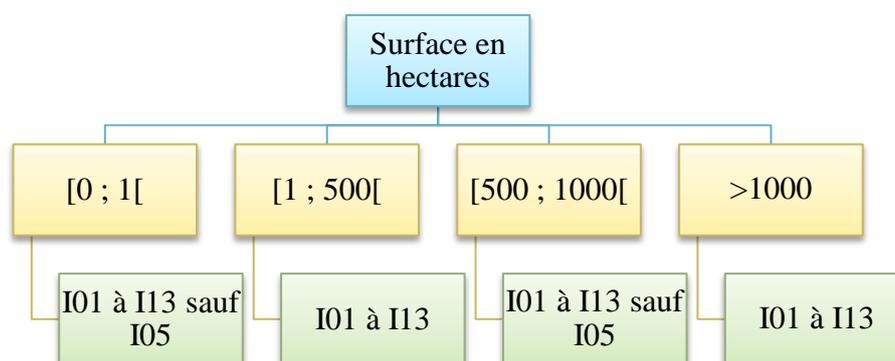


Figure 11 : partie de clé dichotomique appliquée à la relation entre la mise en œuvre de l'indicateur I05 et la surface des zones humides

Pour les autres couples « Indicateur/Variable » dont les deux composantes ont une relation de dépendance avérée, les tableaux de contingence sont étudiés de façon similaire. Le tableau 11 différencie les relations significativement dépendantes entre l'indicateur et la variable pour l'élaboration de la clé dichotomique finale. Il s'agit des couples pour lesquels la dépendance est à la fois avérée et dont certaines valeurs de la caractéristique de la zone humide empêchent systématiquement la mise en œuvre de l'indicateur sur le milieu. La dernière colonne du tableau 11 précise alors pour chacun de ces couples les conditions exactes discriminant l'indicateur.

Couple « Indicateur/Variable » avec relation de dépendance avérée	Caractère significatif pour construire la clé dichotomique	Conditions discriminatoires de la variable vis-à-vis de la mise en œuvre de l'indicateur
I05/Altitude		
I09/Altitude		
I10/Altitude		
I11/Altitude		
I05/Climat	X	Cévenol, montagnard, océanique et océanique dégradé
I09/Climat	X	Cévenol, montagnard, océanique et océanique dégradé
I10/Climat	X	Cévenol
I11/Climat	X	Cévenol
I10/Étage		
I05/Géologie	X	Grès et sédiments glaciaires
I09/Géologie	X	Grès et sédiments glaciaires
I11/Géologie	X	Détritique carbonaté
I10/Géomorphologie		
I11/Géomorphologie		
I05/Surface	X	De 0 à 1 hectare De 500 à 1000 hectares
I09/Surface	X	De 0 à 1 hectare De 500 à 1000 hectares
I10/Surface		
I02/Type SDAGE	X	Type 4
I03/Type SDAGE	X	Types 3, 4, 5, 6, 8 et 11
I05/Type SDAGE	X	Types 9, 11 et 13

I06/Type SDAGE	X	Type 4
I08/Type SDAGE	X	Type 4
I09/Type SDAGE	X	Types 9, 11 et 13
I10/Type SDAGE		
I11/Type SDAGE	X	Types 3 et 4
I02/Zone biogéographique		
I05/Zone biogéographique	X	Zone continentale, méditerranéenne occidentale et pyrénéenne
I06/Zone biogéographique		
I08/Zone biogéographique		
I09/Zone biogéographique	X	Zone continentale, méditerranéenne occidentale et pyrénéenne
I10/Zone biogéographique		
I11/Zone biogéographique	X	Zone pyrénéenne

Tableau 11 : relations entre la mise en œuvre des indicateurs et les caractéristiques des zones humides significativement dépendantes pour construire la clé dichotomique

3. Construction de la clé dichotomique

Le tableau 11 conduit à la clé dichotomique représentée en figure 12 sur la page suivante. L'ordre des caractéristiques des zones humides choisi pour construire la clé permet d'être très sélectif dès le départ au niveau des indicateurs, et donc de simplifier la lecture de l'ensemble de l'outil. Par souci de place, en revanche, la clé n'est pas totalement retranscrite ; le trait épais en pointillés signifie la coupure vis-à-vis de la version complète...

B. Suivi du bassin RM

1. Indicateur I03 : dynamique hydrologique de la nappe – piézomètres

1.1. Principe détaillé

Les différents échantillons de piézomètres susceptibles d'être choisis pour appliquer l'indicateur I03 à l'échelle globale du bassin RM sont sélectionnés selon les quatre hypothèses résumées dans le tableau 4. Ils sont caractérisés, par hypothèse et notamment en termes de répartition par région du bassin, dans les annexes VI à X. N'est détaillée ci-dessous que l'obtention des résultats du test Khi-deux de représentativité de l'échantillon pour la première hypothèse. La population recensée sur l'ensemble du bassin RM compte $N = 76$ piézomètres BRGM, répartis dans cinq régions du territoire. L'échantillon déterminé par les conditions de l'hypothèse 1 compte $n = 42$ piézomètres pris dans chaque région. Le tableau 12 présente les répartitions respectives de la population et de l'échantillon par région du bassin.

Régions de RM	Bourgogne	Franche-Comté	Languedoc-Roussillon	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Rhône-Alpes	Total
Population	12	8	54	1	1	76
Échantillon	3	0	38	0	1	42

Tableau 12 : répartitions, par région du bassin RM, de l'ensemble des piézomètres BRGM recensés et de l'échantillon de piézomètres sélectionnés selon l'hypothèse 1

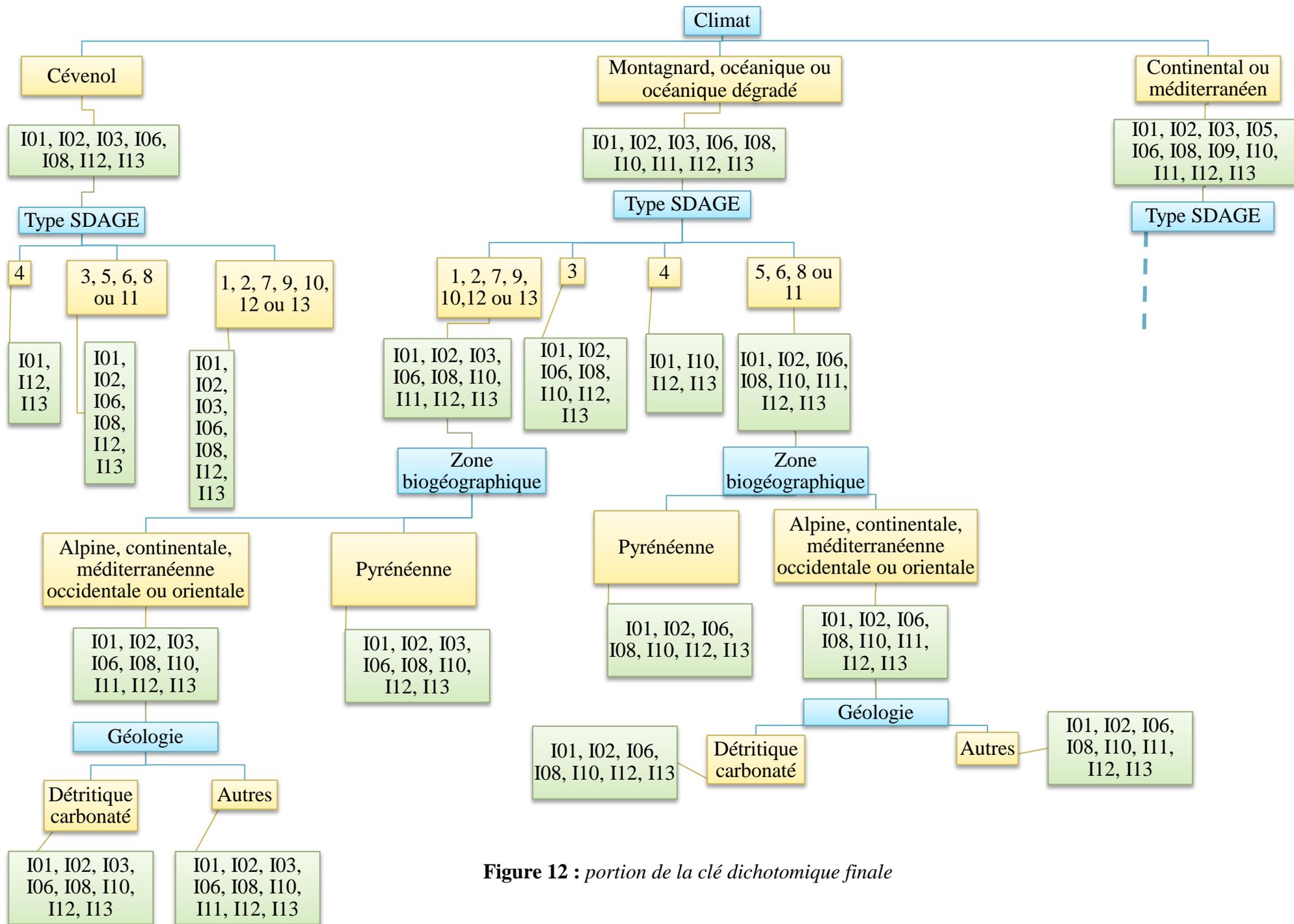


Figure 12 : portion de la clé dichotomique finale

La fraction d'échantillonnage est ici de $f = 42/76 \approx 0,55$. Le Khi-deux classique est la somme des composantes $(n_i - f * N_i)^2 / (f * N_i)$ (Greenwood, 1996). En sommant les $k = 5$ composantes, $\chi^2_{\text{classique}} \approx 9,43$. Cependant, ce Khi-deux n'est pas adapté à un échantillon de population finie ; il faut multiplier sa valeur par un facteur de population global (Laurencelle, 2012). Celui-ci est $(N - 1) / (N - n) = (76 - 1) / (76 - 42) \approx 2,20$. D'où $\chi^2_{\text{corrigé}} \approx 20,75$. Pour $k - 1 = 4$ degrés de liberté et un intervalle de confiance de 95 %, le fractile de la loi de Khi-deux est par ailleurs égal à $\chi^2_{4dl; 0,95} \approx 9,49$ (voir annexe V). D'où $\chi^2_{4dl; 0,95} < \chi^2_{\text{corrigé}}$. L'hypothèse initiale d'indépendance est donc invalidée, et l'échantillon de l'hypothèse 1 est bien représentatif de la population en termes de répartition par région du bassin RM.

1.2. Résultats pour toutes les hypothèses envisagées

De la même façon, les Khi-deux « corrigés » obtenus pour les autres hypothèses sont de 20,75 (hypothèse 2), 17,51 (3) et 22,64 (4). Le $\chi^2_{4dl; 0,95}$ reste dans tous les cas égal à environ 9,49. Cela signifie que toutes les hypothèses conduisent à des échantillons représentatifs du bassin. Le plus grand écart avec la valeur du $\chi^2_{4dl; 0,95}$ s'observant avec l'hypothèse 4, celle-ci produit la représentativité optimale parmi les quatre options. Au niveau des coûts de mise en œuvre de l'indicateur, cette dernière hypothèse est la plus exigeante. D'après la BAO RhoMéO, 500 € sont effectivement nécessaires par an et par site pour déployer I03. Comme l'hypothèse 4 fait référence à 50 sites (cf. annexe X), le coût de mise en œuvre de l'indicateur selon ce scénario revient à 25 000 € par an. À titre de comparaison, l'hypothèse 3 renvoie à un coût annuel de 23 500 € (47 sites) tandis que les hypothèses 1 et 2 correspondent chacune à 21 000 € par an (42 sites respectivement). Toutefois, en considérant les 450 millions d'euros de budget annuel de l'AE RMC, les 1500 € de différence entre les hypothèses 1 et 2, 3 et 4 apparaissent plus que négligeables ; ils en représentent moins de 0,0004 %. La fréquence d'application de l'indicateur est sinon identique quelque soit le scénario envisagé : relevé des données et calcul de l'indicateur tous les ans, interprétation de l'évolution tous les cinq ans (RhoMéO, 2014). L'hypothèse 4 semble donc la plus raisonnable à déployer pour optimiser le suivi global du bassin RM au moyen de l'indicateur I03.

2. Indicateurs I12 et I13 : pressions de l'artificialisation et de pratiques agricoles

2.1. Hypothèse des SAGE

La figure 13 ci-après localise la répartition des SAGE au sein du bassin RM suivant leur état d'avancement. Dans le test du Khi-deux, la population est l'ensemble des SAGE du bassin RM. Pour l'indicateur I12, l'échantillon regroupe ceux qui sont à la fois entièrement mis en œuvre et situés sur les départements les plus dynamiques en termes d'artificialisation. D'après la figure 7b, il s'agit en l'occurrence des départements 01, 06, 13, 25, 30, 34, 38, 42, 68, 69, 74, 83, 84 et 90. Pour l'indicateur I13, le principe d'échantillonnage est le même, mais en considérant cette fois les départements 01, 06, 07, 11, 30, 34, 69, 74 et 90. La figure 7a atteste en effet qu'il s'agit des plus dynamiques du bassin RM au niveau de l'évolution des surfaces agricoles. Dans les deux cas, la représentativité des échantillons est toujours testée à travers la répartition par région du bassin, et huit d'entre elles disposent justement de SAGE. Il y a donc huit composantes à sommer pour calculer le Khi-deux dans chaque cas. Ainsi, le degré de liberté de l'expérience est ici de $8 - 1 = 7$. L'intervalle de confiance reste le même (95 %) donc la valeur à comparer avec celle du Khi-deux corrigé est la suivante : $\chi^2_{7dl; 0,95} \approx 14,07$. *Nota bene* : un SAGE est compté x fois s'il se situe sur x départements différents car les indicateurs I12 et I13 s'applique à l'échelle départementale et non à celle des SAGE.

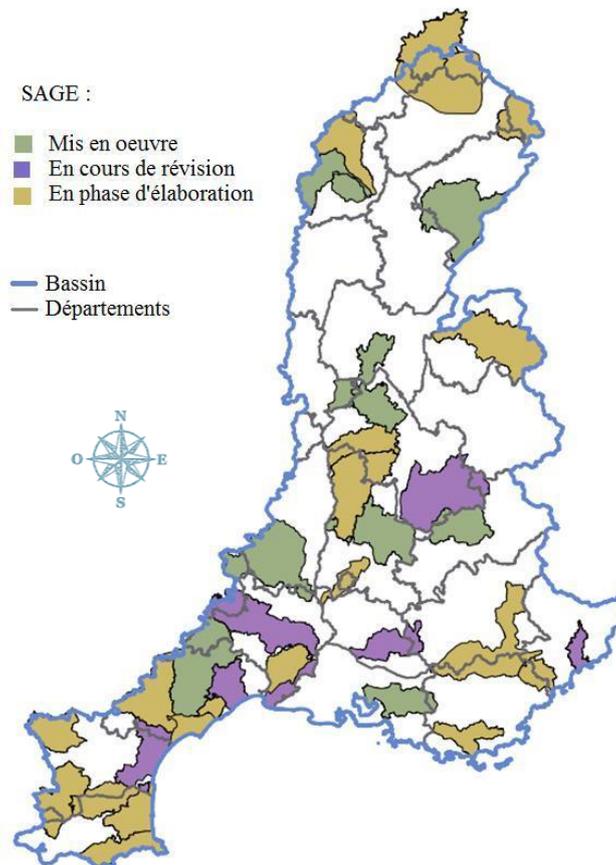


Figure 13 : carte des SAGE répartis par état d'avancement et par région du bassin RM (1 : 1 900 000)

Avec la même démarche que pour les précédents tests, le Khi-deux corrigé est d'environ 6,40 pour l'indicateur I12 ($\chi^2_{\text{corrigé}; I12} \approx 6,40$) et d'environ 5,17 pour I13 ($\chi^2_{\text{corrigé}; I13} \approx 5,17$). D'où $\chi^2_{7dl; 0,95} > \chi^2_{\text{corrigé}; I12} > \chi^2_{\text{corrigé}; I13}$. L'hypothèse est donc invalidée ; les échantillons de SAGE ne sont pas suffisamment représentatifs du bassin pour justifier la mobilisation des indicateurs I12 et I13 à l'échelle du territoire avec ce modèle.

2.2. Hypothèse des SCoT

Le principe est identique à ce qui a été fait avec les SAGE. La population est cette fois l'ensemble des SCoT du bassin RM. Les échantillons suivant l'indicateur I12 ou I13 sont les schémas approuvés et situés sur les mêmes départements définis en **III.B.2.2.1**. Ici, sept régions du bassin RM sont munies de SCoT. Il y a donc 7 composantes à sommer pour calculer le Khi-deux. Ainsi, le degré de liberté de l'expérience est de $7 - 1 = 6$. L'intervalle de confiance étant toujours de 95 %, la valeur à comparer avec celle du Khi-deux corrigé est la suivante : $\chi^2_{6dl; 0,95} \approx 12,59$. En l'occurrence, $\chi^2_{\text{corrigé}; I12} \approx 15,80$ et $\chi^2_{\text{corrigé}; I13} \approx 17,71$. D'où $\chi^2_{6dl; 0,95} < \chi^2_{\text{corrigé}; I12} < \chi^2_{\text{corrigé}; I13}$: les échantillons de SCoT pour I12 et I13 sont représentatifs du bassin. La représentativité de l'échantillon pour I13 est encore plus importante que celle pour l'indicateur I12. De plus, l'échantillon pour I12 fait référence à 32 SCoT répartis sur 11 départements différents alors que celui pour I13 concerne 20 SCoT sur 9 départements. Sachant par la BAO RhoMéo que les indicateurs de pressions ont chacun un coût annuel de mise en œuvre d'environ 2000 € par département, I13 combine tous les avantages à être employé comme indicateur de bassin par rapport à I12.

IV. Discussion : limites des matériels et méthodes employés et analyse critique des principaux résultats obtenus

A. Tests Khi-deux

Les tests Khi-deux servant à décrire la représentativité des différents échantillons envisagés dans ce mémoire reposent tous sur une même condition de base. Celle-ci appose que les diverses populations de départ (les SAGE/SCoT mis en œuvre dans les départements dynamiques du bassin RM, les 198 sites tests ou les 76 piézomètres BRGM selon le cas et les indicateurs étudiés) représentent déjà parfaitement ce territoire. Les Khi-deux ne caractérisent en effet que la représentativité d'un échantillon vis-à-vis de sa population initiale. De fait, si cette dernière n'est déjà pas suffisamment représentative de RM, les échantillons ne peuvent l'être eux-mêmes.

Pourtant, plusieurs éléments laissent à penser que certaines populations considérées ne représentent pas tout à fait le bassin et ses zones humides dans leur ensemble. La figure 3b montre notamment que certains types SDAGE (4, 8, 12 et 13, par exemple) sont faiblement représentés comparés à d'autres. De même, la figure 3a illustre une localisation des sites tests prédominantes en Savoie plutôt que dans les autres départements du bassin. Là aussi, il aurait d'ailleurs pu être intéressant de tester la répartition des sites tests par région de RM, comme cela a justement été fait pour d'autres échantillons ('piézomètres, etc.). Cela conduit dans tous les cas à apprécier les résultats des tests Khi-deux avec une précaution toute particulière.

À relever également que la représentativité des échantillons n'est approchée qu'au travers de la répartition de leurs éléments constitutifs par région du bassin RM. Cette information est effectivement la seule à être toujours facilement déduite, voire directement fournie, par les sources des données mobilisées pour conduire les tests Khi-deux. Les communes et départements sont, par exemple, renseignés dans l'étude de [Gouisset \(1991\)](#) et dans le recensement communal des SCoT. Ainsi, la répartition par région (plus pertinente pour traiter l'ensemble d'un territoire aussi vaste que RM) se détermine aisément pour tous les échantillons. Cela implique néanmoins d'estimer un second postulat établissant que l'ensemble des propriétés du bassin (l'occurrence des zones humides et des piézomètres, entre autres) sont réparties de façon équilibrée entre les neuf régions du bassin.

D'autres informations que l'appartenance aux régions sont parfois disponibles pour tester la représentativité des échantillons. Par exemple, [Gouisset \(1991\)](#) renseigne aussi l'altitude des piézomètres qu'il recense. Ainsi, une approche de la représentativité des échantillons de piézomètres au niveau des classes d'altitude pourrait être conduite de manière à compléter la vision en termes de régions. Cependant, le tableau 10 établit qu'il n'y a pas de relation de dépendance statistiquement avérée entre l'altitude et l'application de l'indicateur I03. Tester la représentativité de cet échantillon au travers des classes d'altitude n'aurait donc pas été des plus pertinents...

Enfin, il faut savoir que des indicateurs n'ont pas été mesurés sur certains sites tests par manque de compétences, de moyens ou de matériel technique localement. Par exemple, l'indicateur I03 n'a été estimé à la base que sur un nombre restreint de milieux car son coût de mise en œuvre lors de la phase test était trop important. De ce fait, tous les indicateurs n'ont pas été mis en œuvre en fonction des seules possibilités qu'offrent les caractéristiques des zones humides. Cela peut constituer un biais aux résultats des tests Khi-deux.

B. Clé dichotomique

La volonté d'aboutir une clé dichotomique présentant l'avantage de proposer une lecture progressive et facilitée des résultats justifie le choix des tests Khi-deux au lieu d'autres méthodes statistiques pour étudier l'ensemble des relations entre les caractéristiques des zones humides et la mise en œuvre des indicateurs s'explique par. Pour obtenir cet outil, il était indispensable d'étudier une à une les différentes combinaisons entre les caractéristiques connues des zones humides et la mise en œuvre des indicateurs. C'est ce qui a discriminé des procédures plus globales d'analyse de variance, notamment. Avec de simples tests Khi-deux, les couples « Indicateur/Variable » ont pu être approchés de façon individuelle. Les résultats sont alors davantage adaptés à la production d'une clé dichotomique.

Pour rappel, l'annexe II établit quelles actions de restauration modulent quelles caractéristiques des zones humides. D'après les relations entre certaines de ces dernières et la mise en œuvre des indicateurs de la BAO RhoMéO (tel que cela est étudié en **III.A.1.**), ces opérations pourraient intégrer une version optimisée de la clé dichotomique pour guider plus avant le choix des indicateurs à mobiliser sur un milieu.

L'ordre des caractéristiques figurant par ailleurs sur la figure 12 est encore discutable en fonction de la façon dont l'utilisateur souhaite se servir de l'outil. Par défaut, les premières caractéristiques prises en compte par la clé sont celles qui discriminent le plus d'indicateurs au regard du tableau 11. Ainsi, l'arborescence présentée dans ce devoir est la plus simple possible. Cependant, certains utilisateurs pourraient voir un plus grand avantage à mettre au début les caractéristiques des milieux qui ne nécessitent pas de mesures trop contraignantes en termes de temps, de matériel, coûts et compétences. Il peut typiquement s'agir du climat ou de la zone biogéographique, par exemple. Contrairement à la détermination de la géologie ou de la surface d'une zone humide, lesquelles nécessitent effectivement de réaliser des relevés pédologiques détaillés ou de mettre en place le protocole rigoureux détaillé dans la BAO RhoMéO, définir le climat global ou la zone biogéographique où évolue le milieu se fait par simple lecture des outils cartographiques adaptés : typologie climatique du territoire français (Joly *et al.*, 2010), etc. De cette façon, l'utilisateur de l'outil peut lire la clé et arriver à une préconisation d'indicateurs sans nécessairement avoir eu recours à des mesures particulièrement contraignantes.

Globalement, les résultats présentés par la clé dichotomique sont à relativiser pour différentes raisons. Tout d'abord, ils ne prennent en compte que les 198 sites tests pour lesquels des données étaient disponibles. Non seulement il convient donc de s'interroger sur la taille relativement petite de cet échantillon vis-à-vis d'un aussi grand territoire que RM, mais les données relatives aux caractéristiques de ces sites sont en plus assez limitées. En dehors des variables étudiées lors de la conduite des tests Khi-deux, de nombreux autres paramètres écologiques, hydrologiques et physico-chimiques (pH, végétation, etc.), pourtant propres à caractériser les milieux humides (Cowardin *et al.*, 1979), ne figurent pas dans le tableau des données contextuelles des sites tests. De la même façon, les informations sur la mise en œuvre des indicateurs I04 et I07 sur les différents sites manquaient au jeu de données.

C. Piézomètres et sites pour l'application de l'indicateur I03

En ce qui concerne I03 et sa caractérisation en tant qu'indicateur sentinelle pour le suivi global du bassin RM, la méthodologie initialement envisagée a été confrontée à plusieurs freins et sujette à de nombreuses complications dues à un manque de données et de

matériel. La méthode employée aurait effectivement été plus simple s'il avait existé des couches SIG propres aux zones humides et aux piézomètres du bassin. Cela aurait alors permis de recouper directement ces deux entités, et d'obtenir ainsi les milieux humides équipés de piézomètres. Pour sélectionner les plus pertinents pour le déploiement de l'indicateur, il serait alors juste resté à les superposer sur les masses d'eau souterraine pour lesquelles des couches SIG étaient cette fois-ci disponibles. Dans le cas contraire, il aurait malgré tout été possible de cartographier les masses d'eau sous ADES, puis de mettre les cartes à la même échelle avant de les comparer.

Au lieu de cela, il a fallu se reposer sur deux types de supports différents : le travail de [Gouisset \(1991\)](#) et les cartographies interactives des DREAL appartenant au bassin RM. Or, ces outils soulèvent un certain nombre d'interrogations. Pour ce qui est tout d'abord des DREAL, toutes ne renseignent pas la localisation des zones humides de la même manière. Comme le montre la figure 14, la DREAL du Languedoc-Roussillon symbolise les zones humides de la région par des points très localisés ou des zones bien délimitées épousant les lignes d'eau de façon relativement précise. À la même échelle du 2500^e, la DREAL de Bourgogne préfère représenter les zones humides de sa région par de larges zones englobant parfois des routes, des parcelles voire des bois entiers. Il est donc difficile de savoir avec certitude si les grandes zones humides de la DREAL de Bourgogne n'abritent pas en fait plusieurs zones humides plus petites à la façon de la DREAL Languedoc-Roussillon. Cela pourrait influencer sur les effectifs par région des sites pour l'application finale de l'indicateur, et donc moduler grandement les résultats des tests de représentativité.



Figure 14a : zone humide du Gard représentée par la DREAL du Languedoc-Roussillon

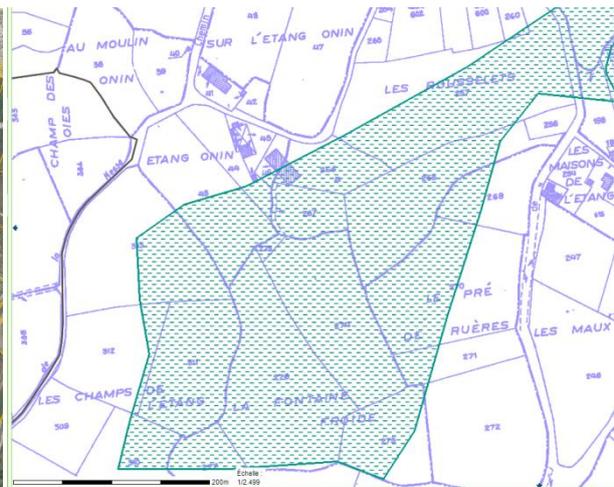


Figure 14b : zone humide représentée par la DREAL de Bourgogne

Figure 14 : cartes interactives thématiques sur les « zones humides » des DREAL du Languedoc-Roussillon et de Bourgogne

[Gouisset \(1991\)](#) ne recense dans le bassin RM que les piézomètres BRGM. Tous les tests conduits sur les échantillons de piézomètres concerne donc ce seul type d'outils. Or, il en existe d'autres réseaux, comme par exemple le RCD (Réseau de Contrôle Départemental) et le RCS (Réseau de Contrôle et de Surveillance). Toutefois, les renseignements relatifs à ces derniers (localisation des piézomètres, etc.) n'ont pas pu être obtenus. Les résultats pour les quatre hypothèses relatives à l'application de l'indicateur I03 s'avèrent conduire à des échantillons de piézomètres, certes strictement BRGM, mais déjà représentatifs du bassin. Toutefois, l'existence d'autres réseaux non pris en compte par les tests de représentativité est

à signaler par souci d'exactitude. L'intégration de piézomètres d'autres réseaux dans les échantillons précédents est effectivement susceptible d'en améliorer la représentativité.

Autre élément nécessitant d'être discuté : les zones tampons de 300 m de rayon autour des piézomètres pour représenter les zones humides. Ce choix est déjà justifié dans la partie **II.B.1.1.1.**, mais il semble important de préciser qu'il pourrait être revu arbitrairement en fonction des cas de figure individuels et des conditions du milieu lors du relevé des mesures. Autrement, la dimension de la zone tampon aurait pu être déterminée, plus qu'interprétée, en faisant la moyenne des surfaces des zones humides à partir données connues pour les sites tests. Simplement, l'idée que ces derniers soient représentatifs des zones humides du bassin en termes de surface devient de nouveau implicite sans être avérée pour autant.

Concernant les résultats obtenus pour l'indicateur I03, les quatre hypothèses envisagées sont donc performantes pour proposer des échantillons de zones humides à la fois équipées de piézomètres et représentatives du bassin. Comme argumenté en **III.B.1.1.2.**, l'hypothèse 4 est la plus avantageuse, parce qu'elle conduit à la meilleure représentativité du territoire. Pour la fréquence et les compétences requises, elles sont identiques. Les différences de coûts entre hypothèses sont globalement négligeables car la méthode part du principe que les piézomètres sont déjà installés et performants.

S'il est besoin d'augmenter encore la représentativité de l'échantillon, rien n'empêche la mise en place de nouveaux piézomètres aux endroits stratégiques, dorénavant signifiés en annexe X. À noter néanmoins que l'installation d'un piézomètre sur un site reste une opération relativement onéreuse (entre 1000 et 2000 € d'après la BAO), et ce même si ce coût comprend le suivi de la première année. Il semble donc plus raisonnable, avant de songer à installer de nouveaux outils, de voir si des piézomètres d'autres réseaux que celui du BRGM ne se situent pas déjà sur des zones humides et masses d'eau souterraine d'intérêt définies par l'hypothèse 4. Ceux-ci intégreraient ainsi l'échantillon de sites à prospector pour mesurer l'indicateur I03 à la fréquence préconisée par la BAO pour finalement assurer ce suivi global du bassin RM.

D. Schémas et départements pour l'application des indicateurs de pressions

Pour les indicateurs de pressions I12 et I13, quelques éléments explicatifs peuvent tout d'abord être apportés en ce qui concerne l'indicateur I12 et la figure 7a car le dynamisme des départements en termes de surfaces agricoles est particulier à appréhender. La carte représentée traite du taux de progression de la SAU par département français métropolitain de 1970 à 2009. Globalement, les surfaces agricoles diminuent dans tous les départements du bassin RM. La période étudiée pour la construction de cette carte comprend par ailleurs la création de l'Indemnité Viagère de Départ (IVD), en 1970, et la réforme de la PAC, dans les années 80 et 90 (Antoine & Poulain, 2004). Or, l'IVD a accompagné un basculement vers des modes de culture et d'élevage plus intensifs tandis que la réforme de la PAC a entraîné une modernisation des pratiques agricoles (François Chambaud, siège social de l'AE RMC). Ces deux évolutions ont conduit à une réduction de la main d'œuvre mais aussi des surfaces agricoles. En d'autres termes, plus la diminution de la surface agricole est importante dans un département, plus cela signifie que les effets des procédures de l'IVD et de la PAC y ont été forts, et donc que ce département est dynamique d'un point de vue agricole. C'est pourquoi les départements testés (les plus dynamiques au niveau de l'évolution des surfaces agricoles) sont en fait, de façon *a priori* contradictoire, ceux dont ces surfaces diminuent le plus...

Les résultats pour I12 et I13 peuvent sinon être discutés suivant les catégories de schémas prises en compte et le degré de dynamisme des départements sélectionnés. Pour les SCoT, choisir ceux qui sont approuvés sur les départements avec un taux d'artificialisation de plus de 30 % (pour l'indicateur I12) ou d'évolution des surfaces agricole de plus de - 18 % (I13) est suffisant pour obtenir un échantillon de sites représentatif du bassin. Il n'y a donc pas besoin d'ouvrir les conditions de l'hypothèse initialement testée car même si la représentativité s'en trouverait possiblement augmentée, cela conduirait également à déployer les indicateurs sur plus de départements et donc à augmenter les coûts de mise en œuvre.

Pour les SAGE, choisir ceux entièrement mis en œuvre sur les départements avec un taux d'artificialisation de plus de 30 % (pour l'indicateur I12) ou d'évolution des surfaces agricole de plus de - 18 % (I13) n'est pas suffisant pour obtenir un échantillon de sites représentatif du bassin. Il faudrait donc songer à réduire les conditions restrictives du départ, par exemple considérer les SAGE en cours de révision (voire également ceux en cours d'élaboration) en plus des précédents. De même, intégrer en plus les départements avec un taux d'artificialisation entre 10 et 30 % (I12) ou d'évolution des surfaces agricole de - 18 à - 10 % (I13) sont des scénarii à tester. En deçà de ces pourcentages, la pertinence des départements sélectionnés vis-à-vis des problématiques d'évolution des surfaces agricoles et artificialisées commence à être mise à mal. De plus, il faut garder à l'esprit que, plus les départements sélectionnés au départ sont nombreux, plus le coût de mise en œuvre de l'indicateur est susceptible d'être élevé. Pour aller plus loin, il est en fait possible de tester les autres hypothèses résumées dans le tableau 13 pour voir si certaines conduisent à un échantillon de SAGE représentatifs :

Critères Hypothèses	Taux de progression des surfaces artificialisées (I12)		Taux de progression des surfaces agricoles (I13)		État d'avancement des SAGE		
	Plus de 30 %	De 10 à 30 %	↓ de plus de - 18 %	↓ de - 18 à - 10 %	Mis en œuvre	En révision	En élaboration
1	X		X		X	X	
2	X		X		X	X	X
3	X	X	X	X	X		
4	X	X	X	X	X	X	
5	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 13 : hypothèses sur les critères à prendre en compte pour sélectionner les départements sur lesquels déployer les indicateurs de bassin I12 et I13 (SAGE)

Ces dernières hypothèses n'ont pas été testées car les SCoT strictement approuvés et situés sur les départements dynamiques au niveau des surfaces agricoles ou artificialisées représentent suffisamment le bassin RM pour pouvoir appliquer les indicateurs I12 et I13 sur les départements en question. Il s'agit d'un scénario plus pertinent que l'intégration de départements moins dynamiques ou celle de SAGE en cours de révision ou d'élaboration, susceptibles d'être annulés en cours de procédure.

V. Conclusion

La BAO RhoMÉO, publiée en février 2014 par le CEN de Rhône-Alpes à l'attention des différents gestionnaires des zones humides du bassin RM, décline la nature et le principe de treize indicateurs hydrologiques, biogéochimiques, écologiques, de pressions agricoles et d'artificialisation. Ceux-ci reposent sur des fondements scientifiques bien définis par la littérature et sont proposés aux gestionnaires pour assurer le suivi des milieux écologiquement intéressants (Barnaud, 2007) – mais également vulnérables (Johnston, 1994) – que sont les zones humides.

Afin de mobiliser cette batterie d'indicateurs de façon raisonnée, l'AE RMC a souhaité concevoir des outils permettant de sélectionner, pour une même zone humide, ceux dont la mise en œuvre est adaptée, à la fois aux éventuelles problématiques environnementales, mais aussi aux actions de restauration écologique qui y sont possiblement menées. De cette façon, la mesure de l'indicateur discriminé assure un suivi du milieu pertinent vis-à-vis des objectifs de gestion poursuivis par l'AE RMC.

Un travail complémentaire commandité par l'AE RMC consistait à déterminer quel(s) indicateur(s) de la BAO il serait cette fois pertinent de déployer à l'échelle du bassin RM pour en assurer un suivi global permettant de renseigner l'évolution des grandes problématiques environnementales (réchauffement climatique, etc.) qui en altèrent le fonctionnement biogéochimique, écologique et hydrologique (Boé *et al.*, 2009).

Pour le suivi individuel des zones humides, la clé dichotomique finalement construite repose sur les conditions de mise en œuvre de chaque indicateur en termes de caractéristiques et propriétés des milieux. Elle présente les modalités prises par les paramètres écologiques, physiques et autres des zones humides et qui empêchent ou non l'application de certains indicateurs. Ainsi, la connaissance des paramètres d'une zone humide aboutit, par simple lecture de la clé dichotomique, à une préconisation d'indicateurs pertinents vis-à-vis des caractéristiques propres à ce milieu. Si l'utilisation de l'outil conduit cependant à plusieurs indicateurs possibles, le gestionnaire peut alors décider duquel choisir de façon relativement arbitraire en confrontant par exemple la nature des indicateurs proposés et le type d'actions de gestion ou de restauration intrinsèques au plan de gestion de la zone humide. L'annexe II établit déjà certains liens avec les indicateurs de la BAO RhoMÉO et plusieurs opérations de restauration.

Pour le suivi global du bassin RM, différents scénarii ont été mis en avant au fur et à mesure du mémoire. Ceux-ci sont synthétisés dans le tableau 14 ci-dessous :

Scénarii	Indicateur	Échelle	Coût	Fréquence	χ^2	Compétences requises (nature ; niveau)
1	I03	42 sites (voir annexe VIII)	21 000 €	Relevé et calcul tous les ans, interprétation tous les 5 ans	20,75	Piézométrie ; généraliste à qualifié
2	I03	47 sites (voir annexe IX)	23 500 €	Idem	17,51	Piézométrie ; généraliste à qualifié
3	I03	50 sites (voir annexe X)	25 000 €	Idem	22,64	Piézométrie ; généraliste à qualifié

4	I12	Départements 01, 06, 13, 25, 34, 38, 42, 69, 74, 83 et 84	22 000 €	Tous les 5 ans	15,80	SIG ; généraliste à qualifié
5	I13	Départements 01, 06, 07, 11, 30, 34, 69, 74 et 90	18 000 €	Tous les ans	17,71	SIG ; généraliste à qualifié

Tableau 14 : *les différentes possibilités pour le suivi global du bassin RM, et leur caractérisation par indicateur, échelle, coût, fréquence, représentativité/Khi-deux et compétences requises*

D'après la BAO, le niveau de compétences requises est similaire entre les différents scénarii. Au niveau de la fréquence, tous, en dehors du scénario 4, nécessitent une intervention par an. La représentativité du bassin est, quant à elle, plus forte pour les scénarii 3 et 1, moyenne pour le 5 et le 2, et la plus faible pour le 4. Concernant le coût, les différences sont assez peu significatives. Le moins élevé correspond *a priori* au scénario 5. Mais comme le 4 ne s'applique que tous les 5 ans, il permet en fait à long terme de dépenser moins d'argent pour le suivi du bassin. Globalement, le scénario 3 est à préconiser pour représenter au mieux le territoire, le 4 pour économiser sur les moyens de mise en œuvre au détriment relatif de la représentativité, et le 5 pour obtenir un compromis entre les deux cas précédents. L'absence de différence significative entre les coûts des 3 premiers scénarii laisse en fait apparaître le 1 et le 2 identique au troisième, mais pour une moindre représentativité du bassin.

La préservation des espaces naturels passe par des orientations de gestion qui répondent aux problématiques de ces milieux et que déterminent et font évoluer les opérations de suivi (Perennou *et al.*, 1999). Il est ainsi essentiel d'effectuer un suivi régulier des espaces naturels, adapté aux objectifs de gestion préalablement identifiés et conduits par les gestionnaires, afin d'assurer au final une préservation ciblée et efficace des milieux. C'est ce que propose la présente étude pour les zones humides du bassin RM mais il existe encore de nombreux milieux et habitats naturels menacés (Mittermeier *et al.*, 1999). Ces derniers nécessitent également le déploiement d'outils spécifiques permettant de suivre leur évolution. À l'instar du message transmis dans ce mémoire, ce n'est pas tant l'existence des moyens de suivi qui pose problème (comme l'a montré la BAO RhoMéO, la littérature regorge de techniques, certes peu novatrices, mais robustes) mais bien la façon de choisir les plus adaptées en fonction des conditions des milieux.

Bibliographie

- Adamus, P.R., Stockwell, L.T., 1983. A method for wetland functional assessment: volume 1 – critical review and evaluation concepts. Report FHWA–IP–82–83. Washington, DC, US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Agence de l’Eau Rhône Méditerranée Corse, 2014. Qui sommes-nous ? [en ligne]. Site disponible sur : <http://www.eaurmc.fr/index.php?qui-sommes-nous> (page consultée le 22 août 2014).
- Agreste, 2010. Statistique agricole annuelle 2010 [en ligne]. Site disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gar14p044-063.pdf> (page consultée le 16 mai 2014).
- Allain, S., 2001. Les schémas d’aménagement et de gestion des eaux (SAGE) : une procédure innovante de planification participative de bassin / Participative planning applied to water basins and the management of water resources. Géocarrefour 76, 199–209.
- Antoine, A., Poulain, D. (Eds.), 2004. Histoires et chronologies de l’agriculture française. Ellipses, Paris.
- Barbier, E.B., 2011. Wetlands as natural assets. Hydrological Sciences Journal 56, 1360–1373.
- Barnaud, G., 1991. Qu'est-ce qu'une zone humide ? Compte-rendu des avis d'experts, Définition scientifique et juridique. Muséum National d'Histoire Naturelle – Laboratoire d'Évolution des Systèmes Naturels et Modifiés, 10 p.
- Barnaud, G., 2007. Conserver les milieux humides: pourquoi? comment?, Sciences en partage. Quæ éditions ; Educagri éditions, Versailles : Dijon.
- Blandin, P., 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin d’écologie, tome 17, n°4.
- Boé, J., Terray, L., Martin, E., Habets, F., 2009. Projected changes in components of the hydrological cycle in French river basins during the 21st century: CLIMATE CHANGE AND HYDROLOGICAL CYCLE IN FRANCE. Water Resources Research 45, n/a–n/a.
- Boyd, J., Banzhaf, S., 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics 63, 616–626.
- Cans, C., Billet, P., Dejean, E., 2007. Code de l’environnement. Dalloz, Paris.
- Changeux, T., Pont, D., 1995. Current status of the riverine fishes of the French Mediterranean basin. Biological Conservation 72, 137–158.
- Cizel, O., 2010. Protection et gestion des espaces humides et aquatiques, Guide juridique d’accompagnement des bassins de Rhône-Méditerranée et de Corse. Groupe d’Histoire

des Zones Humides, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Pôle-relais lagunes méditerranéennes.

Comité de bassin Rhône-Méditerranée, 2009. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010–2015 approuvé par le Préfet coordinateur de bassin le 20 novembre 2009. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes, Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Comité de bassin Rhône-Méditerranée, 2013. État des lieux du bassin Rhône-Méditerranée adopté par le comité de bassin du 8 décembre 2013. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes, Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Commissariat général au développement durable – Service de l'observation et des statistiques, 2012. Résultats de l'enquête nationale à dire d'experts sur les zones humides : État en 2010 et évolution entre 2000 et 2010. Études & documents n°70.

Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Belt, M.V.D., 1998. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25(1), 3–15.

Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F., LaRoe, E.T., 1979. Classification of wetlands and deepwater of the United States. U.S. Fish Wildl. Serv., Off. Biol. Serv. FWS/OBS-79/31.

Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale, 2009. Part et évolution des espaces artificialisés [en ligne]. Site disponible sur : <http://www.datar.gouv.fr/observatoire-des-territoires/fr/part-des-espaces-artificialis%C3%A9s> (page consultée le 07 août 2014).

Desjardins, X., Leroux, B., 2007. Les schémas de cohérence territoriale : des recettes du développement durable au bricolage territorial. *Flux* 69, 6–20.

Fabre, J., 2012. Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, Bilan des connaissances. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

Forum des Marais Atlantiques, 2013. La boîte à outils « zones humides ». Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Foucart, T., 2013. Estimation. In : *Statistique appliquée à la gestion et au marketing* [en ligne]. Site disponible sur : http://foucart.thierry.free.fr/StatPC/livre/Chapitre_5.pdf (page consultée le 14 août 2014).

Greenwood, P.E., 1996. *A guide to chi-squared testing*, Wiley series in probability and statistics. Wiley, New York.

- Gouisset, Y., 1991. Alimentation de la Banque de Bassin Rhône Méditerranée Corse en données signalétiques piézométriques du BRGM [en ligne]. Site disponible sur : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-34029-FR.pdf> (page consultée le 07 juillet 2014).
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1990. Wetland conservation: a review of current issues and required action. IUCN, Gland, Switzerland.
- Jackson, L.L., Lopoukhine, N., Hillyard, D., 1995. Ecological Restoration: A Definition and Comments. *Restoration Ecology* 3, 71–75.
- Jeune Chambre Économique Française, 2011. Guide méthodologique pour une analyse du territoire [en ligne]. Site disponible sur : http://www.jcef.fr/communication/Guide_m%E9thodologique_prospective.pdf (page consultée le 21 août 2014).
- Johnston, C.A., 1994. Cumulative impacts to wetlands. *Wetlands* 14, 49–55.
- Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., Cavailhes, J., Hilal, M., Wavresky, P., 2010. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo*.
- Keddy, P.A., 2010. *Wetland ecology: principles and conservation*, 2nd ed. ed. Cambridge University Press, New York.
- Laurencelle, L., 2012. La représentativité d'un échantillon et son test par le Khi-deux. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology* 8(3), 173–181.
- McLaughlin, D.L., Cohen, M.J., 2013. Realizing ecosystem services: wetland hydrologic function along a gradient of ecosystem condition. *Ecological Applications* 23, 1619–1631.
- Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2011. Les chiffres de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire : L'agriculture dans le territoire. *Alim'Agri Hors-Série*, 25, 14–15.
- Mittermeier, R.A., Cemex, S.A. de C.V., Agrupación Sierra Madre, Conservation International, 1999. *Hotspots: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*, 1st English ed. ed. CEMEX, Mexico City.
- Neckles, H.A., Dionne, M., Burdick, D.M., Roman, C.T., Buchsbaum, R., Hutchins, E., 2002. A Monitoring Protocol to Assess Tidal Restoration of Salt Marshes on Local and Regional Scales. *Restoration Ecology* 10, 556–563.
- Perennou, C., Tomás Vives, P., Jalbert, J., 1999. Concevoir le suivi des zones humides méditerranéennes. Module de formation. *MedWet*.
- Ravier, G.-C., 1979. L'agence de bassin Rhône-Méditerranée-Corse, un outil antipollution prometteur pour Rhône-Alpes ? *Revue de géographie de Lyon* 54, 39–65.

- RhoMéo, 2014. La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. Conservatoire d'Espaces Naturels de Rhône-Alpes.
- Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2013. Le Manuel de la Convention de Ramsar : Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), 6e édition. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.
- Simonnot, J.L., 2013. Quels besoins de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée ? Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.
- Tenenhaus, M., 2007. Statistique : méthodes pour décrire, expliquer et prévoir, 2e éd., Gestion Sup. Dunod, Paris.
- Turner, R.K., 1992. Policy failures in managing wetlands. In: Market and Government Failures in Environmental Management: Wetlands and Forests. OECD, pp. 10–43.
- Wallace, K.J., 2007. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation* 139, 235–246.
- Wallis, C., Blancher, P., Séon-Massin, N., Martini, F., Schoupe, M., 2013. Mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau : Quand les services écosystémiques entrent en jeu, Les rencontres de l'ONEMA, Synthèses de séminaires. Véronique Barre, Sylvie Vieillard, France.
- Wasson, J.G., 1996. Les SDAGE : une approche écosystémique. *La Houille Blanche* 3, 23–26.

Annexes

Annexe I : mise en relation entre constatations, problématiques environnementales et fonctions des zones humides

Constatations	Problématiques	Fonctions et objectifs visés
État de la masse d'eau	Perturbations du milieu physique	Fonctions hydrologiques et hydrauliques
Niveau d'eau anormalement bas, augmentation de la hauteur des berges, systèmes de pompage, canaux de transfert, drains enterrés et ouverts, fossés et sortie de drains enterrés	Assèchement (drainage, endiguement, poldérisation, prélèvement d'eau)	Recharge des nappes, soutien du caractère humide
Accumulation de matières en suspension, sédimentation importante, transport sédimentaire anormalement élevé et turbidité non négligeable	Atterrissement (envasement, comblement, remblaiement)	Restauration et soutien du caractère humide
Niveau d'eau anormalement bas ou élevé (crue, inondation, sécheresse, tempête)	Événement hydrologique ou climatique exceptionnel	Régulation des inondations, soutien des cours d'eau en étiage
Création ou modification des berges et des digues, approfondissement et/ou élargissement du lit, tracé rectiligne	Travaux de restructuration (recalibrage, etc.)	Ralentissement du ruissellement, dissipation des forces érosives
État de l'eau et des espèces hygrophiles	Altérations de la qualité des eaux	Fonctions biogéochimiques
Mortalité massive de poissons ou autres espèces	Anoxie	Oxygénation de l'eau
Mortalité massive d'oiseaux	Botulisme	Réduction de la propagation de la maladie
Prolifération excessive des végétaux, grande accumulation de sédiments	Eutrophisation	Réduction des apports d'azote organique et minéraux
	Modification de la composition de l'eau	Maintien d'un milieu oligotrophe
Baisse du pH, développement de plantes acidophiles (châtaignier, chêne-liège, digitale pourpre, etc.)	<i>Acidification</i>	
Hausse de la salinité, développement de plantes halophiles (salicornes, spartines, etc.)	<i>Salinisation</i>	
	Pollution chimique	Diminution des pollutions
Vidange, dégazage et déballastage de bateaux, marée noire	<i>Par les hydrocarbures</i>	
Teneur élevée en pesticides	<i>Par les produits phytosanitaires</i>	

État de la zone humide	Fonctionnement des écosystèmes	Fonctions biologiques et écologiques
Berges pauvres en végétation, zones en surplomb, effondrements	Érosion des berges	Végétalisation et renaturation des berges pour la dissipation des forces érosives
Artificialisation, milieu homogène, matériaux inertes, expansion urbaine et agricole	Perte d'habitats	Ouverture et protection du milieu, maintien d'un milieu ouvert et d'une mosaïque d'habitats
	Pressions anthropiques	Gestion des activités humaines et valorisation socio-économique
Champs cultivés, bétail, aménagements pour l'élevage (abreuvoir, etc.)	<i>Agriculture</i>	Gestion des pratiques agricoles
Résidences, industries, nuisances sonores, infrastructures de transport	<i>Urbanisation</i>	Végétalisation et renaturation de la zone humide

Annexe II : mise en relation entre problématiques environnementales, fonctions des zones humides et opérations de restauration

Problématiques	Fonctions et objectifs visés	Opérations préconisées				
Perturbations du milieu physique	Fonctions hydrologiques et hydrauliques	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Assèchement (drainage, endiguement, poldérisation, prélèvement d'eau)	Recharge des nappes, soutien du caractère humide	Effacement de drainage	Contrôle et limitation des prélèvements d'eau	Gestion des niveaux d'eau par des ouvrages hydrauliques	Profilage des berges en pente douce	Relèvement des débits réservés (cours d'eau)
Atterrissement (envasement, comblement, remblaiement)	Restauration et soutien du caractère humide	Extraction des sédiments accumulés	Recreusement de mares et de bras fluviaux	Suppression de remblais		
Événement hydrologique ou climatique exceptionnel	Régulation des inondations, soutien des cours d'eau en étiage	Gestion des niveaux d'eau par des ouvrages hydrauliques	Préservation de la dynamique fluviale et de l'espace de liberté (cours d'eau)			
Travaux de restructuration (recalibrage, etc.)	Ralentissement du ruissellement, dissipation des forces érosives	Préservation de la dynamique fluviale et de l'espace de liberté (cours d'eau)	Profilage des berges en pente douce			
Altérations de la qualité des eaux	Fonctions biogéochimiques	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Anoxie	Oxygénation de l'eau	Préservation de la dynamique fluviale et de l'espace de liberté (cours d'eau)				
Botulisme	Réduction de la propagation de la maladie	Broyage et fauche avec exportation de biomasse	Curage des sédiments pollués	Étrépage et décapage		

Eutrophisation	Réduction des apports d'azote organique et minéraux	Broyage et fauche avec exportation de biomasse	Contrôle des rejets autour des zones humides	Création de talus et plantation de haies en limite de zones humides	Étrépage et décapage	
Modification de la composition de l'eau	Maintien d'un milieu oligotrophe					
<i>Acidification</i>		Chaulage				
<i>Salinisation</i>		Drainage				
Pollution chimique	Diminution des pollutions					
<i>Par les hydrocarbures</i>		Broyage et fauche avec exportation de biomasse	Contrôle des rejets autour des zones humides	Création de talus et plantation de haies en limite de zones humides	Curage des sédiments pollués	Étrépage et décapage
<i>Par les produits phytosanitaires</i>		Broyage et fauche avec exportation de biomasse	Changement des pratiques agricoles	Contrôle des rejets autour des zones humides	Création de talus et plantation de haies en limite de zones humides	Curage des sédiments pollués
Fonctionnement des écosystèmes	Fonctions biologiques et écologiques	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Érosion des berges	Végétalisation et renaturation des berges pour la dissipation des forces érosives	Ensemencement, semis, plantation ou favorisation de la colonisation spontanée	Préservation d'une bande non cultivée de 10 m de large le long des cours d'eau	Replantation et conservation des ripisylves		
Perte d'habitats	Ouverture du milieu, maintien du milieu ouvert et d'une mosaïque d'habitats	Abattage d'arbres et d'arbustes	Défrichage, déboisement de zones colonisées par arbres et arbustes	Étrépage et décapage	Fauche/broyage sur des végétations herbacées/denses	Pâturage extensif

Pressions anthropiques	Gestion des activités humaines et valorisation socio-économique					
<i>Agriculture</i>	Gestion des pratiques agricoles	Préservation d'une bande non cultivée de 10 m de large le long des cours d'eau	Fauche/broyage sur des végétations herbacées/denses	Pâturage extensif		
<i>Urbanisation</i>	Végétalisation et renaturation de la zone humide	Ensemencement, semis, plantation ou favorisation de la colonisation spontanée				

Annexe III : extraction réalisée par Émilie Lunaud des opérations de restauration financées par l'AE RMC

N°	Nom de l'opération	Typologie de ZH	Nature du porteur	Délégation de l'agence	Écorégion	Thématique	Opérations
1	Grand étang de Pontoux	8 Régions d'étangs	CG	15 BES	Plaine de la Saône et de la Bresse	ENS	Création de vannage, Création ou réfection de fossé, Déboisement de l'intérieur d'un fossé Réalisation de radier, débroussaillage, Etrepage, Création de petites mares, Désouchage
2	Bassin versant de la Lemme Marais de la Savine	5 et 6 Alluviales	PNR		Plateaux jurassiens	N2000 Restauration morphologie du cours d'eau	
3	Réhabilitation du Merlue et de son marais	7 Têtes de bassin	PNR		Plateaux jurassiens	Milieux forestiers	
4	Marais de Saône	10 Marais, landes de plaines et plateaux	Syndicat mixte		Plateaux jurassiens	Milieux forestiers Drainage Pollution N2000	Neutralisation de drains, Réouverture de milieu, Entretien par pâturage, Entretien par Fauche, Conversion des peuplements forestiers, Eradication de la renoué
5	Gravière (ENS de Geneuille)	13 ZH artificielles	CG		Plaine de la Saône et de la Bresse	ENS Gravière Réhabilitation plan d'eau	Gyrobrage, Fauche tardive te export, Obturation de drains, Diversification d'écoulement en lit mineur, Rétention d'eau dans la zone humide, Diminution de l'impact des seuils (installation de paliers), Bucheronnage léger, Plantation de haie en lutte contre l'érosion, Aménagement de baissière, Réouverture alimentation en eau amont

6	Gravière de Pagney	13 ZH artificielles	Commune		Plaine de la Saône et de la Bresse	Gravière	Création de mares, Lutte contre les invasives, Fauche tardive, Lutte contre le piétinement (pâturage extensif, installation d'abreuvoirs et de clôture le long du cours d'eau), maintien des haies en bordure
7	Tourbière du Lac des Rouges Truites	7 Têtes de bassin	CREN		Haute - Chaîne du Jura	Reméandrage Bonne dynamique locale	
8	Tourbière du Mou de pleure	7 Têtes de bassin	CREN		Plaine de la Saône et de la Bresse	Drainage Implication locale difficile	
9	Tourbière de la Grande Pile	7 Têtes de bassin	CREN		Dépression périvosgienne	RNR Bonne dynamique locale	
10	Tourbière de Pellevin	7 Têtes de bassin	CREN		Dépression périvosgienne	Assainissement Implication locale difficile	
11	Milieux forestiers et zones humides de la Noire Potte	7 Têtes de bassin	Syndicat mixte		Plaine de la Saône et de la Bresse	Milieux forestiers AAC	Maintien de l'ouverture des mégaphorbiais, Entretien d'une mare, Mise en place de bandes enherbées, Reconversion de cultures en prairies,
12	Etang à Corbenay	8 Régions d'étangs	Commune		Collines de Haute-Saône	Continuité Dérivation d'étangs	
13	Prairies de Gevigney Mercey	5 et 6 Alluviales	Syndicat mixte		Collines sous vosgiennes	Recréation de prairies humides	
14	Etang Vaillant	8 Régions d'étangs	FD Chasse		Plaine de la Saône et de la Bresse		Reprofilage de berges, Coupe de la strate arborescente, Création de chenaux par broyage, Création de clairière d'eau libre dans la roselière de l'étang, Coupe et dessouchage des ligneux, Réalisation d'assecs prolongés (étangs), Création de mares, Reménadrage du fossé du pré rabus,

							Réhabilitation de mares, Dérivation de l'eau vers un ancien bief aval de l'étang, Réalimentation du méandre de la Darge, Nettoyage des ouvrages hydrauliques, Entretien des fossés d'alimentation, Faucardage de la châtaigne d'eau, Export des espèces invasives,
15	Marais Panessière	12 Marais agricoles	FD Chasse			Réouverture (anciens résineux)	Coupe d'épicéa, Comblement de drains, Reméandrage du cours d'eau, Eclaircissement de la strate arbustive, Restauration de pentes douce (mares), Lutte contre le solidage géant,
16	Site alluvial de l'Arve	5 et 6 Alluviales	CEN	19 DRA	Rhône amont	Pollution Mobilité Latérale Etangs	Réalimentation en eau de 2 bras de l'Arve, Résolument impact de la pollution,
17	Réhydratation Chautagne	5 et 6 Alluviales	CEN		Rhône amont	Eau souterraine Hydroélectricité Pratiques agricoles Drainage	Curage des fossés d'amenées, Entretien des diguettes, Débroussaillage des diguettes, Test de destruction de la Bourdaine, Etude des effets d'une remise en eau des terrains sur le niveau de la nappe superficielle
18	Zone humide des plots	7 Têtes de bassin	Commune		Vallées des Basses Cévennes et bordure rhodanienne	Production eau potable Activités agricoles	Pâturage extensif, Curer les dépôts eutrophes d'une mare, Suppression de drains, Restaurer les prairies humides (débroussaillage, réouverture, nettoyage), Evaluer l'impact des infrastructures linéaires (routes)

							sur la qualité de l'eau, le ruissellement, et la ressource en eau souterraine
19	ENS de l'Etang du mouchet	8 Régions d'étangs	Communauté de communes		Plaine alluviale du Rhône et de l'Isère	ENS ZH Etang piscicole	
20	Restauration des fossés de la Chalaronne en Dombes	8 Régions d'étangs	Syndicat mixte		Dombes	Etang piscicole Fonctionnement hydraulique anthropique	Evaluer l'état de la végétation en bords de fossés, Optimiser la fonction piège des fossés vis-à-vis du transit de MES,
21	Marais des Lagneux à Yenne	5 et 6 Alluviales	Commune CEN		Rhône amont		
22	Zones humides de St Martin de Belleville	7 Têtes de bassin	CEN		Massifs des Alpes internes	Milieux alpins Tourisme, Loisirs	
23	11 zones humides identifiées sur la commune de Vimines	5 et 6 Alluviales 7 Têtes de bassin	Agglomération CEN		Rhône amont		
24	Zones humides de Virieu le Grand, St Martin de Bavel & Belmont-Luthézieu	11 Zones humides ponctuelles	FD Chasse		Côtes calcaires Est	Mares, Desenvasement	
25	Lande tourbeuse des Oignons	10 Marais 11 ZH ponctuelle	CEN		Plaine de la Saône et de la Bresse	Mares Biodiversité Usages agricoles	
26	RNR Isles du Drac	5 et 6 Alluviales	Syndicat mixte		Plaine alluviale du Rhône et de l'Isère	RNR Mobilité latérale Quantité Ressource souterraine	
27	Plaine du Regard	11 Zones humides ponctuelles	CEN		Garrigues subcévenoles	Réseau de Mares	
28	Tourbière de Cerin	11 Zones humides ponctuelles	CEN		Haute - Chaîne du Jura	Mares Non intervention Usages agricoles Espèces invasives	
29	Réseau de tourbières du Plateau de Montselgues	11 Zones humides ponctuelles	CEN		Mont Lozère et Hautes-Cévennes	Mares Usages agricoles N2000	

N°	Nom de l'opération	Typologie de ZH	Nature du porteur	Délégation de l'agence	Ecorégion	Thématique	Opérations
30	Marais de la Haute Versoix et de Brou	7 Têtes de bassin 11 Zones humides ponctuelles	CEN	19 DRA	Rhône amont	Tourbières et Mares Usages agricoles et Forestiers Qualité eaux N2000	
31	Les ZH de tête de bassin et dans la vallée de la Galaure	5 et 6 Alluviales 7 Têtes de bassin	ONF		Collines molassiques entre Rhône et Isère	Forêt Enjeu quantitatif Chasse	
32	Plans de gestion ZH _Contrat corridors biologiques Bauges Chartreuse	5 et 6 Alluviales	Agglomération CEN		Plaine alluviale du Rhône et de l'Isère	TVB	
33	Elaboration d'un plan d'action " Zones humides du Val Gelon"	5 et 6 Alluviales	Communauté de communes CEN				
34	Reméandrage du ruisseau de Nécuidet et réhydratation du marais	5 et 6 Alluviales	CEN			Reméandrage Réhydratation marais	
35	Réserve naturelle de Sainte Lucie	3 Marais et lagunes côtiers	CELRL PNR	7 L-R	La Narbonnaise	RNR Biseau salé Qualité eaux Milieu forestier Gestion anthropique	
36	La Sagnette	3 Marais et lagunes côtiers	Syndicat mixte		Plaine alluviale méditerranéenne	Agriculture N2000 Cabanisation Chasse	
37	Prairies Humides sur les Prades	5 et 6 Alluviales	Chambre d'agriculture		Plaine alluviale méditerranéenne	MAE Agriculture Canaux irrigation	
38	Espace Naturel Sensible "Bac Pégulier"	7 Têtes de bassin	CG		Pyrénées orientales	Forêt Tourbière N2000 ENS	
39	ZH de Tartuguière	3 Marais et lagunes côtiers	CG		Plaine alluviale méditerranéenne	N2000 ENS Liens ZH/lagunes Martellières	
40	Salins du Castellas	3 Marais et lagunes côtiers	CELRL Marais du Vigueirat		Plaine littorale méditerranéenne	Mares méditerranéennes N2000	
41	Site naturel protégé des Salines de Villeneuve-lès-Maguelone	3 Marais et lagunes côtiers	Syndicat mixte		Plaine littorale méditerranéenne	Liens ZH/lagunes Gestion anthropique N2000	Restaurer et entretenir les mares temporaires existantes (curage partiel, veille qualité eaux, arrivant sur la

							mare, mise en défens, lutte prolifération populations piscicoles), Suivi des niveaux d'eau, Entretenir les digues – les roubines et canaux principaux (léger curage),)maintenir le rôle ponctuel de la zone d'expansion de crue, Lutter contre le comblement des cayrelles (permet d'éviter un battage de l'eau trop important), réduire les pollutions d'origines agricoles, Favoriser la continuité hydrologique sur le bassin versant, Participer à la lutte contre les cabanisations et les décharges sauvages,
42	Salins d'Hyères	3 Marais et lagunes côtiers	CELRL Pnat Commune	6 PACA	Collines des Maures et l'Estérel	Anthropisation Tourisme	
43	Etang salé de Courthézon	3 Marais et lagunes côtiers	Commune CEN		Plaine alluviale méditerranéenne	ENS Ruissellement Périlagunaires	
44	Plan de Phazy	11 Zones humides ponctuelles	CBN CEN		Préalpes du Dauphiné	N2000 Pré salé Source thermale	
45	Prairies humides de l'Enchrême	5 et 6 Alluviales	Commune CEN		Collines et massif du Luberon	MAET/Agriculture	
46	Plaine des maures	11 Zones humides ponctuelles	CEN		Collines des maures et de l'Estérel	ZH ponctuelles	
47	Lac de roue	9 Petits plans d'eau et bordures de plans d'eau	CEN		Massif des Alpes internes	ZH en montagne	
48	Etang de Biguglia	3 Marais et lagunes côtiers	Syndicat mixte	4 Corse	Corse	Biseau salé/Aquifère RNN, SAGE Qualité	Installation de clôture pour limiter l'impact du pâturage, maintenir les échanges mer-lagunes, Maintenir le débit minimum biologique et restaurer la continuité

							écologique du Bevincu, Maintenir et améliorer le fonctionnement des canaux de drainage dans le respect des contraintes écologiques du milieu, Ouverture du grau, Réduire les sources de pollutions en périphérie immédiate de la réserve, curage du canal du Fortin, Lutte contre surpâturage, le piétinement des animaux, les écobuages, les rejets en éléments nutritifs ou encore l'érosion des berges, Impacts du pâturage, Maintenir et améliorer le fonctionnement des canaux de drainage dans le respect des contraintes écologiques du milieu, quantification des flux de polluants issus du bassin versant, Veille de la qualité des eaux
49	Etang de Tanchiccia/ma rais de Pistigliolo (secteur golfe Valinco)	9 Petits plans d'eau et bordures de plans d'eau	CG		Corse	Etang Patrimonial	
50	Etang d'Urbino	3. Marais et Lagunes côtiers	CEL OEC		Corse	N2000, Lagunes Ostréiculture, Pêche	
51	Tre Padule	11 Zones humides ponctuelles	OEC		Corse	ZH ponctuelles	
52	Plan de gestion du Syndicat du Haut Rhône	5 et 6 Alluviales	CONIB	2 Fleuve Rhône	Côtes calcaires Est	Lônes	
53	Site des 2 rives : Ile du Beurre	5 et 6 Alluviales	CONIB		Plaine alluviale du Rhône et de l'Isère	Lônes	

Annexe IV : résultats des Khi-deux pour tous les couples « Indicateur/Variable »

Couples « Indicateur / Variable »	Résultats du test Khi-deux	Couples « Indicateur / Variable »	Résultats du test Khi-deux
I01/Altitude	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.3063, df = 4, p-value = 0.1774	I06/Géomorphologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.9501, df = 7, p-value = 0.8896
I01/Climat	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.5893, df = 5, p-value = 0.763	I06/Surface	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.2393, df = 5, p-value = 0.2836
I01/Étage	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 0.5869, df = 3, p-value = 0.8994	I06/Type SDAGE	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 17.3817, df = 9, p-value = 0.04306
I01/Géologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 5.2088, df = 11, p-value = 0.9206	I06/Zone biogéographique	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 15.3328, df = 4, p-value = 0.004059
I01/Géomorphologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 5.9543, df = 7, p-value = 0.5451	I08/Géologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.7301, df = 11, p-value = 0.8205
I01/Surface	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.3641, df = 5, p-value = 0.2724	I08/Géomorphologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.9501, df = 7, p-value = 0.8896
I01/Type SDAGE	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 13.2434, df = 9, p-value = 0.1519	I08/Surface	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.2393, df = 5, p-value = 0.2836

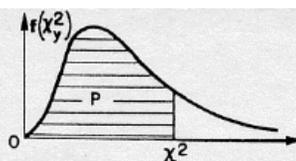
I01/Zone biogéographique	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 14.6893, df = 4, p-value = 0.005391</pre>	I08/Type SDAGE	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 17.3817, df = 9, p-value = 0.04306</pre>
I02/Altitude	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.2956, df = 4, p-value = 0.6816</pre>	I08/Zone biogéographique	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 15.3328, df = 4, p-value = 0.004059</pre>
I02/Climat	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.3331, df = 5, p-value = 0.8014</pre>	I09/Altitude	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 18.1678, df = 4, p-value = 0.001144</pre>
I02/Étage	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 1.9132, df = 3, p-value = 0.5906</pre>	I09/Climat	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 37.5514, df = 5, p-value = 4.643e-07</pre>
I02/Géologie	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.7301, df = 11, p-value = 0.8205</pre>	I09/Étage	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 1.1628, df = 3, p-value = 0.7619</pre>
I02/Géomorphologie	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.9501, df = 7, p-value = 0.8896</pre>	I09/Géologie	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 52.5327, df = 11, p-value = 2.183e-07</pre>
I02/Surface	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.2393, df = 5, p-value = 0.2836</pre>	I09/Géomorphologie	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 14.0447, df = 7, p-value = 0.05039</pre>
I02/Type SDAGE	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I09/Surface	<pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>

	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 17.3817, df = 9, p-value = 0.04306 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>		<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 11.5913, df = 5, p-value = 0.04084 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I02/Zone biogéographique	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 15.3328, df = 4, p-value = 0.004059 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I09/Type SDAGE	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 42.675, df = 9, p-value = 2.473e-06 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I03/Altitude	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 4.911, df = 4, p-value = 0.2966 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I09/Zone biogéographique	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 82.1138, df = 4, p-value < 2.2e-16 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I03/Climat	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 4.438, df = 5, p-value = 0.4882 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I10/Altitude	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 27.1338, df = 4, p-value = 1.868e-05 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I03/Étage	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 0.776, df = 3, p-value = 0.8552 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I10/Climat	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 15.9272, df = 5, p-value = 0.007055 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I03/Géologie	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 5.4829, df = 11, p-value = 0.9055 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I10/Étage	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 12.0952, df = 3, p-value = 0.007064 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I03/Géomorphologie	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 3.6729, df = 7, p-value = 0.8166 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I10/Géologie	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 18.6398, df = 11, p-value = 0.06787 > chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>
I03/Surface	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>	I10/Géomorphologie	<p>Pearson's Chi-squared test</p> <pre>> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2]))</pre>

	data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.5062, df = 5, p-value = 0.7756		data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 21.9973, df = 7, p-value = 0.002543
I03/Type SDAGE	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 19.3525, df = 9, p-value = 0.02236	I10/Surface	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 16.0919, df = 5, p-value = 0.006586
I03/Zone biogéographique	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 8.1964, df = 4, p-value = 0.08464	I10/Type SDAGE	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 18.6308, df = 9, p-value = 0.02852
I05/Altitude	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 18.1678, df = 4, p-value = 0.001144	I10/Zone biogéographique	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 11.9284, df = 4, p-value = 0.01789
I05/Climat	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 37.5514, df = 5, p-value = 4.643e-07	I11/Altitude	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 30.5749, df = 4, p-value = 3.738e-06
I05/Étage	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 1.1628, df = 3, p-value = 0.7619	I11/Climat	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 28.6272, df = 5, p-value = 2.744e-05
I05/Géologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 52.5327, df = 11, p-value = 2.183e-07	I11/Étage	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 5.7297, df = 3, p-value = 0.1255
I05/Géomorphologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test	I11/Géologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test

	data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 14.0447, df = 7, p-value = 0.05039		data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 27.4566, df = 11, p-value = 0.003918
I05/Surface	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 11.5913, df = 5, p-value = 0.04084	I11/Géomorphologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 16.1788, df = 7, p-value = 0.02353
I05/Type SDAGE	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 42.675, df = 9, p-value = 2.473e-06	I11/Surface	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 4.8253, df = 5, p-value = 0.4376
I05/Zone biogéographique	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 82.1138, df = 4, p-value < 2.2e-16	I11/Type SDAGE	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 28.699, df = 9, p-value = 0.0007283
I06/Altitude	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.2956, df = 4, p-value = 0.6816	I11/Zone biogéographique	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 28.4731, df = 4, p-value = 1e-05
I06/Climat	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 2.3331, df = 5, p-value = 0.8014		
I06/Étage	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 1.9132, df = 3, p-value = 0.5906		
I06/Géologie	> chisq.test(table(Dataset[,1] , Dataset[,2])) Pearson's Chi-squared test data: table(Dataset[, 1], Dataset[, 2]) X-squared = 6.7301, df = 11, p-value = 0.8205		

Annexe V: table de distribution du Khi-deux (loi de K. Pearson)

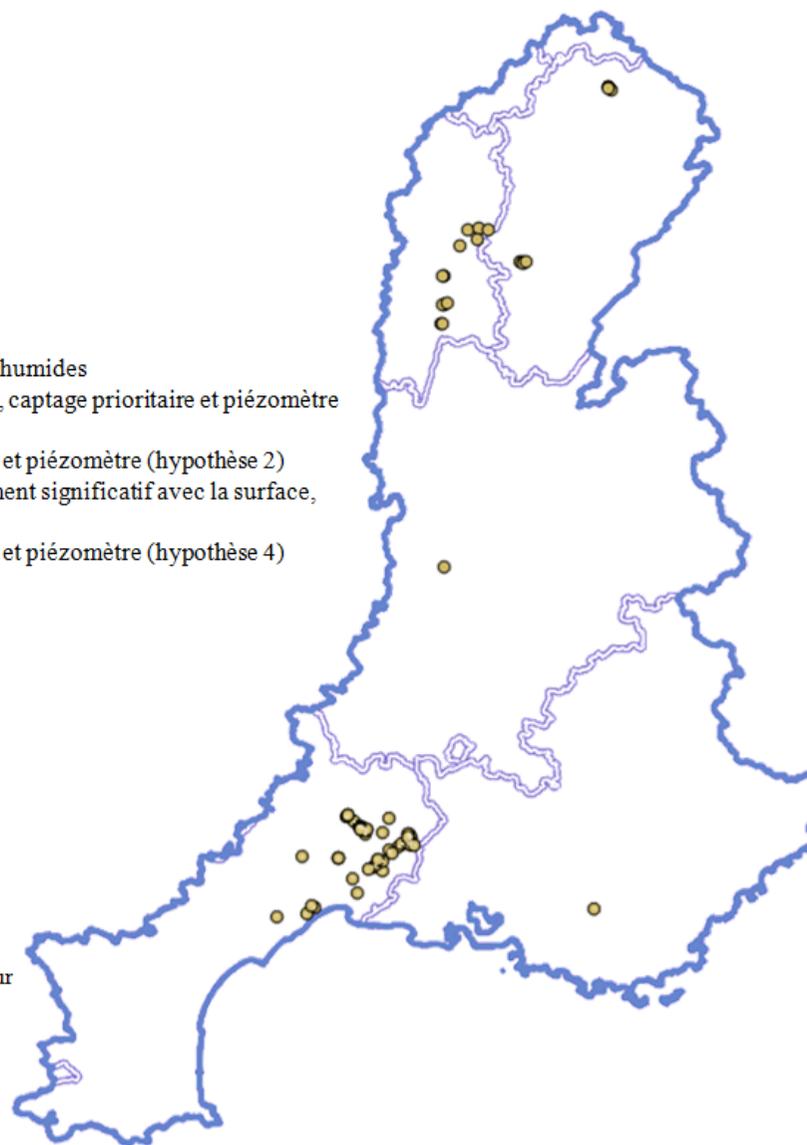
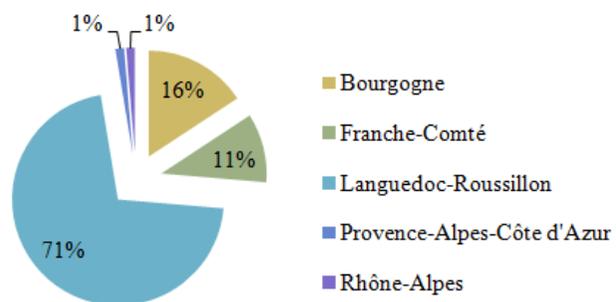


P	0,00050	0,0010	0,0050	0,010	0,0250	0,050	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,950	0,9750	0,990	0,9950	0,9990	0,99950
1	0,00000393	0,0000157	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	0,0158	0,0642	0,148	0,275	0,455	0,708	1,074	1,642	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879	10,828	12,116
2	0,00100	0,00200	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,713	1,022	1,386	1,833	2,408	3,219	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597	13,816	15,202
3	0,0153	0,0243	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,005	1,424	1,869	2,366	2,946	3,665	4,642	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838	16,266	17,730
4	0,0639	0,0908	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	1,649	2,195	2,753	3,357	4,045	4,878	5,989	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860	18,467	19,998
5	0,158	0,210	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	2,343	3,000	3,655	4,351	5,132	6,064	7,289	9,236	11,070	12,832	15,086	16,750	20,515	22,105
6	0,299	0,381	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	3,070	3,828	4,570	5,348	6,211	7,231	8,558	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548	22,458	24,103
7	0,485	0,598	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	3,822	4,671	5,493	6,346	7,283	8,383	9,803	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278	24,322	26,018
8	0,710	0,857	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	4,594	5,527	6,423	7,344	8,351	9,524	11,030	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955	26,125	27,868
9	0,972	1,153	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	5,380	6,393	7,357	8,343	9,414	10,656	12,242	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589	27,877	29,666
10	1,265	1,479	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	6,179	7,267	8,295	9,342	10,473	11,781	13,442	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188	29,588	31,419
11	1,587	1,834	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	6,989	8,148	9,237	10,341	11,530	12,899	14,631	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757	31,264	33,136
12	1,934	2,214	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	7,807	9,034	10,182	11,340	12,584	14,011	15,812	18,549	21,026	23,336	26,217	28,300	32,909	34,821
13	2,305	2,617	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	8,634	9,926	11,129	12,340	13,636	15,119	16,985	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819	34,528	36,478
14	2,697	3,041	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	9,467	10,821	12,079	13,339	14,685	16,222	18,151	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319	36,123	38,109
15	3,108	3,483	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	10,307	11,721	13,030	14,339	15,733	17,322	19,311	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801	37,697	39,719
16	3,536	3,942	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	11,152	12,624	13,983	15,338	16,780	18,418	20,465	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267	39,252	41,308
17	3,980	4,416	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	12,002	13,531	14,937	16,338	17,824	19,511	21,615	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718	40,790	42,879
18	4,439	4,905	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	12,857	14,440	15,993	17,338	18,868	20,601	22,760	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156	42,312	44,434
19	4,912	5,407	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	13,716	15,352	16,850	18,338	19,910	21,689	23,900	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582	43,820	45,973
20	5,398	5,921	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	14,578	16,266	17,809	19,337	20,951	22,775	25,038	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997	45,315	47,498
21	5,896	6,447	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	15,445	17,182	18,768	20,337	21,991	23,858	26,171	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401	46,797	49,010
22	6,405	6,983	8,643	9,542	10,982	12,338	14,041	16,314	18,101	19,729	21,337	23,031	24,939	27,301	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796	48,268	50,511
23	6,924	7,529	9,260	10,196	11,688	13,091	14,848	17,187	19,021	20,690	22,337	24,069	26,018	28,429	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181	49,728	52,000
24	7,453	8,085	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	18,062	19,943	21,652	23,337	25,106	27,096	29,553	33,196	36,415	39,364	42,980	45,558	51,179	53,479
25	7,991	8,649	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	18,940	20,867	22,616	24,337	26,143	28,172	30,675	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928	52,620	54,947
26	8,538	9,222	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	19,820	21,792	23,579	25,336	27,179	29,246	31,795	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290	54,052	56,407
27	9,093	9,803	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	20,703	22,719	24,544	26,336	28,214	30,319	32,912	36,741	40,113	43,194	46,963	49,645	55,476	57,858
28	9,656	10,391	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	21,588	23,647	25,509	27,336	29,249	31,391	34,027	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993	56,892	59,300
29	10,227	10,986	13,121	14,256	16,047	17,708	19,768	22,475	24,577	26,475	28,336	30,283	32,461	35,139	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336	58,302	60,734
30	10,804	11,588	13,787	14,953	16,791	18,493	20,599	23,364	25,508	27,442	29,336	31,316	33,530	36,250	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672	59,703	62,161
31	11,389	12,196	14,458	15,655	17,539	19,281	21,434	24,255	26,440	28,409	30,336	32,349	34,598	37,359	41,422	44,985	48,232	52,191	55,003	61,098	63,582
32	11,979	12,811	15,134	16,362	18,291	20,072	22,271	25,148	27,373	29,376	31,336	33,381	35,665	38,466	42,585	46,194	49,480	53,486	56,328	62,487	64,995
33	12,576	13,431	15,815	17,073	19,047	20,867	23,110	26,042	28,307	30,344	32,336	34,413	36,731	39,572	43,745	47,400	50,725	54,776	57,648	63,870	66,402
34	13,179	14,057	16,501	17,789	19,806	21,664	23,952	26,938	29,242	31,313	33,336	35,444	37,795	40,676	44,903	48,602	51,966	56,061	58,964	65,247	67,803
35	13,788	14,688	17,192	18,509	20,569	22,465	24,797	27,836	30,178	32,282	34,336	36,475	38,859	41,778	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275	66,619	69,198
36	14,401	15,324	17,887	19,233	21,336	23,269	25,643	28,735	31,115	33,252	35,336	37,505	39,922	42,879	47,212	50,998	54,437	58,619	61,581	67,985	70,588
37	15,020	15,965	18,586	19,960	22,106	24,075	26,492	29,635	32,053	34,222	36,336	38,535	40,984	43,978	48,363	52,192	55,668	59,892	62,883	69,346	71,972
38	15,644	16,611	19,289	20,691	22,878	24,884	27,343	30,537	32,922	35,192	37,335	39,564	42,045	45,076	49,513	53,384	56,895	61,162	64,181	70,703	73,351
39	16,273	17,261	19,996	21,426	23,654	25,695	28,196	31,441	33,932	36,163	38,335	40,593	43,105	46,173	50,660	54,572	58,120	62,428	65,476	72,055	74,725
40	16,906	17,916	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	32,345	34,872	37,134	39,335	41,622	44,165	47,269	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766	73,402	76,095
41	17,544	18,575	21,421	22,906	25,215	27,326	29,907	33,251	35,813	38,105	40,335	42,651	45,224	48,363	52,949	56,942	60,561	64,950	68,053	74,745	77,459
42	18,186	19,238	22,138	23,650	25,999	28,144	30,765	34,157	36,755	39,077	41,335	43,679	46,282	49,456	54,090	58,124	61,777	66,206	69,336	76,084	78,820
43	18,832	19,905	22,859	24,398	26,785	28,965	31,625	35,065	37,698	40,050	42,335	44,706	47,339	50,548	55,230	59,304	62,990	67,459	70,616	77,418	80,176
44	19,482	20,576	23,584	25,148	27,575	29,787	32,487	35,974	38,641	41,022	43,335	45,734	48,396	51,639	56,369	60,481	64,201	68,709	71,893	78,749	81,528
45	20,136	21,251	24,311	25,901	28,366	30,612	33,350	36,884	39,585	41,995	44,335	46,761	49,452	52,729	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166	80,077	82,876
46	20,794	21,929	25,041	26,657	29,160	31,439	34,215	37,795	40,529	42,968	45,335	47,787	50,507	54,006	58,774	62,830	66,617	71,201	74,437	81,400	84,220
47	21,456	22,610	25,774	27,416	29,956	32,268	35,081	38,708	41,474	43,942	46,335	48,814	51,562	54,916	59,707	63,639	67,517	71,701	74,937	82,037	84,879
48	22,121	23,295	26,511	28,177	30,755	33,098	35,949	39,621	42,420	44,915	47,335	49,840	52,616	55,993	60,907	65,171	69,023	73,683	76,969	83,037	86,897
49	22,789	23,983	27,249	28,941	31,555	33,930	36,818	40,534	43,366	45,889	48,335	50,866	53,670	57,079	62,038	66,339	70,222	74,919	78,231	84,037	88,231
50	23,461	24,674	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	41,449	44,313	46,864	49,335	51,892	54,723	58,164	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490	86,661	89,561

Annexe VI : localisation des piézomètres BRGM implantés dans ou près d'une ZH dans le bassin RM (1:3 500 000)

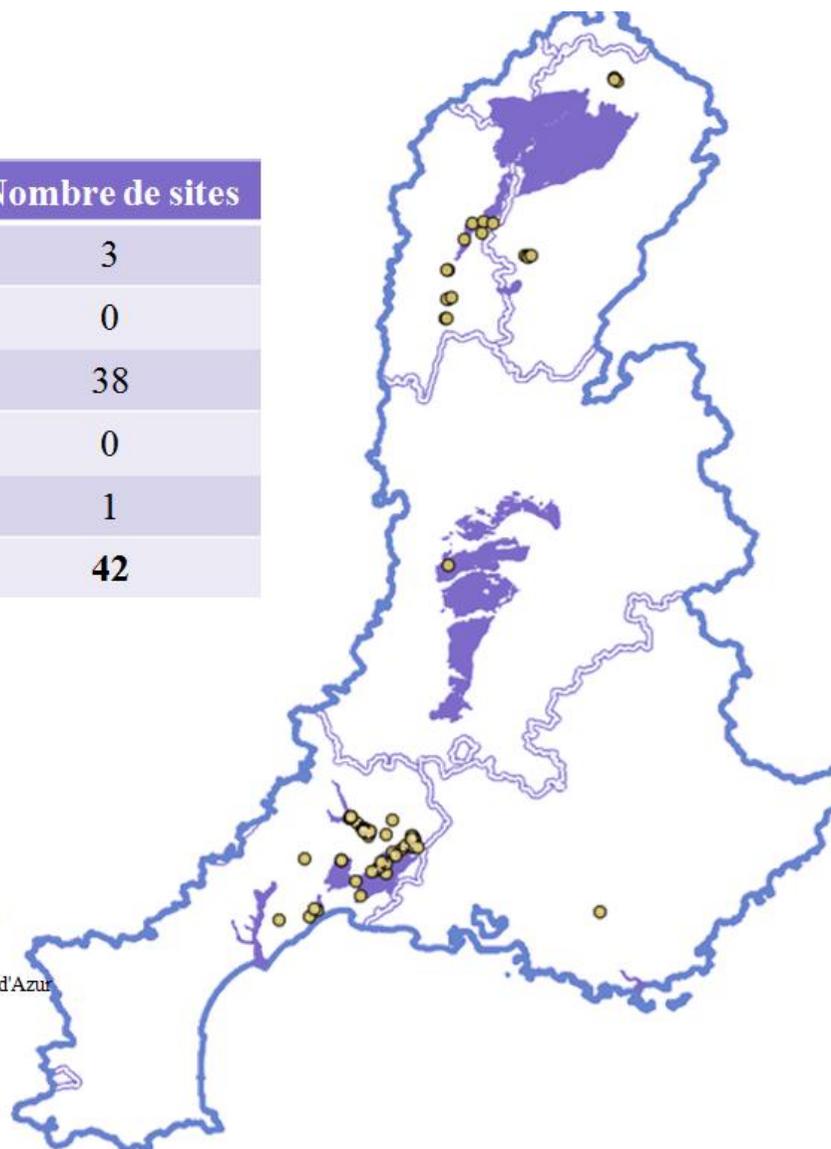
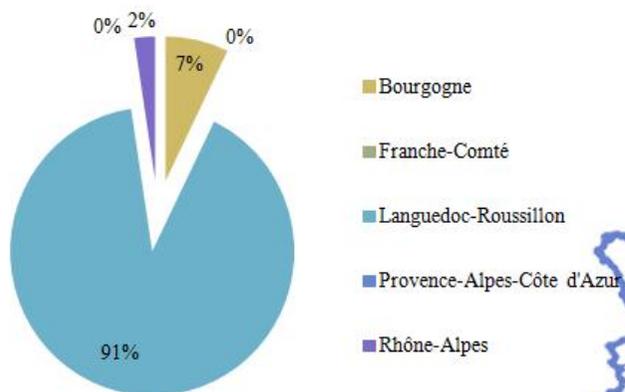
Légende :

- Limites administratives du bassin RM
- Bassin RM découpé par région
- Emplacements des piézomètres BRGM dans ou près de zones humides
- Masses d'eau souterraine avec lien avéré fort avec la surface, captage prioritaire et piézomètre (hypothèse 1)
- Masses d'eau souterraine avec lien avéré fort avec la surface et piézomètre (hypothèse 2)
- Masses d'eau souterraine avec lien avéré fort ou potentiellement significatif avec la surface, captage prioritaire et piézomètre (hypothèse 3)
- Masses d'eau souterraine avec lien avéré fort avec la surface et piézomètre (hypothèse 4)



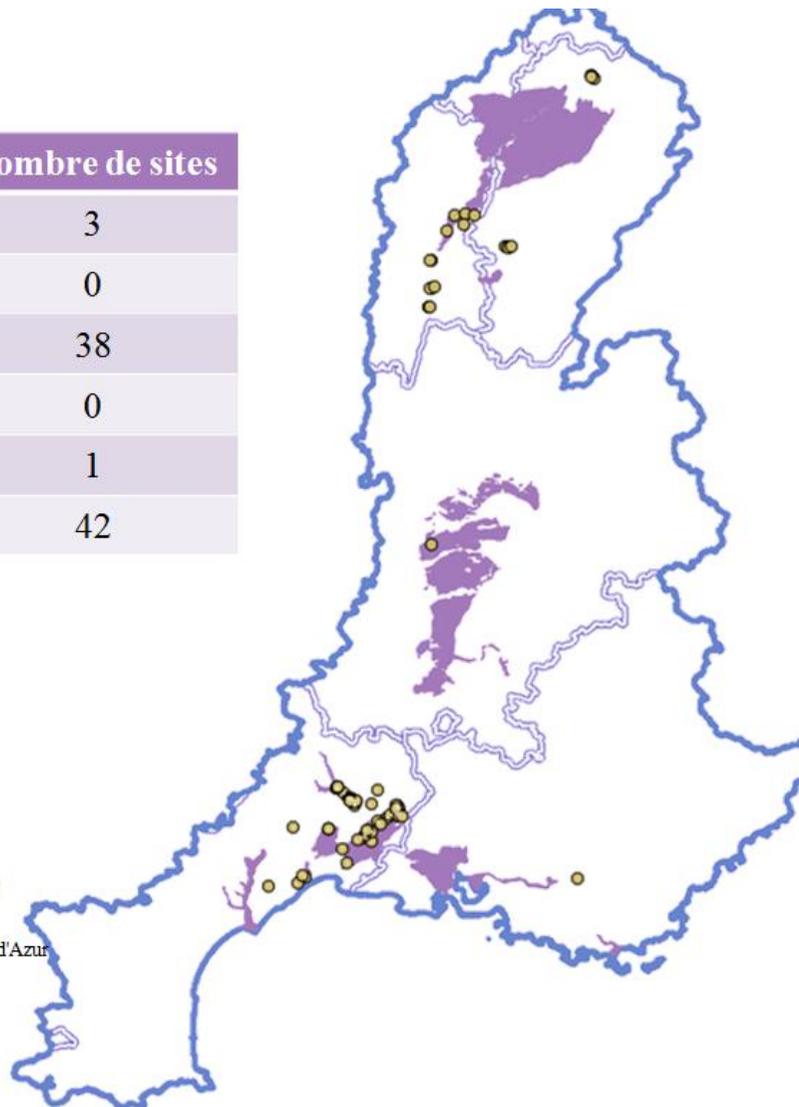
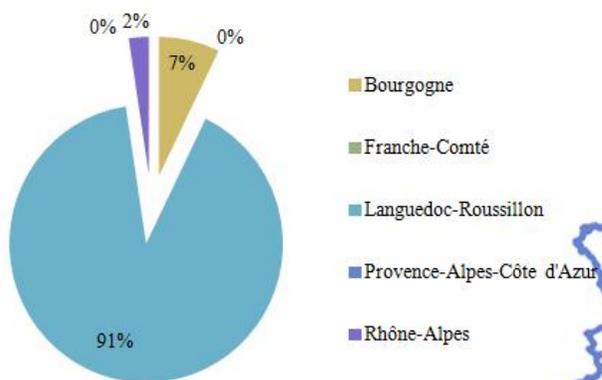
Annexe VII : répartition des piézomètres BRGM sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort avec la surface, captage prioritaire et piézomètre du bassin RM (hypothèse 1, optimale) (1:3 500 000)

Régions	Nombre de sites
Bourgogne	3
Franche-Comté	0
Languedoc-Roussillon	38
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0
Rhône-Alpes	1
Total	42



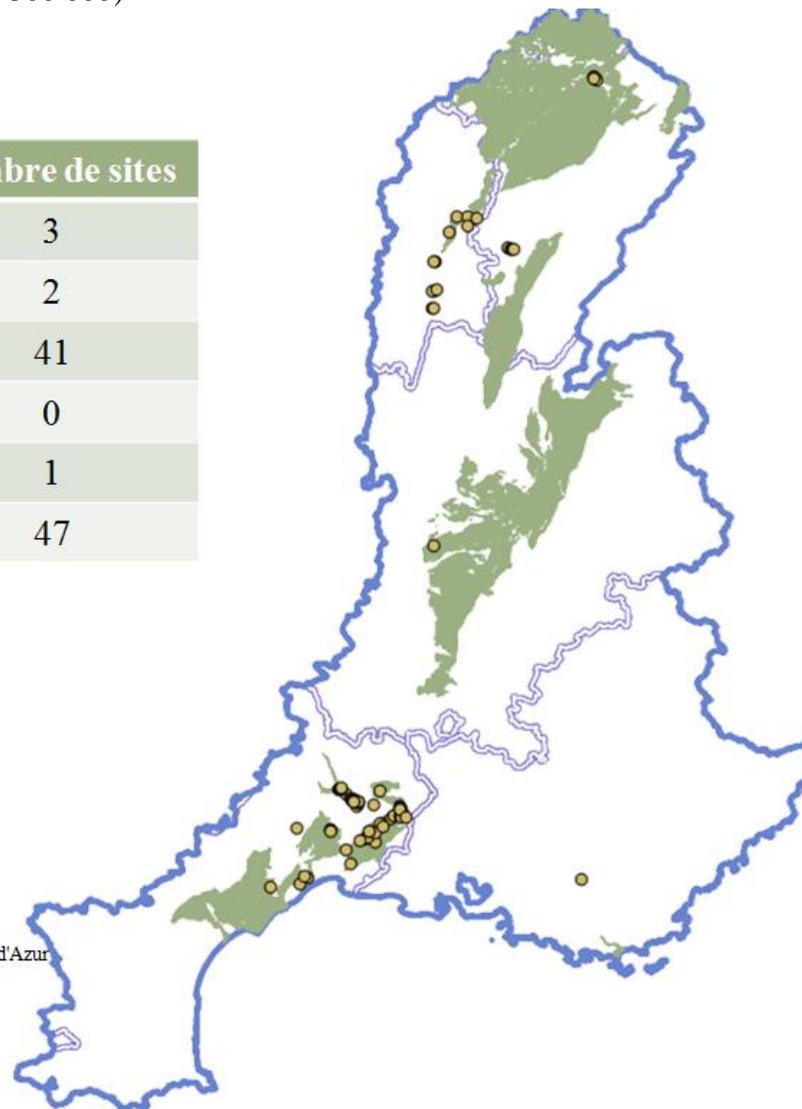
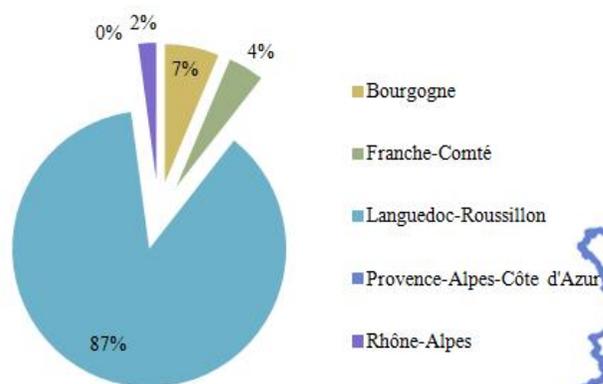
Annexe VIII : répartition des 76 sites sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort avec la surface et piézomètre du bassin RM (hypothèse 2) (1:3 500 000)

Régions	Nombre de sites
Bourgogne	3
Franche-Comté	0
Languedoc-Roussillon	38
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0
Rhône-Alpes	1
Total	42



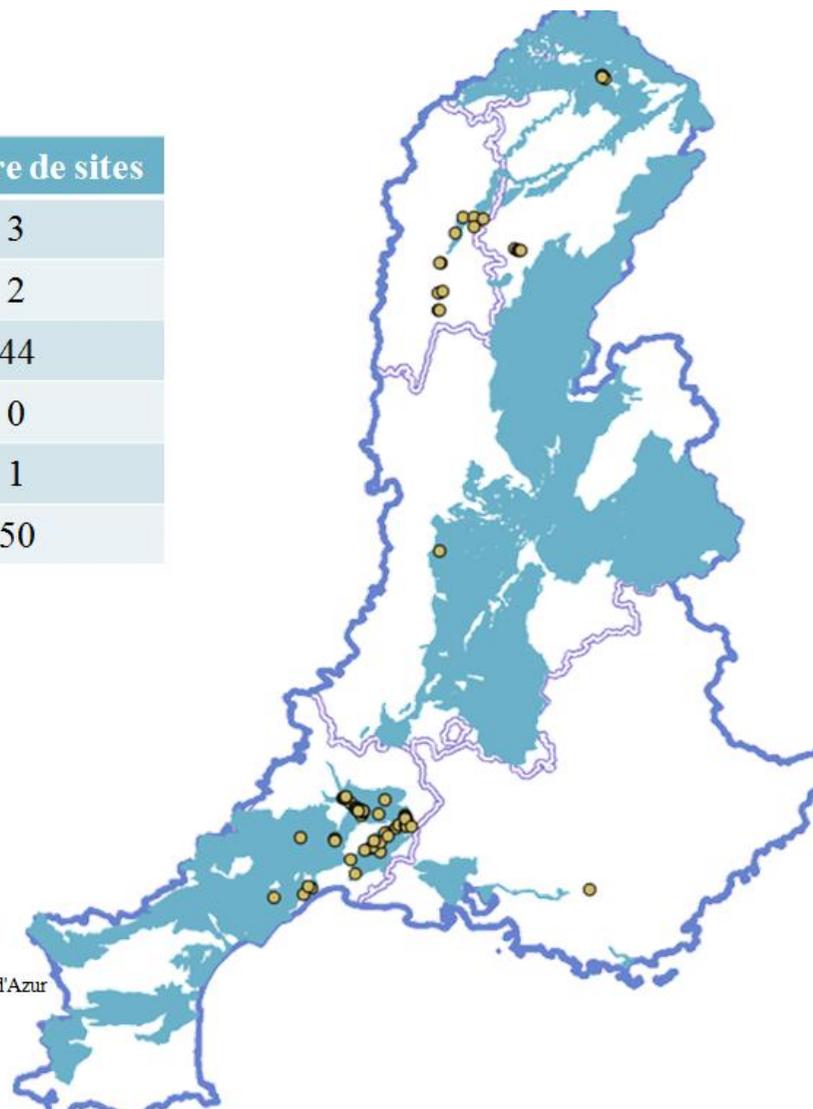
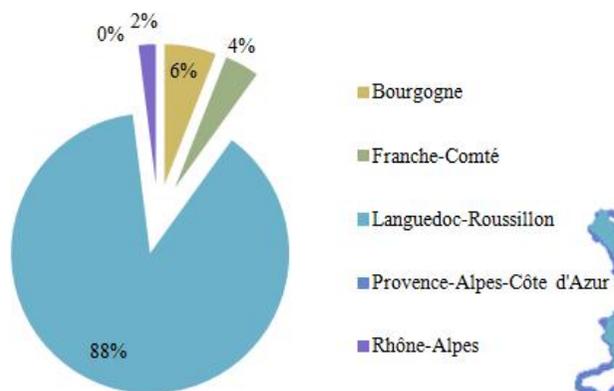
Annexe IX : répartition des 76 sites sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort ou potentiellement significatif avec la surface, captage prioritaire et piézomètre du bassin RM (hypothèse 3) (1:3 500 000)

Régions	Nombre de sites
Bourgogne	3
Franche-Comté	2
Languedoc-Roussillon	41
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0
Rhône-Alpes	1
Total	47



Annexe X : répartition des 76 sites sur les masses d'eau souterraines avec lien avéré fort ou potentiellement significatif avec la surface et piézomètre du bassin RM (hypothèse 4) (1:3 500 000)

Régions	Nombre de sites
Bourgogne	3
Franche-Comté	2
Languedoc-Roussillon	44
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0
Rhône-Alpes	1
Total	50



	Diplôme : Ingénieur agronome Spécialité : Génie de l'Environnement (GE) Spécialisation / option : Préservation et Aménagement des Milieux – Écologie Quantitative (PAM-EQ) Enseignant référent : Ivan BERNEZ
Auteur(s) : Anthony JOFFRE Date de naissance* : 02/08/1991	Organisme d'accueil : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse Adresse : 2-4 allée de Lodz 69363 Lyon Cedex 07
Nb pages : 67 Annexe(s) : 10	
Année de soutenance : 2013-2014	Maître de stage : François CHAMBAUD
Titre français : Identification d'indicateurs pour le suivi du bassin Rhône-Méditerranée et de ses zones humides Titre anglais : Identification of indicators for the Rhone-Mediterranean basin and its wetlands monitoring	
Résumé (1600 caractères maximum) : Depuis février 2014, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse dispose d'un nouvel outil pour le suivi des zones humides. Ce dernier comprend treize indicateurs à mettre en œuvre sur ces écosystèmes particuliers selon des protocoles, un coût et une périodicité déterminés. L'Agence de l'Eau souhaite les mobiliser de façon raisonnée à l'échelle individuelle des zones humides et à celle plus globale du bassin Rhône-Méditerranée. Le présent mémoire étudie les critères permettant d'orienter le choix des indicateurs à déployer sur un site vers les plus pertinents au regard des conditions propres au milieu et des objectifs de ses gestionnaires.	
Abstract (1600 caractères maximum) : Since February 2014, the Rhone Mediterranean Corsica Water Agency has possessed a new tool concerning wetland monitoring. This includes thirteen indicators which are intended to be applied on these ecosystems according to clearly defined protocols, costs and periodicity. The Rhone Mediterranean Corsica Water Agency wants to use them with reason at both individual and global scales (wetlands and Rhone-Mediterranean basin). This report provides a study of criteria which could be used to identify which indicators of the tool are relevant to be applied on a wetland in view of both specific properties of the ecosystem and goals of managers.	
Mots-clés : bassin Rhône-Méditerranée, zones humides, suivi, indicateurs Key Words: Rhone-Mediterranean basin, wetlands, monitoring, indicators	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires

Document à déposer sur moodle en format .txt