

# L'indice Invertébrés Multimétriques $I_2M_2$

*Application de l'Indice sur les cours d'eau des Tables Calcaires*





Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10



# Sommaire

	Pages
<b>Sommaire</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des figures</b> .....	<b>5</b>
<b>Table des tableaux</b> .....	<b>7</b>
<b>Table des cartes</b> .....	<b>8</b>
<b>Suivi de document</b> .....	<b>9</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>10</b>
<b>Préambule</b> .....	<b>13</b>
<b>AXE 1 : Synthèse bibliographique</b> .....	<b>14</b>
1.1 Rappel des objectifs de l'Axe 1 .....	14
1.2 Introduction .....	15
1.3 Présentation de la méthode I2M2 .....	19
1.4 Analyse comparée des deux indices IBG-EQ et I2M2 .....	31
1.5 Analyse des éléments constitutifs de la méthode I2M2 .....	38
1.6 Conclusion sur l'indice I2M2 .....	70
<b>AXE 2 : Réalisation d'une enquête détaillée sur un échantillon de l'HER9A</b> .....	<b>80</b>
2.1 Préambule .....	80
2.2 Rappel des objectifs de l'Axe 2 .....	80
2.3 Données mobilisées et constitution d'une base .....	81
2.4 Étude préalable aux visites de terrain .....	81
2.5 Visites de sites .....	82
2.6 Analyse des résultats .....	87
2.7 Conclusion sur les visites de sites .....	104
<b>AXE 3 : Analyse des déclassements sur l'ensemble de l'HER 9A et des HER 9 et 10</b> .....	<b>106</b>
3.1 Rappels des objectifs de l'Axe 3 .....	106
3.2 Description des analyses statistiques réalisées, formatage des données et méthodes statistiques utilisées .....	106
3.3 Présentation des résultats .....	110
3.4 Conclusion sur les analyses statistiques .....	135
<b>AXE 4 : Analyse des pistes pour le développement d'une méthode d'interprétation de l'indice sur l'HER 9A</b> .....	<b>138</b>
4.1 Rappels des objectifs de l'Axe 4 .....	138
4.2 Présentation de la problématique .....	138
4.1. Méthodologie de validation des données envisageables .....	139
<b>Conclusion</b> .....	<b>145</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>148</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>150</b>
ANNEXE N°1 - Score de polluosensibilité attribué dans le cadre du BMWP Score (Source : Armitage, 1983) .....	151
ANNEXE N°2 - Protocoles d'échantillonnage utilisés pour déterminer les pourcentages de recouvrement utilisés pour reconstituer les peuplements des relevés R1, R2, R3. ....	152



ANNEXE N°3 - Liste faunistique du peuplement R1 sans pondération des abondances. ....	154
ANNEXE N°4 - Liste faunistique du peuplement R1 avec pondération des abondances P1 .....	155
ANNEXE N°5 - Liste faunistique du peuplement R1 avec pondération des abondances P2 .....	156
ANNEXE N°6 - Liste faunistique du peuplement R2 sans pondération des abondances. ....	157
ANNEXE N°7 - Liste faunistique du peuplement R2 avec pondération des abondances P1 .....	158
ANNEXE N°8 - Liste faunistique du peuplement R2 avec pondération des abondances P2 .....	159
ANNEXE N°9 - Liste faunistique du peuplement R3 sans pondération des abondances. ....	160
ANNEXE N°10 - Liste faunistique du peuplement R3 avec pondération des abondances P1 .....	161
ANNEXE N°11 - Liste faunistique du peuplement R3 avec pondération des abondances P2 .....	162
ANNEXE N°12 - tableau des scores BMWP, Polyvoltinisme et Ovoviviparité utilisés pour le calcul de la méthode I2M2 ...	163
ANNEXE N°13 - tableau des coefficients de pondération des métriques biologiques dans la formule I2M2. (valeurs brutes et %)	164
ANNEXE N°14 – Description des variables complémentaires calculées sur les 37 stations présélectionnées .....	165
ANNEXE N°15 – Présentation des paramètres physico-chimiques analysés .....	168
ANNEXE N°15 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser les peuplements de L'HER 9A (Stations/Dates).	169
ANNEXE N°16 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser la matrice I2M2 et ses métriques de L'HER 9A (Stations/dates).....	170
ANNEXE N°17 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser la matrice I2M2 et ses métriques de L'HER 9A (stations/dates).....	171
ANNEXE N°17 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les paramètres physico-chimiques testés dans le cadre de l'étude pour l'HER 9A. ....	172
ANNEXE N°18 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les probabilités de pression de l'Outil diagnostic pour l'HER 9A. ....	173
ANNEXE N°19 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser les peuplements de L'HER 9 (Stations/Dates).	174
ANNEXE N°20 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser la matrice I2M2 et ses métriques de L'HER 9 (Stations/Dates). ....	175
ANNEXE N°21 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les paramètres physico-chimiques testés dans le cadre de l'étude pour l'HER 9A. ....	176
ANNEXE N°22 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les probabilités de pression de l'Outil diagnostic pour l'HER 9A. ....	177
ANNEXE N°23 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser les peuplements de L'HER 10 (Stations/Dates).	178



## Table des figures

Figure 1 : Schéma descriptif du principe de calcul de l'IBGN-équivalent.....	18
Figure 2 : Schéma de principe de calcul de l'Efficacité de Discrimination .....	20
Figure 3 : Schéma explicatif du protocole d'échantillonnage MPCE (Source : ANTEA Group) .....	21
Figure 4 : Schématisation des étapes de calcul d'une note d'indice I2M2 .....	23
Figure 5 : Tableau de description des scores de polluosensibilité attribués aux différents taxons dans la méthode BMW/ASPT score.....	26
Figure 6 : Relation entre notes I2M2 et IBG-EQ de 702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A.....	32
Figure 7 : Pour les graphiques ci-dessus, relation entre les notes des métriques I2M2 exprimées en EQR et la note IBG EQ de 702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A (En bas à droite valeurs minimales, moyennes et maximales de l'I2M2 pour une note IBG-EQ donnée) .....	33
Figure 8 : Pour les 10 graphes ci-dessus, relation entre les notes des différentes métriques de l'I2M2 prises deux à deux et exprimées en EQR (702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A) .....	35
Figure 9 : Protocole de reconstitution par bouches du peuplement dans la méthode MPCE (Source ANTEA-Group) .....	40
Figure 10 : Analyse des relations entre les traits trophie et saprobie (noté de 0 à 1) de l'ouvrage de référence (TACHET) et les scores du BMWP utilisés dans le cadre de la méthode I2M2.....	45
Figure 11 : nombre de taxons polyvoltins retenus dans la méthode I2M2, la somme et la moyenne des scores polyvoltinisme dans les différents biocénotypes (Crénon T0, Epirhitron T1, Metarhitron T2, Hyporhithron T3, Epipotamon T4, Metapotamon T5, Hypopotamon T6, Estuaire T7) .....	47
Figure 12 : Analyse des relations entre les traits trophie et saprobie (noté de 0 à 1) de l'ouvrage de référence (TACHET) et les scores de polyvoltinisme issus du TACHET et utilisés dans le cadre de la méthode I2M2 .....	47
Figure 13 : Pourcentage de taxons polyvoltins par ordre taxonomique. Les ordres non cités comme les Plécoptères n'ont pas de taxons polyvoltins. ....	48
Figure 14 : Evolution comparée et interannuelle des indices Typologie Polyvoltinisme et Ovoviviparité pour les Stations 01138100 et 01140600.....	49
Figure 15 : nombre de taxons polyvoltins retenus dans la méthode I2M2, la somme et la moyenne des scores polyvoltinisme dans les différents biocénotypes (Crénon T0, Epirhitron T1, Metarhitron T2, Hyporhithron T3, Epipotamon T4, Metapotamon T5, Hypopotamon T6, Estuaire T7) .....	53
Figure 16 : Analyse des relations entre les traits trophie et saprobie (noté de 0 à 1) de l'ouvrage de référence (TACHET) et les scores d'Ovoviviparité issus du TACHET et utilisés dans le cadre de la méthode I2M2 .....	53
Figure 17 : principaux taxons présentant un score élevé en polyvoltinisme et en Ovoviviparité .....	55
Figure 18 : Opérations de contrôle de référence sur les différents types d'hydroécorégions étudiées .....	59
Figure 19 : Représentation cartographique par HER des valeurs BEST-WORST. La couleur est d'autant plus foncée que la différence BEST-WOST est importante. Plus la couleur est claire plus la métrique aura un poids dans le calcul de la note finale I2M2.....	65
Figure 20 : Diagrammes radar des probabilités de pression données par l'outil diagnostic des relevés R1, R2, R3. ....	67
Figure 21 : Relation entre notes I2M2 et note IBGN sur les 30 sites retenus au départ de l'étude .....	85
Figure 22 : Atouts et faiblesses des stations prospectées. ....	86
Figure 23 : Valeurs moyennes des différentes métriques de l'I2M2 (Nota : la valeur moyenne négative indique une note I2M2 supérieure à la note IBG-EQ) .....	89
Figure 24 : Analyse des métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité sur la station 1134500 (L'AVRE A MOREUIL) .....	90
Figure 25 : Analyse des métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité sur la station 3175000 (L'EPTA A BOUCHEVILLIERS) .....	90
Figure 26 : Schématisation d'une analyse interclasse (Bourgeois, 2015) .....	107
Figure 27 : Classement des variables explicatives de la structure des peuplements de macro invertébrés benthiques sur l'HER 9A avec pondération des peuplements par Phase (gauche) et sans méthode de pondération (droite) en jaune les paramètres plus particulièrement influence par la correction partielle des abondances .....	108
Figure 28 : Traitement des données pour réalisation du découpage de classes des variables testées : représentation classée des valeurs du paramètre pour permettre la détermination des classes utilisées dans l'analyse interclasses .....	109
Figure 29 : Tableau de présentation des bornes des différentes classes retenues pour chaque paramètre physico-chimique analysé.....	109
Figure 30 : Représentation du peuplement de l'HER 9A sur les deux premiers axes factoriels (en rouge les taxons, en bleu les stations) .....	111
Figure 31 : Représentation graphique des résultats de l'analyse interclasse sur les années .....	112
Figure 32 : Représentation graphique de l'analyse interclasse sur les types de cours d'eau .....	112
Figure 33 : Représentation graphique de l'analyse interclasse sur les types de cours d'eau et année .....	113



Figure 34 : Présentation des analyses interclasses de différents paramètres physico-chimiques réalisées sur la matrice des peuplements de l'HER 9A .....	115
Figure 35 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice des indices IBG-eq et I2M2 et métriques associées .....	116
Figure 36 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice des peuplements des variables physico-chimiques sur l'HER 9A .....	117
Figure 37 : Représentation des stations et de l'I2M2 et ses métriques sur le plan factoriel pour l'HER 9A.....	118
Figure 38 : Représentation des stations et de l'I2M2 et ses métriques sur le plan factoriel pour l'HER 9A.....	119
Figure 39 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les paramètres physico-chimiques sur l'HER 9A .....	119
Figure 40 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les résultats de l'Outil Diagnostic sur l'HER 9A. ....	120
Figure 41 : Carte des corrélations entre indices I2M2 et métriques associées et paramètres physico-chimiques sur l'HER 9A (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.) .....	121
Figure 42 : Carte des corrélations entre indices I2M2 et métriques associées et résultats de l'outil diagnostic sur l'HER 9A (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.) .....	122
Figure 43 : Représentation du peuplement de l'HER 9 sur les deux premiers axes factoriels (en rouge les taxons, en bleu les stations) .....	124
Figure 44 : Hiérarchisation des valeurs propres des variables année et typologie sur l'HER 9 .....	125
Figure 45 : Représentation du peuplement de l'HER 9 sur les deux premiers axes factoriels pour les différents types de cours d'eau (en rouge les taxons, en bleu les stations).....	126
Figure 46 : Hiérarchisation des valeurs propres des variables physico-chimiques sur l'HER 9.....	127
Figure 47 : Hiérarchisation des valeurs propres des résultants de l'Outil Diagnostic sur l'HER 9.....	128
Figure 48 : Représentation des stations et de l'I2M2 et ses métriques sur le plan factoriel pour l'HER 9. ....	129
Figure 49 : Résultats des analyses interclasses typologie et année sur la matrice constituée par les valeurs de l'I2M2 et ses métriques sur l'HER 9. ....	129
Figure 50 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les paramètres physico-chimiques sur l'HER 9.....	130
Figure 51 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les résultats de l'Outil Diagnostic sur l'HER 9.....	131
Figure 52 : Carte des corrélations entre indices I2M2 et métriques associées et paramètres physico-chimiques sur l'HER 9 (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.) .....	132
Figure 53 : Carte des corrélations entre indices I2M2 et métriques associées et résultats de l'outil diagnostic sur l'HER 9 (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.) .....	133
Figure 54 : Représentation du peuplement de l'HER 10 sur les deux premiers axes factoriels (en rouge les taxons, en bleu les stations) .....	134
Figure 55 : Matrice de corrélation entre I2M2 et les autres indices biologiques sur les HER 9A, 9 et 10.....	135
Figure 56 : Valeurs des différentes variables calculées sur deux stations analysées pour les années 2015, 2016 et 2017 ..	140
Figure 57 : Exemple de présentation de l'analyse de 10 stations (notées de A1 à A10) dans l'espace de référence des variables (C conforme, Afa altération faible, Amo Altération moyenne, AFO Altération Forte et Atf Altération très forte). Les points stationnel sont projetés en variables supplémentaires.....	141



## Table des tableaux

Tableau 1 : Pressions physico-chimiques et morphologiques retenues dans la méthode de construction de l'indice.....	20
Tableau 2 : Valeurs d'efficacité de discrimination (DE) entre métriques biologiques et facteurs de pression. (Source : ANTEA Group).....	29
Tableau 3 : Comparaison des notes I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et IBG-EQ pour les relevés R1, R2 et R3 sur l'HER 9A. Les couleurs correspondent aux classes de qualité sur cette HER.....	36
Tableau 4 : Comparaison des notes I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et IBG-EQ pour les relevés R1, R2 et R3 sur l'HER 9. (Les couleurs correspondent aux classes de qualité sur cette HER) .....	36
Tableau 5 : surfaces (en %) des couples substrat/vitesse réellement échantillonnés en application du protocole MPCE sur deux stations.....	39
Tableau 6 : résultats du calcul des valeurs d'Abondance, et pourcentage des individus EPT sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) comme dans la méthode I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2. ....	41
Tableau 7 : Tableau donnant le rapport entre la surface de substrats dominants et la surface de la surface minimale qui peut être échantillonnée pour les différents types de cours d'eau dans le cadre de la méthode MPCE. ....	41
Tableau 8 : Tableau donnant le rapport entre la surface de substrats dominants et la surface de la surface minimale qui peut être échantillonnée dans le cadre de la méthode MPCE.....	41
Tableau 7 : résultats du calcul des valeurs de Diversité de Shannon en valeur brute et en EQR (HER 9) et de variables caractéristiques de la structure du sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2. ....	43
Tableau 8 : résultats du calcul des valeurs de Polyvoltinisme en valeur brute et en EQR (HER 9A) sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) comme dans la méthode I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2. ....	46
Tableau 9 : résultats du calcul des valeurs d'Ovoviviparité en valeur brute et en EQR (HER 9A) sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) comme dans la méthode I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2. ....	51
Tableau 10 : Scores d'ovoviviparité des différents taxons retenus dans la méthode I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> .....	52
Tableau 11 : résultats du calcul I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> sur les relevés R2 et R3. Les calculs sont faits sur abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R2 et R3) et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2. ....	56
Tableau 12 : Résultats I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> des prélèvements R1, R2 et R3 sur les HER 9A, 9 et 10 (données en EQR régionalisé et valeurs brutes des paramètres) .....	61
Tableau 13 : Valeur BEST maximale observée sur le territoire métropolitain et valeur WORST commune pour l'ensemble des HER.....	62
Tableau 14 : Pourcentages de pondération des EQR non régionalisés des métriques permettant le calcul de l'I2M2 pour les petits cours d'eau sur les HER 9A, 9 et 10. En rose les pourcentages les plus élevés pour une série. ....	63
Tableau 15 : pour les relevés R1, R2 et R3 (sans et avec correction des abondances en utilisant les scénarios P1 et P2) les valeurs de l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> (HER 9A) et ses métriques et les probabilités de pression de l'outil diagnostique. Ces probabilités resteront inchangées sur les HER 9 et 10. ....	67
Tableau 16 : Résultats du calcul I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> de la note IBG-EQ, des moyennes des pressions physico-chimiques et hydromorphologiques de l'outil diagnostique (OD), sur les relevés 1, 2 et 3 pour les HER 9A, 9 et 10. Les calculs sont faits sur abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.....	68
Tableau 19 : Calcul des indices IBG-EQ et I2M2 et indices associés (non transformés en EQR) sur 15 stations. Pour les indices Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon la ligne du bas indique la valeur de l'indice avec un peuplement réestimé en fonction du % de recouvrement des substrats.....	75
Tableau 20 : Calcul, par station (état I2M2 similaire à l'état IBG-EQ), de la différence entre peuplement corrigé et peuplement non corrigé pour les indices I2M2, Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon. Valeur min max et moyenne (val absolue) pour les 5 stations analysées et calcul du pourcentage d'erreur par rapport à l'amplitude max théorique sur l'HER (BEST-WORST de chaque variable) .....	75
Tableau 21 : Calcul, par station (état I2M2 supérieur à l'état IBG-EQ), de la différence entre peuplement corrigé et peuplement non corrigé pour les indices I2M2, Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon. Valeur min max et	



	moyenne (val absolue) pour les 5 stations analysées et calcul du pourcentage d'erreur par rapport à l'amplitude max théorique sur l'HER (BEST-WORST de chaque variable) .....	76
Tableau 21 :	Calcul, par station (état I2M2 inférieur à l'état IBG-EQ), de la différence entre peuplement corrigé et peuplement non corrigé pour les indices I2M2, Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon. Valeur min max et moyenne (val absolue) pour les 5 stations analysées et calcul du pourcentage d'erreur par rapport à l'amplitude max théorique sur l'HER (BEST-WORST de chaque variable) .....	76
Tableau 21 :	tableau donnant les % min max et moyen (sur valeurs absolues) des variables calculées) pour les 15 stations analysées .....	77
Tableau 20 :	Calcul des indices IBG-EQ et I2M2 et indices associés (transformés en EQR) sur 15 stations. Pour les indices Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon la ligne du bas indique la valeur de l'indice avec un peuplement réestimé en fonction du % de recouvrement des substrats.....	78
Tableau 17 :	synthèse sur les 20 sites visités .....	87
Tableau 18 :	seuils retenus pour chaque classe de différence entre IBG-EQ et I2M2 ainsi que le nombre d'observations.....	88
Tableau 19 :	Caractéristiques des stations du Groupe 1.....	91
Tableau 20 :	Caractéristiques des stations du Groupe 2.....	91
Tableau 21 :	Caractéristiques des stations du Groupe 3.....	92
Tableau 22 :	Caractéristiques des stations du Groupe 4.....	93
Tableau 23 :	variations exprimées en pourcentage des notes de Diversité, d'Equitabilité et de Dominance calculées sur les bords AB et sur les bords ABC de la station la Lyre pour les années 2007 à 2017 .....	96
Tableau 24 :	variations exprimées en pourcentage entre les notes de différents indices calculés sur les bords A, B et C sans et avec corrections partielles des pourcentages de représentation des bords entre eux : station la Lyre pour les années 2007 à 2017.....	96
Tableau 25 :	Matrice des corrélations entre l'I2M2 et ses métriques et les % de présence de taxons sélectionnés (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives) .....	98
Tableau 26 :	Matrice des corrélations entre l'I2M2 et ses métriques et les pourcentages de recouvrement des types de substrats sélectionnés (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives) .....	100
Tableau 27 :	Matrice des corrélations pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques et les pourcentages de recouvrement des types de substrats déterminés sélectionnés (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives) .....	101
Tableau 28 A :	Matrices des corrélations entre les pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques et les probabilités de pressions physico-chimiques de l'outil diagnostic de l'I2M2 (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives) .....	102
Tableau 29 B :	Matrices des corrélations entre les pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques et les probabilités de pressions hydromorphologiques de l'outil diagnostic de l'I2M2 (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives) .....	102
Tableau 30 :	Hiérarchisation des valeurs propres des variables physico-chimiques sur l'HER 9A.....	114

## Table des cartes

Carte 1 :	Localisation sur l'HER 9A des stations de suivi caractérisées par des « opérations de contrôle de référence » .....	60
Carte 2 :	Localisation des 20 stations sélectionnées pour les visites de sites .....	83
Carte 3 :	État écologique des 20 stations sélectionnées pour les visites de sites.....	84
Carte 4 :	Nombre d'années de prélèvement moyen pour les stations sélectionnées .....	85



## Suivi de document

Version		Création/Modification	
		Rédacteur	Date
A.0	Document initial	Rédaction <b>Michel Bacchi</b> Relecture <b>Tristan Bourgeois</b> <b>Julien David</b>	25/11/2019



## Glossaire

**Analyse synécologique** : Analyse des relations entre des organismes d'espèces différentes.

**AQEM** : Acronyme : « Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrate » (ou Système d'Évaluation de la Qualité Ecologique des cours d'eau Européens par l'étude des macro invertébrés benthiques) désignant un protocole mis en œuvre à l'échelle européenne (8 pays) et mettant à disposition un système d'évaluation des cours d'eau par les macroinvertébrés harmonisé.

**Biocénose** : Ensemble des organismes vivants qui occupent un écosystème donné.

**Bioindicateur** : Un bioindicateur peut se définir comme une espèce ou un groupe d'espèces végétales ou animales dont les caractéristiques observées (occurrence, abondance, biomasse ou traits écologiques) fournissent une indication sur le niveau de dégradation du milieu.

**Biotope** : Espace caractérisé par des facteurs climatiques, géographiques, physiques, morphologiques et géologiques en équilibre constant ou cyclique et occupé par des organismes qui vivent en association spécifique (biocénose). C'est la composante non vivante (abiotique) de l'écosystème.

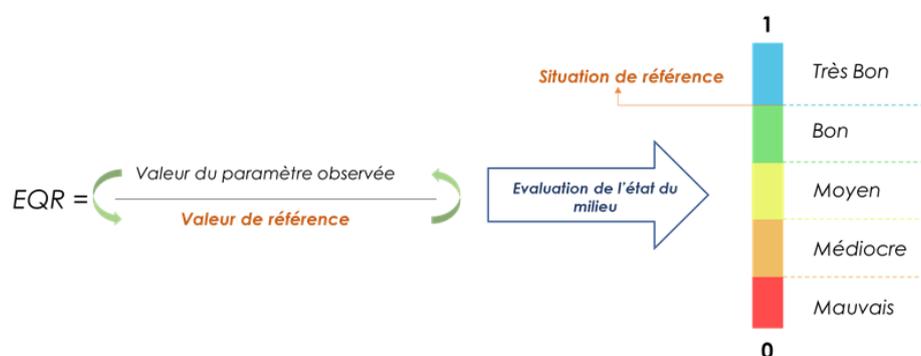
**Biotypologie** : Portion de cours d'eau ou « Zone » définie par un ensemble de conditions mésologiques (température, physico-chimie) résultant de facteurs physiques (pente, largeur du cours d'eau, etc. ...) et qui induit la présence d'une biocénose caractéristique de ces conditions.

**Bootstrap** : Technique d'inférence statistique basée sur la réplication multiple de données à partir d'un jeu de données étudiées.

Le bootstrapping permet d'induire les caractéristiques d'un groupe général à partir d'un échantillon.

**EQR** : Acronyme: « Ecological Quality Ratio ».

Méthode de calcul développée dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) afin d'harmoniser les résultats des différentes méthodes d'évaluation de la qualité biologique des eaux utilisées par les pays de l'U.E. L'EQR s'exprime entre 0 et 1, et représente l'écart à une situation de référence, pour un type de cours d'eau donné.



**Euryécie / Euryptopie** : Terme utilisé pour caractériser une espèce ayant une grande valence écologique : capable de coloniser de nombreux habitats (niche écologique importante) car supportant d'importantes variations de facteurs écologiques tels que la température, l'acidité...



**Habitabilité (ou capacité biogène)** : Aptitude d'un substrat à accueillir une faune diversifiée. Dans le cadre du protocole d'échantillonnage appliqué pour les indices IBGN/IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, les substrats sont classés par habitabilité théorique.

**Hydroécorégion** : Zone homogène du point de vue de la géologie, du relief et du climat. L'hydroécorégion (HER) est l'un des principaux critères utilisés dans la typologie et la délimitation des masses d'eau de surface. La France métropolitaine peut être décomposée en 21 hydro écorégion principales (HER de rang 1) et 50 hydroécorégions de rang 2 utilisées dans certains bassins pour préciser la typologie.

**Imago** : Forme adulte et complète de l'adulte à métamorphoses.

**IRR** : Abréviation de « Impact River Reach ». Correspond aux stations considérées comme plus ou moins fortement impactées par des usages anthropiques.

**Kick sampling ou KICK sweep** : Méthodologie d'échantillonnage des invertébrés qui consiste à déplacer le sédiment avec les pieds et à collecter les invertébrés dans un troubleau positionné en aval.

**LIRR** : Abréviation de « Least Impact River Reach ». Correspond aux stations considérées comme peu impactées par des usages anthropiques.

**Paralogisme** : Le paralogisme tire une conclusion fautive ou contraire aux règles à partir d'énoncés (prémisses) qui peuvent être soit faux, soit vrais mais qui sont utilisés de manière inappropriée.

**Sténoécie / Sténopathie** : Terme utilisé pour caractériser une espèce ayant une faible capacité d'adaptation (contraire d'euryécie) et qui est donc cantonné à un petit nombre de milieu (niche écologique étroite)

**Taxon/unité taxonomique** : Le terme taxon est utilisé dans la classification phylogénétique pour regrouper des êtres vivants en fonction de divers critères. En fonction d'un niveau de détermination un taxon peut être une famille, un genre, une espèce.

**Type de cours d'eau** : Cours d'eau appartenant à un ensemble homogène défini par des composantes liées au climat, au relief, à la nature du sol, à la géologie et à la taille du cours d'eau. Ainsi, le type de cours d'eau dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> prend en compte les hydroécorégions. Pour la définition des types de masses d'eau « cours d'eau », 6 types de tailles ont été retenus :

- ✎ Les **Très Petits** cours d'eau (**TP**)
- ✎ Les **Petits** cours d'eau (**P**)
- ✎ Les cours d'eau **Moyens** (**M**)
- ✎ Les **Grands** cours d'eau (**G**)
- ✎ Les **Très Grands** cours d'eau (**TG**)

Au final, un type de cours d'eau est identifié par la combinaison de sa classe de taille et du code de son hydroécorégion. Par exemple, un petit cours d'eau des Tables Calcaires Côtiers (HER 9A) est identifié par le code suivant : « P9-A ».



**MPCE** : Méthode d'échantillonnage des macro invertébrés en Petits Cours d'Eau

**Zonation/Typologie :**

**Crénon :**

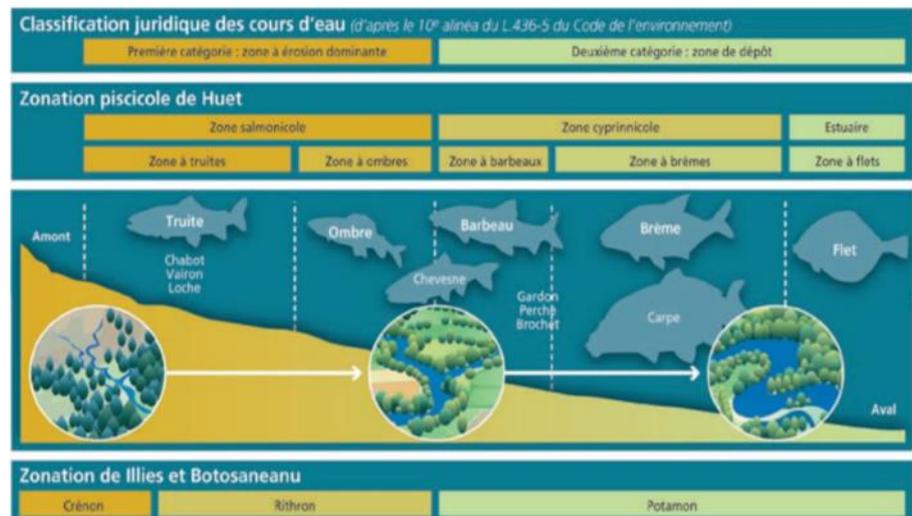
Terme utilisé pour désigner les cours d'eau des zones de sources.

**Rhitron :**

Terme utilisé pour désigner les cours d'eau à écoulement rapide des zones supérieures.

**Potamon :**

Terme utilisé pour désigner les cours d'eau à écoulement lent des zones inférieures et médianes (ex : cours d'eau de plaine)





## Préambule

Ce document s'inscrit dans le cadre de l'étude sur l'application de l'Indice Invertébrés Multi Métriques (I2M2) sur les hydroécorégions 9A (Tables Calcaires Côtiers), 9 (Tables Calcaires) et 10 (Côtes calcaires Est) sur le périmètre des Agences de l'Eau Artois-Picardie et Seine Normandie.

L'objectif de cette étude est d'expliquer les causes probables des déclassements constatés sur ces hydroécorégions, et plus particulièrement sur l'HER 9A, dans le cadre de l'évaluation de l'état des masses d'eau avec ce nouvel indice.

Dans ce cadre, l'étude est structurée selon 4 axes principaux et complémentaires :

- 🌿 Un premier axe qui consiste en l'analyse de la bibliographie de référence portant notamment sur la construction de l'I2M2. L'objectif de cet axe est d'étudier la méthode de construction de l'indice afin de comprendre son fonctionnement et les résultats obtenus sur l'HER 9A.
- 🌿 Un deuxième axe pour étudier en détails 20 stations sélectionnées sur l'HER 9A à partir d'une phase d'analyse des données recueillies (physico-chimie générale, chimie, listes faunistiques, hydro morphologie, ...) et une phase de terrain par l'application de protocoles spécifiques. L'objectif de ce second axe est d'identifier les caractéristiques de cette HER susceptibles d'expliquer les notes I2M2 obtenues ainsi que les principales pressions présentes pouvant altérer les peuplements de macro invertébrés.
- 🌿 Un troisième axe porte sur l'analyse des déclassements sur les cours d'eau des tables calcaires (HER 9A, 9 et 10) et la réalisation de traitements statistiques. L'objectif de cet axe est d'identifier des pistes d'explication des déclassements observés.
- 🌿 Un quatrième axe qui, sur la base des observations et conclusions déduites des axes précédents a pour objectif de proposer des pistes d'adaptation de la méthode sur les cours d'eau des hydroécorégions ciblées par l'étude.

Dans le cadre de cette étude l'analyse est illustrée par des relevés hydrobiologiques qui ont été reconstruits pour les besoins de l'étude et ceci pour deux raisons :

- Premièrement parce que nous ne disposons pas de relevés avec les listes taxonomiques complètes des 12 prélèvements unitaires les données de l'I2M2 étant bancarisé par Bocaux,
- Deuxièmement parce qu'il nous semblait préférable pour éviter de perdre le lecteur, d'illustrer l'impact des modes de calcul des différentes variables biologiques de l'indice sur les mêmes exemples.



## AXE 1 : Synthèse bibliographique

### 1.1 Rappel des objectifs de l'Axe 1

Le premier objectif de cet axe est une appropriation détaillée de la construction de chacun des indicateurs invertébrés (IBGN/IBG-Equivalent (noté par la suite IBG-EQ) et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) et de leurs méthodes de calcul. En effet, c'est cette connaissance qui sera mobilisée pour expliquer les différentes situations rencontrées dans l'échantillon étudié dans l'axe 2, puis plus largement pour étayer les axes 3 et 4. Cette synthèse des documents techniques expliquant la méthode I2M2 sera aussi alimentée par le retour d'expérience des travaux des axes 2, 3 et 4.

Le second objectif est de comprendre facilement, pour un public averti, mais non expert, la problématique, les raisons de l'évolution de l'indice invertébré et ses conséquences sur l'évaluation de l'état écologique.

Dans ce cadre, deux documents distincts seront produits :

- /// Une synthèse complète intégrée à ce rapport d'étude,
- /// Un document destiné à un public beaucoup plus large qui synthétisera de façon plus pédagogique les principaux points de compréhension des indices analysés et de leur pertinence au regard des objectifs visés.

Cette synthèse pédagogique sera en outre utile pour proposer d'éventuelles adaptations de l'indice au contexte de l'HER 9A, au sein du COPIL et dans les Instances de bassin notamment, et pour mettre en évidence les évolutions notables entre IBGN et I2M2 qui expliquent les différences d'évaluation.



## 1.2 Introduction

### 1.2.1 Rappels sur la bio indication et l'utilisation des macro invertébrés benthiques

Les méthodes de bio indication reposent sur l'analyse des communautés biologiques pour permettre de déterminer la qualité des hydro systèmes. La définition du type et de l'état général d'un système aquatique par l'analyse des communautés qu'il héberge, résulte de l'application du principe général de causalité (ou principe d'analogie) : « *dans une région biogéographique donnée à des milieux ayant des complexes mésologiques semblables, correspondent des peuplements similaires (statistiquement similaires)* ».

Le caractère intégrateur des espèces aboutit à l'établissement de communautés structurées exprimant le type et le niveau d'altération du milieu : les dégradations du milieu se traduisent par des modifications plus ou moins prononcées des communautés biologiques analysées.

La méthodologie de l'évaluation de « l'état de santé » d'un milieu aquatique se base sur l'amplitude des modifications biocénologiques observées par rapport à un état de référence qui doit être caractérisé.

Cet état de référence se définit comme étant celui d'un milieu équivalent (de même typologie), mais exempt de pressions anthropiques ou soumis à des pressions de très faible intensité. Les analyses biologiques apparaissent alors non pas comme des compléments aux analyses physiques et physico-chimiques mais comme les outils de base de la mise en évidence et de l'évaluation des altérations des écosystèmes aquatiques.

De nombreux indices ont été développés pour permettre cette évaluation en utilisant des indicateurs de nature différente, végétale ou animale. Les principaux groupes taxonomiques retenus dans le cadre de l'évaluation de l'état DCE sont, pour les végétaux les diatomées (Indice Biologique Diatomées : IBD) et les macrophytes (Indice Biologique Macrophyte Rivière : IBMR) et pour la faune les poissons (Indice Poisson Rivière : IPR) et les invertébrés aquatiques (IBGN/IBG-EQ, I2M2).

Parmi tous ces groupes taxonomiques, les macroinvertébrés benthiques présentent de nombreux atouts pour constituer un indicateur pertinent pour analyser les hydrosystèmes. Ils sont en effet caractérisés par :

- ✎ Une très **grande variété taxonomique** (125 familles divisés en 700 genres et près de 3800 espèces en Europe (Illies & coll., 1978), qui sont facilement échantillonnables ;
- ✎ Des durées de vie allant de quelques mois à 3 ans ce qui les rend aptes à **intégrer des perturbations sur une large échelle temporelle** ;
- ✎ Des **capacités de déplacement réduites** (dérive active ou passive) mais pas de possibilité de recoloniser des milieux en amont après une pollution (excepté sous la forme d'imagos). Cette caractéristique les rend plus intéressants que les populations de poissons, plus mobiles dans le milieu, dans l'étude des causes de perturbation.
- ✎ Une **capacité de coloniser tous types de milieux** (notions de d'euryécie et de sténoécie) ou d'habitats (notions d'eurytopie ou de sténopathie)
- ✎ Des **sensibilités variables aux perturbations**. Les macroinvertébrés sont donc des indicateurs pertinents dans tous types de milieu, des plus protégés aux plus pollués.
- ✎ Leur position intermédiaire dans la chaîne trophique qui permet de bien **rendre compte de tous types de perturbations (naturelles ou anthropiques, morphologiques ou physico-chimiques) sur l'ensemble des hydrosystèmes**.

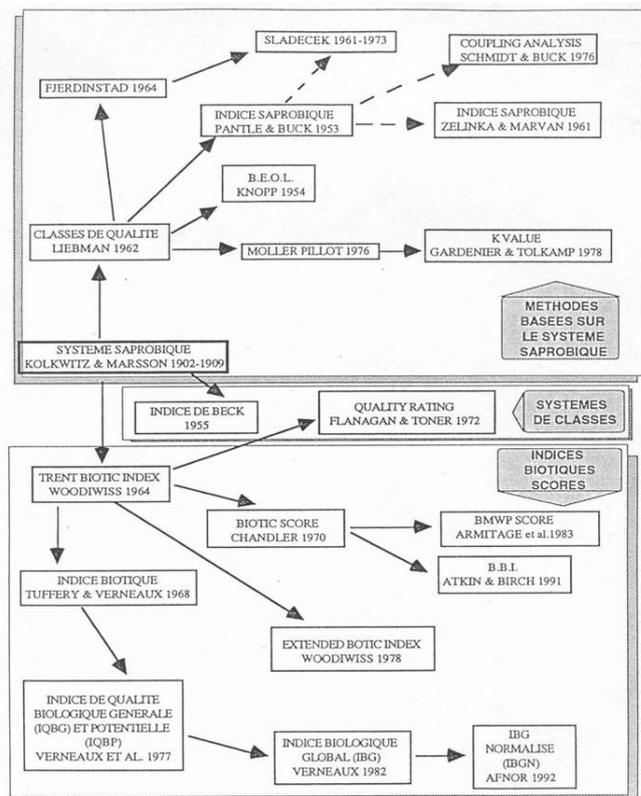
### 1.2.2 Evolution des techniques de biomonitoring



Les techniques de biomonitoring utilisées dans le cadre du territoire métropolitain ont été multiples et, pour la plupart de celles utilisant les macroinvertébrés aquatiques, développées à partir du début des années 1960 (figure ci-contre) en suivant la voie tracée par Woodiwiss (Trent Biotic Index ; 1964).

La première méthode développée en France a été l'Indice Biotique (IB) de Tuffery et Verneaux (1968) qui a ensuite évolué en différents indices (IQBG et IQBP Verneaux et al. 1977 et Coefficient d'aptitude Biogène Secondaire (C.B.2) Verneaux, 1982) pour finalement prendre la forme de l'Indice Biologique Global IBG (Verneaux, 1982) normalisé en 1992 par l'AFNOR pour donner l'IBGN ou Indice Biologique Global Normalisé.

Cette méthode a ensuite été adaptée suite à la mise en place d'un nouveau protocole d'échantillonnage (MPCE/MGCE) pour devenir l'IBG Equivalent qui est depuis peu est remplacé par la méthode I2M2.



Le protocole I2M2 repose sur les principes établis à partir d'une réflexion transnationale européenne pour permettre une certaine « normalisation » des méthodologies utilisées en biomonitoring. Ce travail s'est appuyé notamment sur les travaux du projet AQEM/STAR (« The Développement and Testing of an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Stream and rivers throughout Europe Using Benthic Macroinvertebrates »).

Ce projet s'est basé notamment sur des données collectées dans 8 pays européens (Autriche, république Tchèque, Allemagne, Grèce, Italie Hollande, Portugal et Suède).

Il repose sur une approche qui est :

- d'analyser la dégradation d'un site à partir de la composition biologique (pas seulement invertébrés)
- de tester et de retenir des variables (un assemblage de métriques) qui peuvent « mesurer » la dégradation possible d'un site.

Cela implique :

- Des méthodes pour obtenir une liste faunistique caractéristique du site
- Le calcul de métriques sur ces peuplements,
- Le Calcul de scores pour permettre une comparaison avec les systèmes référentiels.

Ces calculs ont pour objet :

- De sélectionner les métriques fortement corrélées avec l'état de dégradation du milieu tant sur les aspects physico-chimiques qu'hydromorphologiques
- D'agréger ces métriques pour former un indice « multimétrique » donnant une note synthétique.



A partir des résultats qui doivent être calibrés il est possible de définir des classes d'état très bon, bon...

### 1.2.3 Les méthodes actuellement utilisées

Deux méthodes de bioindication basées sur les peuplements de macro invertébrés sont utilisées pour caractériser l'état des masses d'eau :

- L'IBG-Equivalent qui est une méthodologie qui dérive directement de l'ancienne méthode normalisée IBGN.
- L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> utilisé en remplacement de la précédente notamment pour permettre une meilleure évaluation DCE.

Le remplacement de l'IBG-EQ par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> a été justifié pour des raisons de compatibilité avec la DCE et notamment car l'indice :

- Ne prend pas explicitement en compte l'abondance et la diversité des taxons, de même que l'abondance relative des taxons polluo-sensibles par rapport aux taxons polluo-résistants au sein du peuplement ;
- Ne prend pas en compte le type biologique des cours d'eau c'est-à-dire que le calcul de la note est indépendant du contexte hydro-éco régional et de la plupart des types de cours d'eau ;
- N'intègre pas la notion de ratio [observé/attendu] ni le calcul d'un écart à un état dit « de référence » ;
- Présente une faible sensibilité à certaines catégories de pressions anthropiques (notamment les pressions hydro-morphologiques) ;
- S'appuie enfin sur un protocole d'échantillonnage qui recherche à évaluer les capacités dites « biogènes » d'une station et non comme sur la plupart des méthodes européennes actuelles de type AQEM\* d'obtenir une image moyenne du peuplement invertébré d'une station (Hering et al. 2004).

### 1.2.4 Principes de calcul des deux indices IBG-EQ et I2M2

#### 1.2.4.1 L'IBGN et l'IBG Equivalent

La méthode IBGN est une méthode plutôt classique de caractérisation du peuplement à partir de l'analyse de deux variables (variété et groupe indicateur) censées caractériser au mieux le peuplement à partir des connaissances taxonomiques de l'époque.

Sa simplicité avait été retenue et préférée à l'époque à d'autres méthodes comme le CB<sup>1</sup><sub>2</sub> pour permettre une analyse relativement robuste sur l'ensemble du territoire et d'application par des techniciens avec une formation relativement sommaire. Le protocole d'échantillonnage avait même été simplifié lors des phases de normalisation.

L'analyse de la variation de la note doit permettre d'estimer un niveau de perturbation qui est d'autant plus fort que la note s'éloigne de la valeur maximale de 20/20. Cette note maximale a été définie comme la valeur normale que tout hydrosystème doit pouvoir atteindre en l'absence de perturbations fortes (hors cas particulier des zones de sources ou de systèmes montagneux).

La nature des perturbations ne peut pas être directement déduite de cette analyse mais doit être discutée par

---

<sup>1</sup> Coefficient d'aptitude biogène secondaire (C.B.2) Verneaux, 1982.



l'analyse comparée des résultats de l'IBGN et des caractéristiques morphologiques et/ou physico-chimiques caractérisées in situ.

Dans le cadre de la notation IBGN, l'analyse de la qualité d'un peuplement est directement liée la présence ou non des taxons les plus polluo-sensibles en fonction, notamment, de la qualité des eaux.

La méthode IBGN est basée sur un protocole d'échantillonnage standardisé et normalisé de 8 échantillons prélevés en fonction des couples substrat-vitesse, et qui permet de caractériser l'état des peuplements aquatiques (détermination à l'ordre ou à la famille) par la confrontation de deux variables :

- » La **variété taxonomique** qui rend compte de la qualité de l'eau, mais aussi de la qualité des habitats (la variété taxonomique augmentant en général en fonction du nombre de niches écologiques présentes sur les milieux) ;
- » Le « **groupe indicateur** » qui permet de caractériser les niveaux de polluosensibilité du peuplement en fonction présence ou de l'absence des taxons les plus polluosensibles.

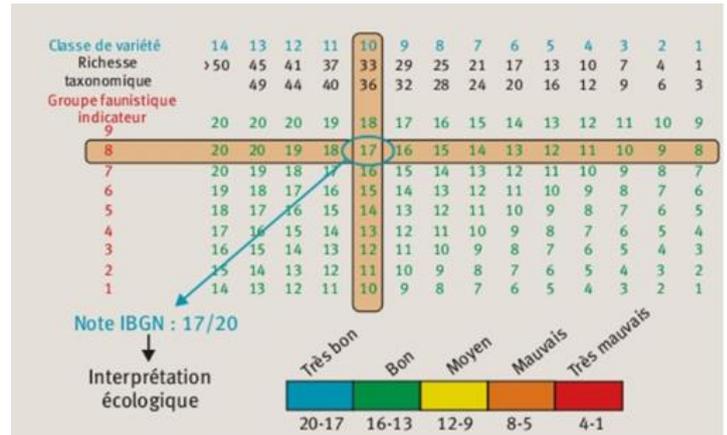


Figure 1 : Schéma descriptif du principe de calcul de l'IBGN-équivalent.

Le calcul de l'IBG et de l'IBG-équivalent se base sur la lecture d'un tableau à deux entrées : en lignes les groupes indicateurs dont les taxons doivent être représentés par au moins 3 individus (ou 10 pour les taxons les plus polluo-tolérants) et en colonne la variété taxonomique ordonnée en classes. Le croisement ligne/colonne donne directement la note IBGN (ou IBG Equivalent dans le cadre de l'adaptation de la méthode IBGN au protocole MPCE d'échantillonnage à 12 prélèvements).

On peut aussi utiliser la formule ci-dessous

$$IBGN_{eq} = N^{\circ} \text{ du groupe faunistique indicateur} + (N^{\circ} \text{ de classe de variété} - 1)$$

On remarque que cette note n'est pas liée à l'abondance (nombre d'individus) des taxons dans les relevés (hormis pour le choix des taxons indicateurs dont la présence d'un nombre minimum est requise pour ne pas permettre la prise en compte de taxons accidentels)

#### 1.2.4.2 L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

Dans le cadre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, la nature même du calcul est très différente. Le principe de cette méthode repose sur la détermination d'un niveau de pression à partir de variables :

- » Choies en fonction de leur relation supposée avec des groupes de pression,
- » Associées entre elles pour rendre le mieux compte des pressions potentielles.
- » Pondérées en fonction de la discrimination effective des pressions par la variable biologique considérée (normalisée par un calcul d'EQR)

Cet indice doit donc être analysé comme un indicateur de pression qui met en avant certaines caractéristiques du peuplement, comme l'abondance de certains taxons considérés comme polluo-résistants, pour la caractérisation des milieux et non pas la présence/abondance de taxons polluosensibles.

La méthode de calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> repose sur l'analyse de prélèvements in situ selon la norme du protocole



MPCE et d'un travail de tri et de détermination en général au genre <sup>2</sup>.

La note obtenue a pour objectif, par le calcul de variables biologiques, de permettre une différenciation de stations sous l'influence de pressions tant physico-chimiques que morphologiques, de situations de « référence » déterminées dans un contexte biogéographique donné et pour un type de cours d'eau particulier. L'analyse étant très globale, il est nécessaire de recourir à un autre outil (*Outil diagnostic OD : Mondy C.P., Dézerald O., Bonne C. & Usseglio-Polatera P. 2017*) pour caractériser les facteurs mésologiques les plus probables pour expliquer la note de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

## 1.3 Présentation de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

### 1.3.1 Schéma conceptuel de la méthode I2M2

La méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est une méthode complexe, car sa construction repose essentiellement sur des analyses statistiques complexes qui ont pour objectif de discriminer des stations de référence (**LIRRs\***) de stations impactées (**IRRs\***). (Mondy, 2012).

Les principales étapes dans la construction de la méthode sont les suivantes :

<b>1</b>	Échantillonnage à l'échelle du territoire métropolitain de stations à partir du protocole d'échantillonnage MPCE.
<b>2</b>	Caractérisation des opérations de contrôle de référence ( <i>LIRRs</i> ) et de stations impactées ( <i>IRRs</i> ) sur la base de l'état physico-chimique et morphologique et de certains paramètres hydrobiologiques (IBGN/IBG-EQ, ASPT, Shannon, %EPT <sup>3</sup> , fréquence taxons oligotrophes ou oligosaprobies) (Mondy & al., 2012)
<b>3</b>	Détermination des métriques biologiques à tester : 418 métriques analysées sur des échantillons plus ou moins exhaustifs du peuplement (Bocaux B1, B2, B3) soit au total 2 525 indices « représentatifs » de la structure réelle du peuplement.
<b>4</b>	Après normalisation des métriques pour permettre une comparaison entre différents types de cours d'eau sur une grande échelle spatiale, calcul de l'Efficacité de Discrimination (DE <sub>SES</sub> ) des 2 525 métriques. L'efficacité de discrimination correspond à la proportion de stations considérées comme impactées ( <i>IRRs</i> ) avec des valeurs de métriques inférieures au premier quartile des stations considérées comme "référence" ( <i>LIRRs</i> ).
<b>5</b>	Sélection de 475 métriques présentant une efficacité de discrimination significative pour 7 des 10 pressions physico-chimiques et 5 des 7 pressions morphologiques.

<sup>2</sup> Normes XP T90-333 (2009) et XP T90-388 (2010)

<sup>3</sup> Pourcentage de taxons appartenant aux ordres d'invertébrés Epheméroptères -Plécoptères - Tricochoptères.



Tableau 1 : Pressions physico-chimiques et morphologiques retenues dans la méthode de construction de l'indice

Physico-chimie	Hydromorphologie
Matières organiques oxydables (MOOX)	Voies de communication
Matières azotées (hors nitrates)	Ripisylve
Nitrates	Intensité d'urbanisation
Matières phosphorées	Risque de colmatage
Matières en suspension (MES)	Instabilité Hydrologique
Acidification	Niveau d'anthropisation du bassin versant
Métaux	Niveau de rectification
Pesticides	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	
Micropolluants organiques	

Après transformation des valeurs brutes des métriques en EQR régionalisés, sélection de 30 métriques présentant un intérêt pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. (Efficacité de Discrimination (DE) élevée et forte stabilité sur les stations LIRRs).

Le calcul de l'Efficacité de Discrimination repose sur l'analyse comparée des différentes variables biologiques entre site de référence (LIRRs) et site impacté (IRRs). La valeur de l'Efficacité de Discrimination correspond au pourcentage de stations IRRs dont les valeurs du paramètre biologique testé sont inférieures au 25<sup>e</sup> percentile des valeurs observées sur les stations LIRRs.

Ainsi un DE de 0.6 signifie que :

- 60% des stations IRRs ont une valeur de paramètre inférieure à la valeur définie par le 25<sup>e</sup> percentile des stations de référence (LIRRs),
- 25% des stations de référence (LIRRs) présentent des valeurs paramétriques équivalentes à celles observées sur les stations impactées (IRRs).
- 40% (1-DE) des stations impactées (IRRs) présentent des valeurs paramétriques équivalentes à celles observées sur les stations de référence (LIRRs)

6

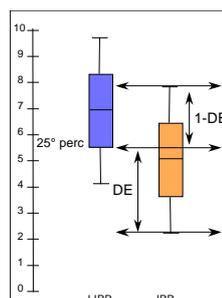


Figure 2 : Schéma de principe de calcul de l'Efficacité de Discrimination

7

Détermination de la combinaison de métriques qui seront effectivement retenues dans le cadre de la méthode finale sur la base d'une analyse par « bootstrapping\* ». Les métriques retenues sont : la Variété, l'indice de Diversité de Shannon, l'ASPT score, le Polyvoltinisme et l'Ovoviviparité.

8

Établissement du tableau de calcul des Efficacités de Discrimination (DE) pour chaque pression et pour chaque indice biologique qui sert de base au calcul des coefficients de pondération des variables biologiques exprimées en EQR.



<b>9</b>	Calcul de l'Indice I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> évaluation synthétique des pressions potentielles s'exerçant sur un peuplement.
----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 1.3.2 Le protocole d'échantillonnage (MPCE) utilisé pour l'échantillonnage de la station.

Dans le cadre des méthodes de bioindication actuellement mises en œuvre, les macro-invertébrés benthiques sont échantillonnés selon un protocole normalisé<sup>4</sup> : le protocole de prélèvement **MPCE\*** (Méthode en Petits Cours d'Eau), schématisé par la figure ci-dessous.

Les invertébrés sont prélevés avec un filet de type Surber (surface de 1/20<sup>ème</sup> de m<sup>2</sup>, 0,5 mm de vide de maille) dans **12 habitats** (12 couples substrats-vitesse prélevés) répartis en **3 phases ou bocal** (B) :

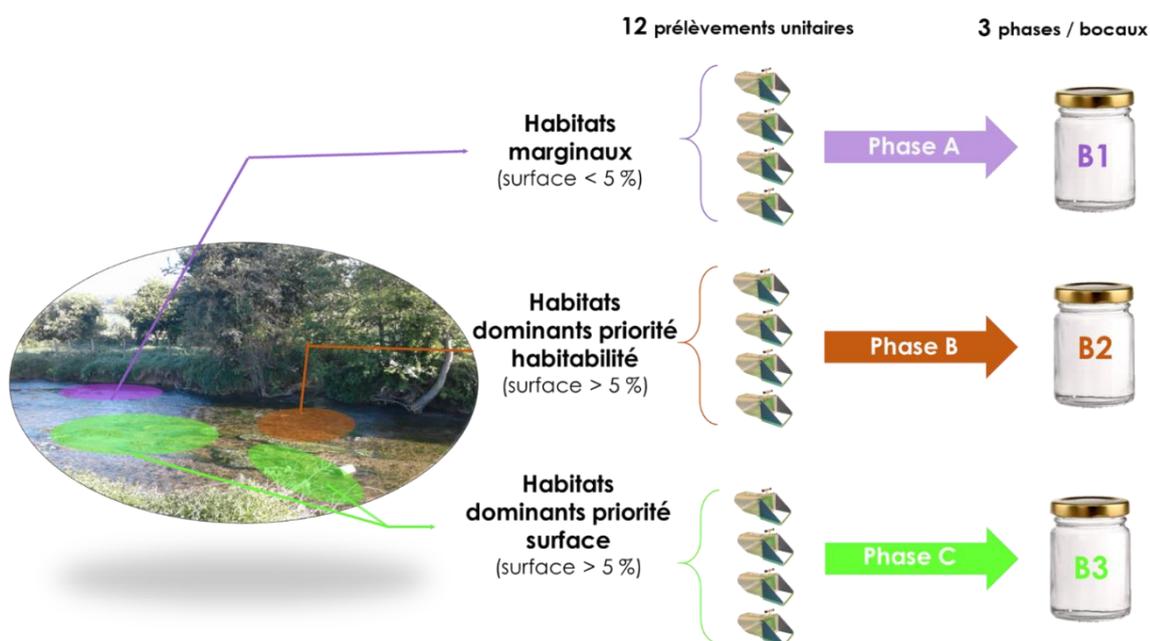


Figure 3 : Schéma explicatif du protocole d'échantillonnage MPCE (Source : ANTEA Group)

- ✎ La première phase (phase A ou B1) consiste à échantillonner les habitats dits « marginaux ». Ce sont les couples habitats dont le substrat représente moins de 5 % de la surface totale de la station. Ces habitats sont prélevés selon leur habitabilité\* (les plus biogènes échantillonnés en premier).
- ✎ La seconde phase (phase B ou B2) consiste à prélever 4 habitats dits « dominants » - qui représentent donc au moins 5 % de la superficie de la station échantillonnée. Ces habitats sont prélevés suivant leur ordre d'habitabilité.
- ✎ La troisième phase (phase C ou B3) est composée de 4 habitats dominants avec une priorité donnée aux substrats les plus représentés (4 surfaces les plus importantes)

<sup>4</sup> AFNOR, 2009, Qualité écologique des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes, Association française de normalisation, Norme expérimentale T 90-333.



Après prélèvement, les invertébrés sont triés puis déterminés selon un protocole de laboratoire normé<sup>5</sup>. Dans ce cadre, la plupart des taxons sont en général déterminés **au genre**.

### 1.3.3 Étapes de calcul de la note I2M2

Le calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut être décomposé de la façon suivante :

<b>1A</b>	Prélèvement in situ par la mise en application du protocole MPCE. Constitution des 3 « bocaux » B1, B2 et B3 représentatifs de tout ou partie du peuplement par addition des listes faunistiques relevées sur les prélèvements unitaires
<b>1B</b>	Calcul des métriques biologiques retenues dans la cadre de la méthode I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> à partir de l'assemblage de différents « bocaux » : <ul style="list-style-type: none"> <li>🌱 Variété = B1+B2+B3</li> <li>🌱 Shannon = B1+B2</li> <li>🌱 ASPT score = B2+B3</li> <li>🌱 Polyvoltinisme = B1+B2+B3</li> <li>🌱 Ovoviviparité = B1+B2+B3</li> </ul>
<b>2</b>	Calcul des EQR des différentes métriques régionalisées par hydro écorégion et par type de cours d'eau avec : <ul style="list-style-type: none"> <li>🌱 Pour valeur BEST la meilleure valeur régionale des stations LIRRs</li> <li>🌱 Pour valeur WORST la plus faible valeur observée au niveau national (5<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> percentile)</li> </ul>
<b>3</b>	Calcul des sous-indices par type de pression
<b>4</b>	Calcul de la note I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> soit directement par utilisation de la plate-forme de calcul SEEE, par l'utilisation des scripts « R » disponibles sur cette même plate-forme.

<sup>5</sup> AFNOR, 2010, Qualité écologique des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau, Association française de normalisation, Prénorme expérimentale XP T 90-388.



Ces différentes étapes sont schématisées dans la figure ci-dessous :

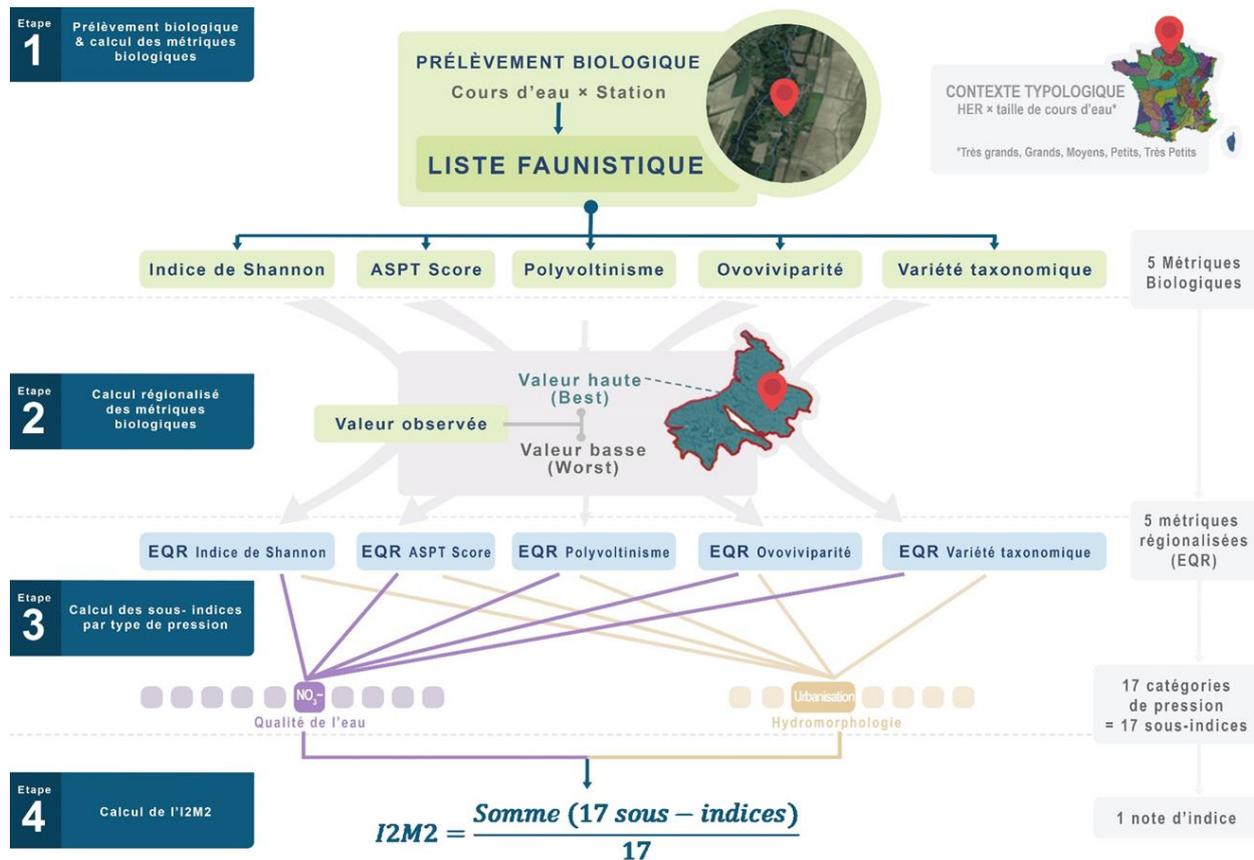


Figure 4 : Schématisation des étapes de calcul d'une note d'indice I2M2

### 1.3.4 Description des modalités de calcul

#### 1.3.4.1 La caractérisation du peuplement

Trois « bocaux » de prélèvements (B1, B2 et B3) réunissant chacun 4 prélèvements unitaires **sans pondération par la surface d'échantillonnage**, sont réalisés à partir de la mise en place du protocole MPCE.

- 🌿 Un 1er groupe de 4 prélèvements sur les supports marginaux (Bocal 1)
- 🌿 Un 2e groupe de 4 prélèvements sur les supports dominants suivant l'ordre d'habitabilité (Bocal 2)
- 🌿 Un 3e groupe de 4 prélèvements sur les supports dominants en privilégiant le pourcentage de recouvrement des substrats des habitats (Bocal 3).

Il est à noter que dans le cas où la détermination n'aurait pas été suffisamment précise, les algorithmes de calcul du SEEE<sup>6</sup> réaffectent automatiquement les taxons mal déterminés au prorata des taxons identifiés précisément et appartenant à la même « famille ».

<sup>6</sup> Système d'Évaluation de l'État des Eaux : <http://seee.eaufrance.fr/>



### 1.3.4.2 Le calcul des métriques biologiques

Le calcul de l'indice  $I_2M_2$  se base sur le calcul de métriques susceptibles de discriminer un état de référence d'un état impacté. Il est établi sur une base de données nationales, mais avec une normalisation des métriques par HER/type de cours d'eau. Les différentes métriques biologiques retenues après analyses statistiques complexes sont les suivantes :

- ⌘ L'indice de diversité de **Shannon-Weaver** (Shannon & Weaver 1963) calculé à l'échelle de la combinaison de baux « B1+B2 » (habitats les plus habitables),
- ⌘ La **valeur de l'ASPT (ASPT)** (Average Score Per Taxon ; Armitage et al. 1983) calculée à l'échelle de la combinaison de baux « B2+B3 » (habitats dominants),
- ⌘ La **fréquence relative des espèces polyvoltines** (Espèce ou taxon qui peuvent avoir plusieurs cycles de reproduction au cours d'une même année) calculée pour l'assemblage faunistique constitué par la combinaison de baux « B1+B2+B3 »,
- ⌘ La **fréquence relative des espèces ovovivipares** calculée pour l'assemblage faunistique constitué par le bocal « B1+B2+B3 »,
- ⌘ La **richesse taxonomique** (suivant les niveaux d'identification, définis par la norme XP T90-388) (Gabriels et al. 2010) calculée à l'échelle du point de prélèvement (combinaison « B1+B2+B3 »).

#### ▪ La variété taxonomique

La variété taxonomique est estimée à partir des trois baux B1, B2 et B3 soit l'ensemble des couples substrat/vitesse échantillonnés. La variété est calculée à partir des limites taxonomiques de la méthode  $I_2M_2$  et de la réaffectation des taxons mal déterminés (famille) sur les genres existants identifiés au niveau systématique préconisé par la norme AFNOR XP T90-388 (2010).

La normalisation des déterminations et le fait que cette variable ne prenne pas en compte l'abondance font que cette variable est représentative du peuplement de la station. On note toutefois que son estimation dépend de la représentativité de l'échantillonnage qui peut être limitée dans le cas d'une forte hétérogénéité habitationnelle des stations.

Cette variable est un descripteur classiquement utilisé pour décrire le peuplement d'une station à la date de prélèvement. Elle peut traduire :

- ⌘ Des conditions stationnelles particulières : gradient naturel de variété suivant les contextes hydro-éco régionaux, gradient naturel de la variété sur les différents biocénotypes ...
- ⌘ Une réduction de l'hétérogénéité de l'habitat (notamment par perte de niches écologiques sous influences naturelles (faibles développements d'herbiers en fonction de critères hydroclimatiques...) ou anthropiques (curage, recalibrage...)
- ⌘ Une altération de la qualité des eaux qui peut provoquer par exemple une disparition des taxons les plus polluosensibles.

L'interprétation d'une variation de la variété entre station de référence et station impactée n'est possible que si la nature du milieu échantillonné (biocénotype) et la structure des habitats (couples substrat/vitesse) sont très proches.



### ▪ L'indice de Diversité de Shannon

L'indice de diversité de Shannon permet d'analyser la structure du peuplement. Cet indice est d'autant plus élevé que la variété taxonomique est forte et qu'il y aura une bonne équirépartition du nombre d'individus par taxons. En cas de pression anthropique croissante **et dans des contextes habitationnels équivalents** (voir facteur contrôlant la variété taxonomique), on observe, en général, une baisse de la valeur de l'indice de diversité de Shannon.

La formule de calcul est la suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \times \log_2 (P_i)$$

Avec  $p_i$  abondance relative du taxon  $i$  ( $p_i = n_i/N$ ) avec  $n_i$  nombre d'individus du taxon  $i$   $N$  abondance globale du relevé et  $\log_2$  le log de base 2.

Pour être valide l'indice de diversité doit s'appuyer sur un échantillonnage représentatif du peuplement réel. Les niveaux taxonomiques retenus sont de préférence l'espèce, mais cet indice peut aussi être calculé, notamment pour des comparaisons synchroniques ou diachroniques, sur des listes présentant des niveaux taxonomiques hétérogènes si les limites taxonomiques sont établies sur les mêmes règles et avec sensiblement la même répartition des unités taxonomiques (famille, genre).

### ▪ Le BMWP Score et de l'ASPT Score

Les indices BMWP<sup>7</sup> (Biological Monitoring Working Party) et ASPT (Average Score Per Taxon) ont été définis pour rendre compte du niveau de polluosensibilité globale de la station notamment vis-à-vis des pollutions organiques (Armitage, 1982). Ils se basent, dans la méthode initiale, sur **un inventaire non quantitatif** des taxons présents (méthode de kick sampling). Les taxons sont déterminés, en général, au niveau taxonomique de la famille.

Le calcul se fait à partir d'une grille permettant de déterminer les scores par taxon. Les formules appliquées sont les suivantes :

$$BMWP = \sum_{i=1}^S \text{score taxon } i \qquad ASPT = \frac{BMWP}{S}$$

Avec  $S$  nombre total de taxons permettant le calcul du score

Pour les auteurs cette méthode permet, bien que le niveau taxonomique de la famille ne soit pas adapté à une analyse autoécologique fine, de détecter assez facilement des variations taxonomiques entre des sites différents. Toutefois les auteurs s'accordent et insistent sur le fait que de mêmes scores ASPT peuvent traduire, à l'échelle stationnelle, des conditions mésologiques très différentes (importance stationnelle de certains habitats, impact fort de la période d'échantillonnage sur la note... (« *it is clear that results will be dependent on type of river, type*

<sup>7</sup> Armitage, P.d., Moss D., Wright J.F., and Furse M. T., (1983) : The performance of a new biological water quality score based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res Vol 17 N°3 pp 333-347.*



of marginal area, sample method and season and the individual carrying out the sampling... »)).

Families	Score
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae Aphelocheiridae Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae.	10
Astacidae Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae Psychomyiidae (+Ecnomidae), Philopotamidae	8
Caenidae Nemouridae Rhyacophilidae (+Glossosomatidae), Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae (+Acroloxidae) Hydroptilidae Unionidae Corophiidae, Gammaridae Platycnemididae, Coenagriidae	6
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Scirtidae, Dryopidae, Elmidae, Chrysomelidae, Curculionidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planariidae (+Dugesiidae), Dendrocoelidae	5
Baetidae Sialidae Piscicolidae	4
Valvatidae, Hydrobiidae (+Bithyniidae), Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae Asellidae	3
Chironomidae	2
Oligochaeta (whole class)	1

Figure 5 : Tableau de description des scores de polluosensibilité attribués aux différents taxons dans la méthode BMWP/ASPT score

### ▪ Le Polyvoltinisme

Le « polyvoltinisme » traduit au sens large les taxons qui sont susceptibles d'avoir des cycles reproductifs rapprochés (ce qui correspond à des taxons de stratégie de type « R »).

Cette variable est calculée à partir des traits écologiques du Tachet (*Tachet et al. 2010*). L'abondance de chaque taxon est prise en compte avec une correction logarithmique. La formule de calcul est la suivante :

$$\text{Polyvoltinisme} = \frac{\sum_1^s (\text{modpoly} * \log(\text{effpoly} + 1))}{\sum_1^s (\log(\text{effpoly} + 1))}$$

Avec s nombre de taxons donnant un score de polyvoltinisme (382 au total), modpoly la modalité de polyvoltinisme du taxon et effpoly l'effectif des taxons donnant une note dans le calcul du polyvoltinisme

Pour les auteurs de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, le polyvoltinisme est en général observé dans les milieux où les contraintes environnementales globales permettent un ou plusieurs cycles reproductifs annuels.

Le « Polyvoltinisme » est expliqué par la qualité générale du milieu : une mauvaise qualité d'eau favoriserait la présence de taxons polyvoltins.



### ▪ L'Ovoviviparité

L'ovoviviparité est une modalité du trait biologique relatif au **mode de reproduction** caractérisant un taxon (Tachet et al. 2010).

Cette modalité est attribuée aux taxons dont le mode de reproduction permet l'incubation et l'éclosion des œufs dans l'abdomen de la femelle avant expulsion dans le milieu aquatique.

L'ovoviviparité est calculée à partir des traits écologiques du Tachet (Tachet et al. 2010). L'abondance de chaque taxon est prise en compte avec une correction logarithmique. La formule de calcul est la suivante :

$$\text{Ovoviviparité} = \frac{\sum_1^s (\text{modovo} * \log(\text{effpoly} + 1))}{\sum_1^s (\log(\text{effpoly} + 1))}$$

Avec  $s$  nombre de taxons donnant un score d'ovoviviparité,  $\text{modovo}$  la modalité d'ovoviviparité du taxon et  $\text{effpoly}$  l'effectif des taxons donnant une note dans le calcul de l'ovoviviparité.

Cette variable est censée rendre compte de la « dégradation globale de l'habitat » (notamment de la qualité physico-chimique de l'eau). Les taxons ayant la capacité à utiliser un mode de reproduction ovovivipare auraient statistiquement plus de chance de perdurer dans un cours d'eau perturbé, du fait d'une survie maximisée au stade embryonnaire.

#### 1.3.4.3 Transformation des métriques brutes par le calcul d'EQR

Ces métriques biologiques sont, dans le cadre de l'application de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, normalisées par un calcul d'EQR<sup>8</sup>.

L'équation de calcul de l'EQR pour chaque métrique biologique est la suivante :

$$\text{EQR} = \frac{\text{Val obs} - \text{WORST}}{\text{BEST} - \text{WORST}}$$

Avec comme valeur  $\text{BEST}$  une estimation régionalisée (par HER et type de cours d'eau) d'un seuil maximum des différentes variables biologiques et comme valeur  $\text{WORST}$  la valeur seuil minimale pour un paramètre biologique (valeur nationale et non régionalisée) et  $\text{Val obs}$  la valeur de la métrique biologique du relevé.

Ces valeurs d'EQR, **régionalisées** à partir des valeurs  $\text{WORST}$  et  $\text{BEST}$  de chaque variable biologique pour une HER et un type de cours d'eau donné, sont ensuite intégrées dans la formule de calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

<sup>8</sup> EQR : Ecological Quality Rating



#### 1.3.4.4 Calcul de la note

Le calcul de l' $I_2M_2$  repose sur la caractérisation de sous indices qui mettent en relation la capacité de discrimination DE (Efficacité de Discrimination) de chaque métrique biologique associée à une variable de milieu avec les EQR de chaque métrique biologique

$$I_2M_2 = \frac{\sum(DE_{pression} \times EQR_{met_{biol}})}{\sum DE_{pression}}$$

*DE pression* : proportion des stations ayant une valeur de la métrique biologique plus faible que celle du premier quartile de celles observées sur les stations de référence,  $EQR_{met_{biol}}$  Valeur en EQR régionalisé de la métrique biologique

La note  $I_2M_2$  finale étant la moyenne des 17 valeurs  $I_2M_2$  pression.

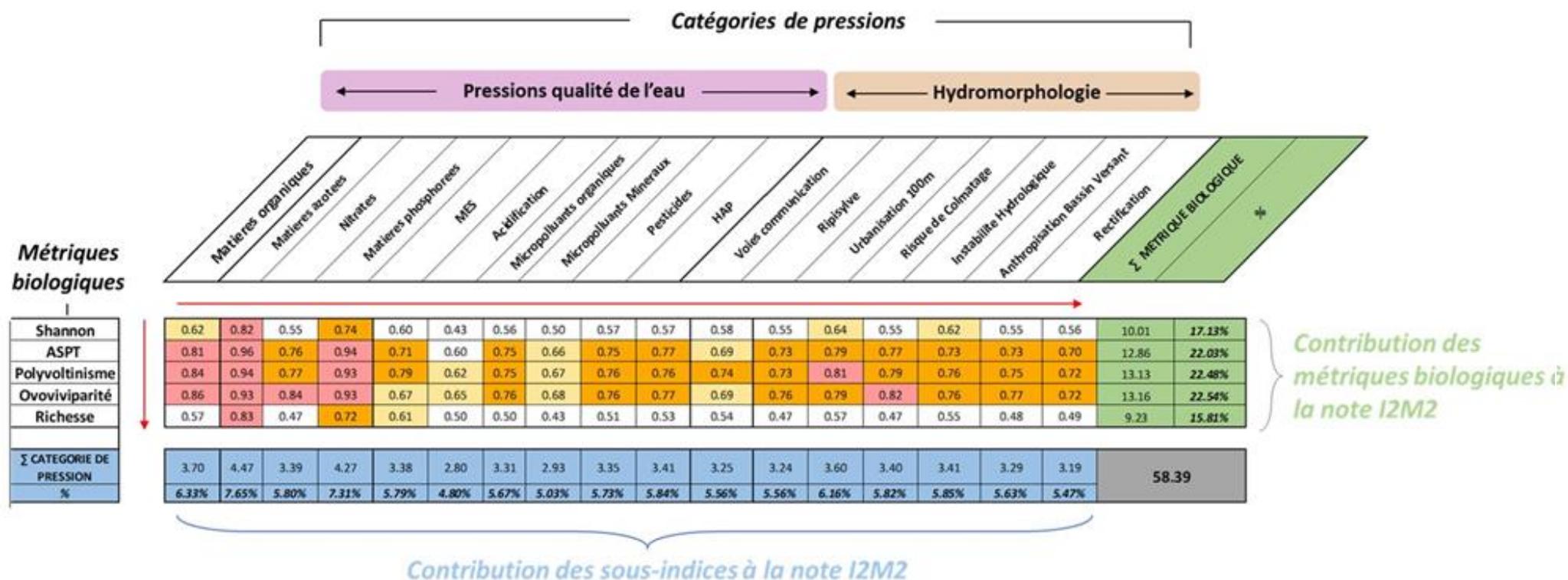
$$I_2M_2 = \frac{\sum(I_2M_2_{pression})}{17}$$

Les données de *DE pression* retenues pour le calcul de l' $I_2M_2$  sont présentées dans le tableau page ci-après :



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Tableau 2 : Valeurs d'efficacité de discrimination (DE) entre métriques biologiques et facteurs de pression. (Source : ANTEA Group)



Les sommes des lignes et des colonnes représentent la somme des DE pour une pression ou une variable biologique donnée et le pourcentage associé (calculé à partir de la somme totale des DE (58.39)). (rouge : DE > 0.8, orange : 0.7 < DE < 0.8 et jaune 0.6 < DE < 0.7).



Le calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut être aussi calculé directement à partir de la formule suivante :

$$I_2M_2 = EQR_{Sha} * 0.1713 + EQR_{ASPT} * 0.2203 + EQR_{Poly} * 0.2248 + EQR_{Ovo} * 0.2254 + EQR_{Rich} * 0.1581$$

Dans cette formule on note que trois variables portent principalement la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ; il s'agit de l'**Ovoviviparité** (22,54%), le **Polyvoltinisme** (22.49%) et l'**ASPT Score** (22.01%). Les deux variables restantes sont moins explicatives ; Shannon (17.14%) et Richesse (15.82%).

Dans son principe le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> met donc en avant les métriques qui expliquent le plus des décalages entre stations de référence et stations analysées. Le pourcentage prend en compte la probabilité des effets des 17 pressions.

On note que les *DE pression* les plus élevés correspondent aux variables du milieu : Matières azotées (7.65%), Matières phosphorées (7.31%), Matières organiques (6.31%), Urbanisation 100 m (6.16%).

**La méthode I2M2 permettrait, dans 81 % des cas, de différencier statistiquement des opérations de contrôle sous l'influence d'impacts (IRRs), d'autres situées en conditions de « référence' (LIRRs) (In average more than 81% of the reaches pre-classified as 'impaired' on environmental criteria were also considered as 'impaired' by the I2M2 : Mondy 2012).**

Cette évaluation des 81% est une évaluation globale, à l'échelle du territoire métropolitain, donnée en conclusion de l'article de Mondy (2012).

Dans le cadre de l'analyse de l'étude (9A, 9 et 10), on peut donc penser que cette marge d'erreur serait la même, mais rien n'est moins certain puisque nous ne disposons pas d'une évaluation de cette marge d'erreur pour chaque contexte HER.

### 1.3.5 Interprétation de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

En tant que telle, la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semble difficilement interprétable. En effet, elle est censée être représentative d'un ensemble de pressions, ce qui ne permet pas de déterminer la ou les pressions qui peuvent être à l'origine du déclassement de la note. Comme la méthode n'est pas basée sur l'analyse des relations quantifiées entre une valeur de pression et les valeurs des métriques biologiques, il semble aussi difficile de considérer que la variation de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est directement proportionnelle à la variation d'un ou de plusieurs paramètres physico-chimiques ou morphologiques.

On peut toutefois considérer que, plus la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est faible, plus il existerait de fortes probabilités pour que des pressions s'appliquent sur le peuplement.



## 1.4 Analyse comparée des deux indices IBG-EQ et I2M2

### 1.4.1 Préambule

Dans cette partie, afin d'illustrer les différents points qui seront discutés, il a semblé indispensable, à titre pédagogique, d'étayer les différentes remarques par des exemples démonstratifs.

Ces exemples sont constitués de trois listes faunistiques R1, R2 et R3 présentées dans les Annexes 3, 6 et 9.

Ces relevés sont issus de l'application du protocole MPCE appliqué sur deux stations présentant des habitats différents (tableaux de prélèvement P1 et P2 présentés en Annexe 2). Il est à noter que ces deux relevés de terrain conduisent au choix des mêmes prélèvements unitaires (12 prélèvements) alors que les pourcentages de recouvrement des habitats diffèrent nettement.

Pour P1, l'habitat stationnel est relativement équilibré. Pour P2, l'habitat est plus déséquilibré avec un substrat dominant.

Ces protocoles d'échantillonnage ont été appliqués aux relevés R1, R2 et R3 pour illustrer l'importance que peut avoir le mode de reconstruction du peuplement et le calcul d'indices qui vont prendre en compte l'abondance.

Ainsi chaque relevé a été décliné de la façon suivante :

- R1, R2, R3 sont des relevés reconstitués avec la méthodologie normalisée dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> par addition directe des abondances des 12 prélèvements unitaires,
- R1\_P1, R2\_P1 et R3\_P1 (Annexes 4, 7, 10) sont des relevés reconstitués en corrigeant les abondances de chaque prélèvement unitaire par les pourcentages de recouvrement des habitats (couples substrat vitesse du relevé P1),
- R1\_P2, R2\_P2 et R3\_P2 (Annexes 5, 8, 11) sont des relevés reconstitués en corrigeant les abondances de chaque prélèvement unitaire par les pourcentages de recouvrement des habitats (couples substrat vitesse du relevé P2).

### 1.4.2 Signification des deux indices macro invertébrés benthiques : l'IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

L'IBG-EQ qui était d'usage avant l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est une méthode qui est basée sur un protocole d'échantillonnage standardisé et normalisé de 8 échantillons prélevés en fonction des couples substrat/vitesse, et qui permet de caractériser l'état des peuplements aquatiques (détermination à l'ordre ou à la famille) par la confrontation de deux variables :

- La variété taxonomique qui rend compte de la qualité de l'eau, mais aussi de la qualité des habitats (la variété taxonomique augmentant en général en fonction du nombre de niches écologiques présentes sur les milieux) ;
- Le « groupe indicateur » qui permet de caractériser les niveaux de polluosensibilité du peuplement en fonction de la présence ou de l'absence de certains taxons et notamment de la présence ou de l'absence des taxons les plus polluosensibles.

Le niveau de polluosensibilité du peuplement, caractérisé par la présence ou l'absence de certains groupes indicateurs retenus dans le cadre de la méthode, couplé à l'analyse de la variété taxonomique, permet de qualifier un niveau global d'altération d'autant plus important que la note d'indice s'éloigne de 20/20.



L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est une méthode qui dans son principe a pour objectif de caractériser un niveau de pression global (physico-chimique et/ou hydromorphologique) et cela à partir de l'analyse des biocénoses aquatiques. Cette mise en relation entre variables du milieu physico-chimiques et hydromorphologiques a été faite en analysant la capacité d'une multitude de variables biologiques à discriminer des stations de contrôles impactées par des actions anthropiques, d'autres avec peu d'impacts potentiels. 5 variables qui ont été jugées comme les plus discriminantes ont été retenues sur la base de différents critères (non-redondance entre variables...) et pondérées entre elles en fonction de leur capacité respective à discriminer l'ensemble des pressions analysées.

Dans les principes de fonctionnement, les deux indices sont très différents :

- ⌘ **L'IBG-EQ** est une note qui caractérise le peuplement à partir de deux variables ; le Groupe Indicateur et la Variété taxonomique. L'état général du milieu peut alors être déduit de façon très globale par analogie en faisant notamment le constat de la disparition de taxons polluosensibles. La note IBGN/IBG-EQ n'intègre pas de facteur de régionalisation pour son calcul.
- ⌘ **La note I2M2** est une note qui permet une évaluation directe des pressions de toutes natures sur les milieux. Elle se base sur des variables descriptives du peuplement qui ont été déterminées et pondérées entre elles en fonction de leur capacité à discriminer statistiquement différents ensembles de pressions physico-chimiques et morphologiques. La note I2M2 permet donc d'évaluer une probabilité de pressions d'autant plus forte que certains taxons considérés comme polluorésistants seront présents en grand nombre dans les relevés. Cette évaluation est régionalisée, car les métriques biologiques sont transformées en EQR pour le calcul de la note.

### 1.4.3 Analyse des relations entre note IBG-EQ et Note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

D'une façon générale la mise en relation des notes IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ne montre pas de corrélation forte comme on peut le constater sur la figure ci-dessous.

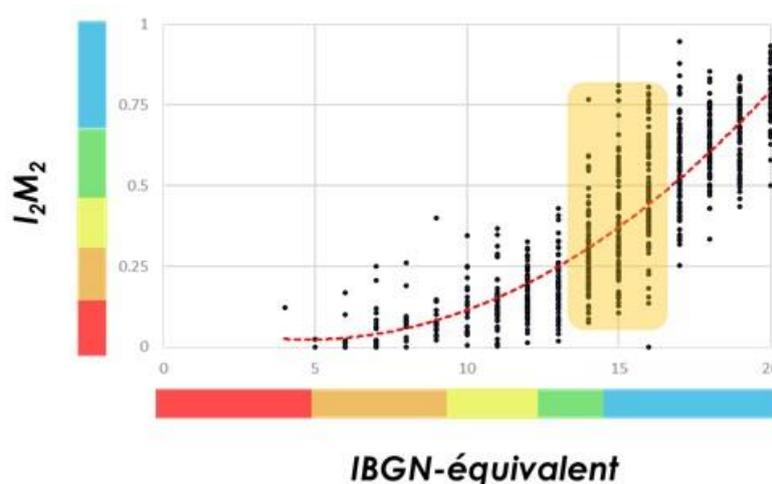


Figure 6 : Relation entre notes I2M2 et IBG-EQ de 702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A.

Les corrélations semblent un peu meilleures pour les situations extrêmes (Faibles ou fortes valeurs des deux indices), mais le maximum de variabilité est observé pour des situations moyennes et notamment pour des valeurs d'indices IBG-EQ comprises entre 14 et 17, c'est-à-dire souvent dans la zone de qualification des états « moyen », « bon » et « très bon ».



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Les décalages entre notes IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ne semblent pas particulièrement liés à une des métriques de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Cette variabilité est moins forte pour la Variété ce qui est normal, car celle-ci est une métrique qui intervient dans le calcul des deux indices.

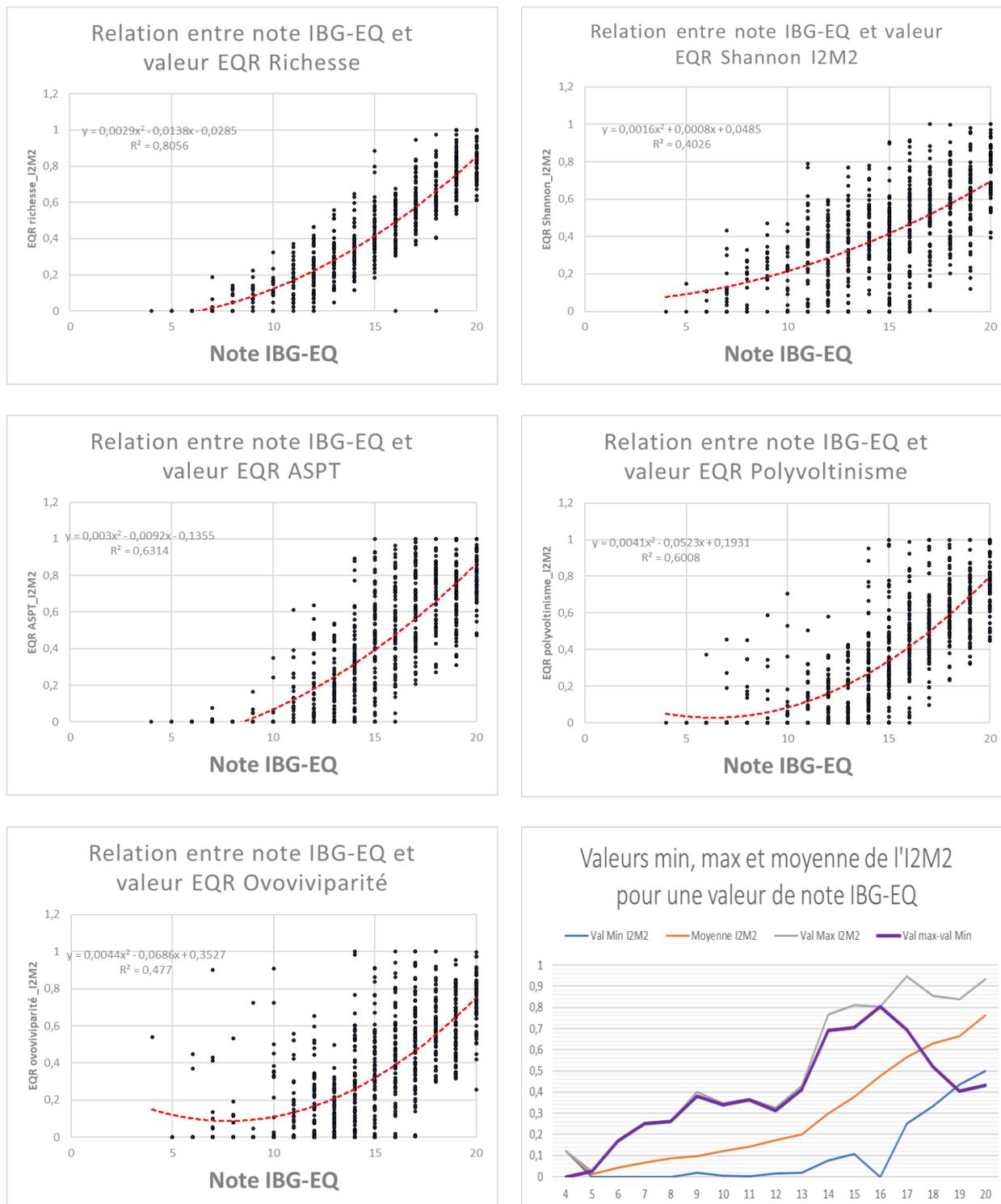
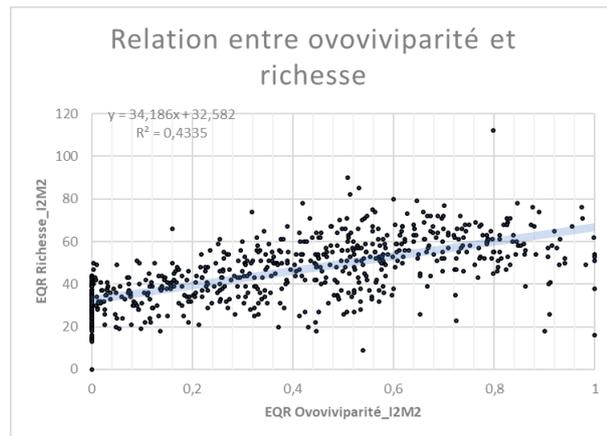
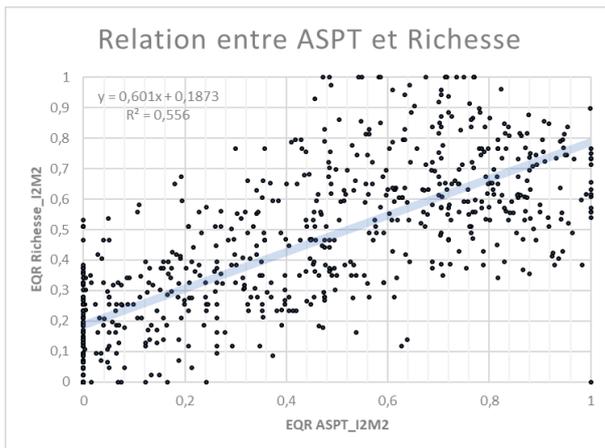
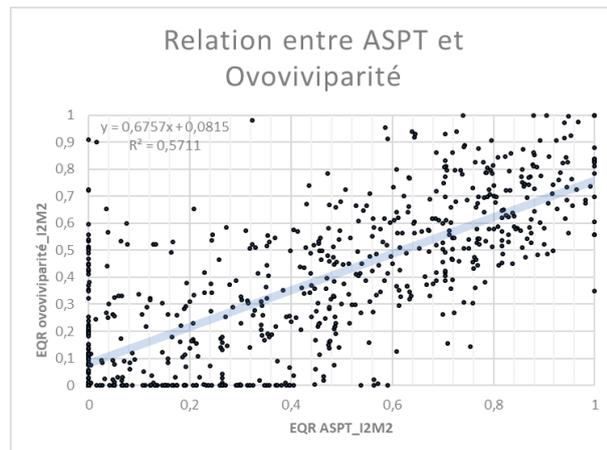
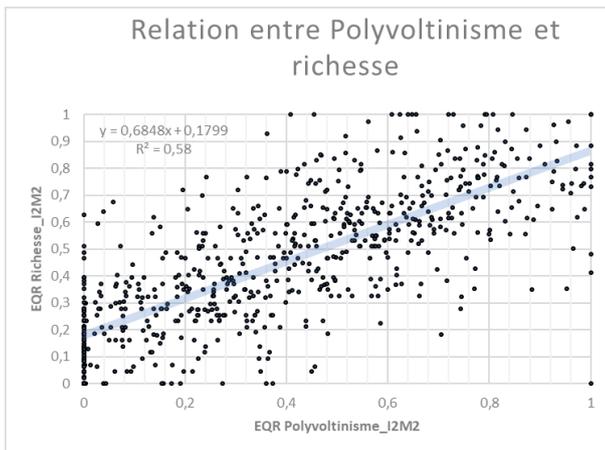
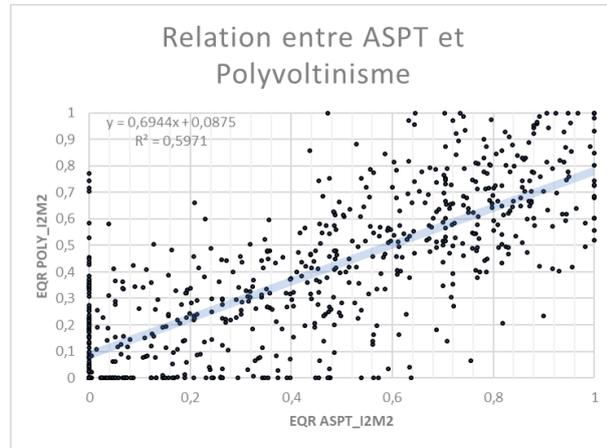
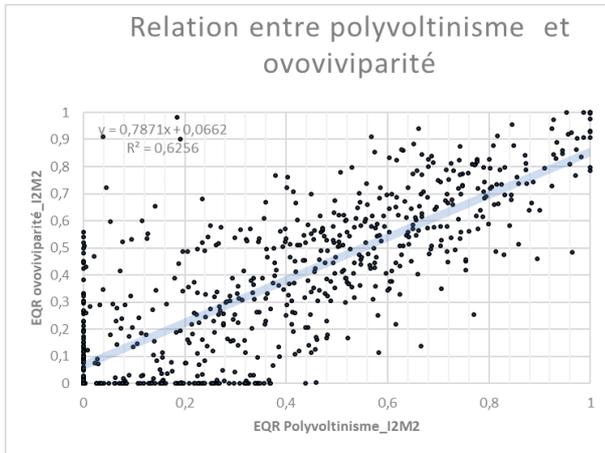


Figure 7 : Pour les graphiques ci-dessus, relation entre les notes des métriques I2M2 exprimées en EQR et la note IBG EQ de 702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A (En bas à droite valeurs minimales, moyennes et maximales de l'I2M2 pour une note IBG-EQ donnée)



Une analyse montre aussi que pour l'ensemble de ce jeu de données, les relations de corrélation des différentes variables exprimées en EQR sont faibles comme on peut le constater sur les graphes de la figure ci-dessous (classés par  $R^2$  décroissant) :



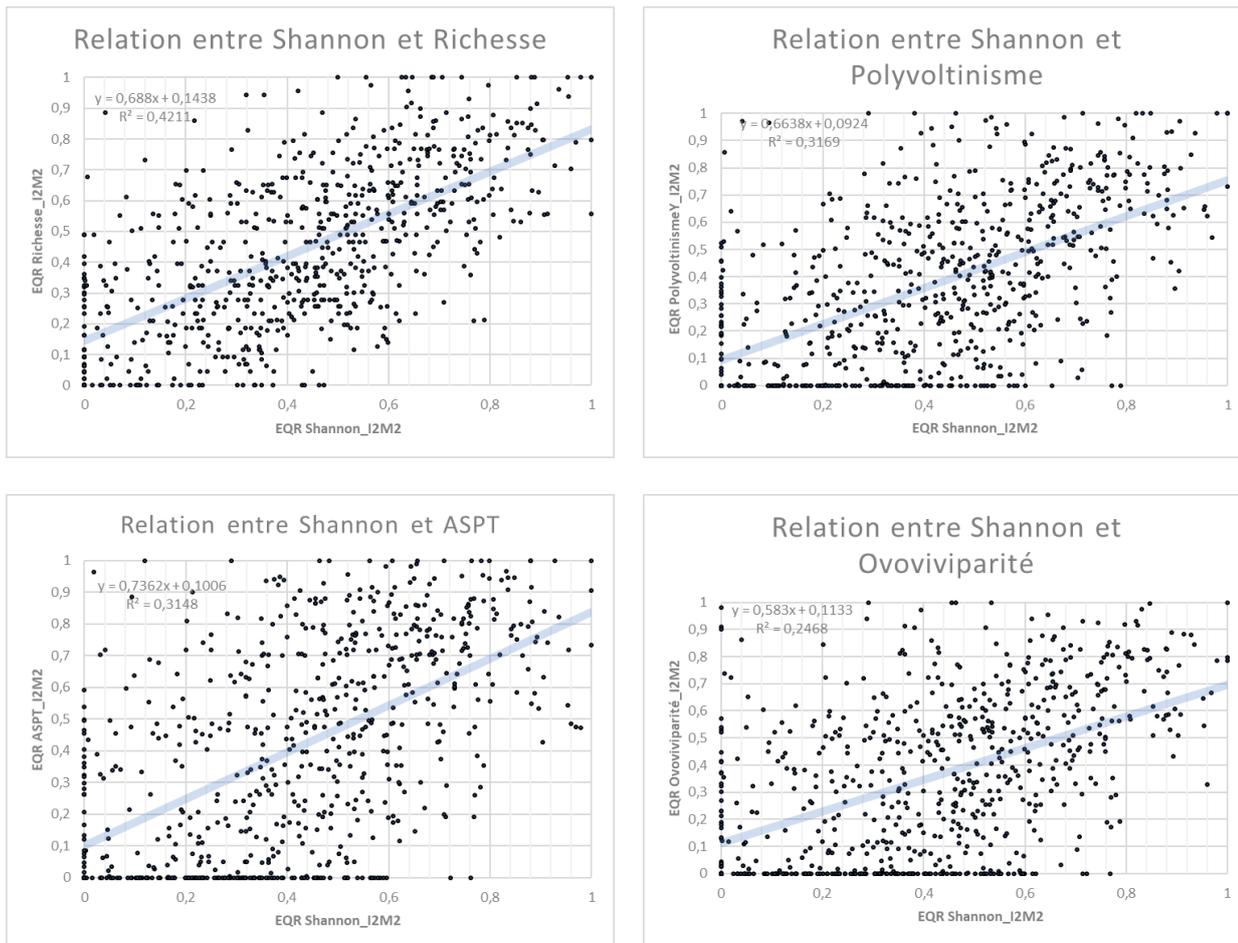


Figure 8 : Pour les 10 graphes ci-dessus, relation entre les notes des différentes métriques de l'I2M2 prises deux à deux et exprimées en EQR (702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A)

Les plus fortes relations entre les différentes métriques sont obtenues entre les métriques suivantes :

- /// Polyvoltinisme et Ovoviviparité ( $R^2$  de 0.62),
- /// ASPT et Polyvoltinisme ( $R^2$  de 0.60),
- /// Polyvoltinisme et Richesse taxonomique ( $R^2$  de 0.58),
- /// ASPT et Ovoviviparité ( $R^2$  de 0.57),

Si ces différentes métriques semblent donner deux par deux des informations qui peuvent être considérées comme concordantes bien qu'il existe une forte dispersion des points, on note que l'indice de diversité de Shannon est lui très peu corrélé avec les autres indices ce qui est assez logique dans la mesure où les informations qu'il apporte sont liées à la structure du peuplement et non pas à la présence de taxons présentant des traits écologiques particuliers.

De ces analyses, il ressort qu'il paraît difficile de trancher sur la pertinence de l'une ou de l'autre note dans la mesure où il faudrait pouvoir expertiser un nombre significatif de stations échantillonnées pour caractériser statistiquement les décalages observés entre les deux notes d'indice voire pour expliquer les décalages par rapport aux valeurs des métriques prises en compte dans la méthode I2M2.

À titre d'exemple, les tableaux ci-dessous présentent de façon conjointe les notes I2M2 et IBG-EQ calculées sur les relevés R1, R2 et R2 (calcul des deux indices par le site SEEE) appliqués aux HER 9A et 9. Les listes faunistiques des trois relevés sont données en annexes 3 à 11.



Sur l'HER 9A, on note (figure ci-dessous) que :

- Les notes IBG-EQ renvoient systématiquement un « très bon état » pour les trois relevés R1, R2 et R3 ce qui ne traduit pas la réalité : les relevés R1 et R3 étant n'étant pas caractéristiques d'un milieu en très bon état contrairement au relevé R2. Sur cette HER la limite de « très bon état » pour cet indice devrait être réévaluée (par exemple 15 ou 16 pour le « très bon état »). Toutefois la note IBG-EQ traduit bien le fait que le relevé R2 est bien meilleur que les relevés R1 et R3.

	R1	R2	R3
IndiceShannonI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0,7729	0,7754	1
AverageScorePerTaxonI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0,6693	0,7056	0,8508
PolyvoltinismeI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0,5579	0,758	1
OvovivipariteI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0,5628	0,2915	1
RichesseI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0,2065	0,236	0,236
Ind Invert Multimetrique	<b>0,5649</b>	<b>0,5617</b>	<b>0,8467</b>
NbTaxonsI <sub>2</sub> M <sub>2</sub> Contributifs	29	30	30
NOTE IBG-DCE	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>14</b>
GFI	7	9	7
VARIETE	28	29	26

Tableau 3 : Comparaison des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et IBG-EQ pour les relevés R1, R2 et R3 sur l'HER 9A. Les couleurs correspondent aux classes de qualité sur cette HER

Les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> caractérisent le « bon état » sur les relevés R1 et R2 et un « très bon état » pour le relevé R3, ce qui ne correspond pas à l'analyse que nous pouvons faire des peuplements. Le relevé R2 ne peut être considéré comme moins bon que les relevés R3 et R1.

Sur l'HER 9 (voir figure ci-dessous) on note :

- Une forte différence de note liée à la prise en compte du contexte hydroécorégional ;
- Une différence nette d'appréciation de l'état pour les relevés R2 et R3. Sur ces deux relevés, l'appréciation de la note IBG-EQ semble plus pertinente que la notation I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> très sous-évaluée pour R2 qui traduit juste un état moyen, et très nettement surévalué pour R3. La note du relevé R1, semblant pertinente au regard de l'état du peuplement et en accord avec le calcul de la note IBG-EQ.

	R1	R2	R3
IndiceShannonI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.5761	0.578	0.9535
AverageScorePerTaxonI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.6012	0.6338	0.7642
PolyvoltinismeI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.4197	0.5701	1
OvovivipariteI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.3803	0.1969	0.9359
RichesseI <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.1489	0.1702	0.1702
Ind Invert Multimetrique	<b>0.4348</b>	<b>0.4381</b>	<b>0.7949</b>
NbTaxonsI <sub>2</sub> M <sub>2</sub> Contributifs	29	30	30
NOTE IBG-DCE	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>14</b>
GFI	7	9	7
VARIETE	28	29	26

Tableau 4 : Comparaison des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et IBG-EQ pour les relevés R1, R2 et R3 sur l'HER 9. (Les couleurs correspondent aux classes de qualité sur cette HER)



#### 1.4.4 Conclusion

Ces différentes analyses nous montrent que la valeur de la note obtenue reste difficile à appréhender, car :

- D'une part, la nature de l'information portée par la valeur de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (analyse d'une probabilité de pression) est très différente de celle portée par l'IBGN ou l'IBG-EQ (caractérisation du peuplement)
- D'autre part, parce que la multiplicité des indices qui constituent l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et leur caractère très différent fait qu'il est difficile, voire impossible d'expertiser facilement la note finale.

Les différents relevés R1, R2 et R3 sur les HER 9 et 9A nous montrent aussi que de forts décalages peuvent exister entre l'évaluation de la qualité du peuplement par la note IBG-EQ et la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Ceci nous a amenés à nous interroger sur différents éléments de la méthode pour vérifier que les informations produites présentaient bien les caractéristiques que l'on demande en général à tout indice biologique, c'est-à-dire présenter les qualités d'un bon **appareil de mesure à la fois sensible, précis, juste et fidèle**. Ces points sont détaillés dans la partie suivante.



## 1.5 Analyse des éléments constitutifs de la méthode I2M2.

### 1.5.1 Introduction

Afin de mieux comprendre les différences d'appréciation entre note IBG-EQ et note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, nous nous sommes intéressés à répondre à un certain nombre de questions dans l'objectif de mieux comprendre les choix méthodologiques retenus et leur impact éventuel sur la « qualité » de l'appareil de mesure et donc des résultats produits.

Les questions qui seront plus particulièrement abordées et qui sont en général récurrentes dans la mise en place de toute méthode biologique sont les suivantes :

- Le protocole d'échantillonnage utilisé permet-il de rendre compte de la structure réelle du peuplement ?
- La technique de reconstitution du peuplement stationnel par addition de « bocaux » est-elle pertinente dans le cadre d'une analyse biocénotique prenant en compte l'abondance des taxons ?
- Les informations apportées par les différents indices biologiques et les méthodes de calcul sont-elles pertinentes au regard des objectifs poursuivis et notamment de l'évaluation des perturbations physico-chimiques ou morphologiques des milieux ?
- Les déclassements observés s'expliquent-ils uniquement par des pressions (naturelles ou anthropiques) ou peuvent-ils être expliqués par des éléments liés à la construction de l'indice ?
- Les déclassements observés peuvent-ils être expliqués par l'abondance de certains taxons (notamment les *Gammaridae*) ou de certaines structures habitationnelles (herbiers). Cette abondance est-elle caractéristique de secteurs toujours perturbés ?
- Les références utilisées dans le cadre hydroécorégional des HER 9A, 9 et 10 sont-elles pertinentes ?
- Quelle est l'incidence de l'utilisation des métriques régionalisées pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ? Aurait-il été préférable que cette régionalisation ne porte que sur la note finale obtenue ?
- Qu'apporte comme information l'outil diagnostic ? Les informations apportées sont-elles complémentaires à celles apportées par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ceci même si l'Outil Diagnostic n'est pas une méthode « régionalisée » comme l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ? Les éléments de l'outil diagnostic rendent-ils compte fidèlement des pressions qui s'exercent sur les HER 9A, 9 et 10 ?

Des réponses à ces questions seront apportées au travers des informations collectées sur les HER 9A, 9 et 10. Elles ne sauraient en aucun cas être généralisées sans être validées sur les autres hydro écorégions.

Dans le cadre d'une démarche plus pédagogique, elles seront illustrées en tant que de besoin par des exemples appliqués aux HER 9A, 9 et 10.

### 1.5.2 Le protocole d'échantillonnage

Il y a peu de choses à dire sur le protocole d'échantillonnage dans la mesure où les processus normalisés mis en œuvre dans la méthode d'échantillonnage (choix des placettes de prélèvement) et de tri permettent en général (en fonction du degré de professionnalisation des intervenants) l'obtention de listes faunistiques homogènes



pour chaque unité d'échantillonnage (prélèvement de  $1/20^{\text{ème}}$  de  $m^2$ ).

De plus, des processus de détermination mis en œuvre pour la caractérisation taxonomique garantissent une certaine homogénéité des listes faunistiques en fonction des niveaux taxonomiques, car il n'est pas toujours possible d'aller au genre (premier stade larvaire...).

D'une façon générale, l'échantillonnage réalisé permet une collecte de la plupart des habitats présents. Toutefois, on note dans certains cas une sous-représentation des substrats marginaux présentant un faible coefficient d'habitabilité (vases, sables limons...) au profit des substrats dominants.

### 1.5.3 La technique de reconstitution du peuplement

Dans le cadre de l'application du **protocole MPCE\***, on peut considérer que les procédures mises en place permettent un échantillonnage raisonnable de la mosaïque d'habitats.

Toutefois, on note que la représentativité de l'échantillonnage est d'autant plus forte que la station présente un habitat simplifié avec des substrats dominants. Cela sera moins le cas avec des stations aux habitats diversifiés et présentant de plus faibles variations des pourcentages de recouvrement. Sur ces stations, le peuplement échantillonné sera toujours sous-évalué par rapport à d'autres où certains habitats vont prédominer.

Ce point est illustré à partir des relevés P1 et P2 (annexe xx). Ces deux relevés montrent que l'application du protocole MPCE **conduit au choix des mêmes échantillons unitaires** (les 12 prélèvements constituant les bocaux) et ceci bien que les pourcentages des surfaces échantillonnées soient très différents.

Le relevé P2 avec un habitat dominant à 60% sera mieux évalué, car la surface échantillonnée sera représentative de 87% des couples substrat/vitesse présents (bocaux B1, B2, B3) contre seulement 71.5 % pour P1.

Couples substrat vitesse échantillonnées	Relevé P1	Relevé P2
Bocaux B1, B2, B3	71.5%	87%
Bocaux B1, B2	52 %	73 %
Bocaux B2, B3	65.5 %	76 %

Tableau 5 : surfaces (en %) des couples substrat/vitesse réellement échantillonnés en application du protocole MPCE sur deux stations

Dans le cadre de ce protocole MPCE, trois bocaux sont constitués pour reconstituer 3 peuplements différents par « bocal » (voir figure ci-dessous). Le « peuplement » de chaque bocal est obtenu en faisant la somme des quatre prélèvements unitaires **sans pondération par la surface de l'habitat ce qui devrait être la règle dans le cadre de l'analyse d'une densité (nombre d'individus par unité de surface)**. Il est à noter que certains opérateurs font cet assemblage directement sur le terrain en mélangeant les 4 prélèvements unitaires.

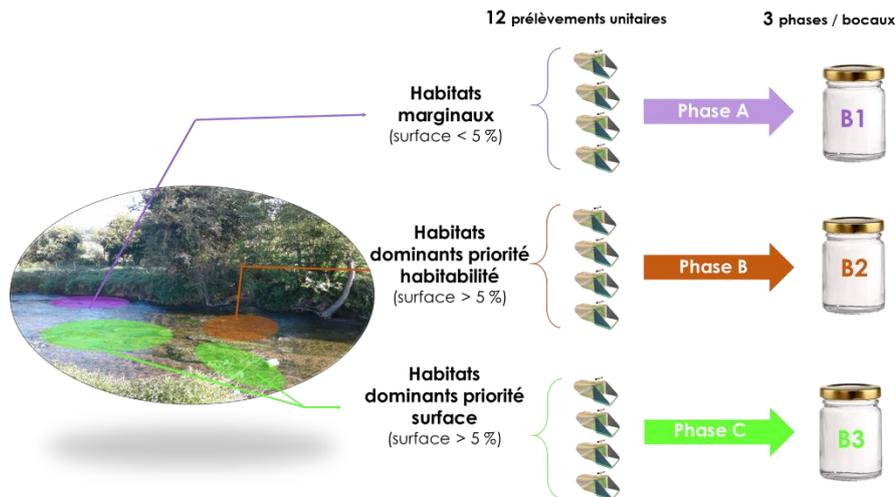


Figure 9 : Protocole de reconstitution par bocaux du peuplement dans la méthode MPCE (Source ANTEA-Group)

Cette façon de reconstituer le peuplement pose question dans la mesure où :

- ❏ Le protocole ne permet pas de différencier des stations qui auront des habitats avec des pourcentages de recouvrement différents puisque son application pourra permettre de retenir les mêmes prélèvements unitaires qui seront traités à l'équivalence pour les différentes stations.
- ❏ Les abondances calculées par bocaux ne permettent pas une représentation correcte du peuplement de la station analysée, car ne elles ne tiennent pas compte du pourcentage de recouvrement du couple substrat/vitesse sur la station. Cela devrait pourtant être la règle dans le cadre de l'échantillonnage d'une mesure de densité (nombre d'individus par unité de surface) estimée par un sous échantillonnage d'habitats présentant des recouvrements stationnels variables (les prélèvements constituant le « bocal »). Ce point est particulièrement sensible dans le cadre du calcul d'indices qui vont utiliser les abondances taxonomiques (cas de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, mais pas de l'IBG-EQ) notamment pour établir des comparaisons inter-stationnelles (analyses synchroniques/diachroniques) ou une analyse par rapport à des « références » (comparaison LIRRs/IRRs de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>).
- ❏ Les « peuplements » reconstitués par bocal unitaire ou assemblage de 2 des 3 bocaux ne peuvent pas être considérés comme représentatifs du peuplement d'une station et il paraît difficile de les exploiter dans le cadre d'un calcul d'indice. Par exemple dans le cadre du relevé P1, l'assemblage des bocaux B1 et B2 correspond au global à un échantillonnage de 52% des habitats présents sur la station ; les densités du bocal B1 (4 % de recouvrement sur la station) seront considérées comme équivalentes à celle au bocal B2 (82 % de recouvrement sur la station).

Dans le cadre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, la prise en compte **de la densité devrait s'appliquer au pourcentage de recouvrement des couples substrat/vitesse, car ce sont ces deux paramètres qui sont utilisés pour différencier les habitats dans le protocole MPCE et stratifier l'échantillonnage**. Cela correspond aussi à une logique hydrobiologique : des pierres/galets dans des vitesses de 5 à 25 cm/s n'hébergeant pas le même peuplement que dans des vitesses de 25 à 75 cm/s.

À titre d'illustration, le tableau ci-dessous présente l'abondance globale corrigée en fonction des échantillonnages P1 et P2 et le % des individus d'Éphéméroptères et Plécoptères et de Trichoptères pour les relevés R1, R2 et R3.



	R1	R1_P1	R1_P2	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
% EPT IND	23,00%	23,90%	29,00%	16,40%	23,60%	33,00%	29,00%	33,90%	32,00%
ABONDANCE	6009	1906	1802	6126	1891	1726	1167	1100	1691
RICHESSSE	29			30			30		

**Tableau 6 : résultats du calcul des valeurs d'Abondance, et pourcentage des individus EPT sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) comme dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.**

On remarque sur ces trois relevés que la prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats (couples substrat/vitesse) conduit à des différences d'appréciation notables de l'abondance globale ramenée à la même surface totale échantillonnée ( $12 \times 1/20^{\text{ème}}$  m<sup>2</sup> soit 0.6 m<sup>2</sup>) sur l'ensemble des stations. Cela modifie aussi les pourcentages des taxons considérés comme les plus polluosensibles (variations maximales de 6% sur R1, 16.6% sur R2 et 4.9% sur R3), ce qui aura des conséquences sur l'évaluation globale de la qualité des milieux.

L'incertitude sur la mesure des métriques quantitatives sera d'autant plus forte que les espèces les plus abondantes seront observées sur les substrats marginaux et que d'autres substrats domineront sur la station. On note aussi, que des taxons ayant une forte indication en matière de polluosensibilité, présents en faible nombre sur les substrats dominants sont très marginalisés par le mode de calcul actuel qui pourra alors les considérer à tort comme peu représentés au niveau de la station. Le tableau ci-dessous donne les rapports entre surface des substrats dominants et surface du substrat minimum que l'on peut prélever dans le cadre de la méthode MPCE pour différents types de cours d'eau et qui devraient être utilisés pour faire les corrections de densité.

	TPCE		PCE		MCE		GCE		TGCE	
LPB	18		12		12		6		6	
largeur STATION	2	8	8	15	15	25	25	40	40	80
longueur STATION	36	144	96	180	80	300	150	240	240	480
SURFACE min HABITAT m2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,8	0,8	2	2
% SURFACE MIN HABITAT MARGINAL (%)	0,14	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
	SURFACE SUBSTRAT DOMINANT m2/SURFACEmin HABITAT MARGINAL m2									
Substrat avec une dominance de 20%	144	2304	512	1800	480	3000	938	2400	960	3840
Substrat avec une dominance de 30%	216	3456	768	2700	720	4500	1406	3600	1440	5760
Substrat avec une dominance de 40%	288	4608	1024	3600	960	6000	1875	4800	1920	7680
Substrat avec une dominance de 50%	360	5760	1280	4500	1200	7500	2344	6000	2400	9600
Substrat avec une dominance de 60%	432	6912	1536	5400	1440	9000	2813	7200	2880	11520
Substrat avec une dominance de 70%	504	8064	1792	6300	1680	10500	3281	8400	3360	13440
Substrat avec une dominance de 80%	576	9216	2048	7200	1920	12000	3750	9600	3840	15360

**Tableau 7 : Tableau donnant le rapport entre la surface de substrats dominants et la surface de la surface minimale qui peut être échantillonnée pour les différents types de cours d'eau dans le cadre de la méthode MPCE.**

Pour des substrats marginaux compris entre 1 et 5 % les rapports surfaciques avec les substrats dominants sont les suivants pour tous types de cours d'eau :

	% de surface du substrat marginal				
	1,00%	2,00%	3,00%	4,00%	4,99%
Substrat avec une dominance de 20%	20,00	10,00	6,67	5,00	4,01
Substrat avec une dominance de 30%	30,00	15,00	10,00	7,50	6,01
Substrat avec une dominance de 40%	40,00	20,00	13,33	10,00	8,02
Substrat avec une dominance de 50%	50,00	25,00	16,67	12,50	10,02
Substrat avec une dominance de 60%	60,00	30,00	20,00	15,00	12,02
Substrat avec une dominance de 70%	70,00	35,00	23,33	17,50	14,03
Substrat avec une dominance de 80%	80,00	40,00	26,67	20,00	16,03

**Tableau 8 : Tableau donnant le rapport entre la surface de substrats dominants et la surface de la surface minimale qui peut être échantillonnée dans le cadre de la méthode MPCE.**

Ce tableau montre qu'il faudrait en toute logique réaliser 50 prélèvements dans un habitat qui représente 50% de la surface de la station dans le cadre de la reconstitution de peuplements par la somme des prélèvements



unitaires, si dans cette même station un substrat est échantillonné avec 1 % de recouvrement. Certes, le protocole prévoit de prélever plusieurs fois ces habitats dominants, mais de façon insuffisante pour permettre une analyse quantitative correcte et représentative de l'état de la station.

On peut donc dire que, si le protocole MPCE tel qu'il a été conçu peut effectivement être utilisé pour le calcul de l'IBG-EQ, **méthode non quantitative**, son application dans le cadre du calcul de métriques utilisant l'abondance (diversité de Shannon ou indices de polyvoltinisme ou d'ovoviviparité) est problématique et notamment dans le cadre de l'utilisation d'un système de référence dont la structure des habitats est très certainement différente de celle des stations analysées. (on peut raisonnablement penser que les références retenues dans la définition des valeurs BEST de la méthode sont exemptes de fortes modifications morphologiques, et présentent un habitat très différent des stations impactées caractéristiques des HER des tables calcaires).

Une analyse comparée des indices ne peut être envisagée que dans le seul cas où les habitats des stations sont identiques ou très proches ; condition en général non vérifiée. Notons que par habitude il était d'usage dans le cadre de la méthode IBGN ou IBG-EQ de calculer des indices de diversité, d'équitabilité et de dominance pour comparer deux relevés, mais cette comparaison n'est possible que si les stations sont suffisamment proches sur un même cours d'eau avec des habitats similaires dans le cas d'une étude synchronique, ou dans le cadre d'une étude diachronique, en ayant vérifié au préalable que les habitats étaient invariants entre deux années d'échantillonnage.

#### 1.5.4 Pertinence des indices dans le cadre de l'évaluation des pressions

##### 1.5.4.1 La variété taxonomique

La variété taxonomique est estimée à partir des trois bocalaux B1, B2 et B3 soit l'ensemble des couples substrat/vitesse échantillonnés. La variété est calculée à partir des limites taxonomiques de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de la réaffectation des taxons mal déterminés (famille) sur les genres existants identifiés au niveau systématique préconisé par la norme AFNOR XP T90-388 (2010)

La normalisation des déterminations fait que cette variable est représentative du peuplement de la station. On note toutefois que son estimation dépend de la représentativité de l'échantillonnage qui peut être limitée dans le cas d'une forte hétérogénéité habitationnelle des stations.

##### 1.5.4.2 L'indice de Diversité de Shannon

Pour être valide, l'indice de diversité doit s'appuyer sur un échantillonnage représentatif du peuplement réel. Les niveaux taxonomiques retenus sont de préférence l'espèce, mais cet indice peut aussi être calculé, notamment pour des comparaisons synchroniques ou diachroniques, sur des listes présentant des niveaux taxonomiques hétérogènes si les limites taxonomiques sont établies sur les mêmes règles et avec sensiblement la même répartition des unités taxonomiques (famille, genre dans le cadre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>)

Dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, on note que :

- ✎ L'indice de Shannon **n'est calculé que sur une partie de l'échantillon** (bocalaux B1 et B2), ce qui fait que le calcul de la Diversité ne s'applique pas à un échantillon représentatif du peuplement théorique de la station (voir exemple P1 où les bocalaux B1 et B2 ne représentent que 52% des habitats potentiels).



- ✎ **Le calcul des abondances (ni et N) ne peut être obtenu par une simple addition des abondances de chaque prélèvement unitaire et de chaque bocal sans que celles-ci ne soient pondérées par le % de recouvrement des habitats.** Les abondances d'un échantillon ne représentant que 1% de la surface d'une station ne pouvant pas être simplement additionnées à celle d'un peuplement observé sur un habitat représentant 60% de la surface lors de la reconstruction du peuplement.
- ✎ **Le calcul de la Diversité n'est intéressant, dans le cadre d'analyses synchroniques ou diachroniques, que si les variétés taxonomiques des peuplements sont équivalentes :** le calcul de la diversité étant une somme, un peuplement équilibré avec un faible nombre de taxons pourra avoir une même note de Diversité qu'un peuplement plus déséquilibré avec un plus grand nombre de taxons. C'est pour cette raison qu'il est en général nécessaire de recourir à l'analyse d'un calcul d'Equitabilité pour rendre compte de la structure du peuplement. **Ce point est essentiel notamment dans le cadre de méthodes qui vont estimer l'état d'une station par rapport à une « référence » comme dans le cas de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.**

$$E' = H' / H'_{\max} \quad \text{avec } H'_{\max} = \ln(S')$$

*E' : Equitabilité H' indice de diversité de Shannon et S' la variété taxonomique.*

Pour ce qui est du calcul de la Diversité, il sera d'autant plus inexact dans le cadre de l'application de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> qu'il existera au niveau stationnel une grande hétérogénéité des pourcentages de recouvrement des couples substrat/vitesse. La diversité ne pourrait être considérée comme juste que pour une station dont tous les couples substrat/vitesse présenteraient la même surface de recouvrement (8.33% soit 100%/12).

Le tableau ci-dessous, donné à titre d'exemple, présente les notes de diversité de Shannon et d'Equitabilité pour les trois relevés R1, R2 et R3 dont la diversité est estimée sans et avec correction du pourcentage de recouvrement des habitats.

	R1	R1_P1	R1_P2	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
EQR Shannon I2M2	0.5761	0.675	0.6627	0.578	0.7891	0.8553	0.9535	0.8308	0.7538
SHANNON	3.2098	3.4984	3.4624	3.2153	3.831	4.024	4.3104	3.9526	3.7281
ABONDANCE	6009	1906	1802	6126	1891	1726	1167	1100	1691
EQUITABILITE	0,67	0,73	0,73	0,65	0,76	0,80	0,87	0,83	0,78
RICHESE	29			30			30		

*Tableau 9 : résultats du calcul des valeurs de Diversité de Shannon en valeur brute et en EQR (HER 9) et de variables caractéristiques de la structure du sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.*

On remarque sur ces trois relevés que la prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats (couples substrat/vitesse) conduit à des différences d'appréciation notables de la Diversité sur l'ensemble des stations.

- ✎ Variation maximale de 0.2886 bit entre R1 et R1\_P1 soit (8.25 % de la valeur brute et 8.66 % de la valeur EQR) ;
- ✎ Variation maximale de 0.8087 bit entre R2 et R2\_P2 (20.09% valeur brute, 27.73 % de la valeur EQR) ;
- ✎ Variation maximale de 0.5823 bit entre R3\_P2 et R3 (13.5 % valeur brute et 19.97 % de la valeur EQR).



On note aussi que la correction par rapport au pourcentage de recouvrement peut avoir des conséquences inverses. Ainsi, sur R2, cette correction permet une hausse de l'indice de Diversité alors que sur R3, on observe une baisse de la Diversité. On imagine sans problème les conséquences possibles dans le cadre de la comparaison d'une station de référence (LIRR) à une station impactée (IRR) si les deux indices divergent dans des sens opposés.

De ces différentes remarques, il est possible d'affirmer que la note de Diversité de Shannon qui est calculée présente une redondance forte avec les informations apportées par la Variété et qu'elle sera plus ou moins juste en fonction de l'hétérogénéité et des pourcentages de recouvrement des habitats sur la station.

Le calcul de Diversité et d'Équitabilité nécessite que l'échantillonnage soit très représentatif du peuplement théorique ce qui n'est pas le cas pour le peuplement obtenu par addition des bords B1 et B2. En général, ces indices ne peuvent pas être calculés pour des variétés de moins de 10 taxons (c'est possible mathématiquement, mais n'a pas vraiment de sens biologique).

#### 1.5.4.3 Le calcul du BMWP score et de l'ASPT score

Le calcul du BMWP/ASPT score n'est fait que sur une partie du peuplement de la station (bords dominants B2 et B3) ce qui ne correspond pas à la méthodologie initiale de cette méthode qui était basée sur un inventaire exhaustif des taxons sur une station. En retirant de l'analyse les substrats marginaux (qui peuvent représenter au minimum entre 3-4% et au maximum 16/18% du recouvrement total de la station) on supprime des habitats qui portent souvent une forte variété taxonomique. L'impact sur la note peut être important et très lié à la structure de l'habitat (homogène ou non) et pas nécessairement en lien avec des pressions (Armitage & al., 1982). Le retrait des habitats marginaux semble aussi problématique, car des taxons « accidentels » présents avec très peu d'individus sur les substrats dominants rentreront dans le calcul du BMWP score alors que des taxons présents quelquefois en forte abondance sur des substrats qui peuvent représenter presque 20% de la surface de la station seront ignorés.

On note de plus que cette métrique ne considère pas l'abondance des taxons dans le calcul du score (choix retenu à l'époque par les concepteurs de la méthode, car le protocole d'échantillonnage n'était pas quantitatif : méthode du **Kick sampling ou KICK sweep**\*<sup>9</sup>). Cette non-prise en compte de l'abondance va donner un poids fort à des taxons qui ne sont pas nécessairement caractéristiques du peuplement stationnel : 1 seul individu d'un taxon dans un relevé (qui plus est quand celui-ci peut être issu d'une dérive latérale ou amont), n'a certainement pas la même signification qu'un taxon présent avec 10, 50, 100 ou 500 individus.

Le score retenu (voir annexe 1) est calculé, non pour les différents genres, mais pour les familles d'invertébrés présentes dans les bords B2 et B3. Ce choix ne permet pas une prise en compte de l'écologie des taxons telle qu'elle est actuellement connue et décrite notamment dans l'ouvrage de référence attaché à la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Tachet & al., 2010). Les familles d'invertébrés peuvent être en effet représentées par des genres et des espèces d'écologie très différente. On note aussi qu'il n'existe pas de score pour toutes les familles d'invertébrés présentes ce qui peut être très problématique dans le cadre de comparaison interstationnelle présentant des

---

<sup>9</sup> L'analyse conduite par Armitage en 1983 ne porte que sur 41 cours d'eau et 268 sites de prélèvement. L'échantillonnage a concerné l'ensemble de la Grande Bretagne sur des cours d'eau avec des pollutions faibles. Les stations d'analyse ont été réparties de l'amont vers l'aval (Wright & al., 1982). L'échantillonnage a été fait avec la méthode du « Kick sweep » pendant 3 minutes avec un filet de maille 900 microns (soit une maille deux fois plus importante que celle retenue pour l'I2M2) à trois périodes différentes printemps, été, automne). La liste taxonomique retenue est celle qui combine les 3 dates d'analyse. On peut donc penser que la méthode permet de détecter des différences dans une même HER avec des sites relativement proches. Toutefois les auteurs précisent bien que la présence des taxons peut être fortement impacté par des caractéristiques habitationnelles



peuplements différents (variations d'habitats...).

Dans ce cadre, il serait bien plus juste, non pas de retenir les scores des taxons des substrats dominants (B2+B3) quel que soit le nombre d'individus inventoriés sur la station, mais d'attribuer des scores pour les taxons présents pour l'ensemble de la mosaïque d'habitats (B1+B2+B3). Ces scores devraient être pondérés par l'abondance du taxon (abondances reconstituées en fonction du pourcentage de recouvrement des habitats), ce qui permettrait de privilégier les taxons avec une présence « normale » (même s'ils ne sont électifs que d'habitats faiblement représentés) aux dépens des taxons « accidentels » dont la présence est fortuite. Dans ce cadre la pondération par classe d'abondance est obligatoire pour ne pas donner plus de poids aux taxons les plus proliférants.

Certaines familles de taxons plutôt polluo-tolérantes sur le territoire métropolitain (en fonction des genres présents) comme les *Ephemerellidae*, *Leuctridae*, *Aphelocheiridae*, *Leptoceridae*, *Goeridae*... donnent un score maximum de 10 à l'équivalence de taxons polluo-sensibles comme les *Perlidae*, *Perlodidae*, *Chloroperlidae*... cette évaluation de la polluosensibilité est même supérieure à des taxons comme les *Astacidae* (*Austroptamobius*...) (score de 8). Certains taxons comme les *Hydrobiidae* (note de 3) peuvent aussi être représentés par des genres polluo-sensibles (*Bythinella*).

La figure ci-dessous montre les correspondances entre les scores BMWP des différents genres retenus dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et les traits eutrophie et saprobie du Tachet. Elle illustre sans ambiguïté le fait que, si sur le principe cette méthode est intéressante, il serait nécessaire de la réactualiser pour l'adapter au territoire métropolitain et plus particulièrement sur les HER 9A, 9 et 10 : les correspondances entre valeur du BMWP des genres d'invertébrés pris en compte dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et leur relation avec les critères trophie et saprobie étant très faibles.<sup>10</sup>

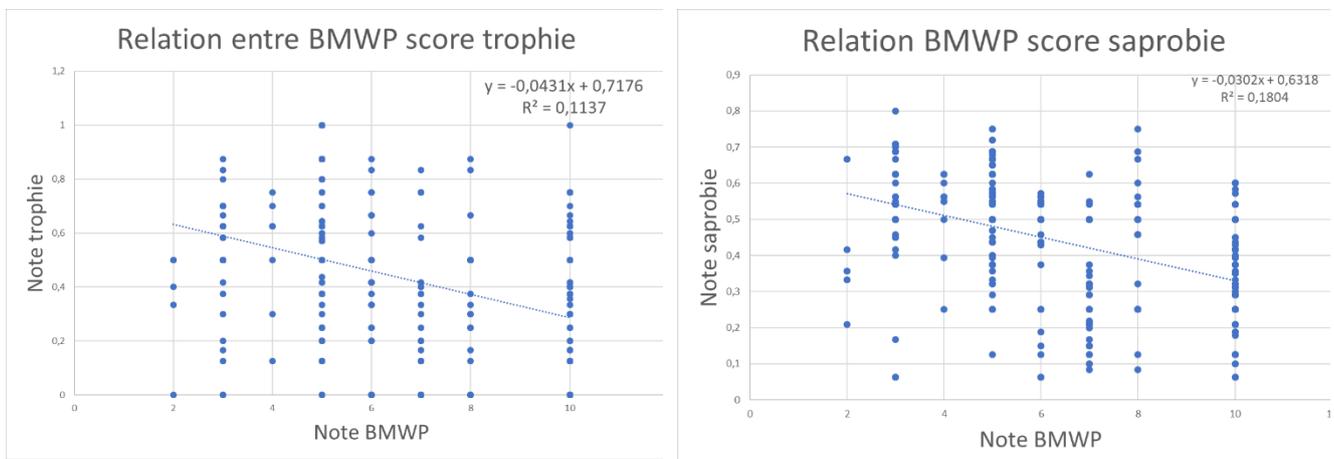


Figure 10 : Analyse des relations entre les traits trophie et saprobie (noté de 0 à 1) de l'ouvrage de référence (TACHET) et les scores du BMWP utilisés dans le cadre de la méthode I2M2

Ces différentes remarques montrent que les informations apportées par la méthode du BMWP/ASPT score peuvent être source d'une mauvaise évaluation de l'état global du peuplement du fait de l'échantillonnage partiel (B2+B3), du niveau taxonomique retenu (famille) et de la non-actualisation des traits écologiques par rapport aux connaissances écologiques actuelles. Dans le cadre de son application, il serait souhaitable :

<sup>10</sup> Cela ne remet pas en cause la méthode initiale qui peut être très « juste » dans le contexte biogéographique dans laquelle elle a été développée ou dans d'autres contextes hydro écologiques qui présenteraient des caractéristiques similaires... une famille comme les *Ephemerellidae* pouvant être représentée au Royaume Uni ou ailleurs par des genres ou espèces présentant une polluosensibilité plus élevée.



- De faire l'évaluation sur l'ensemble du peuplement et non pas sur une partie plus ou moins représentative en fonction de l'hétérogénéité des habitats sur la station ;
- De mettre en place des scores pour tous les genres pris en compte dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et non pas par famille d'invertébrés (la présence d'un individu d'écrevisse à pattes blanches ne peut pas être prise en compte de la même façon que la présence d'un individu d'une écrevisse signal). Notons que la non-prise en compte du Genre dans l'IBG-EQ était l'une des raisons qui ont conduit au changement de méthodologie.
- De l'adapter avec une prise en compte de l'abondance de chaque taxon par exemple par transformation des abondances en classes pour donner un poids équivalent entre taxons présentant des capacités de développement différentes (la présence d'un individu du genre Perla n'a pas la même signification que la présence d'un Chironomidé),

#### 1.5.4.4 Le Polyvoltinisme

Le calcul du score de polyvoltinisme se base sur les abondances des taxons des 3 bocalaux B1, B2 et B3 corrigées logarithmiquement. Comme pour la diversité de Shannon, le mode de reconstitution du peuplement par addition des valeurs d'abondance des substrats, sans prise en compte du pourcentage de recouvrement, fausse la représentation stationnelle du score.

Le tableau ci-dessous, donné à titre d'exemple, présente les notes de Polyvoltinisme en valeur brute et en EQR pour les trois relevés R1, R2 et R3 avec prise en compte, ou non, des pourcentages de recouvrement des habitats.

*Tableau 10 : résultats du calcul des valeurs de Polyvoltinisme en valeur brute et en EQR (HER 9A) sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) comme dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.*

	R1	R1_P1	R1_P2	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
EQR Polyvoltinisme I2M2	0,5579	0,6315	0,6679	0,758	0,8886	0,9784	1	1	1
POLYVOLTIN	0,3726	0,3598	0,3535	0,3377	0,3149	0,2993	0,146	0,1737	0,1858
RICHESS	29			30			30		

On remarque sur ces trois relevés que la prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats (couples substrat/vitesse) conduit à des différences d'appréciation notables du Polyvoltinisme sur les trois relevés présentés à titre d'exemple.

- Variation maximale de 0.0201 entre R1 et R1\_P2 (5.12% valeur brute et 11 % de la valeur EQR).
- Variation maximale de 0.0384 entre R2 et R2\_P2 (11.37 % valeur brute 22.04 % de la valeur EQR).
- Variation maximale de 0.0398 entre R3 et R3\_P2 (21% valeur brute, mais pas de variation de la valeur EQR compte tenu du seuil BEST retenu pour cette métrique sur l'HER 9A).

Le « polyvoltinisme » traduit au sens large les taxons qui sont susceptibles d'avoir des cycles reproductifs rapprochés. Les taxons polyvoltins sont en général observés dans les milieux où les contraintes environnementales globales permettent un ou plusieurs cycles reproductifs annuels. Dans ce cadre, les cours d'eau les plus aval (Hyporhithron T3, Epipotamon T4, Métapotamon T5) vont globalement présenter un cortège de taxons polyvoltins plus important en nombre de taxons et en valeur d'indice, car la durée de la période favorable pour la reproduction y est plus grande (voir graphe ci-dessous).



## Répartition des taxons polyvoltins par biocénotype

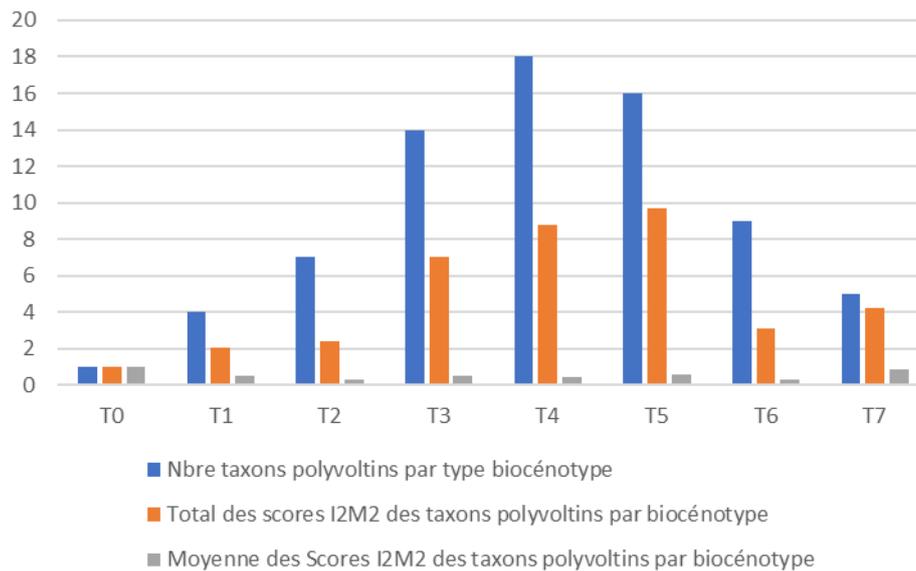


Figure 11 : nombre de taxons polyvoltins retenus dans la méthode I2M2, la somme et la moyenne des scores polyvoltinisme dans les différents biocénotypes (Crénon T0, Epirhitron T1, Metarhitron T2, Hyporhithron T3, Epipotamon T4, Metapotamon T5, Hypopotamon T6, Estuaire T7)

On note aussi qu'il ne semble pas exister de lien direct fort entre polyvoltinisme, valeur de trophie ou de saprobie des taxons comme on peut le voir sur les graphes ci-dessous et qu'il est donc difficile d'affirmer que la présence de ces taxons sera caractéristique de milieux perturbés (matières organiques, nutriments...). Il semble aussi délicat d'affirmer que les taxons présentant ce trait écologique aient plus de possibilités de survivre en conditions perturbées tant au niveau physico-chimique qu'au niveau hydromorphologique. Des corrélations observées à un niveau global n'étant pas nécessairement représentatives de corrélations effectives entre pressions et traits écologiques.

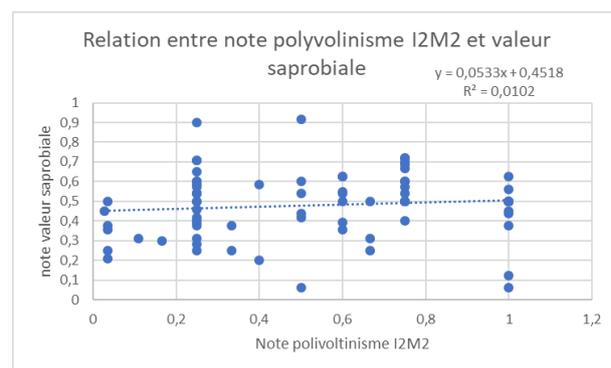
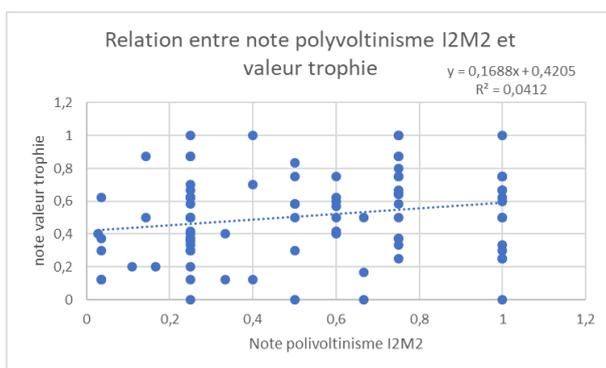


Figure 12 : Analyse des relations entre les traits trophie et saprobie (noté de 0 à 1) de l'ouvrage de référence (TACHET) et les scores de polyvoltinisme issus du TACHET et utilisés dans le cadre de la méthode I2M2

différents facteurs sont susceptibles d'expliquer la variation d'espèces polyvoltines sur les milieux par rapport à des situations de référence. Elles sont les suivantes :

- Une altération de la qualité des eaux qui pourrait favoriser le remplacement des taxons d'un rang typologique supérieur par des taxons d'un rang typologique inférieur caractéristique de secteurs plus aval et qui sont donc susceptibles d'être plus polyvoltins.



- ▬ Une altération de la qualité des habitats (recalibrage, curage...) qui en modifiant des critères physico-chimiques (température...) ou morphologiques vont modifier la typologie et donc favoriser les espèces polyvoltines plus aval
- ▬ La présence de franges rivulaires sur certains cours d'eau qui seront plus particulièrement colonisés par des espèces polyvoltines puisque les ordres ou il y a le plus grand nombre de taxons polyvoltins (voir tableau ci-dessous) seront particulièrement représentés sur ces franges).

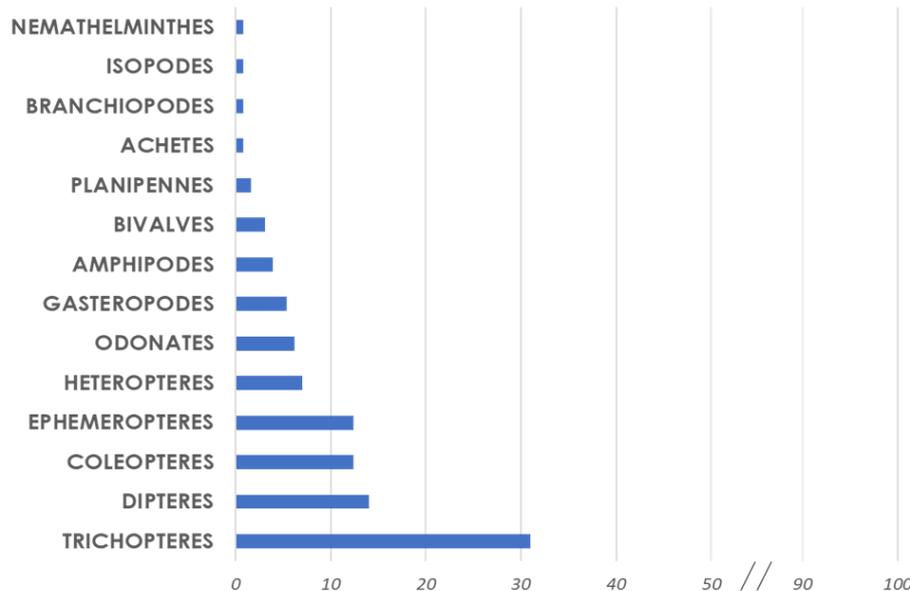


Figure 13 : Pourcentage de taxons polyvoltins par ordre taxonomique. Les ordres non cités comme les Plécoptères n'ont pas de taxons polyvoltins.

Cet indice permettrait donc de **caractériser les décalages typologiques entre station de référence et station analysée**. Ce décalage serait expliqué par le polyvoltinisme dans la mesure où les taxons polyvoltins sont en nombre et en pourcentage plus important sur les hydrosystèmes aval par rapport à ceux de l'amont.

Toute perturbation morphologique (recalibrage) et/ou physico-chimique est susceptible de modifier la typologie du milieu. Il en résulte un remplacement des taxons amont par des taxons de typologie plus aval qui présentent souvent un polyvoltinisme plus marqué.

Les graphiques ci-dessous illustrent cette relation entre Typologie, Polyvoltinisme, mais aussi Ovoviviparité à partir de l'analyse diachronique des stations 01138100 (La SELLE à MONSURES) et 01140500 (L'AIRAINES A LONGPRE LES CORPS SAINT).

Le score de typologie établi à partir des traits écologiques du Tachet est d'autant plus faible que la typologie sera caractéristique de secteurs aval. Les indices de Polyvoltinisme et d'Ovoviviparité établis aussi à partir des traits écologiques du Tachet sont d'autant plus élevés que les taxons Polyvoltins ou ovovivipares seront présents dans les relevés.

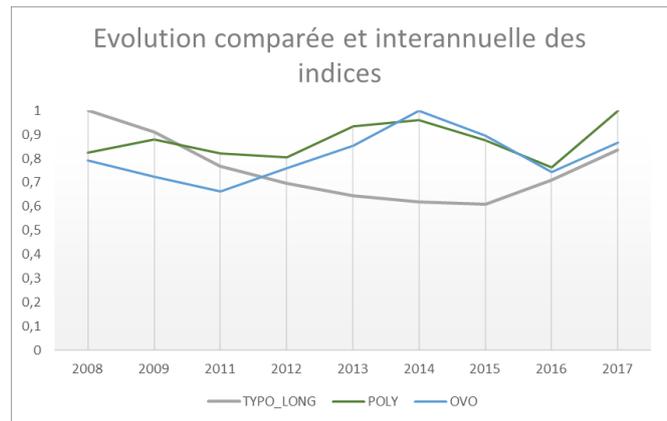
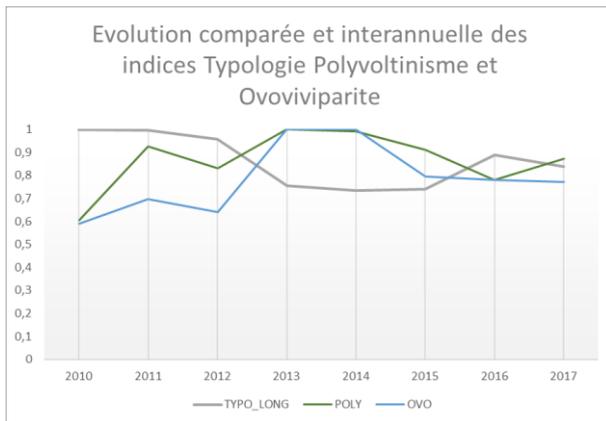


Figure 14 : Evolution comparée et interannuelle des indices Typologie Polyvoltinisme et Ovoviviparité pour les Stations 01138100 et 01140600.

On note que les variations typologiques présentent bien des variations inverses de celles observées pour Polyvoltinisme ou Ovoviviparité. Le décalage du biocénotype vers des secteurs plus aval coïncide bien avec une augmentation des taxons polyvoltins ou ovovivipares.

Si ces variations typologiques peuvent effectivement être liées à des facteurs polluants, on note que les variations observées sur ces deux stations sont relativement similaires ce qui tendrait à prouver que des facteurs s'exerçant à une échelle plus large et notamment des facteurs climatiques pourraient être de nature à provoquer ces variations. Cela pose la question de l'interprétation des notes de Polyvoltinisme, mais aussi de l'Ovoviviparité qui ne semblent donc pas nécessairement liées aux pressions. Cela pose aussi la question de la comparaison aux références et de leur niveau typologique par rapport à la station analysée.<sup>11</sup>

Toutes ces observations montrent que cette variable apparaîtrait comme l'une des plus intéressantes, car permettrait d'intégrer des différences biocénologiques qui jusqu'à lors étaient ignorées par les méthodes de biomonitoring invertébrés et notamment l'IBGN/IBG-EQ.

<sup>11</sup> Les calculs ont été réalisés sur des peuplements reconstitués sans prise en compte du pourcentage de recouvrement des couples Substrat/vitesse car ne sont bancarisés actuellement que les peuplements par « Bocaux ». Toutefois nous avons appliqué un coefficient de pondération entre bocal (10% B1, 40% B2 et 50% B3) pour limiter aux mieux les erreurs d'interprétation possibles.



Toutefois, l'utilisation de cet indice **impose que les niveaux typologiques retenus par l'analyse soient identiques entre stations de référence et stations analysées**. Cela ne semble pas nécessairement le cas avec la seule prise en compte de la largeur du cours d'eau et, comme nous le verrons par la suite, par le faible nombre de stations de « référence » sur certaines hydro écorégions.

Une prise en compte des caractéristiques habitationnelles est aussi essentielle pour interpréter cet indice qui peut être fortement impacté par les habitats rivulaires riches en taxons polyvoltins (Coléoptères, Hétéroptères, Odonates, Diptères, Gastéropodes...).

Un autre point à souligner concernant cet indice concerne la transformation logarithmique des abondances par taxon et au calcul de la note finale de polyvoltinisme. En effet, ce mode de calcul ne permet pas de prendre en compte les capacités naturelles de chaque espèce à se développer sur une station de cours d'eau.

**Les taxons les plus polluosensibles (*Perlidae*, *Chloroperlidae*, ...), qui ne sont en général présents qu'avec un très faible nombre d'individus, sont très fortement marginalisés par un tel calcul alors que des taxons très prolifiques (*Gammaridae*, *Asellidae*...) porteront l'essentiel de l'information.**

**Une telle approche synécologique combinant des taxons à capacité de développement très différente, nécessite en général de transformer les abondances de chaque taxon en classes** (par exemple des classes en progression géométrique de raison 2 (2, 4, 8, 16...) avec la classe maximale centrée sur l'abondance -ou densité- normale et maximum que peut présenter un taxon dans un contexte non ou peu anthropisé).

Cette transformation en classe est essentielle dans le cadre d'une démarche visant à caractériser finement un niveau de polluosensibilité d'un milieu. La présence d'un individu *Dinocras* (Plécoptère *Perlidae*) n'apportant pas la même information que la présence d'un *Gammaridae* ou d'un *Chironomidae*.

Dans le cadre de son application, il serait nécessaire :

- ❧ Que le calcul des abondances soit corrigé par le pourcentage de recouvrement des substrats.
- ❧ De vérifier que les stations de référence présentent bien un profil caractéristique de celui que pourrait présenter la station de contrôle dans des conditions peu ou pas impacté. Dans ce cadre la seule prise en compte de la largeur d'un cours d'eau semble insuffisante pour rendre compte de la typologie des milieux<sup>12</sup>.
- ❧ De l'adapter avec une prise en compte de l'abondance de chaque taxon par exemple par transformation des abondances en classes pour donner un poids équivalent entre taxons présentant des capacités de développement différentes.

---

<sup>12</sup> Comme le souligne les différentes typologies des milieux aquatiques (Huet, Illies, Verneaux River Continuum Concept...) les peuplements évoluent de l'amont vers l'aval en fonction des modifications naturelles de certaines caractéristiques du milieu (température, pente, largeur, trophie....). Il en résulte que la comparaison de deux peuplements par l'utilisation de traits écologiques et non d'indices globaux (Diversité, Équitabilité....) n'est possible que si la typologie des systèmes est équivalente (peuplements statistiquement similaires).

Dans le cadre notamment du polyvoltinisme (mais aussi de l'ovoviviparité) on a pu démontrer que les taxons les plus caractéristiques de ces traits n'étaient pas répartis de façon uniforme sur tous les biocénotypes. Cela implique que l'analyse de ces métriques impose que les systèmes de référence présentent une structure typologique très proche de celle de la station analysée. La « référence » utilisée pour le calcul d'EQR, expression synthétique des observations d'un ensemble de stations, ne permet pas de garantir cette cohérence typologique (qui plus est comme sur l'HER 9A ou le nombre de stations de référence est très faible). Il en résultera nécessairement des erreurs d'interprétation.



- Enfin de réévaluer pour chaque taxon l'information réellement apportée par cet indice à partir d'analyses scientifiques particulières prenant en considération et le contexte hydroécorégional et le contexte typologique.

#### 1.5.4.5 L'Ovoviviparité

Le calcul du score d'ovoviviparité se base sur l'abondance, corrigée logarithmiquement, des taxons des 3 bocaux B1, B2 et B3. Le mode de reconstitution du peuplement par addition des valeurs d'abondance des substrats, sans prise en compte du pourcentage de recouvrement, fausse la représentation stationnelle du score. C'est particulièrement important pour l'indice d'ovoviviparité ou les taxons concernés sont très souvent présents avec de très fortes abondances.

Le tableau ci-dessous, donné à titre d'exemple, présente les notes d'ovoviviparité en valeur brute et en EQR pour les trois relevés R1, R2 et R3 avec ou non prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats.

	R1	R1_P1	R1_P2	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
EQR Ovoviviparite I2M2	0,5628	0,6362	0,6822	0,2915	0,4122	0,4856	1	1	1
OVOVIVIPARE	0,2156	0,2046	0,1977	0,2563	0,2382	0,2272	0,0922	0,1123	0,1209
RICHESSSE	29			30			30		

Tableau 11 : résultats du calcul des valeurs d'Ovoviviparité en valeur brute et en EQR (HER 9A) sur les relevés R1, R2 et R3. Les calculs sont faits à partir des abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) comme dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.

On remarque sur ces trois relevés que la prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats (couples substrat/vitesse) conduit à des différences d'appréciation notables de l'ovoviviparité sur les trois relevés présentés à titre d'exemple.

- Variation maximale de 0.01179 entre R1 et R1\_P2 (8.30 % valeur brute 11.94 % de la valeur EQR).
- Variation maximale de 0.0291 entre R2 et R2\_P2 (11.35 % valeur brute, 19.41 % de la valeur EQR).
- Variation maximale de 0.0287 entre R3 et R3\_P2 (23.74% valeur brute, mais pas de variation de la valeur EQR compte tenu du seuil BEST retenu pour cette métrique sur l'HER 9A).

41 taxons vont permettre de calculer le score d'ovoviviparité (voir tableau ci-dessous). Ils appartiennent, pour l'essentiel, à deux ordres taxonomiques : les Crustacés et les Mollusques (bivalves ou gastéropodes).

Si l'on ne considère que les taxons les plus communs, seules 8 familles sont susceptibles de donner un score élevé d'ovoviviparité : *Gammaridae*, *Sphaeridae*, *Conchostracés*, *Hydrobiidae*, *Viviparidae*, *Asellidae* et dans une moindre mesure *Chironomidae* et *Baetidae* qui présentent des valeurs de score moins marquées, mais dont les fortes abondances peuvent avoir un impact sur la note d'Ovoviviparité.

La présence ou non de ces taxons dans des relevés va faire évoluer fortement l'évaluation EQR de cette métrique :

- À la baisse dans le cas où de nombreux individus des taxons présentant un score d'Ovoviviparité sont présents.
- À la hausse si ces taxons sont absents ou présents avec de faibles abondances.



Ordre	Famille	Genre	score ovoviviparité	Ordre	Famille	Genre	score ovoviviparité
AMPHIPODES	Gammaridae	Corophium	1	GASTEROPODES	Viviparidae	Viviparus	1
AMPHIPODES	Gammaridae	Crangonyx	1	PLECOPTERES	Capniidae	Capnioneura	1
AMPHIPODES	Gammaridae	Echinogammarus	1	PLECOPTERES	Capniidae	Capnopsis	1
AMPHIPODES	Gammaridae	Gammarus	1	PLECOPTERES	Capniidae	Capniidae	0,871335155
BRANCHIOPODES	Conchostracés	Conchostraca	1	BIVALVES	Corbiculidae	Corbicula	0,75
AMPHIPODES	Gammaridae	Gammaridae	1	PLECOPTERES	Capniidae	Capnia	0,75
GASTEROPODES	Hydrobiidae	Potamopyrgus	1	ACHETES	Glossiphoniidae	Glossiphoniidae	0,608548742
ISOPODES	Asellidae	Asellidae	1	EPHEMEROPTERES	Baetidae	Cloeon	0,6
BIVALVES	Sphaeriidae	Pisidium	1	DECAPODES	Astacidae	Astacus	0,6
BIVALVES	Sphaeriidae	Sphaeriidae	1	DECAPODES	Astacidae	Astacidae	0,516741746
BIVALVES	Sphaeriidae	Sphaerium	1	DECAPODES	Astacidae	Austropotamobius	0,5
BIVALVES	Dreissenidae	Congeria	1	DECAPODES	Astacidae	Pacifastacus	0,5
BIVALVES	Dreissenidae	Dreissena	1	DECAPODES	Cambaridae	Cambaridae	0,5
BIVALVES	Dreissenidae	Dreissenidae	1	DECAPODES	Cambaridae	Orconectes	0,5
BIVALVES	Unionidae	Anodonta	1	DECAPODES	Cambaridae	Procambarus	0,5
BIVALVES	Unionidae	Margaritifera	1	GASTEROPODES	Hydrobiidae	Hydrobiidae	0,339841459
BIVALVES	Unionidae	Potomida	1	DIPTERES	Psychodidae	Psychodidae	0,2
BIVALVES	Unionidae	Pseudanodonta	1	DIPTERES	Anthomyiidae	Anthomyiidae	0,166666667
BIVALVES	Unionidae	Unionidae	1	DIPTERES	Chironomidae	Chironomidae	0,100572453
DECAPODES	Atyidae	Atyaephyra	1	EPHEMEROPTERES	Baetidae	Baetidae	0,091816119
DECAPODES	Grapsidae	Potamon	1				

Tableau 12 : Scores d'ovoviviparité des différents taxons retenus dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

Pour le calcul de l'ovoviviparité, on note des contradictions entre la valeur de l'indice et les caractéristiques des espèces : par exemple les Écrevisses à pattes blanches (*Austropotamobius*) ou à pattes rouges (*Astacus*), les *Margaritifera*, *Capniidae* vont être considérées, par le biais de cette métrique, comme des espèces polluo-tolérantes, alors que ce n'est absolument pas le cas.

De plus, il semble peu logique de considérer le genre *Gammarus* comme l'un des plus indicateurs de pressions, et notamment des pressions physico-chimiques, alors qu'il est utilisé notamment dans une méthode développée par l'IRSTEA/BIOMAE comme « *taxon sentinelle, sensible aux contaminants, et bon indicateur de la présence et des effets des substances toxiques dans les milieux aquatiques* ». Une analyse scientifique plus précise des taxons de la famille des *Gammaridae* serait toutefois à mener, car il n'est pas certain que des taxons plus proliférants comme *Echinogammarus* ou *Dikerogammarus* présentent des sensibilités aux pollutions équivalentes (on retrouve par exemple certaines espèces de *Gammaridae* en grand nombre dans les zones de rejet végétalisées).

Tout comme pour le Polyvoltinisme, on note que les taxons ovovivipares sont présents en nombre et/ou avec les scores les plus élevés sur les typologies aval des hydrosystèmes (voir graphe ci-dessous). Les taxons ovovivipares sont plus particulièrement électifs des types hydrobiologiques correspondants au Métopotamon, à l'Hypopotamon et aux secteurs estuariens, mais on note qu'ils sont a priori très peu présents dans les zones de Crénon ou d'Epipotamon. Cela pose, comme pour le Polyvoltinisme, la question du biocénotype de la référence qui doit être très proche de celui de la station analysée pour que la comparaison ait un sens écologique.



### Répartition des taxons ovovivipares par biocénotypes

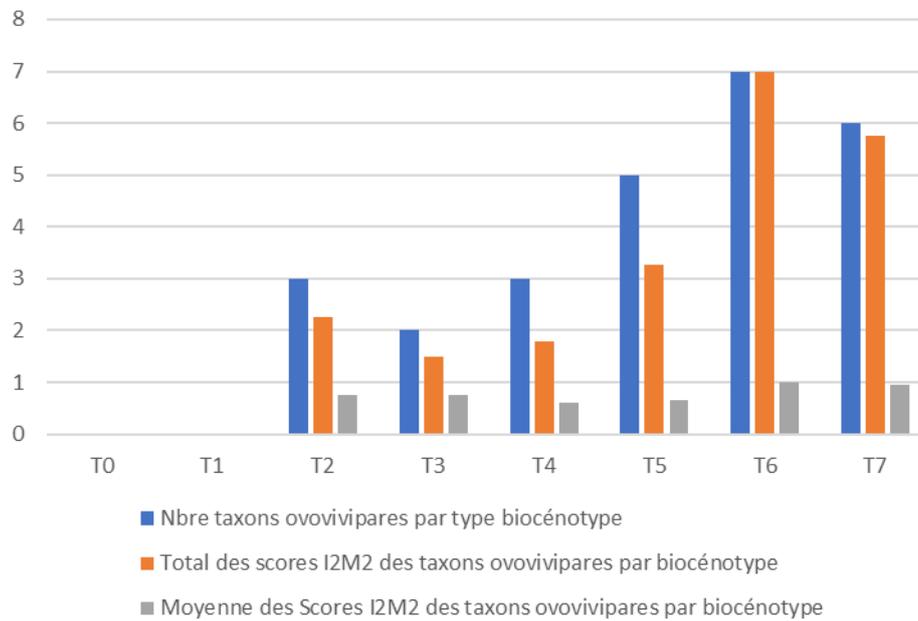


Figure 15 : nombre de taxons polyvoltins retenus dans la méthode I2M2, la somme et la moyenne des scores polyvoltinisme dans les différents biocénotypes (Crénon T0, Epirhitron T1, Metarhitron T2, Hyporhithron T3, Epipotamon T4, Metapotamon T5, Hypopotamon T6, Estuaire T7)

Les schémas ci-dessous, qui illustrent les relations entre scores d'Ovoviviparité et les traits trophie et saprobie (Tachet), ne montrent pas de relation de corrélation.

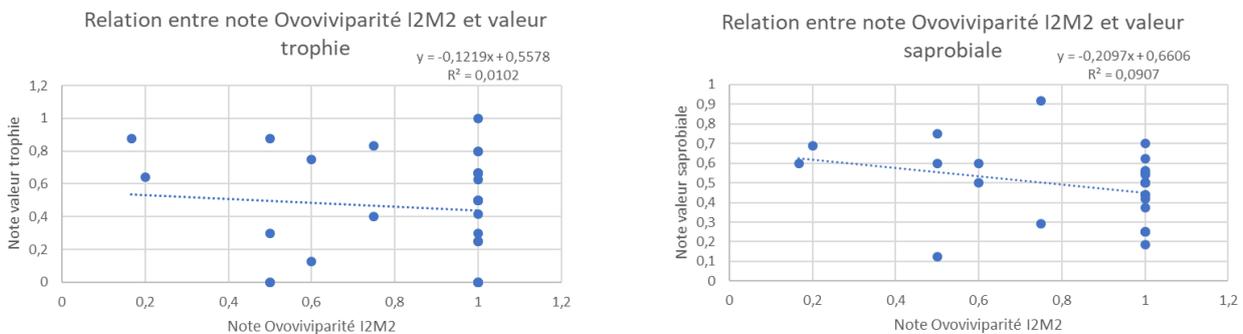


Figure 16 : Analyse des relations entre les traits trophie et saprobie (noté de 0 à 1) de l'ouvrage de référence (TACHET) et les scores d'Ovoviviparité issus du TACHET et utilisés dans le cadre de la méthode I2M2

tout comme pour le calcul du polyvoltinisme, la transformation logarithmique des abondances ne permet pas de prendre en compte des taxons les plus pollués sensibles avec de faibles capacités de développement. Une analyse par classe d'abondance serait ici aussi indispensable pour ne pas donner un « poids » statistique plus important aux taxons naturellement plus proliférants et ovovivipares comme les *Gammaridae* ou certains *Hydrobiidae* (*Potamopyrgus...*).



#### 1.5.4.6 Conclusion sur les métriques biologiques

L'analyse des différentes métriques biologiques montre que leur calcul est susceptible d'affecter de façon plus ou moins importante la perception que l'on peut avoir du fonctionnement des masses d'eau étudiées et notamment celles des HER 9A, 9 et 10.

Les points les plus problématiques sont :

- La reconstruction du peuplement à partir de la simple addition des prélèvements unitaires ce qui ne permet pas de rendre compte de la structure du peuplement réel (variables concernées Shannon, Polyvoltinisme et Ovoviviparité)
- La non-prise en compte de l'ensemble du peuplement de la station (Shannon (B1 et B2) et l'ASPT score (B2 et B3))
- L'attribution de scores qui ne correspondent pas aux caractéristiques biologiques d'un taxon ou à leur signification supposée (ASPT score, Polyvoltinisme et Ovoviviparité).
- Une non-pondération des abondances en classe qui est nécessaire pour toute **analyse synécologique\*** (ASPT, Polyvoltinisme et Ovoviviparité).

De plus on note que **certaines métriques sont redondantes dans les informations apportées**. Il s'agit :

- ⌘ De la variété taxonomique et de la diversité de Shannon, car cette dernière est fortement liée à la variété (ce qui n'aurait pas été le cas de l'Equitabilité (non retenue dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> probablement à cause du mode de reconstruction du peuplement).
- ⌘ Des indices de polyvoltinisme et d'ovoviviparité. En effet, comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous, certains taxons vont avoir un impact très fort sur le calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, car ils présentent **des scores théoriques élevés pris en compte dans le calcul des deux variables**.

C'est particulièrement le cas pour les **Gammaridae** et notamment les genres **Gammarus** et **Echinogammarus** que l'on peut retrouver souvent en très grande quantité sur des stations riches en végétation aquatique (cas très courant sur l'HER 9A et d'une façon générale sur les cours d'eau de plaine des tables calcaire (HER 9A, 9 et 10)).

**La présence ou absence de ces taxons va donc fortement impacter le calcul de la note et ceci bien que leur statut de taxon indicateur de pression reste à démontrer.**



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

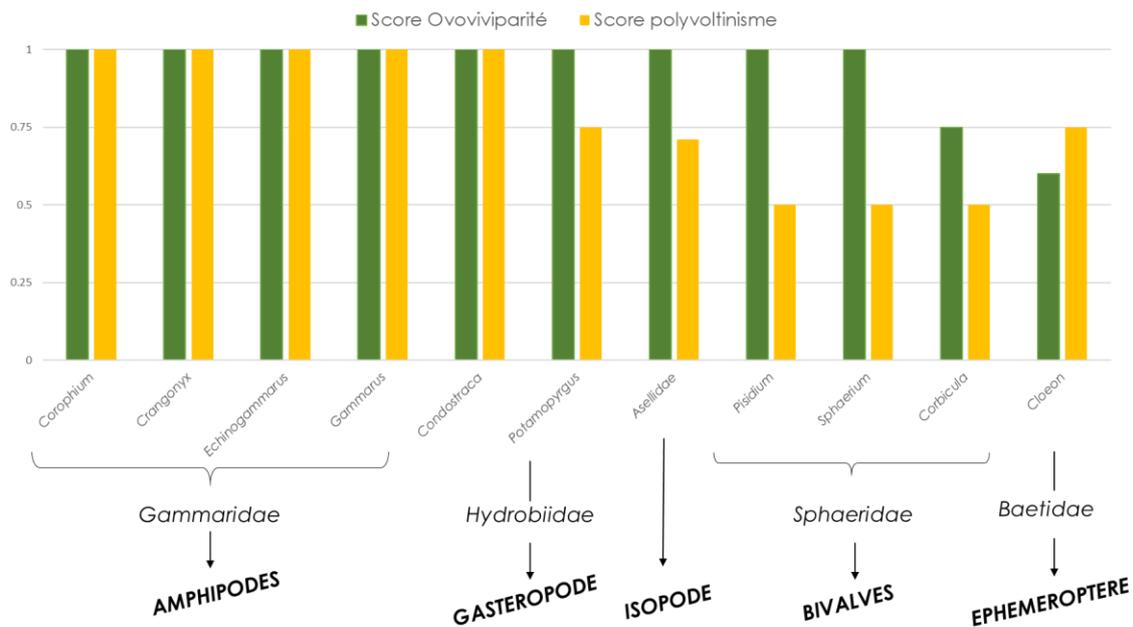


Figure 17 : principaux taxons présentant un score élevé en polyvoltinisme et en Ovoviviparité

D'autres taxons impactant peuvent également être cités :

- 🌿 *Potamopyrgus* : taxons envahissant à tendance euryèce et particulièrement prolifique sur les secteurs à végétation aquatique développée (hydrophytes, héliophytes périphyton...);
- 🌿 *Asellidae* que l'on retrouve plus particulièrement sur les marges sablo-limono-vaseuses de tous types d'hydrosystèmes ;
- 🌿 *Sphaeridae* plus liés aux sables limoneux graveleux particulièrement présents sur des cours d'eau de plaine ;
- 🌿 Les Genres *Cloeon* et *Centroptilum* (*Baetidae*) que l'on retrouve sur les marges latérales lenticules des cours d'eau ;
- 🌿 La corbicule qui est capable de coloniser tous types de milieux et ceci indépendamment des conditions mésologiques.

**La présence ou l'absence de tous ces taxons de façon plus ou moins simultanée avec des abondances notables va avoir de fortes conséquences sur l'évaluation de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>**

Cet impact sera certainement plus important que :

- 🌿 Sur ces HER 9A, 9 et 10, et en général sur les cours d'eau de plaine, le pourcentage de recouvrement d'habitats favorables pour ces espèces est beaucoup plus important que ce qui peut être observé dans d'autres contextes biogéographiques (présence d'hydrophytes, de substrat sablo limono vaseux, de franges rivulaires avec héliophytes...).
- 🌿 Les abondances observées ne seront pas corrigées du % de recouvrement des couples substrat vitesse.
- 🌿 Les abondances taxonomiques ne seront pas rééquilibrées entre taxons proliférants et taxons non proliférants par la transformation des abondances en classes d'abondance : les classes d'abondance/dominance maximales devant être déterminées sur la valeur d'« abondance normale maximale » d'un taxon donné en condition de référence.



À titre d'exemple démonstratif, le tableau ci-dessous présente les valeurs de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques en valeurs brutes et en calcul d'EQR des relevés R2 et R3 sur l'HER 9A (les listes taxonomiques sont présentées dans les Annexes 3 à 11).

Notons que pour permettre une meilleure comparaison des listes faunistiques, les peuplements utilisés sur R2 et R3 présentent la même variété et donc les mêmes scores EQR pour cette métrique.

	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
	Valeur des variables biologiques en EQR					
IndiceShannonI2M2	0,7754	1	1	1	1	1
AverageScorePerTaxonI2M2	0,7056	0,7056	0,7056	0,8508	0,8508	0,8508
PolyvoltinismeI2M2	0,758	0,8886	0,9784	1	1	1
OvovivipariteI2M2	0,2915	0,4122	0,4856	1	1	1
RichesseI2M2	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
Ind Invert Multimetricue	<b>0,5617</b>	<b>0,6568</b>	<b>0,6936</b>	<b>0,8467</b>	<b>0,8467</b>	<b>0,8467</b>
NbTaxonsI2M2Contributifs	30	30	30	30	30	30
	Valeur calculées des variables biologiques					
SHANNON	3,2153	3,831	4,024	4.3104	3,9526	3,7281
ASPT	6	6	6	6.3333	6,3333	6,3333
POLYVOLTIN	0,3377	0,3149	0,2993	0.146	0,1737	0,1858
OVOVIVIPARE	0,2563	0,2382	0,2272	0.0922	0,1123	0,1209
RICHESSSE	30	30	30	30	30	30

Tableau 13 : résultats du calcul I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les relevés R2 et R3. Les calculs sont faits sur abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R2 et R3) et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.

Dans le relevé R2 on note la présence de taxons très polluosensibles avec des abondances notables (*Chloroperla*, *Nemurella*, *Perla*, *Perlodes*, *Odontocerum*, *Paraleptophlebia*, *Austropotamobius*, *Planariidae*...), mais une note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> très faible par rapport au relevé R3. Cette mauvaise note peut être attribuée :

A la présence de taxons abondants dans les substrats marginaux qui vont, en apparence, déséquilibrer le relevé faunistique et notamment faire baisser l'indice de Shannon. Toutefois la correction par le pourcentage de recouvrement des habitats permet une amélioration de la note suivant les scénarios. Les espèces polyvoltines et ovovivipares, plus particulièrement présentes dans les habitats marginaux, voient leur abondance diminuer par la réaffectation des abondances au prorata de la surface. À l'inverse certains taxons polluosensibles, plus présents dans les substrats dominants, verront leur abondance globale réévaluée à la hausse.

Un ASPT score très moyen, car les taxons les moins polluosensibles présents sur les marges latérales du cours d'eau font baisser très fortement la note globale de cet indice. Notons que compte tenu de son mode de calcul qui ne prend pas en compte l'abondance, cette note est invariante avec la prise en compte des pourcentages de recouvrement réels des habitats.

Des scores de polyvoltinisme et surtout d'ovoviviparité très faibles dus à la présence des genres *Gammarus*, *Baetis*, *Asellus*, *Pisidium*... à leur place dans les différents habitats présents et avec des abondances normales pour des cours d'eau de plaine.



Dans le relevé R3 on note une excellente note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> alors que la lecture de la liste faunistique ne montre pas de taxons particulièrement remarquables. La note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> apparaît comme excellente, car :

- Le peuplement reconstitué par la somme des baux n'est pas déséquilibré. Il est à noter que la prise en compte des pourcentages de recouvrement affecte de façon sensible (à la baisse) les valeurs brutes des variables prenant en compte l'abondance (Shannon, Polyvoltinisme et Ovoviviparité) et pas du tout les calculs d'EQR compte tenu des seuils régionalisés retenus pour leur calcul.
- L'ASPT score reste bon par la présence de taxons peu polluosensibles, mais permettant des scores élevés avec cette méthode (*Ephemerellidae*, *Leuctridae*, *Aphelocheiridae*, *Leptoceridae*...)
- Il y a peu de taxons polyvoltins ou ovovivipares même si globalement les taxons présents ne peuvent pas être considérés comme polluosensibles ce qui fait que les scores Polyvoltinisme et Ovoviviparité sont très bons
- La note de variété est faible, mais impacte peu la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Ces deux exemples montrent la difficulté que l'on peut avoir à interpréter correctement des relevés faunistiques analysés à partir de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, notamment sur les HER 9A, 9 et 10.

Cette évaluation est d'autant plus complexe qu'en dehors de la problématique de la représentativité de l'échantillonnage, la méthode se base fortement, non pas seulement sur la présence d'espèces polluosensibles comme cela était le cas pour l'IBG-EQ (et de beaucoup d'autres méthodes de biomonitoring), mais surtout sur l'abondance plus ou moins forte de taxons considérés comme polluo-résistants (les métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité étant celles qui expliquent le plus la note finale).

**Ce choix de privilégier les taxons considérés par les métriques polyvoltinisme et Ovoviviparité comme polluo-résistants pourrait se justifier si ces taxons n'étaient électifs que des seuls sites pollués** (comme les taxons polluosensibles ne sont électifs que des seuls secteurs non perturbés), ce qui n'est absolument pas le cas. **Leur présence, qui peut être tout à fait naturelle en site non perturbé, est donc de nature à fausser l'évaluation des pressions telle qu'elle est faite dans l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.**

De même, **l'absence ou présence en faible abondance de ces taxons considérés comme polluo-résistants dans un relevé de qualité moyenne peut conduire à une surestimation de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>** et donc de l'évaluation des pressions réelles s'exerçant sur le milieu.

Notons que ces sous ou surestimations, notamment liées au calcul des métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité, peuvent être en partie compensées par la « régionalisation » de ces variables (calcul des EQR). Cela nécessite toutefois que les stations de « référence » présentent des profils habitationnels et typologiques très proches de ceux des stations analysées ce qu'il est difficile de démontrer puisque ces informations ne sont pas disponibles. Dans ce cadre un catalogue décrivant finement les opérations de contrôle de référence par HER et type de cours d'eau apparaîtrait comme une nécessité pour permettre une évaluation correcte de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Caractérisation des stations, listes taxonomiques de chaque opération de contrôle, analyse fine des habitats...)

Toutes ces observations faites sur les différents indices montrent qu'à l'échelle d'une hydroécorégion, et notamment sur les tables calcaires, se pose la question de la capacité qu'aura la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> à discriminer et à hiérarchiser les niveaux de pression réels comme on peut le constater avec les relevés R2 et R3. Cette question est d'autant plus prégnante que le caractère polluo-résistant ou indicateurs de pression de nombre de taxons mériterait d'être analysé et discuté dans chaque contexte hydro-éco régional.



Certains utilisateurs estiment que le caractère « multimétrique » de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> permettrait une « compensation » entre métriques ce qui rendrait possible, *in fine*, une évaluation correcte des pressions. Compte tenu de l'ensemble des points évoqués, cela semble peu probable (comment prétendre qu'un résultat peut être représentatif d'un état stationnel alors que les choix méthodologiques ne permettent pas de rendre compte de l'état réel de la station et que les valeurs écologiques attribuées à chaque taxon sont pour le moins discutables).

## 1.5.5 Caractérisation des déclassements observés

### 1.5.5.1 Impact lié à l'abondance de certains taxons

Comme nous avons pu le voir avec les exemples qui ont été présentés, les faibles notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peuvent être fortement influencées par la présence notamment des taxons donnant des scores forts pour polyvoltinisme et ovoviviparité (*Gammaridae*, *Hydrobiidae* (*Potamopyrgus*) *Asellidae*, *Sphaeridae*, *Baetidae* des genres *Cloeon* et *Centroptilum*, *Corbiculidae*).

D'autres taxons qui présentent des scores de polyvoltinisme ou d'ovoviviparité plus faibles peuvent être aussi influencer la note finale, car présents souvent avec des abondances élevées (*Baetis*, *Chironomidae*...).

Si certains de ces taxons peuvent présenter des abondances plus élevées en conditions perturbées comme le Genre *Potamopyrgus* (taxon très ubiquiste que l'on peut retrouver dans tous types de milieux/biocénotypes), c'est beaucoup plus discutable par exemple pour certains genres de *Gammaridae* comme *Gammarus*, les *Asellidae*, les *Sphaeridae*, les *Baetidae* des genres *Cloeon* et *Centroptilum* qui dépendent très étroitement des conditions habitationnelles sur les stations analysées (présence en fort recouvrement de spermaphytes immergées, de substrats sablo-limono-vaseux, de zones rivulaires riches en milieux lentières et végétalisées avec des héliophytes) et ceci même avec des niveaux de pression faibles.

On peut donc affirmer que des déclassements observés sur certaines stations peuvent aussi être expliqués par les structures d'habitat et non pas par les seules pressions. La méthodologie de reconstruction du peuplement telle qu'elle est faite pouvant conduire à des surestimations ou des sous-estimations de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Ce décalage sera aussi d'autant plus important que les stations de « références » présenteront un profil mésologique (Typologie, Habitat ...) différent des stations analysées.

### 1.5.5.2 Pertinence des références utilisées

D'une manière générale, les masses d'eau qui sont présentes sur les tables calcaires des HER 9A, 9 et 10 ont subi, plus particulièrement depuis le développement de pratiques agro-industrielles, des pressions tant physico-chimiques (nutriments, micropolluants...) que morphologiques (recalibrages, curages...) importantes et dont les impacts (recalibrage, pollution) sont toujours notables.

**La généralisation de ces pressions sur une très grande partie de ces HER fait qu'il est actuellement difficile de trouver des stations de « référence ».**

Cela explique pourquoi, le nombre total d'opérations de contrôle de cours d'eau est d'une façon générale très faible pour les cours d'eau moyens à grands, plus élevé pour les petits ou très petits cours d'eau, mais dans des proportions qui restent très faibles au regard des caractéristiques des HER concernées par l'étude et notamment de la diversité des types de cours d'eau que l'on peut y rencontrer.

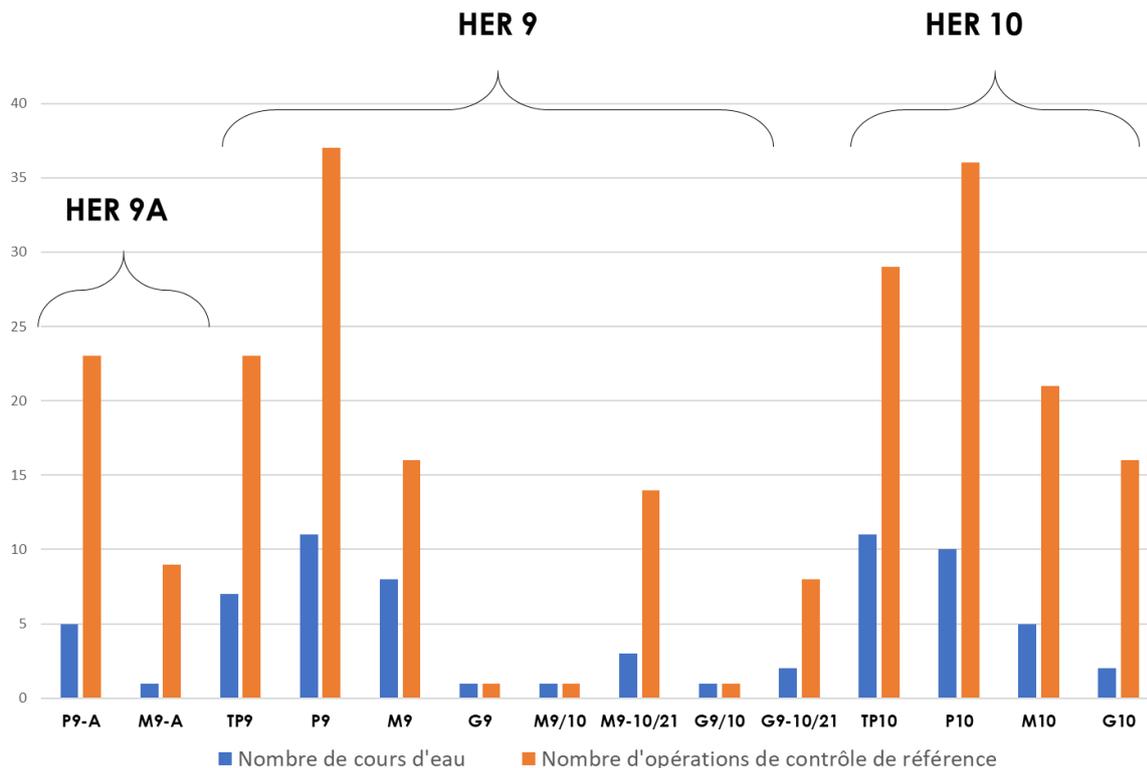


Figure 18 : Opérations de contrôle de référence sur les différents types d'hydroécorégions étudiées

Sur l'HER 9A qui fait l'objet plus particulièrement de cette étude, seuls 5 cours d'eau sont utilisés comme référence pour les petits cours d'eau (23 opérations de contrôle sur l'Arques Béthune, l'Eaulne, la Hem, La Paquine, l'Yerres) et 1 cours d'eau pour les moyens cours d'eau (9 opérations de contrôle sur la Risle).

Il est à noter que les opérations de contrôle prises en compte dans les références peuvent avoir été réalisées la même année à des dates différentes (décalage de 2 à 6 mois) ou sur des années différentes.

Ce tableau montre que la note moyenne des opérations de référence est souvent assez proche de la limite entre « bon état » et « très bon état » et qu'une partie des opérations de contrôle sur des sites avec des impacts minimums de pression présente des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> inférieures au seuil de « très bon état » (45 opérations sur 235 soit un taux de 19.15%). On note d'ailleurs que c'est sur les HER P9-A et M9-A que les ratios entre notes inférieures au « très bon état » et notes supérieures au « très bon état » sont les plus élevées (respectivement 47,8% et 50%). Il se pose donc la question, dans le cadre spécifique de l'HER 9A, de la réévaluation des seuils entre « bon état » et « très bon état ».

Cette analyse qui montre que certaines stations présentant des perturbations minimales (LIRRs) ne sont pourtant pas classées en « très bon état » par le calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, incite à beaucoup de prudence sur l'interprétation des classes de qualité.

Le déclassement de certaines opérations de contrôle de « référence » tient peut-être dans le fait que la valeur BEST retenue pour chaque variable biologique est celle de la meilleure valeur observée sur l'ensemble des stations de référence pour une HER et un type de cours d'eau donné.

**L'opération de référence « type » correspondrait donc à une opération dont toutes les métriques présenteraient un maximum dans un contexte hydroécorégional donné, ce qui semble peu réaliste au regard des informations apportées par chaque indice.**



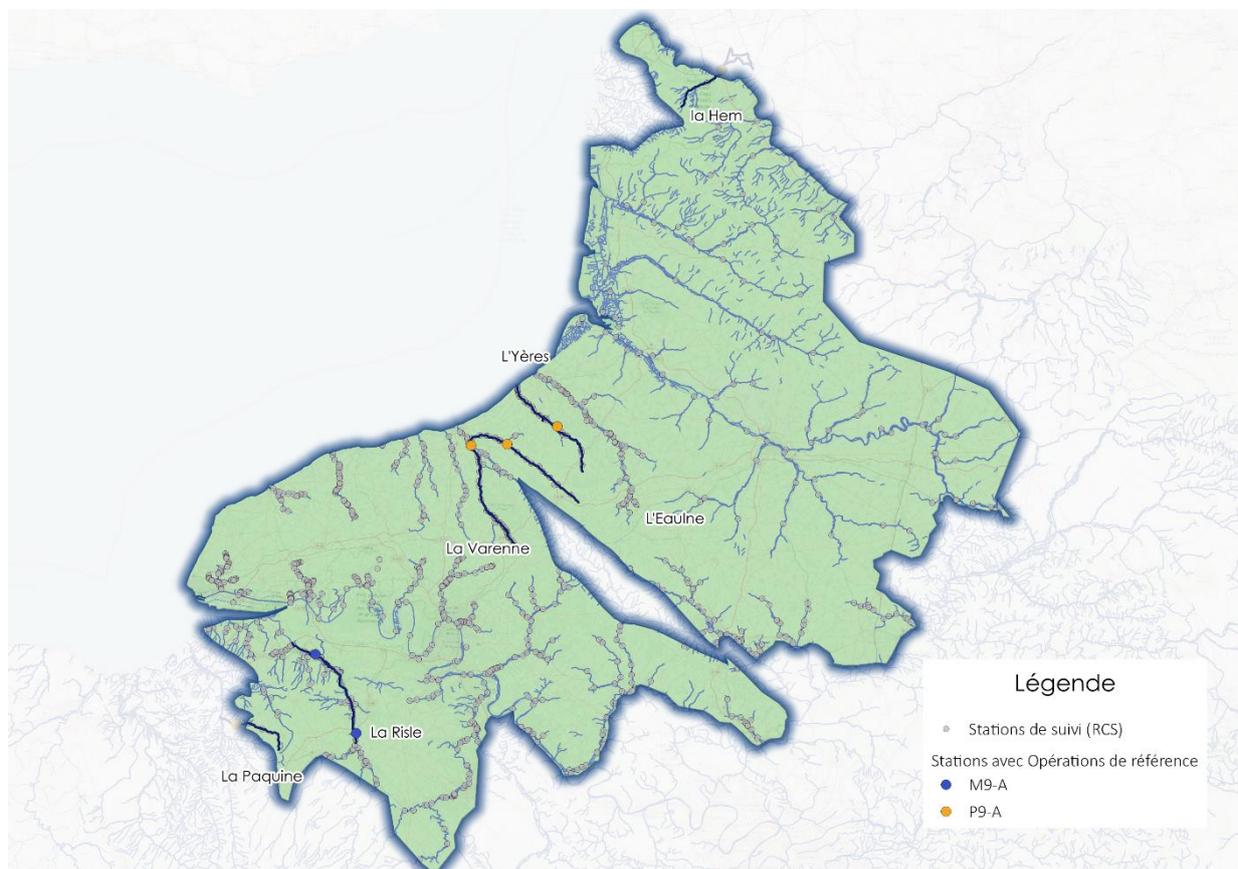
Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Dans ce cadre il serait sûrement préférable de ne travailler que sur des valeurs caractéristiques d'un même ensemble d'opérations de contrôle réalisées sur les stations à faibles impacts (*LIRRs*). Il pourrait être par exemple retenu pour chaque indice la valeur correspondante au premier quartile de la série... seuil qui pourrait être assimilé comme la limite entre « Bon » et « Très bon » état.

### 1.5.5.3 Représentation des « références » par HER

Comme nous l'avons vu précédemment les HER concernés par l'étude sont représentés par un très faible nombre d'opérations de contrôle de référence et notamment au regard de la surface des hydroécorégions concernées.

Une analyse cartographique (carte ci-dessous) montre aussi que la répartition de ces opérations de contrôle n'est pas homogène sur l'ensemble du bassin. Il est assez logique de penser que plus les « références » seront faibles en nombre sur une HER de rang 1 ou 2 plus la valeur de la référence devra être relativisée.



Carte 1 : Localisation sur l'HER 9A des stations de suivi caractérisées par des « opérations de contrôle de référence »



### 1.5.5.4 Incidence de la régionalisation des métriques pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous, les calculs des indices I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> dans des contextes hydroécorégionaux différents ne vont pas renvoyer des valeurs I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> identiques, et ceci bien que les valeurs calculées des métriques restent identiques.

	HER 9A			HER 9			HER 10		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Valeur des variables biologiques en EQR									
IndiceShannonI2M2	0,7729	0,7754	1	0,5761	0,578	0,9535	0,7065	0,7089	1
AverageScorePerTaxonI2M2	0,6693	0,7056	0,8508	0,6012	0,6338	0,7642	0,674	0,7105	0,8567
PolyvoltinismeI2M2	0,5579	0,758	1	0,4197	0,5701	1	0,3894	0,5291	1
OvovivipariteI2M2	0,5628	0,2915	1	0,3803	0,1969	0,9359	0,3518	0,1822	0,8657
RichesseI2M2	0,2065	0,236	0,236	0,1489	0,1702	0,1702	0,134	0,1531	0,1531
NbTaxonsI2M2Contributifs	29	30	30	29	30	30	29	30	30
Ind Invert Multimetric	<b>0,5649</b>	<b>0,5617</b>	<b>0,8467</b>	<b>0,4348</b>	<b>0,4381</b>	<b>0,7949</b>	<b>0,4576</b>	<b>0,4621</b>	<b>0,8046</b>
Valeur calculées des variables biologiques									
SHANNON	3,2098	3,2153	4,3104	3,2098	3,2153	4,3104	3,2098	3,2153	4,3104
ASPT	5,9167	6	6,3333	5,9167	6	6,3333	5,9167	6	6,3333
POLYVOLTIN	0,3726	0,3377	0,146	0,3726	0,3377	0,146	0,3726	0,3377	0,146
OVOVIVIPARE	0,2156	0,2563	0,0922	0,2156	0,2563	0,0922	0,2156	0,2563	0,0922
RICHESSSE	29	30	30	29	30	30	29	30	30

Tableau 14 : Résultats I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> des prélèvements R1, R2 et R3 sur les HER 9A, 9 et 10 (données en EQR régionalisé et valeurs brutes des paramètres)

On note globalement que l'HER 9A semble moins pénalisée que les HER 9 et 10 dont l'évaluation est bien plus pénalisante. Les variations de note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour un même relevé entre les trois HER sont les suivants :

- 🌱 13.01 % pour le relevé R1
- 🌱 12.36 % pour le relevé R2
- 🌱 5.18 % pour le relevé R3

La régionalisation modifie tous les calculs d'EQR qui vont prendre des valeurs différentes par hydroécorégion en fonction des valeurs WORST et BEST retenues pour chaque hydroécorégion.

Cette régionalisation, et les variations dans la notation I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> qui en découlent seraient justifiées par le fait qu'un même peuplement observé dans des contextes hydroécorégionaux différents pourrait être la résultante des effets de pressions de nature ou d'intensité différente.

Si, dans l'absolu c'est parfaitement possible, **cette justification semble contredite par l'Outil Diagnostic (OD)**, censé caractériser/hierarchiser les pressions en jeu, et qui **donne pour un même peuplement une réponse invariante pour un même relevé quel que soit le contexte hydro-éco régional testé.**

Afin de mieux comprendre les phénomènes en jeu dans les calculs d'EQR il est possible de transformer les équations avec des EQR régionalisés en équations avec des EQR basés sur les variations naturelles des indices pour l'ensemble du territoire métropolitain (EQR<sub>nat</sub>).

La relation entre EQR est la suivante :

$$EQR_{reg} = \alpha * EQR_{nat} \text{ soit } \alpha = \frac{EQR_{reg}}{EQR_{nat}}$$



D'où

$$\alpha = \frac{\frac{Obs-WORST}{BEST_{reg}-WORST}}{\frac{Obs-WORST}{BEST_{nat}-WORST}} = \frac{BEST_{nat}-WORST}{BEST_{reg}-WORST} \quad (\text{par simplification, car la valeur WORST n'est pas régionalisée})$$

Avec Obs valeur de la variable biologique sur la station analysée, BESTreg valeur BEST régionale de la variable, BESTnat valeur BEST nationale (plus forte valeur BEST observée sur le territoire national) et valeur WORST la plus faible valeur observée sur le territoire national.

L'équation générale de calcul de l'I2M<sub>2</sub> peut alors être modifiée en intégrant les EQRnat pondérés des coefficients  $\alpha$  correspondant à chaque métrique biologique :

$$I2M2_{reg} = EQRnat_{Sha} * \alpha_{Sha} * 0.1713 + EQRnat_{ASPT} * \alpha_{ASPT} * 0.2203 + EQRnat_{Poly} * \alpha_{Poly} * 0.2248 + EQRnat_{Ovo} * \alpha_{Ovo} * 0.2254 + EQRnat_{Rich} * \alpha_{Rich} * 0.1581$$

Cette transformation montre bien que la transformation en EQR régionalisés modifie d'un facteur  $\alpha$  chaque coefficient issu de l'analyse des relations pressions/réponses du peuplement. Cette constante **est d'autant plus forte que la valeur BEST régionalisée sera éloignée de la valeur BEST nationale**, sans pour autant que cela puisse être expliqué par des pressions (par exemple il est naturel que la variété taxonomique des cours d'eau de montagne soit plus faible que celle des cours d'eau de plaine). Cela explique pourquoi les valeurs des métriques et de la note finale sont différentes dans chaque contexte hydroécorégional alors que les valeurs brutes des indices sont les mêmes.

Par exemple pour ce qui est des **petits cours d'eau sur les HER 9A, 9 et 10**, en considérant les valeurs BEST et WORST nationales du tableau ci-dessous, les équations de calcul de l'I2M<sub>2</sub> sont les suivantes (voir tableau général pour toutes les HER en annexe 13) :

Tableau 15 : Valeur BEST maximale observée sur le territoire métropolitain et valeur WORST commune pour l'ensemble des HER

	Shannon (B1B2)	ASPT (B2B3)	Polyvoltinism (B1B2B3)	Ovoviviparity (B1B2B3)	Richness (B1B2B3)
BESTnat	4,6675	7,571	0,1445	0,01	77,8
Worst	1,53	4,38	0,47	0,3	22

HER 9A :

$$I2M2_{reg} = EQRnat_{Sha} * 0.2473 + EQRnat_{ASPT} * 0.3062 + EQRnat_{Poly} * 0.4193 + EQRnat_{Ovo} * 0.4358 + EQRnat_{Rich} * 0.2602$$

HER 9



$$I2M2_{reg} = EQRnat_{Sha} * 0.1843 + EQRnat_{ASPT} * 0.2750 + EQRnat_{Poly} * 0.3154 + EQRnat_{Ovo} * 0.2944 + EQRnat_{Rich} * 0.1877$$

## HER 10

$$I2M2_{reg} = EQRnat_{Sha} * 0.2261 + EQRnat_{ASPT} * 0.3083 + EQRnat_{Poly} * 0.2927 + EQRnat_{Ovo} * 0.2724 + EQRnat_{Rich} * 0.1688$$

Ces équations montrent que les coefficients de pondération des métriques biologiques issues de l'analyse pression-réponse nationale sont modifiés par le calcul des EQR régionalisés.

Cette modification n'est pas liée à des pressions, mais aux caractéristiques des cortèges macros benthiques propres à chaque hydroécorégion : les variables biologiques dont la valeur *BEST* régionalisée sera la plus éloignée des valeurs *BEST* nationale étant davantage prise en compte dans l'analyse.

Il en résulte que les critères de pondération des métriques biologiques vont varier d'une HER à une autre.

Dans le cadre de notre exemple, les pourcentages réels de pondération entre métriques biologiques seront différents comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous (voir tableau global donné en annexe 13).

	Shannon	ASPT	Polyvoltinisme	Ovoviviparité	Richesse
<b>P9-A</b>	14,82%	18,35%	25,13%	26,11%	15,59%
<b>P9</b>	14,66%	21,88%	25,09%	23,43%	14,93%
<b>P10</b>	17,82%	24,31%	23,08%	21,47%	13,31%
<b>Equation non régionalisée</b>	<b>17,13%</b>	<b>22,03%</b>	<b>22,48%</b>	<b>22,54%</b>	<b>15,81%</b>

Tableau 16 : Pourcentages de pondération des EQR non régionalisés des métriques permettant le calcul de l'I2M2 pour les petits cours d'eau sur les HER 9A, 9 et 10. En rose les pourcentages les plus élevés pour une série.

On note que sur ce tableau que les critères de pondération sont différents de ceux qui avaient été calculés à partir des valeurs de DE (ligne du bas du tableau). L'ordre des métriques varie dans des proportions notables entre les différentes HER. Ainsi :

- ✎ **Pour P9-A** les métriques les plus prises en compte dans la note finale sont par ordre de priorité l'Ovoviviparité (26.11 %), le Polyvoltinisme (25.13 %) et dans une moindre mesure l'ASPT (18.35 %) suivi de la richesse (15.59 %) et enfin de Shannon (14.82%)
- ✎ **Pour P9** les métriques les plus prises en compte dans la note finale sont par ordre de priorité le Polyvoltinisme (25.09 %), l'Ovoviviparité (23.43 %), l'ASPT (21.88%), la richesse (14.93 %) et enfin de Shannon (14.66%).
- ✎ **Pour P10** les métriques les plus prises en compte dans la note finale sont par ordre de priorité l'ASPT (24.31%), le Polyvoltinisme (23.08 %), l'Ovoviviparité (21.47 %), Shannon (17.82 %), et la richesse (13.31 %)

Ces différents éléments expliquent pourquoi et comment un même peuplement va renvoyer une note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> différente en fonction de l'HER sur laquelle elle sera calculée. On note sur P9\_A l'influence forte de la note



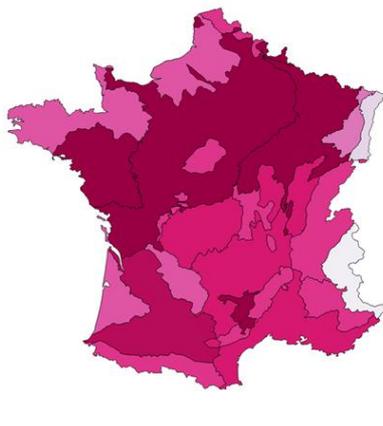
d'ovoviviparité, et donc des taxons qui sont liés à cette métrique, sur le calcul final.

Ce point pose la question de l'utilisation de métriques régionalisées pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> puisque cela modifie les coefficients de prise en compte des variables biologiques indépendamment d'une relation avec les pressions (le fait que les valeurs Best régionales soient plus faibles que celles observées sur d'autres HER ne traduit pas nécessairement l'influence régionale de pressions, mais plutôt des caractéristiques hydroécorégionales propres à chaque peuplement dans un contexte biogéographique donné : il est par exemple normal que sur les cours d'eau comme ceux des Alpes, la variété taxonomique soit plus faible que celle observée sur des secteurs de plaine.). Les figures de la page suivante présentent au niveau national une cartographie des différences entre valeur « Best » régionale et valeur Worst (définie au niveau national).

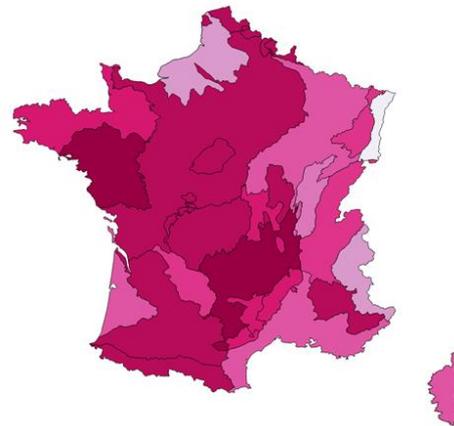
Il aurait été peut-être préférable de calculer la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur la base des EQR avec des valeurs BEST et WORST nationales et de ne régionaliser qu'ensuite la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> obtenue. Une autre solution aurait pu être d'évaluer régionalement les relations pression/réponse (Calcul régional des Efficacités de discrimination), ce qui aurait permis d'utiliser des EQR régionalisés.



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10



**Richesse**



**Indice de Shannon**



**ASPT score**



**Polyvoltinisme**



**Ovoviviparité**

*Figure 19 : Représentation cartographique par HER des valeurs BEST-WORST. La couleur est d'autant plus foncée que la différence BEST-WOST est importante. Plus la couleur est claire plus la métrique aura un poids dans le calcul de la note finale I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.*



## 1.5.6 L'outil diagnostic

### 1.5.6.1 Les apports de l'Outil Diagnostic

L'Outil Diagnostic (OD) associé à la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, a été mis en place pour caractériser les pressions qui sont susceptibles d'expliquer le plus l'évaluation globale des pressions faite par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Cet outil se base sur la mise en relation de variables biologiques avec des pressions. Ces variables biologiques ne sont pas nécessairement celles utilisées dans le cadre du calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. 216 métriques participent à la construction des modèles. Ces métriques sont uniquement des métriques « biologiques » (c.-à-d. aucune métrique « taxonomique » n'a été intégrée aux modèles), qui présentent l'avantage, dans le cadre d'un diagnostic, de fournir des résultats qui peuvent être plus facilement interprétés en termes « écologiques ».

Il s'agit :

- ▬ de la fréquence relative de 101 modalités de traits décrivant les caractéristiques biologiques et les préférences écologiques des macroinvertébrés benthiques,
- ▬ de l'abondance relative de 42 groupes fonctionnels regroupant des taxons homogènes dans leurs caractéristiques biologiques et/ou écologiques (Usseglio-Polatera et al. 2000, 2001),
- ▬ de 73 indices décrivant le niveau de spécialisation (Mondy 2012 ; Mondy & Usseglio-Polatera 2014) ou le niveau de redondance (Pianka 1974) des caractéristiques biologiques des invertébrés au sein de chaque assemblage, leur niveau de diversité (Rao 1982 ; Péru & Dolédec 2010), et la sensibilité potentielle de l'assemblage à un certain nombre de stress identifiés via la fréquence des « espèces à risque » (indices SPEAR, Liess & Von der Ohe 2005).

**La relation pression/réponse proposée par l'outil diagnostic n'est pas régionalisée.** Dans des contextes HER différents, la caractérisation de l'outil est identique alors même que l'évaluation globale des pressions est différente par la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

L'Outil diagnostique a été mis au point pour permettre d'éclairer le gestionnaire sur les facteurs de pression qui auraient une probabilité d'impact sur une station et donc un peuplement analysé. Comme pour l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> c'est une approche statistique qui nécessite une grande prudence pour l'interprétation comme le souligne les auteurs (Livret Guide, 2016) :

..... « Si l'intérêt des informations apportées par l'outil diagnostique est indéniable, il faut cependant rester prudent dans les conclusions à tirer de ces informations. Les probabilités d'impact par les différents types de pression calculées et représentées sur les diagrammes ne constituent pas des preuves irréfutables de l'effet significatif de tel ou tel type de pression sur le site d'étude. Les informations apportées sont plutôt des indications sur la probabilité qu'un ou plusieurs types de pression soient susceptibles d'avoir un effet significatif sur les communautés d'invertébrés aquatiques autochtones. Elles permettent donc au gestionnaire des milieux aquatiques d'avoir des éléments objectifs pour orienter le diagnostic vers tel ou tel type de pression qui semble, compte tenu des informations restituées par la valeur indicatrice des invertébrés aquatiques, particulièrement prégnant. Il s'agira ensuite au gestionnaire de confirmer ces indications sur la base d'autres informations/données (e.g. par un retour aux données physico-chimiques disponibles sur le point de prélèvement étudié) ».



### 1.2.1.1. Intérêt de l'Outil Diagnostic pour caractériser les pressions

L'outil diagnostic a été mis en place pour permettre aux gestionnaires d'identifier et préciser les pressions potentiellement prises en compte par la note  $I_2M_2$ .

Les analyses que nous avons pu réaliser montrent que cet outil semble plus lié à la nature des taxons présents, car il semble moins sensible aux variations d'abondance comme on peut le voir sur les tableaux et graphiques ci-dessous pour les relevés R1, R2 et R3 analysés sur l'HER 9A.

Toutefois la définition de la sensibilité des probabilités de pression présentées passerait par une caractérisation des valeurs minimales et maximales de chaque probabilité de pression sur les stations LIRRs et IRRs.

	R1	R1_P1	R1_P2	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
	Valeur des variables biologiques en EQR			Valeur des variables biologiques en EQR					
IndiceShannonI2M2	0,7729	0,9056	0,8891	0,7754	1	1	1	1	1
AverageScorePerTaxoni2M2	0,6693	0,6693	0,6693	0,7056	0,7056	0,7056	0,8508	0,8508	0,8508
PolyvoltinismeI2M2	0,5579	0,6315	0,6679	0,758	0,8886	0,9784	1	1	1
OvovivipariteI2M2	0,5628	0,6362	0,6822	0,2915	0,4122	0,4856	1	1	1
RichesseI2M2	0,2065	0,2065	0,2065	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
Ind Invert Multimetrique	<b>0,5649</b>	<b>0,6208</b>	<b>0,6365</b>	<b>0,5617</b>	<b>0,6568</b>	<b>0,6936</b>	<b>0,8467</b>	<b>0,8467</b>	<b>0,8467</b>
MATIERES_ORGANIQUES	0,2705	0,2749	0,2512	0,4402	0,5121	0,5242	0,5301	0,5153	0,5017
MATIERES_PHOSPHOREES	0,1235	0,1252	0,1037	0,1689	0,1631	0,1658	0,466	0,4814	0,4771
MATIERES_AZOTEES	0,0344	0,0337	0,0315	0,0866	0,1076	0,1097	0,1953	0,1456	0,1655
NITRATES	0,7451	0,7243	0,6941	0,4594	0,4326	0,4129	0,3826	0,398	0,4094
HAP	0,6152	0,5893	0,5755	0,5482	0,5026	0,4859	0,4295	0,453	0,4716
PESTICIDES	0,683	0,6636	0,647	0,4395	0,4049	0,3824	0,4682	0,4879	0,4881
RIPISYLVE	0,452	0,4355	0,439	0,3158	0,325	0,3464	0,4832	0,492	0,4918
VOIES_COMMUNICATION	0,1439	0,15	0,1351	0,2829	0,3779	0,4486	0,5581	0,5506	0,5543
URBANISATION_100M	0,4265	0,4114	0,3761	0,5038	0,508	0,501	0,5095	0,5111	0,5288
RISQUE_COLMATAGE	0,729	0,692	0,6536	0,3632	0,3539	0,351	0,449	0,449	0,4466
INSTABILITE_HYDROLOGIQUE	0,4784	0,4323	0,4071	0,5719	0,5819	0,5913	0,5243	0,4837	0,4814
ANTHROPIISATION_BV	0,9001	0,8579	0,8492	0,4467	0,4084	0,377	0,4639	0,4749	0,4791

Tableau 17 : pour les relevés R1, R2 et R3 (sans et avec correction des abondances en utilisant les scénarios P1 et P2) les valeurs de  $I_2M_2$  (HER 9A) et ses métriques et les probabilités de pression de l'outil diagnostic. Ces probabilités resteront inchangées sur les HER 9 et 10.

Diagramme radar des probabilités de pressions physicochimiques

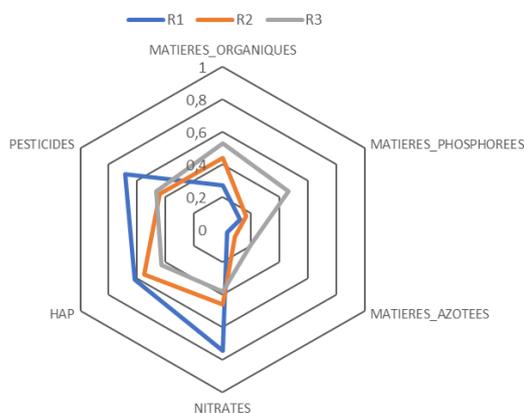


Diagramme radar des probabilités de pressions morphologiques

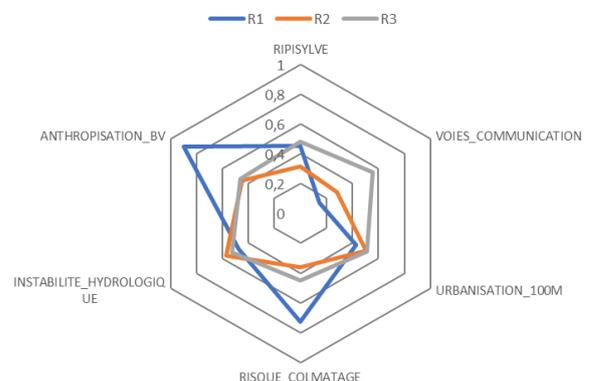


Figure 20 : Diagrammes radar des probabilités de pression données par l'outil diagnostic des relevés R1, R2, R3.

Contrairement à la note  $I_2M_2$ , l'outil diagnostic différencie assez nettement les relevés R1 et R2 en attribuant des probabilités de pression moindres sur le relevé R2 qui est effectivement de bien meilleure qualité que le relevé



## R1.

L'outil diagnostique indique aussi des pressions plus fortes sur le relevé R3 (d'état médiocre, mais donnant une très bonne note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) que sur le relevé R2 pour certains paramètres.

Comme on peut le constater sur le tableau ci-dessous, les informations apportées par l'outil diagnostic sur le niveau général de pression (calcul des moyennes des probabilités des pressions physico-chimiques et morphologiques) sembleraient plus pertinentes que l'analyse des pressions faite par la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

	R1	R1_P1	R1_P2	R2	R2_P1	R2_P2	R3	R3_P1	R3_P2
Ind Invert Multimétrique P9A	0,5649	0,6208	0,6365	0,5617	0,6568	0,6936	0,8467	0,8467	0,8467
Ind Invert Multimétrique P9	0,4348	0,4754	0,4865	0,4381	0,5148	0,5525	0,7949	0,7535	0,7316
Ind Invert Multimétrique P10	0,4576			0,4621			0,8046		
NOTE IBG-DCE (P9 A, 9 et 10)	14	14	14	17	17	17	14	14	14
MOYENNE PRESSIONS PHYSICO-CHIMIQUES OD	0,4120	0,4018	0,3838	0,3571	0,3538	0,3468	0,4120	0,4135	0,4189
MOYENNE PRESSIONS HYDROMORPHOLOGIQUES OD	0,5217	0,4965	0,4767	0,4141	0,4259	0,4359	0,4980	0,4936	0,4970

Tableau 18 : Résultats du calcul I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> de la note IBG-EQ, des moyennes des pressions physico-chimiques et hydromorphologiques de l'outil diagnostique (OD), sur les relevés 1, 2 et 3 pour les HER 9A, 9 et 10. Les calculs sont faits sur abondances non pondérées de la surface échantillonnée (R1, R2 et R3) et avec pondération suivant les % de recouvrement des scénarios P1 et P2.

On note ainsi que :

- ✎ L'outil diagnostique discrimine assez nettement le relevé R2 comme le relevé dont les probabilités de pression sont les plus faibles et qui correspond à un milieu de meilleure qualité. Cette évaluation est conforme à celle proposée par l'IBG-EQ, mais pas à la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> faible pour R2 en comparaison à R1 et R3.
- ✎ L'outil diagnostique montre des probabilités de pressions physico-chimiques ou morphologiques moyennes sur R1 et R3 plus fortes que pour R2 ce qui correspond aussi à l'évaluation faite par la note IBG-EQ (14/20 pour les deux stations), mais pas du tout à celle faite par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> dont la note est vraisemblablement surestimée sur R3.

L'outil diagnostique semble donc, sur la base de ces exemples, présenter des résultats plus conformes à l'état des peuplements que l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Toutefois comme cet outil intègre de nombreuses variables biologiques non décrites, nous ne disposons pas d'une clé de lecture pour comprendre les probabilités de pression...une probabilité de pression est-elle liée à la présence d'un taxon, d'un groupe de taxon... ? Autant de points qu'il faudrait connaître et maîtriser pour déterminer la capacité de cet indice à discriminer, **dans un contexte hydroécორégional donné** une ou plusieurs pressions. De plus, il se pose aussi la question de savoir sur quelles bases ont été établis les indices (méthode de reconstitution des listes faunistiques) et les impacts potentiels sur la variabilité des probabilités de pression calculées.

Dans le cadre de l'analyse de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, **il serait aussi indispensable de disposer des données de probabilité de pression (OD) sur les stations de référence (LIRRs) afin de pouvoir relativiser les probabilités observées par rapport à des situations de référence.** (Un catalogue hydroécорégional des références apparaîtrait, là aussi, essentiel).



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Notons aussi que la mise en relation statistique entre les probabilités de pression déterminées par cet indice qui n'est pas régionalisé pose question dans la mesure où l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> lui est une méthode régionalisée.



## 1.6 Conclusion sur l'indice I2M2

Par son mode de calcul particulier, la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> se différencie très nettement de l'approche des nombreuses méthodes hydrobiologiques qui l'ont précédée.

Dans le cadre de l'IBG-EQ et des méthodes antérieures (IBGN, IBG, CB2, IQBG/IQBP, IB<sup>13</sup>) l'objectif a toujours été une caractérisation de l'état écologique d'un peuplement à partir de deux métriques biologiques ; variété taxonomique et présence ou non de taxons polluo-sensibles. Cette caractérisation, présentée sous la forme d'une note de synthèse, étant censée rendre compte d'une qualité « globale » de milieu : la variété étant plutôt liée à la qualité des habitats, la présence ou l'absence de taxons polluo-sensibles étant plus liée à la qualité des eaux.

Pour tous ces Indices biologiques, le calcul de la note n'intègre pas de facteurs de régionalisation. La qualité générale des milieux est appréciée à partir de l'état du peuplement suivant le principe général de causalité et notamment de la présence/absence des taxons reconnus, à l'époque et en fonction des connaissances taxonomiques disponibles, comme les plus polluosensibles.

L'approche méthodologique retenue par L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est très différente. En effet, la méthode a été construite dans l'objectif de permettre une différenciation entre sites non perturbés (*LIRRs*) et sites perturbés (*IRRs*). Cette différenciation s'appuie sur le tri statistique d'un grand nombre de métriques biologiques et sur leur aptitude à discriminer les stations de « référence » des stations impactées. Les cinq métriques retenues pour l'évaluation finale transformées en EQR régionalisés et pondérées en fonction de leur capacité à discriminer le plus grand nombre de pressions permettent l'expression d'une note unique : l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

**Celle-ci ne peut être analysée comme une variable de description d'un peuplement, mais comme l'expression synthétique d'un niveau de pression.**

Si les principes de construction de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont intéressants et conformes aux orientations générales définies à l'échelon européen, le choix et le calcul des métriques qui ont été réalisés pour déterminer les variables candidates pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> retiennent tout particulièrement l'attention notamment si on le considère d'un point de vue hydrobiologique.

Le problème n'est d'ailleurs pas tant d'utiliser des métriques très différentes, mais au minimum d'adopter une méthodologie de calcul qui permettra d'assurer que **l'indice mis en œuvre présente les caractéristiques d'un appareil de mesure à la fois sensible, précis, juste et fidèle.**

Pour cela, le respect de différents critères est essentiel :

- 🌿 Le protocole d'échantillonnage de tri et de détermination doit pouvoir permettre une reconstitution correcte du peuplement,
- 🌿 La reconstitution du peuplement doit tenir compte des pourcentages de recouvrements sur la station dans le cadre de l'utilisation des abondances.
- 🌿 Il n'existe qu'un seul et unique peuplement pour une station et à un instant donné. La décomposition en sous-peuplement par type d'habitat n'a pas de sens du point de vue synécologique.

<sup>13</sup> IQBG/IQBP Indice de Qualité Biologique Générale/Indice de qualité Biologique Potentielle ; IB : Indice Biotique



- Dans le cadre de l'utilisation de traits écologiques (exemple : polluosensibilité), il faut vérifier que l'information écologique apportée par un taxon correspond bien à celle qui peut lui être attribuée dans un cadre hydro-éco régional donné.
- Dans une approche synécologique et le calcul de « scores », il est de règle de transformer les abondances en classe d'abondance de façon à ne pas donner plus de poids aux taxons proliférants.

Les analyses et les tests réalisés dans cette étude montrent que seul le premier critère est respecté et qu'il permet notamment un calcul correct de la variété taxonomique. Les autres métriques seront particulièrement impactées par le non-respect de ces règles : Shannon, ASPT, Polyvoltinisme et Ovoviviparité.

Ces différentes remarques posent donc la question de la pertinence des choix opérés par les tris statistiques et notamment de leur intérêt pour caractériser un niveau de pression alors même que les modalités de calcul ne peuvent permettre de rendre compte fidèlement de l'état réel du peuplement.

Quant à savoir si l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut permettre une meilleure approche de « l'état global » d'une station par rapport à l'IBG-EQ, la réponse est complexe, car elle sous-entend la prise en considération de deux paramètres de façon simultanée :

- Un niveau de « qualité » défini et qui est censé intégrer des particularités propres à un contexte régional
- Des systèmes d'appréciation de la qualité plus ou moins « précis, sensibles, justes et fidèles » pour évaluer la qualité des peuplements.

Pour les exemples qui ont été retenus, on montre que la note IBG-EQ, bien que peu sensible, donne globalement, une appréciation de la qualité des 3 relevés beaucoup plus conforme à la structure des peuplements observés. Toutefois, les classes d'état retenues sur notamment l'HER 9A ne semblent pas rendre compte de l'état réel des stations analysées.

Pour ce qui est de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> on peut montrer que les résultats obtenus ne permettent pas systématiquement une appréciation correcte de la qualité des peuplements dont la qualité peut, sur certains relevés, être sur ou sous-estimée notamment en fonction de la présence/abondance de certains taxons donnant des scores élevés pour les variables polyvoltinisme et ovoviviparité. La méthode de reconstruction par « bocaux » ne permet pas non plus de faire une estimation représentative du peuplement réel. Autant de points qui expliquent les différences d'appréciation entre les deux méthodes.

Si l'on reprend le tableau des éléments qui ne permettait pas à l'IBG-EQ d'être éligible pour une bonne analyse des masses d'eau, on peut noter les apports de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.



Reproches faits à l'IBG-EQ en tant que méthode de caractérisation des hydro systèmes	Éléments pris en compte dans la méthode I <sub>2</sub> M <sub>2</sub>
<p>L'IBG-EQ ne prend pas en compte explicitement l'abondance et la diversité des taxons, de même que l'abondance relative des taxons polluosensibles par rapport aux taxons polluo-résistants au sein du peuplement.</p>	<p>L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> prend en compte de l'abondance, mais le mode de reconstitution des métriques biologiques, sans prendre en compte le pourcentage de recouvrement de chaque habitat, ne permet pas une représentation du peuplement réel. La diversité taxonomique calculée par l'indice de Shannon est inexacte. L'abondance relative des taxons polluo-résistants par rapport aux taxons polluosensibles est analysée à partir d'abondances corrigées logarithmiquement alors que l'utilisation de classes d'abondance serait indispensable pour permettre une comparaison taxonomique en fonction des capacités de développement de chaque espèce.</p>
<p>L'IBG-EQ ne prend pas en compte le type biologique des cours d'eau c'est-à-dire que le calcul de la note est indépendant du contexte hydro-éco régional et de la plupart des types de cours d'eau (notation relative et non absolue) ;</p>	<p>L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> intègre une comparaison à des références régionalisées pour un contexte hydro-éco régional donné et pour un type de cours d'eau. L'intégration d'EQR régionalisés pour le calcul de la note finale pose question dans la mesure où cela modifie les coefficients de pondération des métriques biologiques et donc les relations pression/réponse caractérisées par les calculs d'efficacité de discrimination.</p>
<p>L'IBG-EQ n'intègre pas la notion de ratio [observé/attendu] ni explicitement le calcul d'un écart à un état dit « de référence » ;</p>	<p>On ne peut pas dire que le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> intègre explicitement <u>au niveau stationnel</u> le calcul d'un ratio observé/attendu notamment parce que les références régionales utilisées peuvent être trop imprécises compte tenu du faible nombre de stations de référence sur certaines HER et parce que la caractérisation des types de cours d'eau est trop imprécise pour rendre compte finement des différents types écologiques.</p> <p>La prise en compte d'un ratio observé/attendu nécessiterait aussi une prise en compte des habitats stationnels.</p>
<p>L'IBG-EQ présente une faible sensibilité à certaines catégories de pressions anthropiques (notamment les pressions hydromorphologiques) ;</p>	<p>L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> dans son principe intègre une analyse par rapport à des pressions « hydromorphologiques ». Toutefois mis à part la Variété taxonomique commune avec l'IBG-EQ, les autres variables (ASPT, Shannon, Polyvoltinisme et ovoviviparité) semblent présenter peu de liens directs de causalité avec les pressions hydromorphologiques globales, mais certaines (Ovoviviparité, polyvoltinisme...) ont certainement un lien plus étroit avec l'habitat des stations.</p>



D'une façon générale, la méthodologie de calcul de la note  $I_2M_2$  pose la question de l'utilisation de corrélations qui sont utilisées, soit pour déterminer les variables utilisées, soit pour analyser un éventuel lien avec les pressions potentielles qu'elles soient physico-chimiques ou hydromorphologiques.

S'il ne fait aucun doute que des corrélations ou covariances puissent être établies entre les métriques elles-mêmes ou entre métriques et paramètres mésologiques, il serait néanmoins indispensable de **caractériser et de valider les liens de cause à effet**.

Pour être valides, des corrélations doivent notamment s'appuyer sur des variables dont le mode de calcul doit garantir que les valeurs obtenues sont effectivement représentatives des fonctionnements écosystémiques analysés. De plus, la valeur informative de la métrique **ne peut pas être déduite d'une relation de covariance ou de corrélation globale entre variable et facteur du milieu**, mais être caractérisée par l'expertise des différents items permettant le calcul de la métrique. **Une relation de causalité n'est valide que s'il peut être démontré une relation effective et constante par exemple entre traits biologiques et perturbation pour tous les taxons présentant ce trait.**

À titre d'exemple :

- ✎ Il existe un lien de corrélation entre la position hydroécorégionale d'une station et un degré potentiel de perturbation (les hydrosystèmes de secteurs de plaines subissant de façon globale des pressions beaucoup plus importantes que les secteurs à orographie plus marquée).
- ✎ Les hydrosystèmes de plaine présentent globalement des habitats différents (typologique, habitats avec prédominance par exemple de vitesses de courant plus lentes, de substrats minéraux fins, de forts recouvrements de végétaux aquatiques, de structures en berge plus diversifiées...) qui vont favoriser des espèces particulières et notamment des espèces qui présenteront un caractère Polyvoltin ou Ovovivipare plus marqué.

Ces espèces, dans le cadre d'analyses de corrélations croisées, peuvent donc apparaître globalement comme des espèces indicatrices de secteurs perturbés. On peut toutefois considérer que c'est un paralogisme puisque :

- ✎ Le lien entre la présence de ces espèces et la qualité physico-chimique et/ou hydromorphologique est très discutable pour beaucoup d'entre elles.
- ✎ Ces espèces **ne sont pas électives des seuls sites perturbés**, et donc leur présence et/ou absence ne peut être discutée qu'en prenant en compte, au minimum de façon conjointe, d'autres critères comme la typologie ou l'habitat (répartition des couples substrat vitesse sur la station, avec bien sûr une reconstitution du peuplement faite au pourcentage de recouvrement des habitats)

Notons enfin que l'utilisation de la normalisation par EQR ne permet pas une atténuation de ce paralogisme puisque celle-ci ne serait effective que, si et seulement si, les stations de référence présentaient un profil typologique et habitationnel très proche de celui que pourrait avoir la station analysée en condition de « référence »... des critères qui semblent difficiles à réunir dans le cadre de l'analyse écosystémique de stations de cours d'eau : une moyenne d'observation, qui plus est sur un nombre très réduit de « références » comme sur les HER 9A et 9, peut-elle être représentative des conditions typologiques et habitationnelles des stations de tous les hydrosystèmes présents sur ces mêmes HER ?

Quant à savoir si une méthode « multimétrique » serait plus à même d'établir une meilleure évaluation d'une qualité écosystémique, car permettant une « autocorrection » des différentes métriques biologiques constituant l'indice, cela semble hautement improbable, un état réel peut-il être estimé par l'addition d'une somme de



valeurs indicielles qui peuvent être ou non divergentes en fonction des modalités de calcul ?

Tous ces éléments montrent que l'information globale portée par la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est très complexe à décrypter et à analyser, car la note calculée peut apparaître, ou non, comme cohérente par rapport à l'expertise qui peut être faite de l'hydrosystème.

### 1.6.1 Analyse d'exemples réels

L'analyse de la méthode ayant été illustrée à partir d'exemple fictif, il nous a paru utile d'illustrer certains des éléments de l'expertise à partir de relevés de stations effectués par la SARL RIVE sur des cours d'eau qui peuvent présenter un fonctionnement équivalent à ceux analysés dans les HER 9 et 9A.

15 stations ont été retenues au hasard dans les listes taxonomiques que nous disposions en les choisissant de la façon suivante :

- 5 stations dont l'état écologique estimé entre IBG-EQ et I2M2 est similaire
- 5 stations dont l'état écologique estimé semble meilleur avec la méthode IBG-EQ qu'avec la méthode I2M2
- 5 stations dont l'état écologique estimé semble meilleur avec la méthode I2M2 qu'avec la méthode IBG-EQ

Les notes I2M2 ont été calculées sur la plate-forme informatique SEEE. Dans le scénario 2, le peuplement a été reconstitué en corrigeant les abondances de chaque prélèvement unitaire par le % de recouvrement de chaque substrat (donnée finale exprimée pour 1 m<sup>2</sup> de station).

Les bocaux ont été reconstitués sur cette base.

Il est à noter que :

1. L'indice Diversité de Shannon a été calculé uniquement sur les bocaux 1 et 2 et le BMWP score sur les bocaux 2 et 3 (correction non faite en utilisant les 3 bocaux, car nous avons utilisé le SEEE).
2. Aucune correction n'a été apportée aux traits écologiques retenus
3. le % de recouvrement utilisé pour corriger les abondances est celui des substrats et non des couples substrat vitesse.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants en valeur d'indices non transformés en EQR pour une même station. Pour les paramètres Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon, la première ligne des indices correspond à la valeur de l'indice du peuplement non corrigé du % de recouvrement des substrats et la deuxième est corrigée par le pourcentage. Les métriques variété et BMWP score restent identiques, car non impactées par la correction apportée.

Les tableaux qui suivent présentent pour chaque groupe de stations les écarts liés à la correction apportée. Ces variations sont ensuite exprimées en pourcentage par rapport à l'écart max théoriquement observable pour chaque HER (Valeur BEST-Valeur WORST).

(Nota pour des raisons de facilité de lecture, le seuil de 4 chiffres après la virgule, requis par la méthode I2M2 n'a pas été retenu. De plus, ce seuil ne semble pas justifié compte tenu des erreurs de calcul générées par le mode de reconstruction du peuplement)



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Etat écologique donné par l'I2M2 équivalent à celui donné par l'IBG-EQ												
N°	TYPOLOGIE	HER	COURS D'EAU	IBGN (/20)	IBG-DCE (EQR)	I2M2	ASPT	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon	Richesse	IH
1	P	12-B	INAM	14	0,81	0,49	6,21	0,31	0,08	1,55	30,00	17,5
						0,56		0,26	0,05	1,62		
2	TP	3	VEYRE	15	0,78	0,58	6,37	0,30	0,11	3,47	34,00	14,4
						0,59		0,27	0,11	3,36		
3	P	9	BRIANDE	8	0,44	0,24	5,42	0,41	0,27	2,27	26,00	5,8
						0,35		0,35	0,22	2,23		
4	TP	3	VEYRE	18	0,94	0,70	7,04	0,27	0,04	3,18	40,00	17,8
						0,73		0,25	0,07	3,67		
5	TP	21	MAZAYE	12	0,61	0,31	5,71	0,36	0,22	2,42	20,00	8,4
						0,35		0,31	0,22	2,46		
Etat écologique donné par l'I2M2 supérieur à celui donné par l'IBG-EQ												
N°	TYPOLOGIE	HER	COURS D'EAU	IBG-DCE (/20)	IBG-DCE (EQR)	I2M2	ASPT	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon	Richesse	IH
6	TP	3	LABADEAU	12	0,61	0,45	5,79	0,31	0,02	1,62	20,00	15,4
						0,45		0,27	0,03	1,36		
7	TP	12-B	KERDANET	14	0,81	0,69	7,00	0,27	0,10	3,42	31,00	15,3
						0,72		0,24	0,08	3,51		
8	TP	3	NARSE (TANR)	17	0,89	0,66	7,10	0,28	0,09	3,23	35,00	14,8
						0,70		0,25	0,06	3,26		
9	P	12-B	INAM	12	0,69	0,54	7,07	0,33	0,09	1,99	25,00	17,5
						0,62		0,29	0,07	2,38		
10	TP	9	LONGUE PLAINE	13	0,75	0,49	4,31	0,24	0,08	1,99	26,00	14
						0,49		0,25	0,09	1,97		
Etat écologique donné par l'I2M2 inférieur à celui donné par l'IBG-EQ												
N°	TYPOLOGIE	HER	COURS D'EAU	IBG-DCE (/20)	IBG-DCE (EQR)	I2M2	ASPT	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon	Richesse	IH
15	P	9	MANSE	14	0,81	0,21	5,22	0,42	0,27	2,04	31,00	13,4
						0,27		0,41	0,25	2,55		
12	TP	3	NARSE (R)	18	0,94	0,50	6,17	0,30	0,09	1,99	37,00	17,1
						0,54		0,26	0,08	1,92		
11	TP	9	DEMMEE	14	0,81	0,22	5,32	0,42	0,31	2,22	32,00	15,4
						0,38		0,35	0,21	1,88		
13	P	9	PUCHENIN	11	0,63	0,10	3,82	0,47	0,21	1,17	19,00	14,4
						0,22		0,40	0,15	1,26		
14	TP	9	CLECQ	16	0,94	0,39	5,21	0,38	0,26	3,39	38,00	11,8
						0,54		0,32	0,19	3,31		

Tableau 19 : Calcul des indices IBG-EQ et I2M2 et indices associés (non transformés en EQR) sur 15 stations. Pour les indices Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon la ligne du bas indique la valeur de l'indice avec un peuplement réestimé en fonction du % de recouvrement des substrats.

Cours d'eau pour lesquels l'état I2M2 est similaire à l'état IBG-EQ					
Cours d'eau	HER	I2M2	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon
INAM	P-12B	0,07	-0,05	-0,03	0,07
VEYRE	TP-3	0,01	-0,03	0,00	-0,11
BRIANDE	P-9	0,11	-0,06	-0,05	-0,04
VEYRE	TP-3	0,03	-0,02	0,03	0,49
MAZAYE	TP-21	0,04	-0,05	0,00	0,04
Différence entre valeur paramètre de l'I2M2 non corrigé et corrigé par % de recouvrement du substrat	min	0,01	-0,06	-0,05	-0,11
	max	0,11	-0,02	0,03	0,49
	moyenne	0,052	0,042	0,022	0,15
Pourcentage de différence entre valeur paramètre de l'I2M2 non corrigé et corrigé par % de recouvrement du substrat (valeur max par HER obtenue par BEST-WORST)	Min	1,00%	-25,86%	-22,52%	-3,76%
	Max	11,00%	-6,45%	10,34%	16,74%
	Moyenne valeur absolue différence	5,20%	15,63%	8,80%	5,16%

Tableau 20 : Calcul, par station (état I2M2 similaire à l'état IBG-EQ), de la différence entre peuplement corrigé et peuplement non corrigé pour les indices I2M2, Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon. Valeur min max et moyenne (val absolue) pour les 5 stations analysées et calcul du pourcentage d'erreur par rapport à l'amplitude max théorique sur l'HER (BEST-WORST de chaque variable)



Cours d'eau pour lesquels l'état I2M2 est supérieur à l'état IBG-EQ					
Cours d'eau	HER	I2M2	Polyvoltinisme	Oviviparité	Shannon
LABADEAU	TP-3	0	-0,04	0,01	-0,26
KERDANET	TP-12B	0,03	-0,03	-0,02	0,09
NARSE (TANR)	TP-3	0,04	-0,03	-0,03	0,03
INAM	P-12B	0,08	-0,04	-0,02	0,39
LONGUE PLAINE	TP-9	0	0,01	0,01	-0,02
Différence entre valeur paramètre de l'I2M2 non corrigé et corrigé par % de recouvrement du substrat	min	0	-0,04	-0,03	-0,26
	max	0,08	0,01	0,01	0,39
	moyenne	0,03	-0,026	-0,01	0,046
Pourcentage de différence entre valeur paramètre de l'I2M2 non corrigé et corrigé par % de recouvrement du substrat (valeur max par HER obtenue par BEST-WORST)	Min	0,00%	-14,81%	-10,34%	-8,88%
	Max	8,00%	4,78%	5,00%	13,43%
	Moyenne valeur absolue différence	3,00%	10,66%	6,72%	5,44%

Tableau 21 : Calcul, par station (état I2M2 supérieur à l'état IBG-EQ), de la différence entre peuplement corrigé et peuplement non corrigé pour les indices I2M2, Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon. Valeur min max et moyenne (val absolue) pour les 5 stations analysées et calcul du pourcentage d'erreur par rapport à l'amplitude max théorique sur l'HER (BEST-WORST de chaque variable)

Cours d'eau pour lesquels l'état I2M2 est inférieur à l'état IBG-EQ					
Cours d'eau	HER	I2M2	Polyvoltinisme	Oviviparité	Shannon
MANSE	P-9	0,06	-0,01	-0,02	0,51
NARSE (R)	TP-3	0,04	-0,04	-0,01	-0,07
DEMMEE	TP-9	0,16	-0,07	-0,1	-0,34
PUCHENIN	P-9	0,12	-0,07	-0,06	0,09
CLECQ	TP-9	0,15	-0,06	-0,07	-0,08
Différence entre valeur paramètre de l'I2M2 non corrigé et corrigé par % de recouvrement du substrat	min	0,04	-0,07	-0,1	-0,34
	max	0,16	-0,01	-0,01	0,51
	moyenne	0,106	-0,05	-0,052	0,022
Pourcentage de différence entre valeur paramètre de l'I2M2 non corrigé et corrigé par % de recouvrement du substrat (valeur max par HER obtenue par BEST-WORST)	Min	4,00%	-33,49%	-50,00%	-12,65%
	Max	16,00%	-4,31%	-3,45%	17,49%
	Moyenne valeur absolue différence	10,60%	21,92%	24,90%	7,72%

Tableau 22 : Calcul, par station (état I2M2 inférieur à l'état IBG-EQ), de la différence entre peuplement corrigé et peuplement non corrigé pour les indices I2M2, Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon. Valeur min max et moyenne (val absolue) pour les 5 stations analysées et calcul du pourcentage d'erreur par rapport à l'amplitude max théorique sur l'HER (BEST-WORST de chaque variable)



	I2M2	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon
Min	0,00%	-33,49%	-50,00%	-12,65%
Max	16,00%	4,78%	10,34%	17,49%
Moyenne valeur absolue différence	10,60%	21,92%	24,90%	7,72%

Tableau 23 : tableau donnant les % min max et moyen (sur valeurs absolues) des variables calculées pour les 15 stations analysées

Sans rentrer dans le détail de toutes les stations, on note sur ces stations, prises au hasard, des écarts min/max et moyen entre le calcul sans correction par rapport au pourcentage de recouvrement et le calcul avec correction de :

- 0 à 16% de la note I2M2 pour un écart moyen de 10.6%.
- -33.49% à 4.78% pour la note polyvoltinisme pour un écart moyen de 21.92%
- 50.00% à 10.34% pour la note d'ovoviviparité pour un écart moyen de 24.90%
- -12.65% à 17.49% pour l'indice de Shannon pour un écart moyen de 7.72%

On note que **les écarts calculés peuvent être positifs ou négatifs** ce qui est particulièrement important à relever notamment dans le cadre de **comparaison à une référence**, c'est-à-dire si la correction apportée sur une référence varie dans le sens inverse de ce qui peut être observé sur une station impactée.

Il est aussi intéressant de noter que **les plus gros écarts sont observés sur le groupe des 5 stations pour lesquelles l'état estimé par l'I2M2 est très inférieur à l'état estimé par l'IBG-EQ** ce qui semblerait confirmer l'impact du mode de reconstitution de l'échantillonnage sur l'évaluation de l'état de nombre de stations. Pour toutes les stations analysées, la note I2M2 recalculée en prenant en compte le pourcentage de recouvrement des substrats présente des valeurs au moins égales ou supérieures à celles des stations non corrigées.

La représentativité des habitats et la position plus particulière de certains taxons dans ceux-ci (taxons polyvoltins et/ou ovovivipares) font que les indices vont varier indépendamment les uns des autres ce qui est de nature à modifier la perception que l'on peut avoir des pressions.

les écarts de calcul de la note I2M2 sont donnés à titre indicatif en considérant que les valeurs BEST et WORST de chaque indice n'ont pas été recalculées sur les opérations de contrôle de référence (données non disponibles). Toutefois la correction par le pourcentage de recouvrement des habitats (à défaut des substrats) devrait aussi être menée sur les stations de référence (LIRR) pour permettre cette comparaison.

On peut d'ailleurs se poser la question, compte tenu des écarts observés entre les valeurs corrigées ou non des indices, de la pertinence des calculs d'efficacité de discrimination (ED) qui ont été réalisés pour caractériser les relations avec les pressions et qui ont même été déterminants dans le choix des métriques biologiques.

Sur le tableau ci-dessous qui présente les résultats des indices sous forme d'EQR, on note aussi certains points particuliers ; ainsi certains cours d'eau tels que le N°10 (Longue Plaine) présentent une évaluation de l'I2M2



supérieure à celle de l'IBG-EQ bien que les variables de richesse (0.09), de diversité (0.17) ou ASPT (0.00) soient très faibles, mais la très mauvaise qualité de ces indices est compensée par les valeurs EQR des indices de Polyvoltinisme (1,00) et d'ovoviviparité (1,00). Cette remarque est aussi observée dans une moindre mesure sur les stations 6 (Labadeau). L'état de ces stations est vraisemblablement surévalué par l'absence de taxons Polyvoltins et ovovivipares.

Etat écologique donné par l'I2M2 équivalent à celui donné par l'IBG-EQ												
N°	TYPOLOGIE	HER	COURS D'EAU	IBGN (/20)	IBG-DCE (EQR)	I2M2	ASPT (EQR)	Polyvoltinisme (EQR)	Oviviviparité (EQR)	Shannon (EQR)	Richesse (EQR)	Indice Habitat
1	P	12-B	INAM	14	0,81	0,49 0,56	0,66	0,60 0,77	0,80 0,91	0,01 0,03	0,16	17,5
2	TP	3	VEYRE	15	0,78	0,58 0,59	0,66	0,55 0,63	0,67 0,67	0,66 0,62	0,29	14,4
3	P	9	BRIANDE	8	0,44	0,24 0,35	0,41	0,26 0,54	0,13 0,36	0,25 0,24	0,09	5,8
4	TP	3	VEYRE	18	0,94	0,70 0,73	0,89	0,64 0,71	0,89 0,81	0,56 0,73	0,43	17,8
5	TP	21	MAZAYE	12	0,61	0,31 0,35	0,46	0,40 0,56	0,27 0,29	0,34 0,36	0,00	8,4
						0,04		0,16	0,02	0,02		
Etat écologique donné par l'I2M2 supérieur à celui donné par l'IBG-EQ												
N°	TYPOLOGIE	HER	COURS D'EAU	IBG-DCE (/20)	IBG-DCE (EQR)	I2M2	ASPT	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon	Richesse	IH
6	TP	3	LABADEAU	12	0,61	0,45 0,45	0,47	0,53 0,64	0,98 0,92	0,03 0,00	0,00	15,4
7	TP	12-B	KERDANET	14	0,81	0,69 0,72	0,94	0,74 0,84	0,76 0,80	0,65 0,68	0,18	15,3
8	TP	3	NARSE (TANR)	17	0,89	0,66 0,70	0,91	0,63 0,72	0,74 0,84	0,58 0,59	0,31	14,8
9	P	12-B	INAM	12	0,69	0,54 0,62	0,97	0,51 0,68	0,78 0,86	0,16 0,29	0,06	17,5
10	TP	9	LONGUE PLAINE	13	0,75	0,49 0,49	0,00	1,00 1,00	1,00 1,00	0,17 0,17	0,09	14
						0		0,00	0,00	0,00		
Etat écologique donné par l'I2M2 inférieur à celui donné par l'IBG-EQ												
N°	TYPOLOGIE	HER	COURS D'EAU	IBG-DCE (/20)	IBG-DCE (EQR)	I2M2	ASPT	Polyvoltinisme	Oviviviparité	Shannon	Richesse	IH
11	P	9	MANSE	14	0,81	0,21 0,27	0,33	0,20 0,27	0,13 0,22	0,17 0,35	0,19	13,4
12	TP	3	NARSE (R)	18	0,94	0,50 0,54	0,60	0,53 0,68	0,72 0,78	0,16 0,13	0,36	17,1
13	TP	9	DEMMEE	14	0,81	0,22 0,38	0,40	0,24 0,58	0,00 0,45	0,26 0,13	0,23	15,4
14	P	9	PUCHENIN	11	0,63	0,10 0,22	0,00	0,02 0,32	0,41 0,67	0,00 0,00	0,00	14,4
15	TP	9	CLECQ	16	0,94	0,39 0,54	0,35	0,44 0,72	0,18 0,54	0,69 0,66	0,37	11,8

Tableau 24 : Calcul des indices IBG-EQ et I2M2 et indices associés (transformés en EQR) sur 15 stations. Pour les indices Polyvoltinisme, Ovoviviparité et Shannon la ligne du bas indique la valeur de l'indice avec un peuplement réestimé en fonction du % de recouvrement des substrats.

En conclusion de cette partie qui illustre, à partir de cas réels, les effets de l'utilisation du protocole MCPE pour des analyses quantitatives et non plus seulement qualitatives, on peut tirer les conclusions suivantes :

1. Le mode de reconstitution du peuplement, partiel puisque ne prenant pas en compte l'ensemble du peuplement pour certains indices ni les couples substrat/vitesse, modifie de façon importante le calcul des indices quantitatifs pris en compte dans la méthode I2M2.
2. Les stations qui semblent les plus impactées sont celles dont l'état biologique estimé par l'I2M2 est inférieur à celui estimé par l'IBG-EQ. Toutefois, l'état de certaines stations semble, dans certains cas, surestimé par l'absence de taxons polyvoltins ou ovovivipares.
3. Les écarts entre peuplement non corrigé ou corrigé par le pourcentage de recouvrement des substrats peut être positif ou négatif ce qui peut encore plus impacter les résultats notamment dans le cas où la correction apportée à la station de référence varierait dans le sens inverse de celle apportée à la station analysée.
4. En l'état actuel, il est impossible de statuer sur l'impact que pourrait permettre un mode de reconstitution correct du peuplement de la station, sur l'état écologique estimé de celle-ci puisqu'il



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

faudrait que les corrections soient appliquées aussi sur les stations de références de façon à redéfinir les valeurs BEST et WORST calculées pour les calculs des EQR.

5. Ce travail pose la question du choix des opérations de contrôle qui a été réalisé pour déterminer et les variables utilisées et les relations possible aux pressions



## AXE 2 : Réalisation d'une enquête détaillée sur un échantillon de l'HER9A

### 2.1 Préambule

L'ensemble du travail sur l'axe 2, mais aussi sur les axes 3 et 4 s'est heurté à une difficulté majeure qui est de n'avoir pu travailler que sur des données issues du système existant de bancarisation des données hydrobiologiques. Cette bancarisation, qui ne se fait actuellement par « bocal », rend impossible toute reconstruction valide du peuplement biologique (opérations de contrôle analysées, mais aussi références *LIRRS*).

Ce point essentiel n'a pas permis de caractériser statistiquement l'incertitude de la mesure de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ce qui aurait pourtant été essentiel pour préciser la sensibilité, la précision la justesse et la fidélité des métriques au regard de la structure réelle des peuplements. Cela n'a pas permis non plus de recalculer d'autres indices qui auraient pu apporter des informations complémentaires par rapport à ceux pris en compte dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Afin de permettre une analyse un peu plus précise nous avons toutefois appliqué une correction inter bocal en considérant que :

- ▬ Le bocal marginal ne représente que 10% de la superficie de la station ;
- ▬ Le bocal dominant priorité Habitat représente 40% de la station ;
- ▬ Le bocal dominant priorité superficie représente 50% de la station.

Cependant, les corrections de la représentativité des substrats pour un même bocal n'ont pas pu être faites, ce qui est très dommageable puisque les pourcentages de recouvrements des différents substrats analysés peuvent varier pour un même bocal d'un facteur de 1 à 10 voire plus (un substrat dominant peut représenter de 5 à 50-60 % de la surface totale de la station).

Il en résulte que les métriques et variables que nous avons calculées doivent être considérées avec caution. Au mieux elles permettent de remarquer des tendances qui devront être validées par des études complémentaires sur des jeux de données valides.

### 2.2 Rappel des objectifs de l'Axe 2

Les résultats obtenus avec l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les masses d'eau de l'HER9A donnent une appréciation significativement plus dégradée des masses d'eau que l'IBGN. L'origine de ces déclassements n'est pas toujours bien identifiée à partir des données et des informations disponibles.

Les objectifs de ce deuxième Axe intitulé « Réalisation d'une enquête détaillée sur un échantillon de masses d'eau de l'HER 9A » étaient de réaliser une série d'analyses sur un échantillon de masses d'eau présélectionnées afin d'identifier et de comprendre les causes des déclassements observés entre les indices invertébrés.

Ces analyses sont réalisées en 2 étapes :

1. La première étape consiste en la bancarisation et le traitement de données permettant d'apporter un certain nombre d'informations sur le contexte de chaque masse d'eau présélectionnée (facteurs mésologiques, variations des indices biologiques et de leurs métriques, pressions physico-chimiques et



hydromorphologiques, etc..). Ces données traitées sont organisées sous la forme de fiche de synthèse pour chacune des 37 masses d'eau présélectionnées.

2. Sur la base de ces fiches de synthèse, 20 stations présentant des caractéristiques représentatives des situations variées rencontrées sur l'HER 9A sont sélectionnées pour que des investigations de terrain soient réalisées. L'objectif de ces visites est de recueillir les avis des experts locaux sur l'évaluation de l'état biologique des masses d'eau ciblées par les indices invertébrés étudiés (IBG-équivalent et I2M2) ainsi que des informations complémentaires à celles des fiches des stations et pouvant expliquer les déclassements observés.

## 2.3 Données mobilisées et constitution d'une base

Le bassin Artois-Picardie comprend 16 masses d'eau en HER 9A et le bassin Seine-Normandie en comprend 118.

Afin de disposer d'une compréhension fine de la réponse de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> aux pressions anthropiques présentes sur ces masses d'eau et de l'origine des déclassements, un échantillonnage de masses d'eau a été proposé.

**32 masses d'eau ont ainsi été présélectionnées : 16 sur Artois-Picardie et 16 sur Seine-Normandie.**

Les masses d'eau retenues comprennent des stations de références, des stations en bon état ou déclassées, présentant différents niveaux de pression, de nature diverse, afin de disposer d'une large palette de cas.

Les critères de sélection ont été les suivants :

- ▬ Des données sur la qualité et sur les pressions déjà disponibles, exhaustives et sur de longues chroniques
- ▬ De leur pertinence vis-à-vis des objectifs de l'étude, notamment où les résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont très différents des autres indicateurs,
- ▬ De leur diversité sur les pressions qui s'y exercent,
- ▬ De leur diversité sur la nature des sites de prélèvement,
- ▬ Des réponses différentes de l'indice pour des pressions apparemment similaires

## 2.4 Étude préalable aux visites de terrain

Une étude préalable aux visites terrain a été réalisée par le groupement ANTEA/RIVE. Elle a consisté en la collecte des données disponibles pour permettre si possible une évaluation des niveaux de pressions sur ces masses d'eau (en incluant à minima les pressions utilisées pour développer l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) et une caractérisation des éventuelles causes de dégradation de l'indice « invertébrés ».

Cette analyse préalable a permis de collecter, lorsque les données étaient disponibles :

- ▬ Les notes indiciaires, les listes faunistiques et floristiques des différents indicateurs biologiques et en tant que de besoin, différents éléments permettant de préciser l'échantillonnage de terrain ;
- ▬ L'analyse des chroniques de données physico-chimiques (notamment à partir des données brutes sur les mois qui précèdent le prélèvement, et en évitant de se limiter aux seuls percentiles 90) ;
- ▬ L'analyse des chroniques de débits lorsqu'elles sont disponibles, notamment par rapport aux dates de prélèvements des indicateurs biologiques ;



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- ✺ L'analyse de toutes les informations hydromorphologiques disponibles et pertinentes et d'occupation des sols, et le cas échéant l'analyse de l'évolution hydromorphologique lorsqu'elle peut éclairer les résultats des indices invertébrés ;
- ✺ L'analyse des données pression fournies ou collectées à partir des bases de données disponibles.

Toutes les données collectées ont été compilées sous forme de fiches de synthèse qui ont été présentées devant les gestionnaires des bassins versants concernés (techniciens de rivières, services techniques de l'État, police de l'eau ...), ce qui a permis de partager et compléter le diagnostic proposé.

Toutes les fiches produites dans le cadre de cette partie sont présentées dans le cahier technique annexé à ce document.

## 2.5 Visites de sites

---

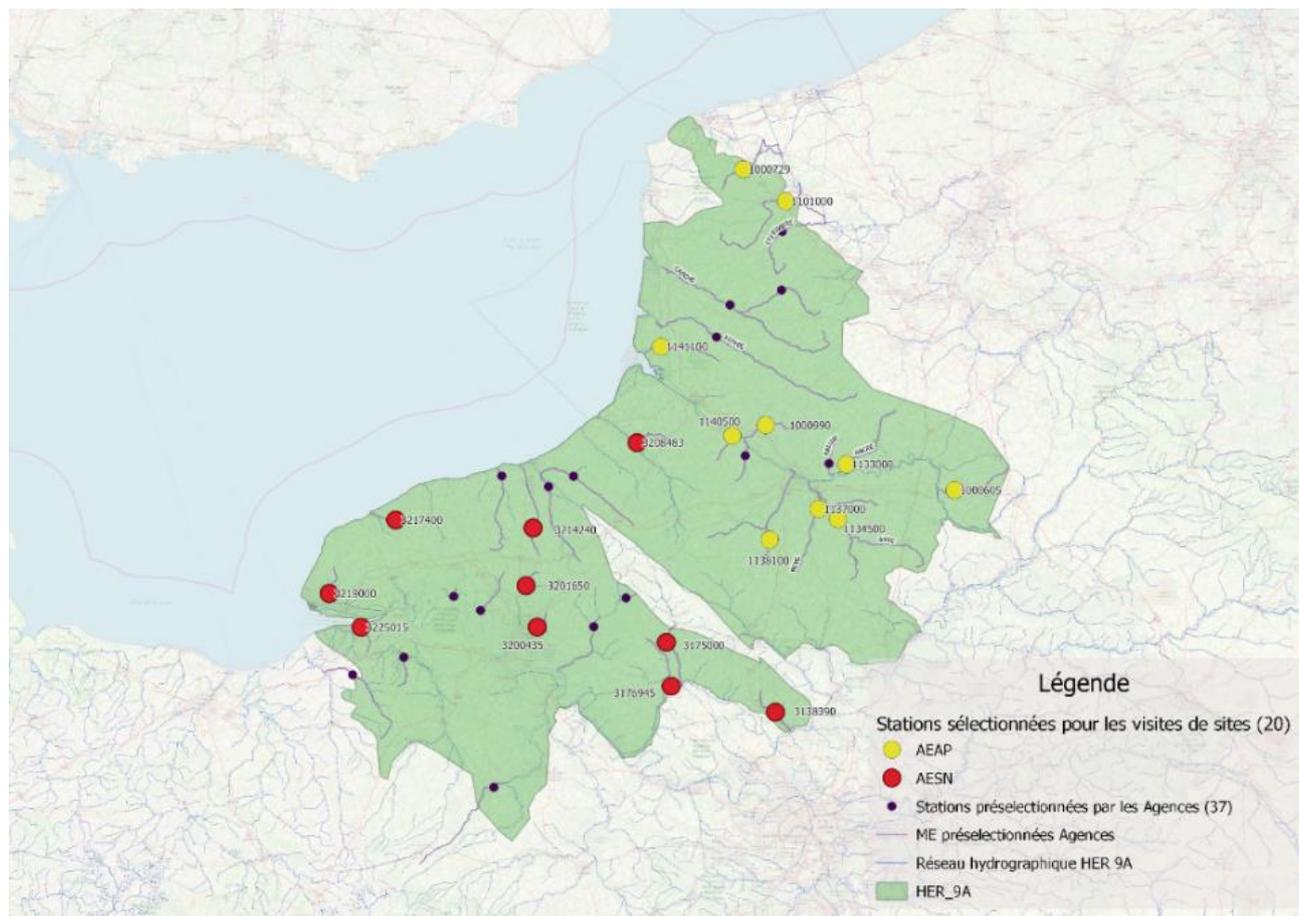
### 2.5.1 Choix de l'échantillon de station

#### 2.5.1.1 Critères de choix des stations

Les 20 stations retenues devaient être représentatives des situations variées observées sur l'HER 9A en termes :

- ✺ De chronique de données disponibles ;
- ✺ D'états écologiques des masses d'eau ;
- ✺ De stabilité des états biologiques ;
- ✺ De typologie réelle des cours d'eau (cours d'eau côtier, urbains, petit cours d'eau ou très petit cours d'eau,)
- ✺ Des principales pressions susceptibles d'être à l'origine du déclassement.

L'analyse de ces éléments et le choix final des 20 stations a été fait par les Agences de l'Eau Artois Picardie (10 stations) et Seine Normandie (10 stations). Le choix de ces stations a été réalisé par les agences, les DREAL et l'AFB et validé par les Agences.



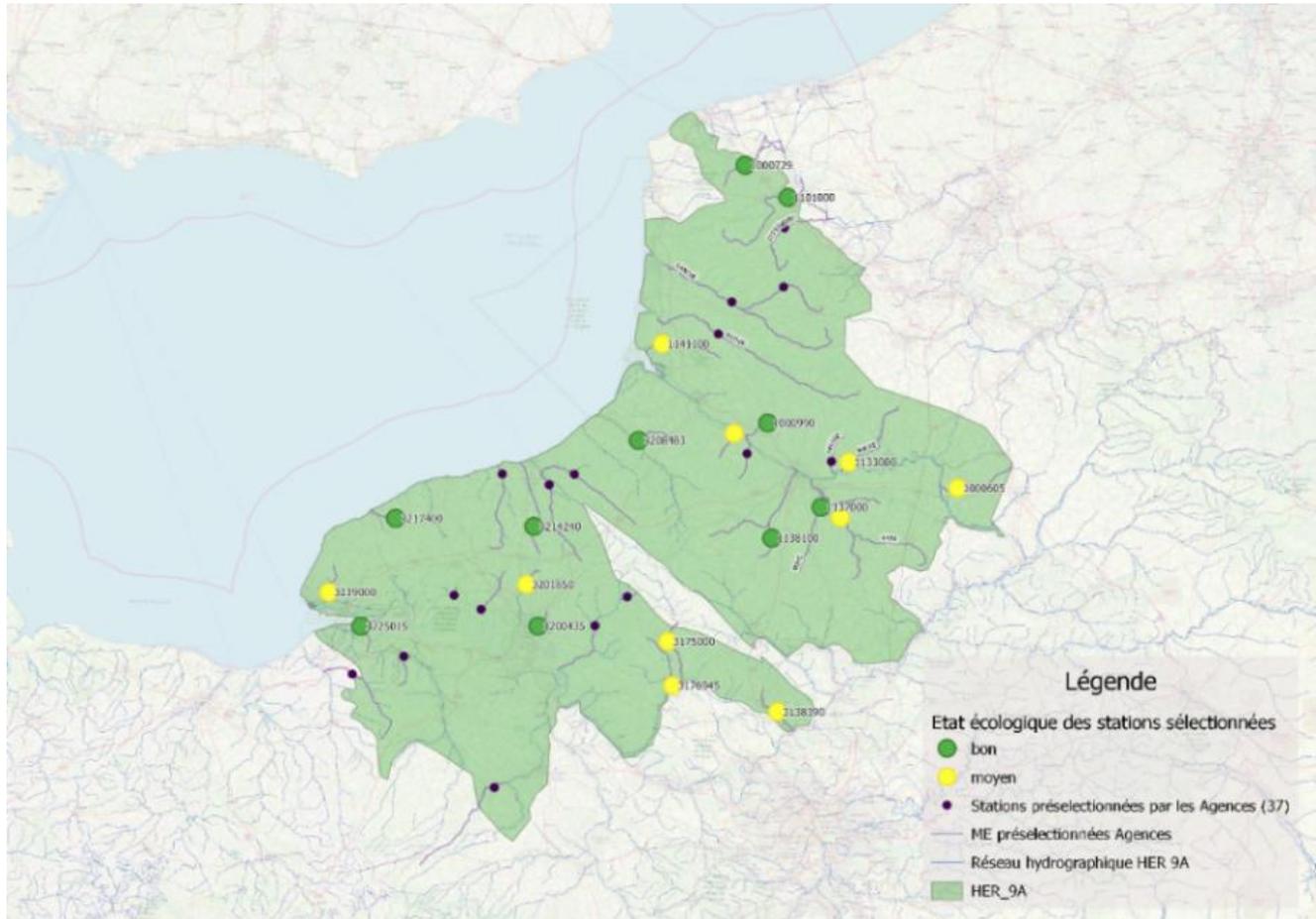
Carte 2 : Localisation des 20 stations sélectionnées pour les visites de sites

### 2.5.1.2 Description de l'échantillon retenu

Les caractéristiques de ces 20 stations vis-à-vis des critères de sélection mentionnés ci-avant sont les suivantes :

- **États écologiques :**

Bon (10 masses d'eau) à Moyen (10 masses d'eau) : 10 stations en **Bon État** écologique et 10 stations en État écologique **Moyen**



Carte 3 : État écologique des 20 stations sélectionnées pour les visites de sites.

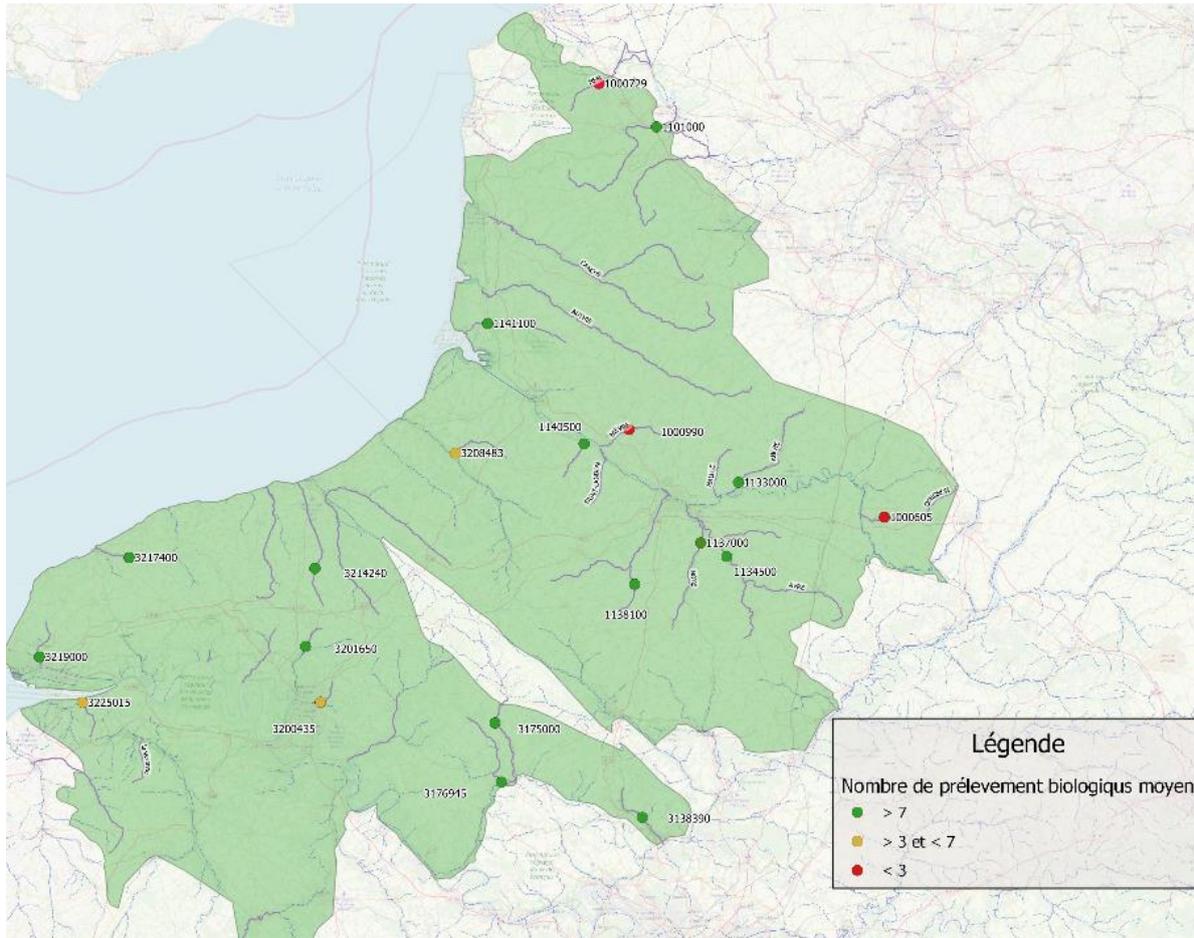
▪ **Chronique de données :**

On distingue **3 groupes** de stations :

- 🌿 14 stations avec un nombre de prélèvements moyen > 7 sur 10 ans) ;
- 🌿 3 stations avec une chronique moyenne comprise entre 3 et 7 années ;
- 🌿 3 stations avec une chronique < 3 années.



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10



Carte 4 : Nombre d'années de prélèvement moyen pour les stations sélectionnées

▪ **Déclassement entre IBG-équivalent et I2M2 :**

Une analyse des déclassements sur cette HER entre notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et IBG-EQ confirme une différence d'appréciation nette entre les deux méthodes avec une plus grande variabilité des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour les notes IBGN de 15 à 18. Ces décalages confirment ceux observés notamment sur d'autres HER (9 et 10).

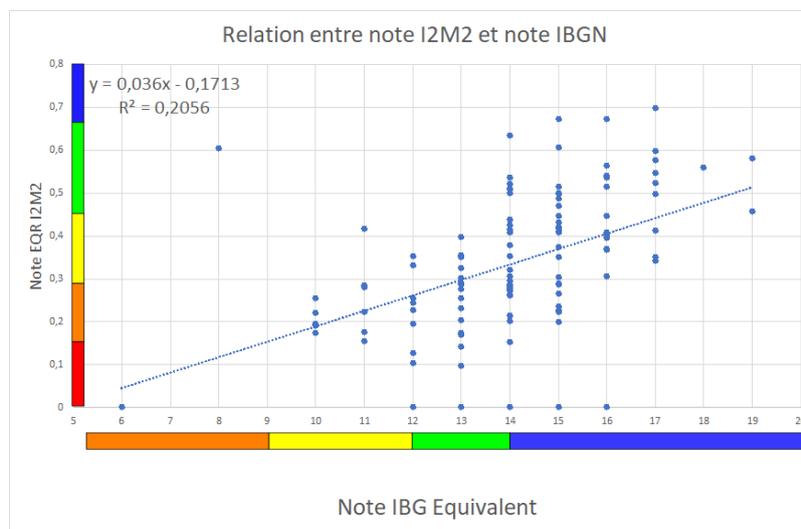


Figure 21 : Relation entre notes I2M2 et note IBGN sur les 30 sites retenus au départ de l'étude



## 2.5.2 Observations générales sur les 20 stations

Un certain nombre de caractéristiques communes ont été identifiées sur la majorité de stations. Ces caractéristiques ont été observées visuellement sur site ou sur les fiches de synthèse et confirmées par les experts locaux.

Elles peuvent être classées en Atouts / Faiblesses comme suit :

Atouts	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>/// Température caractéristique de cours d'eau salmonicoles avec des largeurs importantes</li> <li>/// Stabilité hydrologique / Soutien par les nappes</li> <li>/// Amélioration paramètres caractéristiques pollutions domestiques</li> <li>/// Substrats végétaux fortement présents</li> <li>/// Fortes vitesses de courant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>/// Recalibrage/curage</li> <li>/// Colmatage/Érosion régressive</li> <li>/// Concrétionnement calcaire (support peu biogène)</li> <li>/// Pressions agricoles (nutriments, pesticides) et pression STE</li> <li>/// Problème d'ANC généralisé (Somme)</li> <li>/// Contexte multi pression</li> </ul>

Figure 22 : Atouts et faiblesses des stations prospectées.

Sur la base des observations terrain, il a pu être constaté que les cours d'eau de l'HER 9A sont des cours d'eau recalibrés, mais caractérisés par une hydrologie stable et des débits importants alimentés par les nappes ce qui permet en général le maintien de températures fraîches favorables pour le maintien de populations salmonicoles. Suite à la réalisation de suivis CARHYCE, certains acteurs ont indiqué que les variations des régimes hydrologiques peuvent varier (du simple au double) en fonction de la présence de végétation aquatique.

Pour se rééquilibrer et compte tenu des régimes hydrologiques, les cours d'eau ont tendance à éroder le lit plutôt que les berges, ce qui engendre des problématiques de stabilité du lit. Sur certains cours d'eau, les processus d'érosion touchent la roche mère.

Compte tenu de l'inertie des eaux de nappe vis-à-vis des temps de transfert des polluants, on peut s'attendre à une dégradation de la qualité des eaux de nappes sur l'HER 9A dans les prochaines années. Cette dégradation est susceptible d'affecter de nombreux paramètres et plus particulièrement ceux présentant une grande rémanence comme les nitrates, certains pesticides....

Lors des visites de terrain, certains acteurs ont jugé que certaines stations n'étaient pas vraiment représentatives de leur masse d'eau. Ces stations sont les suivantes :

- /// L'Aa à Wizernes,
- /// La Nièvre à Berteaucourt
- /// La Clérette à Montville,
- /// L'Esche à Bornel
- /// La Vilaine à Fatouville



## 2.6 Analyse des résultats

### 2.6.1 Analyses des observations de terrain

#### 2.6.1.1 Définition de groupes de stations

Différentes approches ont été tentées pour permettre de caractériser statistiquement, notamment sur la base des indices calculés (I2M2 et ses métriques, IBG-EQ...), des groupes de stations qui présenteraient des caractéristiques communes. Ces analyses n'ont pas permis de caractériser des ensembles particuliers (probablement, comme nous le verrons dans la suite de cette étude, à cause des fortes variabilités interannuelles observées sur chaque station). Cela nous a amenés à envisager des « regroupements » sur la base de notre expertise qui reste malgré tout subjective.

Plusieurs groupes de stations ont été identifiés à partir :

- ✎ De l'intensité du déclassement ;
- ✎ Des états qualifiés (I2M2 et IBG-eq)
- ✎ De l'estimation de l'état biologique (état pressenti au regard de la connaissance des opérateurs des conditions mésologiques locales et de leur influence probable/supposée sur les peuplements en place)
- ✎ Des niveaux d'altérations observés (hydro morphologie) et mentionnés par les experts locaux.

Tableau 25 : synthèse sur les 20 sites visités

STATION	Déclassement (Moy.)	IBG-eq (Moy.)	I2M2 (Moy.)	Métrique(s) déclassante(s)	État ressenti	
Epte	0.1	Très Bon	Très Bon		Cas particulier	
La Lévière	0.66	Très Bon	Moyen	POLY et OVO	Mauvais	médiocre
La Scie	0.61	Très Bon	Moyen	OVO	Moyen	
L'Airaines	0.63	Très Bon	Moyen	OVO	Moyen	
La Clérette	0.66	Bon	Mauvais	OVO, POLY ASPT	Moyen	
Avre	0.46	Bon	Moyen	OVO	Moyen	
Maye	0.47	Bon	Moyen	ASPT et OVO	Mauvais	
Vilaine	0.48	Très Bon	Bon	OVO	Médiocre	
Omignon	0.36	Bon	Bon	OVO	Bon	
Ancre	0.38	Moyen	Moyen	OVO	Moyen	
Hem	0.4	Bon	Bon	OVO et POLY	Moyen	Bon



STATION	Déclassement (Moy.)	IBG-eq (Moy.)	I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> (Moy.)	Métrique(s) déclassante(s)	État ressenti	
Valmont	0.5	Très Bon	Bon		Bon	
Noye	0.5	Moyen	Médiocre	RICHESSSE	Moyen	Bon
Esches	0.51	Bon	Médiocre	ASPT	Moyen	
Aa	0.55	Très Bon	Moyen	OVO et ASPT	Bon	
Selles	0.55	Bon	Médiocre	OVO	Problématique particulière	
Robec	0.59	Bon	Moyen	ASPT Score	Mauvais	
Lézarde	0.59	Bon	Médiocre	ASPT et OVO	Mauvais	Médiocre
Vimeuse	0.59	Bon	Moyen	POLY		

Pour une grande partie des stations, les métriques déclassantes de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont soit l'Ovoviviparité seule soit l'Ovoviviparité et le Polyvoltinisme. Ces résultats sont cohérents avec l'analyse de l'axe 1 puisque sur cette HER ce sont l'Ovoviviparité et le Polyvoltinisme qui vont être les métriques biologiques qui vont expliquer le plus la note finale I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (respectivement 26.11% et 25.13% soient pour les deux variables 51.24%).

Afin de mieux comprendre les différences d'appréciation entre les deux indices IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, nous avons essayé de déterminer les métriques qui expliquent le mieux les décalages observés entre notes IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>(EQR). Cette analyse a été rendue possible en transformant la note IBG-EQ pour qu'elle varie non plus entre 0 et 20, mais entre 0 et 1. Nous avons ensuite calculé la différence entre les deux notes (IBGEQ- I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>). Les valeurs obtenues ont été réparties en 10 classes (ex. la classe 1 correspond aux opérations de contrôle dont la différence de note est supérieure à 0.45 voir tableau ci-dessous)

	Classe 10	Classe 9	Classe 8	Classe 7	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 3	Classe 2	Classe 1
Valeur classe	> 0.45	0.45 > 0.40	0.40 > 0.35	0.35 > 0.30	0.30 > 0.25	0.25 > 0.20	0.20 > 0.15	0.15 > 0.10	0.10 > 0	< 0
Nombre d'opérations de contrôle	5	6	8	11	15	8	13	11	10	5

Tableau 26 : seuils retenus pour chaque classe de différence entre IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ainsi que le nombre d'observations



Pour chaque classe les moyennes des différentes métriques de l'I2M2 ont été calculées. Le graphique ci-dessous illustre pour différentes classes de différence entre note I2M2 et note IBG-EQ les métriques biologiques qui interviennent le plus dans l'explication des différences dévaluation.

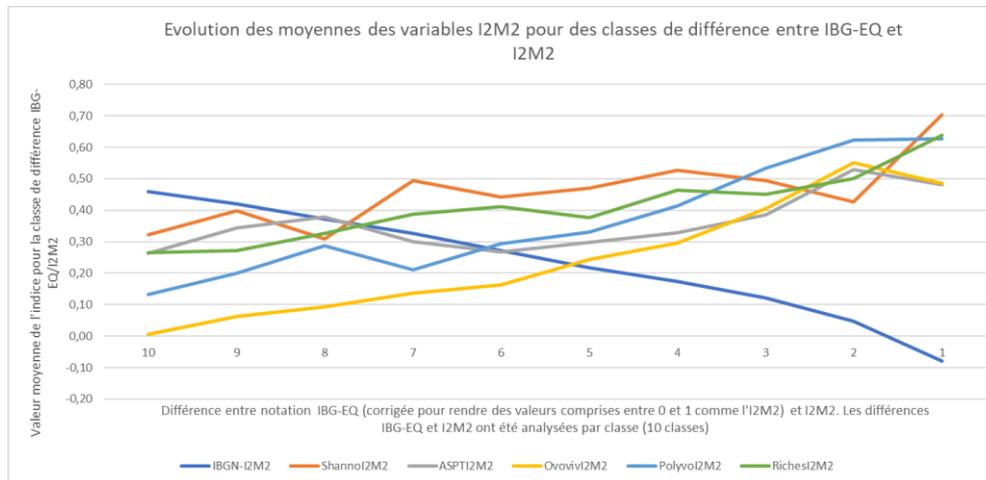


Figure 23 : Valeurs moyennes des différentes métriques de l'I2M2 (Nota : la valeur moyenne négative indique une note I2M2 supérieure à la note IBG-EQ)

On note sur ce graphique que :

- Pour les décalages les plus élevés (Classes de 7 à 10) c'est la note d'Ovoviviparité qui est la plus déclassante avec en second le Polyvoltinisme. Viennent ensuite L'ASPT score et la richesse. La diversité de Shannon est la métrique dont les EQR sont les moins déclassants.
- Pour les décalages moyens (Classes de 4 à 7) la note d'Ovoviviparité qui est la plus déclassante avec en second L'ASPT score et ensuite le Polyvoltinisme et la richesse taxonomique. La Diversité de Shannon et la métrique dont les EQR sont les moins déclassants.
- Pour les décalages faibles, on note qu'Ovoviviparité, ASPT score et Polyvoltinisme, n'apparaissent pas toujours comme les plus déclassants mais que, par exemple pour la classe 2 c'est plutôt Shannon et la Richesse.

Afin de mieux analyser les variations observées, différents essais de recalcul des métriques biologiques ont été tentés afin de permettre une reconstitution des peuplements plus conforme à la réalité. Toutefois comme les données sont actuellement bancarisées par « Bocal » et non par prélèvement unitaire, la reconstitution qui a été faite n'est que très partielle. Les métriques qui ont été calculées seront certes un peu moins inexactes que sans cette correction, mais les résultats produits seront toujours entachés d'une grande incertitude.

Les coefficients de pondération « théoriques » appliqués à chaque « bocal » sont présentés dans la formule ci-dessous :

$$\text{Peuplement recalculé} = 0.1 * \text{abondance phase A} + 0.4 * \text{abondance phase B} + 0.5 * \text{abondance phase C}$$



La figure 26 ci-dessous montre, pour les métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité, les différences d'appréciation liées au mode de reconstruction du peuplement. Elle montre aussi l'importance de l'effet de la normalisation des indices EQR par rapport à la variation de l'indice réel.

Les indices d'Ovoviviparité (OVO) et de Polyvoltinisme (POLY) calculés sur les 3 bocal avec pondération (division par la plus forte valeur de la série pour borner les valeurs entre 0 et 1), mais non transformés en EQR alors que les indices OvoI2M2 et PolyI2M2 sont les indices transformés en EQR comme dans la méthode I2M2.

Les deux séries d'indices ne varient pas dans le même sens, car pour OVO et POLY nous avons conservé la valeur naturelle de l'indice.

Les deux séries de métriques devraient donc varier dans des sens opposés (ex une augmentation de OVO devrait correspondre à une diminution de OvoI2M2)

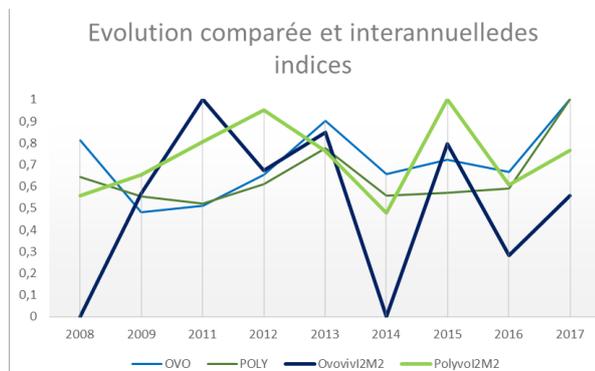


Figure 24 : Analyse des métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité sur la station 1134500 (L'AVRE A MOREUIL)

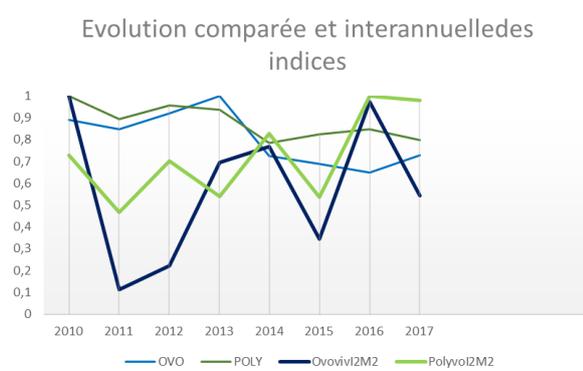


Figure 25 : Analyse des métriques Polyvoltinisme et Ovoviviparité sur la station 3175000 (L'EPTE A BOUCHEVILLIERS)

Sur ces graphiques, on note :

- ▬ Que les calculs d'EQR de la notation I2M2 varient très fortement pour les deux stations. Ces variations, beaucoup plus importantes que celles observées sur les variables OVO et POLY, traduisent l'effet de la transformation en EQR : en fonction de la valeur « Best » retenue dans un contexte hydroécorégional donné, une même variation de la valeur brute de la métrique fera varier de façon plus ou moins importante la note EQR. On montre ici que la transformation en EQR joue un rôle « d'amplificateur » des variations naturelles des métriques. Cette « amplification » est d'autant plus importante que la valeur « BEST » régionale est éloignée de la valeur « Best nationale » (ou proche de la valeur « WORST »).
- ▬ Que les variations des indices sont affectées par la correction (partielle) faite pour corriger la représentation de chaque bocal. Dans ce cas les deux séries d'indices varient dans le même sens. Par exemple :
- ▬ Pour la station 01134500 (L'AVRE A MOREUIL) années 2013, 2014, 2015 et 2016 pour le Polyvoltinisme
- ▬ Pour la station 03175000 (L'EPTE A BOUCHEVILLIERS) années 2010, 2011, 2012 et 2013 pour l'Ovoviviparité



### 2.6.1.2 Groupe 1 : les indices donnent un état biologique similaire

Quatre stations sont identifiées dans ce groupe. Leurs principales caractéristiques ayant permis cette classification sont présentées dans le Tableau ci-dessous.

STATION	Déclassement (Moy.)	IBG-eq (Moy.)	I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> (Moy.)	Métrique(s) déclassante(s)	État ressenti	
Epte	0.1	Très Bon	Très Bon		Cas particulier	
Omignon	0.36	Bon	Bon	OVO	Bon	
Ancre	0.38	Moyen	Moyen	OVO	Moyen	
Hem	0.4	Bon	Bon	OVO et POLY	Moyen	Bon

Tableau 27 : Caractéristiques des stations du Groupe 1

Sur ces stations, les deux indices donnent une appréciation équivalente de l'état biologique des cours d'eau.

Cet état biologique « calculé » par les indices correspond à l'état biologique « ressenti » par les experts locaux sur site.

Parmi ces stations, il faut noter la particularité du cas de l'Epte qui peut être considérée comme une exception typologique endogène à l'HER 9A compte tenu de son mode d'alimentation par la nappe de l'Albien (le fonctionnement hydrologique de l'Epte est différent des autres cours d'eau étudiés). De plus, de nombreuses pressions s'appliqueraient sur cet hydrosystème (rejets industriels, STEP, problématiques de développements algaux, colmatage des substrats).

### 2.6.1.3 Groupe 2 : Déclassements importants entre IBG-équivalent et I2M2

Ce second groupe est composé de 4 stations caractérisées par des déclassements très importants (environ 0.6 points).

STATION	Déclassement (Moy.)	IBG-eq (Moy.)	I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> (Moy.)	Métrique(s) déclassante(s)	État ressenti	
La Lévière	0.66	Très Bon	Moyen	POLY et OVO	Médiocre	Mauvais
La Scie	0.61	Très Bon	Moyen	OVO	Moyen	
L'Airaines	0.63	Très Bon	Moyen	OVO	Moyen	
La Clérette	0.66	Bon	Mauvais	OVO, POLY ASPT	Moyen	

Tableau 28 : Caractéristiques des stations du Groupe 2

Sur ces stations, le décalage entre les deux indices est important (2 classes de qualité en moyenne). On remarque que l'IBG-équivalent (Très Bon à Bon) surestime l'état biologique par rapport au « ressenti » des experts locaux qui se rapproche plus de l'évaluation faite par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.



Parmi ces stations, on distingue 2 cas particuliers :

- 🌿 Sur la Lévrière, l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semble surestimer l'état biologique par rapport à l'état ressenti ;
- 🌿 Sur la Clérette, l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> donne, en moyenne, un état mauvais alors que l'état ressenti correspond à un état moyen.

L'IBG-équivalent aurait tendance à surévaluer l'état biologique (Bon à très bon) tandis que l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> oscille entre les états mauvais (pour la Clérette seulement) à Moyen.

Au final, « l'état biologique réel » de ces stations tel que ressenti correspond plus à l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> qu'à l'IBG-équivalent bien que la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> soit pénalisée par les deux métriques OVO et POLY, ce qui est notamment le cas sur la Lévrière et la Clérette.

#### 2.6.1.4 Groupe 3 : Déclassement moyen : les deux indices semblent surestimer l'état biologique.

Ce troisième groupe est constitué des 3 stations listées ci-dessous. Leurs caractéristiques sont présentées dans le ci-dessous.

Tableau 29 : Caractéristiques des stations du Groupe 3

STATION	Déclassement (Moy.)	IBG-eq (Moy.)	I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> (Moy.)	Métrique(s) déclassante(s)	État ressenti	
Avre	0.46	Bon	Moyen	OVO	Moyen	Bon
Maye	0.47	Bon	Moyen	ASPT et OVO	Mauvais	
Vilaine	0.48	Très Bon	Bon	OVO	Médiocre	
Valmont	0.5	Très Bon	Bon		Bon	
Robec	0.59	Bon	Moyen	ASPT Score	Mauvais	
Lézarde	0.59	Bon	Médiocre	ASPT et OVO	Mauvais	Médiocre

Sur ces stations, le déclassement peut être considéré comme faible (en moyenne, une classe de qualité) sauf sur la Lézarde.

Parmi ces 6 stations, on distingue 2 situations différentes :

- 🌿 L'évaluation de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semble plus ou moins conforme à l'état « ressenti » sur la station. C'est le cas sur la Valmont ainsi que sur l'Avre (impact fort d'un rejet qui peut doubler le débit en période d'étiage) et la Lézarde.
- 🌿 L'évaluation de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semble surestimer l'état réel ressenti. C'est le cas sur la Maye, la Vilaine et le Robec.



### 2.6.1.5 Groupe 4 : Déclassements moyens, l'I2M2 semble sous-estimer l'état biologique

Dans ce groupe, 3 stations ont été rapprochées à partir de leurs caractéristiques (Tableau 22 ci-dessous) :

Tableau 30 : Caractéristiques des stations du Groupe 4

STATION	Déclassement (Moy.)	IBG-eq (Moy.)	I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> (Moy.)	Métrique(s) déclassante(s)	État ressenti	
Noye	0.5	Moyen	Médiocre	RICHESSSE	Moyen	Bon
Esches	0.51	Bon	Médiocre	ASPT	Moyen	
Aa	0.55	Très Bon	Moyen	OVO et ASPT	Bon	

Sur ces stations, le déclassement moyen entre IBG-équivalent et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> représente 2 classes de qualité. L'évaluation faite par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semble sous-estimer l'état biologique ressenti.

### 2.6.1.6 Synthèse des observations

Ces prospections de terrain ont permis d'identifier des groupes stationnels assez différents. Il est toutefois assez difficile d'établir une relation entre « l'aspect » général de la station et les notes biologiques obtenues (la structure des habitats observée lors de ce terrain pouvant être très différente de celle observée lors des phases de prélèvement des années passées).

Toutes les personnes rencontrées sur le terrain sont d'accord sur le fait que l'évaluation de « l'état » du milieu par la note IBG-EQ semble dans le contexte de cette HER surévaluée. Ils considèrent aussi que la note I2M2 correspond plus au « ressenti » qu'ils peuvent avoir de la qualité potentielle des milieux en fonction des perturbations avérées (recalibrage manifeste, rejet polluant caractérisé par des analyses hydrobiologiques spécifiques) ou supposées (impact de rejet non validé par des analyses synchroniques, impact des apports par ruissellement...). L'appréciation de l'état général du milieu est d'ailleurs d'autant plus difficile que la qualité potentielle de ces milieux reste très incertaine, notamment parce que les systèmes référentiels ne sont pas connus et/ou, quand ils existent, pas nécessairement représentatifs de l'état des stations analysées (typologie, habitat).

Sur la plupart de stations, les métriques biologiques les plus déclassantes sont par ordre d'importance Ovoviviparité, Polyvoltinisme et ASPT score. Le score d'Ovoviviparité lié à la présence de quelques taxons particulièrement présents sur les habitats caractéristiques de ces milieux (*Gammaridae*, *Hydrobiidae*) est la métrique biologique qui explique le plus les forts décalages d'appréciation de l'état entre IBG-EQ et I2M2. C'est pourquoi une analyse plus spécifique sera faite pour essayer de mieux comprendre l'impact de leur présence sur le système d'évaluation.



## 2.6.2 Analyses statistiques et calcul de variables complémentaires

Afin de mieux comprendre les différences d'appréciation de l'état des stations analysées, il a semblé opportun, pour mieux les comprendre et les expliquer, de calculer différentes variables complémentaires. Ces variables ont été choisies notamment pour préciser le rôle des habitats et/ou de la présence de certains taxons dans les différences d'interprétation des cortèges faunistiques notamment entre I2M2 et IBG-EQ.

Ainsi après avoir présenté les métriques qui ont été calculées, différents tests ont été réalisés pour :

- Analyser de l'impact du mode de reconstitution du peuplement par addition de bocaux, sur leur calcul dans le contexte de cette HER,
- caractériser les relations entre I2M2 et ses métriques avec les pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques,
- Relation entre I2M2 et ses métriques et le pourcentage de recouvrement des types de substrats déterminés.

### 2.6.2.1 Description des variables calculées

Sur la base des observations faites lors des visites de sites, des variables supplémentaires ont été calculées pour les 37 stations présélectionnées de l'HER 9A afin de caractériser de manière différente les stations, les peuplements et les indices biologiques.

Le calcul de ces variables s'est principalement porté :

- Sur les métriques de l'I2M2 pour les recalculer avec une prise en compte (partielle) du pourcentage de recouvrement des « bocaux,
- Sur des métriques plus particulièrement en lien avec les scores d'ovoviviparité et de polyvoltinisme (% mollusques et % de crustacés)
- Sur des critères de caractérisation des habitats qui peuvent être plus ou moins favorables à certains taxons.

Les variables calculées peuvent être regroupées par compartiment :

Concernant la **structure des peuplements** pour chaque prélèvement :

- |                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| ➤ Le % de Mollusques        | ➤ Le % de <i>Sphaeriidae</i>  |
| ➤ Le % de Crustacés         | ➤ Le % d' <i>Hydrobiidae</i>  |
| ➤ Le % de <i>Gammaridae</i> | ➤ Le % de <i>Chironomidae</i> |

Ce choix est justifié par le fait que les deux ordres ont un impact particulièrement fort dans l'ovoviviparité qui explique le plus les forts décalages d'appréciation de l'état entre IBG-EQ et I2M2. Deux échelles d'analyse ont été retenues :

- par classe taxonomique (Mollusques et Crustacés)
- par famille en ne considérant que les familles les plus présentes sur les relevés de cette HER 9A (*Gammaridae*, *Sphaeriidae*, *Hydrobiidae*).



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Pour les mollusques, on a différencié les Sphaeridae (bivalves) des Hydrobiidae (Gastéropodes), car ces deux groupes taxonomiques présentent des caractéristiques écologiques très différentes (positionnement très différent dans les structures d'habitat).

Le pourcentage de Chironomidae a aussi été analysé, car ce taxon peut aussi être présent en grande quantité sur les milieux avec un impact potentiel sur le calcul de certaines métriques.

Concernant **les types de substrats** pour chaque prélèvement :

- /// Le % de sédiments minéraux grossiers
- /// Le % de substrat végétal
- /// Le % d'algues et autres
- /// Le % de sédiments minéraux fins
- /// Le % de débris organiques

Concernant la **stabilité du régime thermique** de chaque station, le coefficient de variation interannuel de chaque température mensuelle moyenne est calculé.

Concernant les **indices biologiques**, les coefficients de variation des indices et métriques listés ci-dessous sont calculés sur la période d'étude ;

- /// Polyvoltinisme de l'I2M2
- /// Ovoviviparité de l'I2M2
- /// Shannon de l'I2M2
- /// ASPT Score de l'I2M2
- /// Indice I2M2
- /// Indice IBG-équivalent
- /// Indice IBD

Enfin, les 12 métriques utilisées dans l'Outil de Diagnostic de l'I2M2 sont calculées via les scripts du SEEE. Chaque métrique représente une probabilité d'impact liée à une pression particulière et identifiée à partir du peuplement de macroinvertébrés prélevé. Ces métriques sont les suivantes :

- /// MATIERES ORGANIQUES
- /// MATIERES AZOTEES
- /// MATIERES PHOSPHOREES
- /// NITRATES
- /// HAP
- /// PESTICIDES
- /// RIPISYLVE
- /// URBANISATION\_100M
- /// VOIES\_COMMUNICATION
- /// RISQUE\_COLMATAGE
- /// INSTABILITE\_HYDROLOGIQUE

Ces variables sont décrites plus précisément en **ANNEXE 14**.

### 2.6.2.2 Analyse de la variabilité de différents indices en fonction du mode de reconstitution du peuplement

Différents tests ont été menés sur les listes faunistiques des stations qui ont été retenues pour l'expertise terrain. Ces tests avaient notamment pour objet de déterminer différents points soulignés dans l'axe 1 de ce travail :

#### 1. L'impact du calcul des indices de Diversité, d'Équitabilité et de Dominance, sur les baux A et B et non pas sur les Baux A, B et C sur les peuplements bruts ?

Dans ce cas, comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous, on note, pour les indices présentés, des variabilités plus ou moins fortes en fonction des choix de baux retenus.



	Diversité de Shannon	Equitabilité	Dominance
2007	-3,49%	-3,84%	3,76%
2008	-20,72%	-21,43%	31,14%
2009	16,26%	13,59%	-37,22%
2010	4,93%	1,80%	-7,50%
2011	-11,96%	-14,69%	23,47%
2012	6,27%	4,37%	-2,69%
2013	1,63%	0,79%	-0,13%
2014	0,54%	-2,49%	10,76%
2015	5,73%	5,73%	-13,49%
2016	5,54%	3,77%	-13,19%
2017	0,80%	0,80%	-2,72%

Tableau 31 : variations exprimées en pourcentage des notes de Diversité, d'Equitabilité et de Dominance calculées sur les bocaux AB et sur les bocaux ABC de la station la Lyre pour les années 2007 à 2017

On note qu'il existe pour chaque indice de fortes variations interannuelles. Ces différences sont d'autant plus notables qu'elles peuvent être positives ou négatives (exemple pour la dominance +31.14% en 2008 et -37.22% en 2009).

Ce point interroge sur l'intérêt de l'utilisation d'un échantillonnage simplifié (Bocaux A et B) pour analyser un peuplement, car ce choix peut suivant les indices apporter une marge d'erreur de +/- 20 à 30%.

**2. L'impact du calcul de différents indices (Diversité, Equitabilité, Dominance, Trophie, Saprobie, Typologie, Oviviviparité et Polyvoltinisme) sur les Bocaux A, B et C et ceci sur les peuplements bruts et les peuplements avec corrections partielles des pourcentages de représentation des bocaux entre eux.**

Comme on peut le constater dans le tableau 24 ci-dessous, cette correction est de nature à modifier de façon plus ou moins importante les notes des différents indices calculés. Cette variation est très forte notamment pour les indices de Diversité d'Equitabilité et de Dominance ce qui n'est pas étonnant, car ces indices sont particulièrement sensibles au mode de reconstitution du peuplement.

Les autres indices présentent globalement des valeurs moins importantes du fait de la transformation logarithmique des abondances.

	Diversité	Equitabilité	Dominance	TROPHIE	SAPROBIE	TYPLOGIE	OVOVIVIPARITE	POLYVOLTINISME
2007	-3,77%	-3,77%	9,41%	2,39%	0,69%	-1,11%	1,64%	-0,07%
2008	-12,78%	-12,78%	22,19%	4,79%	1,54%	-0,36%	2,07%	1,28%
2009	27,54%	27,54%	-51,14%	-0,31%	-2,32%	-0,07%	-0,86%	-3,36%
2010	15,52%	15,52%	-17,84%	1,17%	2,66%	-0,81%	2,31%	4,63%
2011	-7,67%	-7,67%	12,16%	-1,03%	-0,02%	0,72%	-2,39%	-0,15%
2012	21,16%	21,16%	-28,93%	-1,34%	-2,89%	-1,17%	-1,30%	-0,54%
2013	6,66%	6,66%	-19,84%	-0,71%	-2,21%	2,03%	-2,28%	-2,12%
2014	1,22%	1,22%	0,42%	-1,51%	-0,36%	0,37%	-1,48%	-0,86%
2015	4,87%	4,87%	-11,33%	-1,66%	-2,42%	0,82%	-2,57%	-1,77%
2016	14,02%	14,02%	-41,28%	1,96%	2,55%	-0,11%	1,45%	0,01%
2017	4,77%	4,77%	-19,37%	-2,54%	-2,04%	1,20%	-3,05%	-1,63%

Tableau 32 : variations exprimées en pourcentage entre les notes de différents indices calculés sur les bocaux A, B et C sans et avec corrections partielles des pourcentages de représentation des bocaux entre eux : station la Lyre pour les années 2007 à 2017

Ces tests confirment :



- Que la non-prise en compte des 3 bords peut être de nature à fausser l'image du peuplement, ce qui rendra difficiles/impossibles des analyses tant synchroniques que diachroniques
- Il apparaît aussi essentiel que les abondances des 12 prélèvements unitaires du protocole MPCE soient corrigées du pourcentage de recouvrement des couples substrat/vitesse sur les stations pour que le peuplement reconstitué soit fidèle à celui effectivement présent sur les stations.

### 2.6.2.3 Relation entre I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques avec les pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques

L'objet de ce test était d'essayer de vérifier si certains groupes taxonomiques étaient plus particulièrement liés à l'évaluation I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ou au calcul de certaines de ses métriques. Ce test a été conduit :

- Sur les listes faunistiques de l'ensemble des stations retenues (**37 stations en considérant les données analysées de 2010 à 2017 quand elles étaient disponibles pour toutes les stations**).
- Sur des peuplements reconstruits avec une prise en compte partielle des pourcentages de recouvrements, car nous ne disposons des listes faunistiques des 12 prélèvements unitaires.
- Avec des abondances analysées sur l'assemblage des bords A, B et C.

Les taxons ciblés dans le cadre de cette analyse sont plus particulièrement ceux qui sont susceptibles d'impacter fortement la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, car fortement présents sur cours d'eau de plaine et particulièrement déterminants pour le calcul des deux métriques qui, d'une façon générale, expliquent le plus la valeur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> finale (Ovoviviparité et Polyvoltinisme) : il s'agit des Crustacés et des Mollusques.

Les tests de corrélation<sup>14</sup> utilisés sont des tests de Spearman, car les variables ne suivent pas une loi normale. Les taxons ont été agrégés par ordre ou par famille et non par genre dans le cadre des premières analyses exploratoires afin d'identifier des corrélations potentielles. En fonction des résultats obtenus, les analyses pourraient être affinées par agrégation au genre. Cela nécessiterait toutefois que les peuplements soient reconstitués correctement pour avoir une représentation fidèle du peuplement de la station.

Un point important est à considérer dans cette analyse : la présence de taxons ovovivipares et Polyvoltins corrèlera de façon inverse aux EQR des indices ovoviviparité et Polyvoltinisme, car une forte présence de ces taxons correspond à une faible note d'indice.

La matrice des corrélations (Spearman) est présentée ci-dessous.

---

<sup>14</sup> Les statistiques rho de Spearman sont respectivement utilisées pour estimer le coefficient de corrélation basé sur le rang. Ce sont des tests statistiques dits robustes car ils ne dépendent pas de la distribution des données. Les tests de corrélation de Kendall et de Spearman sont recommandés lorsque les variables ne suivent pas une loi normale. C'est le cas des données utilisées cadre de cette étude.



Variables	I2M2	RICHESE	OVO	POLY	ASPT_SCORE	SHANNON	% crustacés	% mollusques	% gammaridae	% sphaeridae	% hydrobiidae	% chironomidae
I2M2	1	0,784	0,877	0,836	0,676	0,481	0,041	-0,230	0,046	-0,189	-0,194	-0,069
RICHESE	0,784	1	0,581	0,655	0,414	0,443	-0,046	-0,129	-0,057	-0,044	-0,121	0,018
OVO	0,877	0,581	1	0,698	0,587	0,241	0,132	-0,390	0,141	-0,282	-0,316	-0,047
POLY	0,836	0,655	0,698	1	0,441	0,279	0,089	-0,072	0,088	-0,049	-0,126	-0,197
ASPT_SCORE	0,676	0,414	0,587	0,441	1	0,103	0,326	-0,386	0,352	-0,302	-0,277	-0,196
SHANNON	0,481	0,443	0,241	0,279	0,103	1	-0,538	0,300	-0,542	0,084	0,227	0,230
% crustacés	0,041	-0,046	0,132	0,089	0,326	-0,538	1	-0,497	0,983	-0,362	-0,403	-0,456
% mollusque	-0,230	-0,129	-0,390	-0,072	-0,386	0,300	-0,497	1	-0,493	0,547	0,740	-0,006
% gammarid:	0,046	-0,057	0,141	0,088	0,352	-0,542	0,983	-0,493	1	-0,354	-0,380	-0,448
% sphaerida:	-0,189	-0,044	-0,282	-0,049	-0,302	0,084	-0,362	0,547	-0,354	1	0,217	0,034
% hydrobiid:	-0,194	-0,121	-0,316	-0,126	-0,277	0,227	-0,403	0,740	-0,380	0,217	1	0,029
% chironomi	-0,069	0,018	-0,047	-0,197	-0,196	0,230	-0,456	-0,006	-0,448	0,034	0,029	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

Tableau 33 : Matrice des corrélations entre l'I2M2 et ses métriques et les % de présence de taxons sélectionnés (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives)

On note que :

- La **note I2M2** est corrélée négativement avec les mollusques ( $c = -0.230\%$ ) les *Sphaeridae* ( $c = -0.189\%$ ) et les *Hydrobiidae* ( $-0.194\%$ ), mais on observe une absence de corrélation avec les crustacés les *Gammaridae* et les *Chironomidae*.
- L'**Ovoviviparité** est corrélée positivement avec la présence de *Crustacés* ( $c = 0.132$ ) et de *Gammaridae* ( $c = 0.141$ ) **ce qui paraît paradoxal, car la présence de ces taxons donnant un score fort pour ce paramètre, impliquerait une corrélation négative<sup>15</sup>**. A contrario, l'*Ovoviviparité* est négativement corrélée avec la présence de *Mollusques* ( $c = -0.390$ ) de *Sphaeridae* ( $c = -0.282$ ) et d'*Hydrobiidae* ( $c = -0.316$ ).
- Le **Polyvoltinisme** n'est corrélé que négativement qu'avec les *Chironomidae* ( $c = -0.197$ ) ce qui implique que ces taxons sont susceptibles d'expliquer les faibles notes obtenues.
- L'**indice de Shannon** est corrélé positivement avec les mollusques ( $c = 0.300$ ) et les *Hydrobiidae* ( $c = 0.227$ ) et les *Chironomidae* ( $c = 0.230$ ), mais négativement avec les crustacés ( $c = -0.538$ ), les *Gammaridae* ( $c = -0.542$ ). Ce point apparaît paradoxal avec les informations apportées par les indices polyvoltinisme et ovoviviparité. En effet cela impliquerait, que plus il y a de mollusques et d'*Hydrobiidae* (a priori taxons considérés comme « indicateurs » de pressions) plus le peuplement présenterait une forte diversité de Shannon...
- L'**ASPT score** est corrélé positivement avec les crustacés ( $c = 0.326$ ) les *Gammaridae* ( $c = 0.352$ ), mais négativement avec les mollusques ( $c = -0.386$ ) les *Sphaeridae* ( $c = -0.302$ ), les *Hydrobiidae* ( $c = -0.277$ ) et les *Chironomidae* ( $c = -0.196$ ). Ce point montrerait que la présence des crustacés ne devrait pas être considérée au même titre que les mollusques bivalves ou gastéropodes.
- La **Richesse** taxonomique n'est corrélée négativement qu'avec les mollusques.

<sup>15</sup> Pour polyvoltinisme et ovoviviparité, moins il y a de taxons polyvoltins et ovovivipares plus les métriques calculées sont faibles et donc plus on aura une meilleure évaluation de la note I2M2. En effet dans ces cas l'EQR se rapprochera de la note maximale de 1 car il varie, par construction, dans le sens inverse des métriques calculées.



Enfin, on note que le pourcentage de Crustacés corrèle négativement avec le % de mollusques ( $c = -0.607$ ) de *Sphaeriidae* ( $-0.432$ ) d'*Hydrobiidae* ( $c = -0.511$ ) et de *Chironomidae* ( $c = -0.364$ ), mais positivement avec les *Gammaridae* ( $c = 0.998$ ). Cela montre bien que les informations portées par les groupes taxonomiques considérés, mollusques et crustacés, sont inverses et que dans ce cadre la présence des *Gammaridae* doit être revue (au minimum dans le cadre de cette HER avec une analyse spécifique sur les genres présents et avec une prise en compte des pourcentages de recouvrement des substrats dans la reconstitution des peuplements)

Ces différents calculs de corrélation montrent donc une différence très nette entre les informations portées par les Crustacés et notamment les *Gammaridae* de celles portées par les Mollusques (*Sphaeriidae* et *Hydrobiidae* notamment).

Les Mollusques et notamment les *Hydrobiidae* et les *Sphaeriidae* sont les taxons qui corrélient le plus avec une faible valeur de la note I2M2. La corrélation positive entre mollusques et *Sphaeriidae* et *Hydrobiidae* montre d'ailleurs la part importante prise par les *Hydrobiidae* et les *Sphaeriidae* dans les peuplements de cette HER. La présence de ces taxons explique, dans ce contexte HER, les faibles valeurs d'Ovoviviparité et dans une moindre mesure de Polyvoltinisme (la note Polyvoltinisme présente en général moins de variations fortes, car de très nombreux taxons sont susceptibles de donner un score pour cette métrique). On note toutefois que leur présence corrèle positivement avec la Diversité de Shannon, mais négativement avec l'ovoviviparité l'ASPT score et la note I2M2 ce qui semble assez contradictoire. En effet une détérioration de la qualité d'un milieu s'explique en général par une baisse de la diversité (effet de la non-prise en compte des substrats marginaux ou du pourcentage de recouvrement des habitats ?).

Les Crustacés et notamment les *Gammaridae* corrélient positivement avec l'ASPT score ce qui tendrait à prouver que ces taxons, pour les genres présents sur cette HER, ne peuvent être assimilés, au même titre que certains mollusques (certains Genres d'*Hydrobiidae*), à des taxons polluo-résistants. On note aussi, et ce n'est pas le moindre des paradoxes que leur présence est nettement corrélée avec de meilleures notes d'Ovoviviparité (alors que la présence de ces taxons devrait faire chuter la note !).

**En l'état actuel il est impossible d'expliquer et de valider l'ensemble de ces corrélations.** Pour cela, il serait en effet nécessaire de disposer des listes taxonomiques complètes par prélèvements unitaires pour refaire des calculs sans artefacts liés au nombre de prélèvements retenus ou au pourcentage de recouvrement de chaque habitat prélevé. Notons aussi que le lien entre les EQR des métriques I2M2 et la présence de certains taxons est aussi fortement dépendant de la composition faunistique et habitationnelle des stations de référence. Un point essentiel à considérer pour permettre une analyse correcte des relations observées.

#### 2.6.2.4 Relation entre I2M2 et ses métriques et le pourcentage de recouvrement des types de substrats

Ce test statistique (matrice corrélation (Spearman)) avait pour objet de déterminer si la valeur de la note I2M2 et de ses métriques pouvait être mise en relation avec certains facteurs du milieu.

Les données sont les mêmes que celles du test précédent. Les facteurs d'habitat utilisés sont ceux qui sont utilisés pour décrire les substrats dans la méthode MPCE. Différents regroupements de substrats ont été réalisés afin de rendre l'information plus pertinente. Les regroupements effectués sont les suivants :

- 🌿 Substrats végétaux : Bryophytes, spermaphytes immergées et spermaphytes émergents,
- 🌿 Sédiments minéraux fins : Gravier, sables grossiers et limoneux et vases
- 🌿 Débris organiques : Racines, débris organiques grossiers et litières,



- 🌿 Sédiments minéraux grossiers : Pierres/Galets, Blocs
- 🌿 Algues et autres : algues et marnes et argiles.

La matrice des corrélations (Spearman) est présentée ci-dessous.

	I2M2	RICHESE	OVO	POLY	ASPT_SCORE	SHANNON	Substrat_vegetaux	Sédiments_mineraux_fins	Debris_organiques	Sédiments_mineraux_grossiers	Algues_autres
I2M2	1	0,831	0,870	0,855	0,820	0,506	-0,169	-0,314	0,051	0,337	0,077
RICHESE	0,831	1	0,627	0,690	0,616	0,444	-0,062	-0,209	0,080	0,182	0,132
OVO	0,870	0,627	1	0,738	0,685	0,235	-0,116	-0,380	-0,010	0,352	0,089
POLY	0,855	0,690	0,738	1	0,597	0,357	-0,217	-0,225	0,124	0,306	-0,039
ASPT_SCORE	0,820	0,616	0,685	0,597	1	0,229	-0,208	-0,271	0,039	0,237	0,006
SHANNON	0,506	0,444	0,235	0,357	0,229	1	-0,054	-0,054	0,017	0,207	0,157
Substrat_vegetaux	-0,169	-0,062	-0,116	-0,217	-0,208	-0,054	1	-0,435	-0,280	-0,282	0,021
Sédiments_mineraux_fins	-0,314	-0,209	-0,380	-0,225	-0,271	-0,054	-0,435	1	0,182	-0,331	-0,067
Debris_organiques	0,051	0,080	-0,010	0,124	0,039	0,017	-0,280	0,182	1	-0,030	-0,076
Sédiments_mineraux_grossiers	0,337	0,182	0,352	0,306	0,237	0,207	-0,282	-0,331	-0,030	1	0,016
Algues_autres	0,077	0,132	0,089	-0,039	0,006	0,157	0,021	-0,067	-0,076	0,016	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

Tableau 34 : Matrice des corrélations entre l'I2M2 et ses métriques et les pourcentages de recouvrement des types de substrats sélectionnés (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives)

Cette analyse montre que la note d'indice  $I_2M_2$  corrèle négativement avec la présence de **Substrats végétaux** ( $c = -0.169$ ) et de **Sédiments minéraux fins** ( $c = -0.314$ ). A contrario, la note  $I_2M_2$  tend à être meilleure lorsque le pourcentage de recouvrement de **Substrats minéraux grossiers** est important ( $c = +0.337$ ).

**L'Ovoviviparité** est la métrique de l' $I_2M_2$  qui semble être la plus liée au type de substrat (coefficients de corrélation les plus élevés : **Sédiments minéraux fins** (-0.380), **Substrats minéraux grossiers** ( $c = +0.352$ )).

Cette analyse, comme cela avait été évoqué dans l'axe 1, semble montrer une relation forte entre notations  $I_2M_2$  et structure des substrats sur la station : les stations, à substrats les plus grossiers, étant celles qui a priori, ont le plus de chance de présenter une note  $I_2M_2$  forte, **car tous les indices constitutifs de l' $I_2M_2$  corrélient positivement avec ce substrat**. Les stations avec présence de substrats végétaux et sédiments minéraux fins étant en général liées à des notes  $I_2M_2$  plus faibles.

Il aurait été intéressant que cette analyse soit menée sur les couples substrat /vitesse et non sur les seuls substrats. Cette analyse n'a pas été possible compte tenu de l'absence de prise en compte de ce paramètre dans le protocole MPCE et dans les notes bancarisées.

### 2.6.2.5 Relation entre les pourcentages de présence de certains groupes taxonomiques et les pourcentages de recouvrement des types de substrats.

Ce test avait pour objectif de caractériser :

- 🌿 Les corrélations éventuelles entre types de substrats présents sur les stations.
- 🌿 Les habitats préférentiels des taxons plus particulièrement pris en compte dans le cadre de cette expertise (Mollusques et Crustacés).



Variables	% crustacés	% mollusques	% gammaridae	% sphaeriidae	% hydrobiidae	% chironomidae	% Substrat _vegetaux	% Sediments _mineraux_fins	% Debris _organiques	% Sediments _mineraux_grossiers	% Algues _autres
% crustacés	1	-0,607	0,998	-0,432	-0,511	-0,364	0,230	-0,423	0,026	0,156	-0,189
% mollusques	-0,607	1	-0,613	0,524	0,810	0,099	-0,014	0,305	0,013	-0,156	0,148
% gammaridae	0,998	-0,613	1	-0,437	-0,511	-0,369	0,219	-0,421	0,017	0,165	-0,190
% sphaeriidae	-0,432	0,524	-0,437	1	0,271	0,198	-0,131	0,442	0,036	-0,316	-0,044
% hydrobiidae	-0,511	0,810	-0,511	0,271	1	0,101	0,011	0,270	-0,120	-0,185	0,177
% chironomidae	-0,364	0,099	-0,369	0,198	0,101	1	-0,111	0,224	0,136	-0,270	0,115
% Substrat _vegetaux	0,230	-0,014	0,219	-0,131	0,011	-0,111	1	-0,435	-0,280	-0,282	0,021
% Sediments _mineraux_fins	-0,423	0,305	-0,421	0,442	0,270	0,224	-0,435	1	0,182	-0,331	-0,067
% Debris _organiques	0,026	0,013	0,017	0,036	-0,120	0,136	-0,280	0,182	1	-0,030	-0,076
% Sediments _mineraux_grossiers	0,156	-0,156	0,165	-0,316	-0,185	-0,270	-0,282	-0,331	-0,030	1	0,016
% Algues _autres	-0,189	0,148	-0,190	-0,044	0,177	0,115	0,021	-0,067	-0,076	0,016	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

Tableau 35 : Matrice des corrélations pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques et les pourcentages de recouvrement des types de substrats déterminés sélectionnés (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives)

Cette analyse montre que :

- Les **Substrats végétaux** corréleront négativement avec les **Sédiments minéraux fins** ( $c = -0.435$ ), les **Sédiments minéraux grossiers** ( $c = -0.282$ ) et les **Débris organiques** ( $c = -0.280$ ).
- Les **Sédiments minéraux fins** corréleront négativement avec les **Sédiments minéraux grossiers** ( $c = -0.331$ ), mais positivement avec les **débris organiques** ( $c = +0.182$ ).
- Les **Crustacés** ( $c = 0.230$ ) et les **Gammaridae** ( $c = 0.219$ ) corréleront positivement avec les **Substrats végétaux** et négativement avec **Sédiments minéraux fins** ( $c = -0.423$  et  $c = -0.421$ ).
- La présence de **Mollusques** est corrélée positivement avec les **Sédiments minéraux fins** ( $c = +0.305$ ).
- Les autres familles semblent plutôt être associées à des **Sédiments minéraux fins** : **Sphaeriidae** ( $c = 0.442$ ), **Hydrobiidae** ( $c = 0.270$ ) et **Chironomidae** ( $c = 0.224$ ).

Ce test montre que la présence des crustacés sur cette HER est très clairement associée à la présence de substrats végétaux contrairement aux mollusques plus particulièrement électifs de substrats minéraux fins alors que ceux-ci sont peu liés aux sédiments minéraux grossiers.

#### 2.6.2.6 Relation entre les pourcentages de présence de certains groupes taxonomiques métriques et les probabilités de pression de l'Outil Diagnostic de l'I2M2.

Ce dernier test vise plus particulièrement à mettre en relation les corrélations entre la présence de certains taxons et les probabilités de pression de l'outil diagnostic (OD).



Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	% crustacés	% mollusques	% gammaridae	% sphaeridae	% hydrobiidae	% chironomidae	MATIERES_ORGANIQUES	MATIERES_PHOSPHOREES	MATIERES_AZOTEES	NITRATES	HAP	PESTICIDES
% crustacés	1	-0,497	0,983	-0,362	-0,403	-0,456	-0,342	-0,310	-0,290	0,128	0,028	-0,313
% mollusques	-0,497	1	-0,493	0,547	0,740	-0,006	0,354	0,376	0,327	-0,059	0,006	0,165
% gammaridae	0,983	-0,493	1	-0,354	-0,380	-0,448	-0,367	-0,335	-0,315	0,147	0,054	-0,329
% sphaeridae	-0,362	0,547	-0,354	1	0,217	0,034	0,425	0,380	0,329	-0,183	-0,107	0,236
% hydrobiidae	-0,403	0,740	-0,380	0,217	1	0,029	0,238	0,246	0,223	-0,094	0,019	0,003
% chironomidae	-0,456	-0,006	-0,448	0,034	0,029	1	0,063	0,054	0,050	-0,045	0,219	0,209
MATIERES_ORGANIQUES	-0,342	0,354	-0,367	0,425	0,238	0,063	1	0,821	0,820	-0,466	-0,320	0,179
MATIERES_PHOSPHOREES	-0,310	0,376	-0,335	0,380	0,246	0,054	0,821	1	0,954	-0,474	-0,114	0,410
MATIERES_AZOTEES	-0,290	0,327	-0,315	0,329	0,223	0,050	0,820	0,954	1	-0,552	-0,150	0,349
NITRATES	0,128	-0,059	0,147	-0,183	-0,094	-0,045	-0,466	-0,474	-0,552	1	0,409	-0,059
HAP	0,028	0,006	0,054	-0,107	0,019	0,219	-0,320	-0,114	-0,150	0,409	1	-0,041
PESTICIDES	-0,313	0,165	-0,329	0,236	0,003	0,209	0,179	0,410	0,349	-0,059	-0,041	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Tableau 36 A : Matrices des corrélations entre les pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques et les probabilités de pressions physico-chimiques de l'outil diagnostic de l'I2M2 (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives)

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	% crustacés	% mollusques	% gammaridae	% sphaeridae	% hydrobiidae	% chironomidae	RIPISYLVE	VOIES_COMMUNICATION	URBANISATION_100M	RISQUE_COLMATAGE	INSTABILITE_HYDROLOGIQUE	ANTHROPISATION_BV
% crustacés	1	-0,497	0,983	-0,362	-0,403	-0,456	-0,216	-0,275	0,049	0,253	0,176	-0,229
% mollusques	-0,497	1	-0,493	0,547	0,740	-0,006	-0,009	0,282	-0,016	-0,150	0,102	-0,059
% gammaridae	0,983	-0,493	1	-0,354	-0,380	-0,448	-0,241	-0,297	0,060	0,271	0,189	-0,216
% sphaeridae	-0,362	0,547	-0,354	1	0,217	0,034	-0,085	0,270	-0,152	-0,208	0,048	-0,063
% hydrobiidae	-0,403	0,740	-0,380	0,217	1	0,029	0,028	0,217	0,087	-0,111	0,159	-0,099
% chironomidae	-0,456	-0,006	-0,448	0,034	0,029	1	0,350	0,056	0,129	-0,096	-0,077	0,262
RIPISYLVE	-0,216	-0,009	-0,241	-0,085	0,028	0,350	1	-0,095	0,263	0,159	-0,067	0,302
VOIES_COMMUNICATION	-0,275	0,282	-0,297	0,270	0,217	0,056	-0,095	1	0,269	-0,582	0,221	-0,281
URBANISATION_100M	0,049	-0,016	0,060	-0,152	0,087	0,129	0,263	0,269	1	0,226	0,414	0,166
RISQUE_COLMATAGE	0,253	-0,150	0,271	-0,208	-0,111	-0,096	0,159	-0,582	0,226	1	0,039	0,448
INSTABILITE_HYDROLOGIQUE	0,176	0,102	0,189	0,048	0,159	-0,077	-0,067	0,221	0,414	0,039	1	-0,198
ANTHROPISATION_BV	-0,229	-0,059	-0,216	-0,063	-0,099	0,262	0,302	-0,281	0,166	0,448	-0,198	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Tableau 37 B : Matrices des corrélations entre les pourcentages (%) de présence de certains groupes taxonomiques et les probabilités de pressions hydromorphologiques de l'outil diagnostic de l'I2M2 (en rose corrélations positives en violet corrélations négatives)

La matrice des corrélations montre que :

- Les **Crustacés/Gammaridae** corrérent **négativement** avec les métriques traduisant les probabilités d'impact suivantes : **MATIERES ORGANIQUES** (c = 0.342/c= -0.367), **MATIERES PHOSPHOREES** (c = -



0.310/c= -0.335), les **MATIERES AZOTEES** (c= -0.290/c= -0.315), **PESTICIDES** (c= -0.313/c= -0.329), **RIPISYLVE** (c = -0.216/c= -0.241), **VOIES DE COMMUNICATION** (c= -0.275/c= -0.297) et **ANTHROPISATION DU BV** (c= -0.229/c= -0.216).

- ⌘ Pour ces taxons la corrélation est positive pour les **NITRATES** (c = 0.128 /c= 0.147), le **RISQUE DE COLMATAGE** (c=0.253/c=0.271) et **l'INSTABILITE HYDROLOGIQUE** (c =0.176/c=0.159)
- ⌘ Les **mollusques/Sphaeridae/Hydrobiidae** corrént **positivement** avec les probabilités de pression **MATIERES ORGANIQUES** (c =0.354/c= 0.425/c= 0.238), **MATIERES PHOSPHOREES** (c =0.376/c=0.380/ c= 0.246), **MATIERES AZOTEES** (c =0.327/ c= 0.329/ c=0.223), **PESTICIDES** (c =0.165/0.236/NS), **VOIES DE COMMUNICATION** (c =0.282/c=0.270/c= 0.217).
- ⌘ Les **Chironomidae** corrént **positivement** avec **HAP** (c=0.219), **PESTICIDES** (c=0.209), et **ANTHROPISATION BV** (c=0.262).

Ces analyses mettent en évidence que ces trois types de taxons semblent réagir très différemment à différentes probabilités de pressions. Comme nous avons pu le voir dans les paragraphes ci-dessus, ces analyses semblent confirmer que la présence des crustacés est beaucoup moins liée aux pressions en général et aux pressions physico-chimiques en particulier que d'autres taxons comme les mollusques.

#### 2.6.2.7 Conclusion sur les tests statistiques

Les tests de corrélation réalisés sur métriques complémentaires calculées les 37 stations préselectionnées de l'HER 9A ont montré que des divergences notables entre les différents groupes taxonomiques analysés sur l'échantillon des 37 stations de l'HER 9A.

Les résultats montrent que les crustacés et notamment les genres de *Gammaridae* présents sur cette HER 9A (ces observations restent à confirmer sur l'ensemble des HER) seraient plutôt caractéristiques de milieux fortement végétalisés et caractérisés par de faibles pressions notamment physico-chimiques contrairement à certaines familles de mollusques (*Hydrobiidae* et *Sphaeridae*) plus présents sur des stations où prédominent les sédiments fins dans des contextes anthropiques beaucoup plus marqués.

Ainsi, la prise en compte des Crustacés et notamment des *Gammaridae* comme taxon potentiellement déclassant semble devoir être revue dans le cadre de la méthodologie I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Ce point repose la question de la validation des traits écologiques de chaque taxon pris en compte dans la méthode notamment pour les indices Ovoviviparité, Polyvoltinisme et BMWP/ASPT score.

Ces analyses montrent aussi les fortes relations entre certains taxons intervenant pour une forte part dans l'explication de la note finale, et les substrats des stations qui peuvent être présents avec des superficies variées. Cela confirme la nécessité absolue de ne travailler que sur des listes taxonomiques dont le peuplement a été reconstitué en prenant en compte le pourcentage de recouvrement des couples substrat vitesse. C'est plus particulièrement le cas pour la Diversité, mais plus encore pour des variables qui vont considérer de façon conjointe abondance et traits écologiques et notamment l'Ovoviviparité et le Polyvoltinisme.

D'une manière générale, ces résultats semblent montrer (sous réserve de vérifications ultérieures sur des listes faunistiques validées), que l'évaluation par la méthode I2M2 serait meilleure, sur l'HER 9A, sur les stations avec une dominance des substrats minéraux grossiers par rapport à celles présentant des substrats fins ou des végétaux aquatiques. Dans ce cadre particulier se pose la question de la part d'explication de la présence de certains taxons comme les *Gammaridae*, *Hydrobiidae*, *Sphaeridae* et *Chironomidae* avec les pressions réelles et/ou les habitats présents.



## 2.7 Conclusion sur les visites de sites

Les différentes visites de terrain ont permis, sur cette HER, une meilleure compréhension du fonctionnement hydroécologique des sites.

La rencontre avec les acteurs présents a permis aussi de mieux cerner la perception qu'ils peuvent avoir des méthodes d'évaluation de l'État écologique des masses d'eau et d'en mesurer toute la difficulté.

Ainsi, il ressort principalement des interviews que la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> serait « meilleure » que la note IBG-EQ dans la mesure où elle définit un état plus conforme à celui envisagé par l'acteur en fonction de sa connaissance de l'hydrosystème et des perturbations présentes et/ou potentielles.

Toutefois, cette évaluation ne tient pas compte de :

- ✎ La connaissance des situations de référence, ce qui pourrait permettre de valider un état réel par rapport à un état potentiel,
- ✎ La connaissance des capacités épuratrices réelles des milieux analysés,
- ✎ L'impact effectif des pollutions connues (absence ou méconnaissance d'études synchroniques visant par exemple à caractériser l'impact d'un rejet, de ruissellements...).

L'évaluation telle qu'elle est faite par les acteurs correspond donc beaucoup plus à un « ressenti » de l'état général de la masse d'eau plutôt qu'à un avis basé sur une analyse objective et quantifiée de l'état écologique. Cet état « ressenti » plus conforme à la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> qu'à l'IBG-EQ conforte les acteurs dans l'idée que la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est bien meilleure que l'IBG-EQ pour qualifier l'état des masses d'eau.

Cette appréciation est renforcée par le fait que la caractérisation de l'état écologique des masses par l'IBG-EQ est souvent surévaluée : un IBGN/IBG-EQ de 14 sur 20 ne peut être considéré comme représentatif de stations en « très bon état » (éventuellement « Bon état » sur l'HER 9A compte tenu de la forte alimentation du cours d'eau par des apports de nappes, et état au maximum « moyen » sur d'autres HER).

La méthodologie utilisée pour la construction de l'indice et de calcul des notes, très « statistique » et basée sur une représentation faussée du peuplement, fait qu'il est actuellement très difficile, voire impossible, y compris pour un hydrobiologiste confirmé, d'expertiser et d'expliquer la note obtenue.

En ce qui concerne les analyses complémentaires réalisées, on note sur cette HER que :

- La méthode de reconstruction du peuplement peut impacter fortement l'image stationnelle du peuplement. Les variations observées pour une métrique donnée peuvent varier fortement au cours du temps, ce qui rend difficiles des comparaisons diachroniques.
- Les crustacés et notamment les *Gammaridae*, corrélés positivement aux substrats végétaux et négativement aux sédiments fins, sont peu corrélés avec les pressions ce qui semble indiquer qu'ils ne devraient pas être considérés (au moins pour les genres et espèces présents sur cette HER) comme des taxons polluo-résistants au même titre que les Mollusques et plus particulièrement les genres ou espèces de la famille des Hydrobiidae présents sur cette HER.
- On note qu'en général sur cette HER les meilleures évaluations de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont réalisées sur des stations avec des substrats minéraux grossiers, mais que cette note diminue fortement notamment sous l'influence de la métrique ovoviviparité et plus particulièrement de la présence des Mollusques (*Hydrobiidae* et *Sphaeridae*).

Toutes ces remarques, qui restent à préciser avec une analyse fine des peuplements, font penser qu'en toute



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

logique, il faudrait reconsidérer la signification écologique des *Gammaridae* (ou au moins certains genres ou espèces) dans le calcul de certaines métriques (Ovoviviparité, Polyvoltinisme, ASPT).

Tous ces éléments confirment, comme cela a été évoqué lors de l'axe 1 de cette étude, que la présence de certains taxons considérés comme « polluo-résistants » est susceptible d'influencer de façon plus ou moins importante l'évaluation des pressions faite par la méthode I2M2 et plus particulièrement sur l'HER 9A ce qui peut favoriser des décalages plus ou moins importants dans l'évaluation de l'état final des masses d'eau.



## AXE 3 : Analyse des déclassements sur l'ensemble de l'HER 9A et des HER 9 et 10

### 3.1 Rappels des objectifs de l'Axe 3

L'objectif de ce troisième axe est d'analyser les déclassements sur l'ensemble de l'HER 9A et des HER 9 et 10. Cette analyse s'accompagne de la recherche des causes par l'identification de liens potentiels avec les différents types de pressions s'exerçant sur ces HER.

Dans ce cadre, plusieurs analyses statistiques seront mises en œuvre.

Les éléments identifiés serviront de base pour l'identification de pistes d'adaptation éventuelles (Axe 4) qui pourront être mises en œuvre au prochain cycle d'évaluation.

### 3.2 Description des analyses statistiques réalisées, formatage des données et méthodes statistiques utilisées

Les analyses réalisées sont principalement des analyses factorielles. Ces méthodes ont été élaborées afin de fournir des représentations synthétiques de grand ensemble de données.

Les analyses présentées ci-dessous ont été réalisées à l'aide du module complémentaire d'Excel XLSTAT, du logiciel ADE 4 et du logiciel R.

#### 3.2.1 Analyses Factorielles des Correspondances (AFC) et analyses interclasses.

- **L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)** est une méthode de statistique multidimensionnelle qui permet d'étudier l'association entre deux variables qualitatives en se basant sur le test du chi-deux d'indépendance et sur la comparaison entre un tableau d'effectifs observés et un tableau d'effectifs théoriques.
- **L'Analyse interclasse** permet la prise en compte d'un effet pour mettre en évidence différentes sources de variabilité et consiste à optimiser la dispersion dans le plan factoriel de la variable testée. Cette technique est particulièrement utilisée pour caractériser l'influence probable d'un facteur mésologique sur les structures faunistiques observées.

L'analyse des facteurs de distribution c'est-à-dire la part respective entre structure biologique et mésologique est effectuée par la méthode publiée par Dolédec et Chessel (1989 et 1991). La valeur de la première valeur ( $\lambda_1$ ) propre de chacune de l'analyse-classes permet de caractériser la prépondérance du facteur mésologique (spatial, temporel, variable du milieu, etc.). La signification élevée de la variabilité est confirmée par un test de permutation multivarié (Chessel *et al*, 1993).

Une représentation graphique simple permet de classer par ordre d'importance les différents paramètres testés. La figure ci-dessous présente la démarche mise en œuvre.

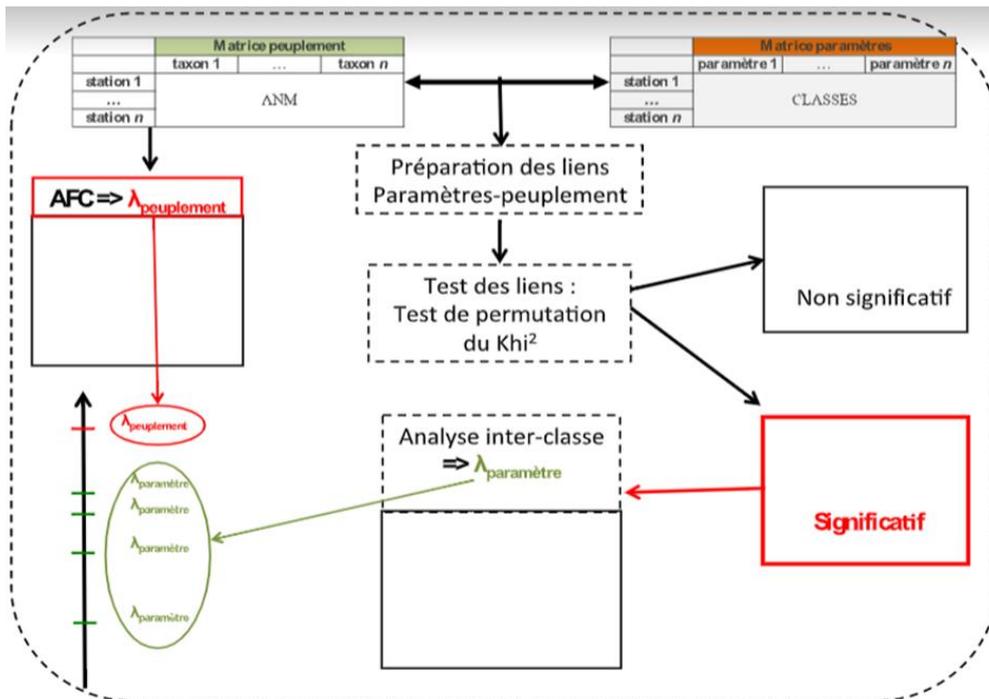


Figure 26 : Schématisation d'une analyse interclasse (Bourgeois, 2015)

### 3.2.2 Préparation de la matrice des peuplements

Sur l'HER 9A, la matrice testée intègre **410 opérations de contrôle, 123 stations analysées entre 2010 et 2017, 254 taxons** (Annexe 15).

Sur cette matrice, les abondances ont été corrigées logarithmiquement :  $\log(x+1)$ . Cette transformation permet de donner moins de poids aux espèces ayant de très fortes abondances.

Les taxons rares (moins de 3 occurrences et moins de 5 individus au total) ont été retirés de l'analyse.

De plus, les peuplements ont été corrigés par pondération des bocaux par une surface moyenne fixée. Cette pondération est une estimation (non optimale) du plan d'échantillonnage réel :

- 🌱 Phase A : 10 % de la surface de totale ;
- 🌱 Phase B : 40 % de la surface totale ;
- 🌱 Phase C : 50 % de la surface totale

Les tableaux de résultats d'analyses interclasses réalisées sur des peuplements corrigés (Fig. 27, gauche) et non corrigés (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, droite) montrent pour certains paramètres des différences significatives (ordre dans le pourcentage d'explication ou valeur du % d'explication) dans la discrimination des variables explicatives du peuplement (Chlore pyriphos et DCO).

Cela nous a conduits à préférer l'utilisation des abondances corrigées par le pourcentage estimé de recouvrement de l'ensemble des habitats d'un bocal pour réaliser les tests statistiques.

Toutefois les corrections apportées ne permettant pas une reconstruction correcte des peuplements puisque nous ne disposons pas des listes taxonomiques des 12 prélèvements unitaires, les listes taxonomiques générées ne peuvent pas être considérées comme représentative du peuplement théorique réelle. Les liens de corrélation obtenus ne pourront donc que caractériser des tendances globales qu'il sera absolument nécessaire de valider par des analyses approfondies sur la base d'un peuplement correctement reconstitué. Ces travaux nous



permettront toutefois de comparer sur des bases équivalentes les résultats obtenus sur les différentes HER de l'étude.

PARAMETRE_PC	KHI>=OBS	VALEUR PROPRE_1	SIGNIFICATIVITE	PART D'EXPLICATION
MATRICE PPT CORR		0,2016		100%
5_CLPHNL	0	0,1274	S	63%
6_CLBZ	0	0,1236	S	61%
ENDOS_A	0	0,1198	S	59%
ENDOS_B	0	0,1198	S	59%
CLFVP	0	0,1154	S	57%
5_CLBZ	0	0,1115	S	55%
HCH_B	0	0,1079	S	53%
HCH_D	0	0,1076	S	53%
HCH_G	0	0,1056	S	52%
ALACL	0	0,1038	S	51%
TFLURALINE	0	0,1011	S	50%
HCH_A	0	0,0949	S	47%
ISOP	0,004	0,0763	S	38%
DIURON	0	0,0740	S	37%
HCH_E	0	0,0598	S	30%
SIMAZINE	0,017	0,0593	S	29%
NO2-	0,029	0,0474	S	24%
DCO	0,007	0,0467	S	23%
NO3-	0,026	0,0352	S	17%
ATRAZINE	0,07	0,0340	S	17%
DBO5	0,106	0,0332	S	16%
H2PO	0,36	0,0261	NS	13%
NH4+	0,459	0,0260	NS	13%
O2_DIS	0,242	0,0243	NS	12%
CL_PYRIPHOS	0,987	0,0022	NS	1%

PARAMETRE_PC	KHI>=OBS	VALEUR PROPRE_1	SIGNIFICATIVITE	PART D'EXPLICATION
MATRICE PPT BRUTE		0,1956		100%
5_CLPHNL	0	0,1249	S	64%
6_CLBZ	0	0,1211	S	62%
CL_PYRIPHOS	0	0,1207	S	62%
ENDOS_A	0	0,1171	S	60%
ENDOS_B	0	0,1171	S	60%
CLFVP	0	0,1130	S	58%
5_CLBZ	0	0,1096	S	56%
HCH_B	0	0,1047	S	54%
HCH_D	0	0,1045	S	53%
HCH_G	0	0,1023	S	52%
ALACL	0	0,1022	S	52%
TFLURALINE	0	0,0993	S	51%
HCH_A	0	0,0936	S	48%
ISOP	0,003	0,0745	S	38%
DIURON	0	0,0728	S	37%
HCH_E	0	0,0581	S	30%
SIMAZINE	0,021	0,0577	S	29%
NO2-	0,025	0,0457	S	23%
NO3-	0,018	0,0354	S	18%
ATRAZINE	0,067	0,0326	S	17%
DBO5	0,092	0,0325	S	17%
DCO	1	0,0455	NS	23%
NH4+	0,446	0,0256	NS	13%
H2PO	0,316	0,0255	NS	13%
O2_DIS	0,231	0,0236	NS	12%

SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB STATIONS	NB TAXONS
0,15	410	254

SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB STATIONS	NB TAXONS
0,15	410	254

Figure 27 : Classement des variables explicatives de la structure des peuplements de macro invertébrés benthiques sur l'HER 9A avec pondération des peuplements par Phase (gauche) et sans méthode de pondération (droite) en jaune les paramètres plus particulièrement influence par la correction partielle des abondances

### 3.2.3 Préparation des matrices de variables

Les matrices des variables testées sont celles des paramètres physico-chimiques (macropolluants et micropolluants) et les métriques obtenues en sortie de l'Outil Diagnostic du SEEE.

Dans la cadre d'analyses interclasses, les variables quantitatives doivent être transformées en classe.

Ce découpage de classe a été réalisé comme suit :

- Classement des données par ordre croissant ;
- Représentation graphique du nuage de points de chaque variable ;
- Détermination visuelle des bornes des classes inférieures (borne 0 et borne 4) au niveau des zones d'inflexion et détermination de 3 classes réparties sur la zone dite de « plateau » ;

Les figures présentées ci-dessous illustrent cette méthodologie pour quatre variables : O2 dissous, Atrazine, NO3 et Chloropyphos\_ethyl.



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

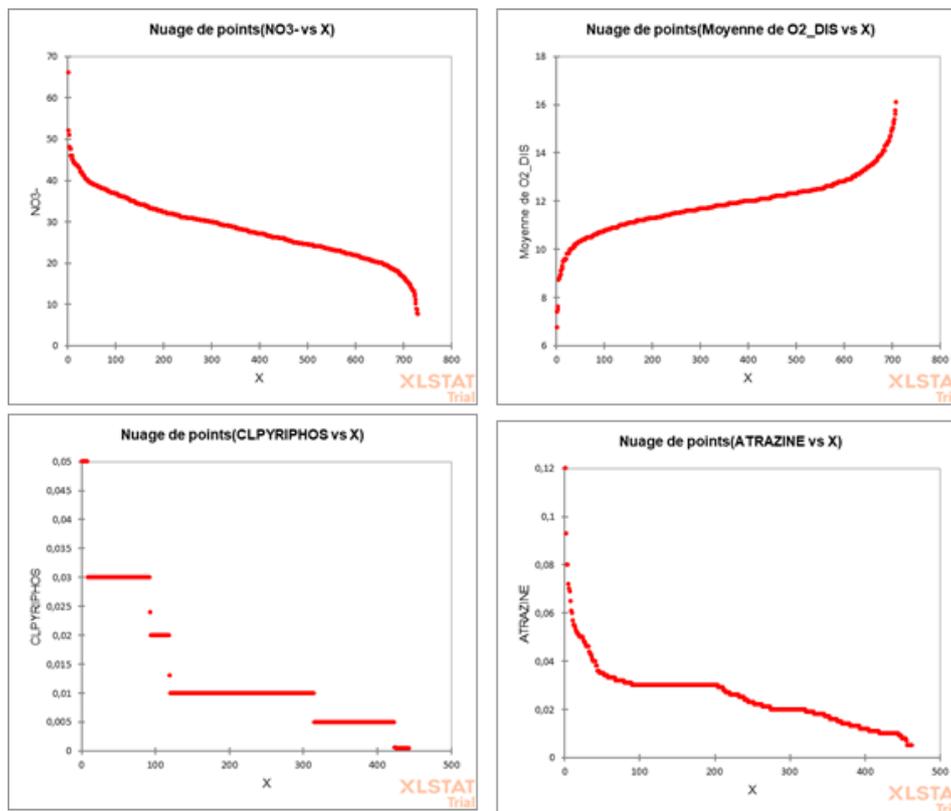


Figure 28 : Traitement des données pour réalisation du découpage de classes des variables testées : représentation classée des valeurs du paramètre pour permettre la détermination des classes utilisées dans l'analyse interclasses

PARAMETRE_PC	BORNE_0	BORNE_1	BORNE_2	BORNE_3	BORNE_4
O2_DIS	0	9,900	11,133	12,367	13,600
HCH_E	0	0,002	0,020		
5_CLBZ	0	0,001	0,002	0,003	0,005
CLFVP	0	0,002	0,010	0,020	
DCO	0	5,000	11,667	18,333	25,000
TFLURALINE	0	0,001	0,010	0,020	0,030
SIMAZINE	0	0,004	0,009	0,020	0,045
5_CLPHNL	0	0,010	0,050	0,060	0,100
HCH_G	0	0,001	0,005	0,010	0,020
HCH_D	0	0,001	0,005	0,035	
HCH_B	0	0,001	0,005	0,010	
HCH_A	0	0,001	0,005	0,020	
ISOP	0	0,004	0,0160	0,04	
6_CLBZ	0	0,001	0,003	0,005	0,01
ENDOS_B	0	0,001	0,002	0,005	0,05
ENDOS_A	0	0,001	0,002	0,005	0,02
DIURON	0	0,005	0,020	0,03	
ATRAZINE	0	0,010	0,020	0,030	0,035
ALACL	0	0,002	0,005	0,015	0,030
CL_PYRIPHOS	0	0,001	0,005	0,010	0,03
H2PO	0	0,094	0,249	0,4047	0,56
NO3-	0	15,000	23,3333	31,6667	40
NO2-	0	0,0875	0,1750	0,2625	0,35
NH4+	0	0,1250	0,2500	0,3750	0,5
DBO5	0	1,000	2	3	4

Figure 29 : Tableau de présentation des bornes des différentes classes retenues pour chaque paramètre physico-chimique analysé.



Il est à noter que de nombreux paramètres n'ont pu être retenus dans cette analyse, car le jeu de données dont nous disposions était incomplet ce qui ne permet pas de conduire des analyses interclasses. De plus, nous avons retenu des séries de paramètres présents, et sur l'HER 9A, et sur l'HER 9, pour pouvoir effectuer des comparaisons. Les valeurs paramétriques retenues correspondent pour un paramètre sur une opération de contrôle à la valeur maximale enregistrée dans les six mois précédents l'analyse hydrobiologique.

Nous avons retenu cette méthodologie, car c'est la méthode qui a été retenue dans le cadre de l'élaboration de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour évaluer les pressions. D'autre part, il semble normal de ne retenir que la valeur maximale observée, car c'est elle qui sera déclassante (l'utilisation d'une moyenne ou de percentiles n'aurait pas de sens dans le cadre d'une telle étude).

De plus, il a semblé souhaitable de ne pas travailler avec les classes de qualité associées à chaque paramètre mésologique pour la classification de l'état biologique. L'objectif n'étant pas de valider ces classes d'état, mais d'essayer de voir si les variations d'un paramètre mésologique pouvaient influencer de façon plus ou moins significative la structure d'un peuplement dans un cadre hydroécorégional donné et par type de cours d'eau.

### 3.3 Présentation des résultats

#### 3.3.1 Objectifs des différents tests réalisés

Différents tests ont été réalisés à partir des données collectées.

La **première série** a consisté à utiliser la matrice des peuplements pour essayer de caractériser des relations possibles entre la structure des peuplements et certains facteurs mésologiques (stationnels, physico-chimiques...) ou avec certains indices calculés. Sur les différentes HER, les tests statistiques suivants ont été réalisés :

- ✎ Une AFC globale pour permettre de vérifier notamment que la structure typologique observée est caractéristique de celle que l'on peut attendre normalement (VERNEAUX, 1973),
- ✎ Une analyse interclasses d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour permettre de déterminer à partir de la première valeur propre de chaque analyse les paramètres qui pourraient expliquer le plus les structures faunistiques observées,
- ✎ Une analyse interclasses de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, de ses métriques et de la note IBG-EQ pour caractériser les indices qui expliqueraient le plus la structure des peuplements,
- ✎ Une analyse interclasses des probabilités de pression issues de l'Outil Diagnostique pour caractériser les probabilités qui expliqueraient le plus la structure des peuplements,

La **deuxième série** utilise la matrice constituée par la valeur de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et les indices associés (EQR). Différentes analyses interclasses seront réalisées sur cette matrice :

- ✎ Une AFC globale pour analyser au niveau de l'HER si des groupements stationnels peuvent être caractérisés
- ✎ Une analyse interclasses d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques pour permettre de déterminer à partir de la première valeur propre de chaque analyse les paramètres qui pourraient être le plus en lien avec la matrice composée de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques,



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- Une analyse interclasses des probabilités de pression issues de l'Outil Diagnostic pour caractériser les probabilités qui expliqueraient le plus la structure de la matrice composée de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques,

Enfin dans un **troisième temps**, nous avons établi des corrélations pour le même jeu de données. Les corrélations sont établies :

- Entre valeur de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et des métriques associées et les paramètres mésologiques traités dans les analyses interclasses
- entre valeur de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et des métriques associées et les probabilités de pression issues de l'Outil Diagnostic.

Ces différentes analyses sont présentées ci-dessous.

### 3.3.2 Analyses statistiques sur l'HER 9A (Tables calcaires de sous-type côtier)

#### 3.3.2.1 Analyse Factorielle des Correspondances sur la matrice des peuplements

L'analyse factorielle des correspondances est présentée sur le graphique présenté ci-dessous, **410 opérations de contrôle, 123 stations analysées entre 2010 et 2017, 254 taxons.** (Voir tableau en annexe 15).

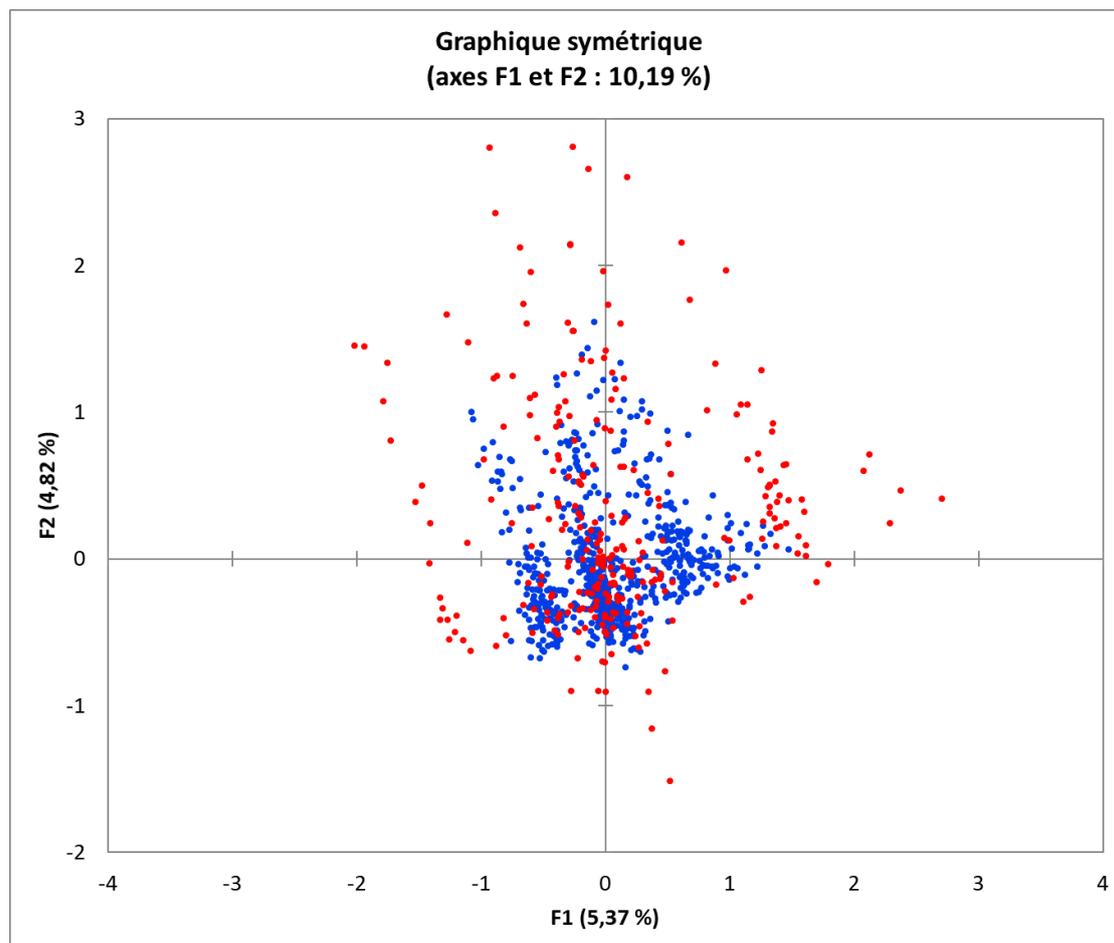


Figure 30 : Représentation du peuplement de l'HER 9A sur les deux premiers axes factoriels (en rouge les taxons, en bleu les stations)



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

Bien que les axes F1 et F2 n'expliquent qu'une faible part de la variabilité des peuplements (10,2 %), le graphique ci-dessus fait apparaître une **structure typologique particulière** : les stations et les peuplements semblent s'organiser **en trois groupes**.

Pour expliquer cette structure particulière, des analyses inter classes ont été réalisées pour les années de prélèvement et les types de cours d'eau. Ces analyses interclasses sont présentées figure ci-dessous.

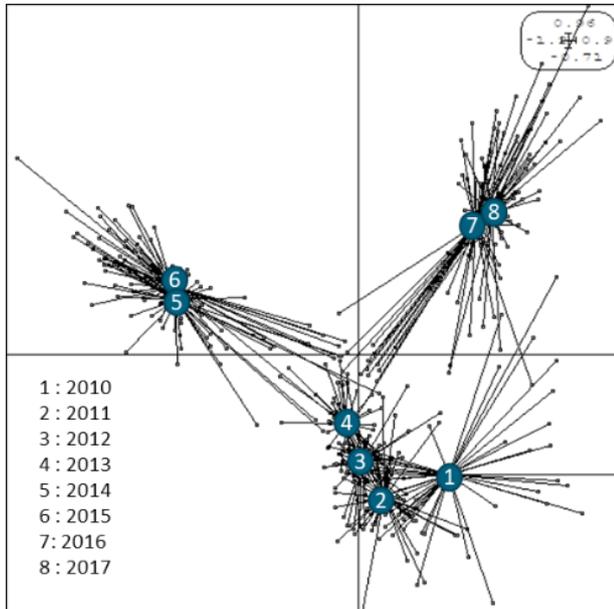


Figure 31 : Représentation graphique des résultats de l'analyse interclasse sur les années

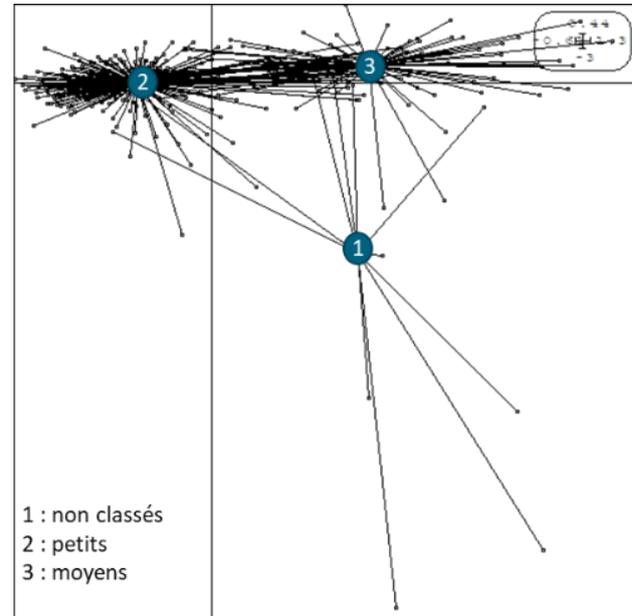


Figure 32 : Représentation graphique de l'analyse interclasse sur les types de cours d'eau

Les graphiques ci-dessus montrent que l'effet annuel mentionné au paragraphe précédent ressort très distinctement. Les données s'organisent autour de 4 pôles distincts organisés selon les années suivantes et qui correspondent des structures de peuplement différentes :

- Années 2010 ou on observe une assez grande dispersion des stations dans le plan factoriel, certaines présentant un profil écologique proche des années 2011, 2012, 2013 et d'autres présentant un profil écologique plus proche des années 2016 et 2017,
- 2011, 2012 et 2013 ou tous les profils stationnels semblent très homogènes
- Années 2014 et 2015 dont les peuplements se différencient nettement de ceux observables sur les autres années
- Années 2016 et 2017 dont les peuplements se différencient nettement de ceux observables sur les autres années.

Cette analyse interclasses montre que les peuplements des cours d'eau de l'HER 9A diffèrent aussi selon la typologie de cours d'eau. Les deux typologies présentes sur l'HER montrent des cortèges faunistiques différents.

Le graphique ci-dessous présente l'analyse interclasses des opérations de contrôle regroupées par date et type de cours d'eau.

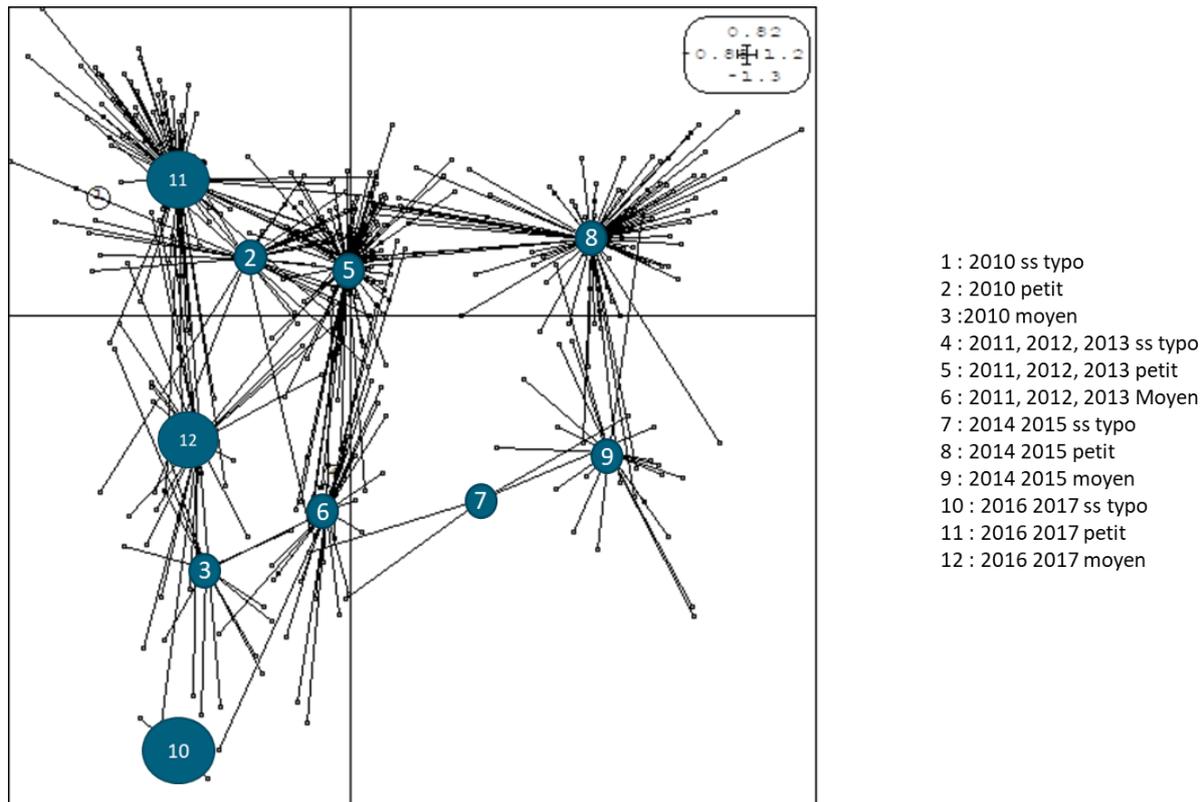


Figure 33 : Représentation graphique de l'analyse interclasse sur les types de cours d'eau et année

Sur ce graphe, on note que la différenciation interannuelle se fait d'abord en fonction des années sur l'axe 1 et ensuite en fonction des types de cours d'eau sur l'axe 2.

Cette structure, beaucoup plus liée aux années qu'à une structure typologique classique montrant une différenciation des cours d'eau par exemple en fonction de l'éloignement par rapport à la source, pose question. Il est possible, comme il a pu être constaté sur le terrain, que les alimentations phréatiques importantes et continues sur le continuum amont aval expliquent ce trait particulier qui justifierait à lui seul que l'HER 9A soit considéré différemment des autres HER dans le cadre d'évaluations écologiques.



### 3.3.2.2 Analyses interclasses peuplement - paramètres physico-chimiques

Cette analyse a été réalisée à partir de l'AFC vue précédemment (410 stations/254 taxons). Les paramètres analysés en interclasses sont les paramètres physico-chimiques retenus et transformés en classe.

Le tableau ci-dessous présente les principaux résultats de cette analyse interclasses.

Paramètre Physicochimique	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,2016		100%
5_CLPHNL	0	0,1274	S	63%
6_CLBZ	0	0,1236	S	61%
ENDOS_A	0	0,1198	S	59%
ENDOS_B	0	0,1198	S	59%
CLFVP	0	0,1154	S	57%
5_CLBZ	0	0,1115	S	55%
HCH_B	0	0,1079	S	53%
HCH_D	0	0,1076	S	53%
HCH_G	0	0,1056	S	52%
ALACL	0	0,1038	S	51%
TFLURALINE	0	0,1011	S	50%
HCH_A	0	0,0949	S	47%
ISOP	0,004	0,0763	S	38%
DIURON	0	0,0740	S	37%
HCH_E	0	0,0598	S	30%
SIMAZINE	0,017	0,0593	S	29%
NO2-	0,029	0,0474	S	24%
DCO	0,007	0,0467	S	23%
NO3-	0,026	0,0352	S	17%
ATRAZINE	0,07	0,0340	S	17%
DBO5	0,106	0,0332	S	16%
H2PO	0,36	0,0261	NS	13%
NH4+	0,459	0,0260	NS	13%
O2_DIS	0,242	0,0243	NS	12%
CL_PYRIPHOS	0,987	0,0022	NS	1%
SEUIL SIGNIFICATIVITE		NB_STATIONS	NB_TAXONS	
0,15		410	254	

Tableau 38 : Hiérarchisation des valeurs propres des variables physico-chimiques sur l'HER 9A

Le tableau ci-dessus classe les paramètres physico-chimiques selon la valeur de la première valeur propre de l'analyse interclasse. Cette valeur est comparée à la première valeur propre de l'AFC réalisée sur les 410 opérations de contrôle (254 taxons).

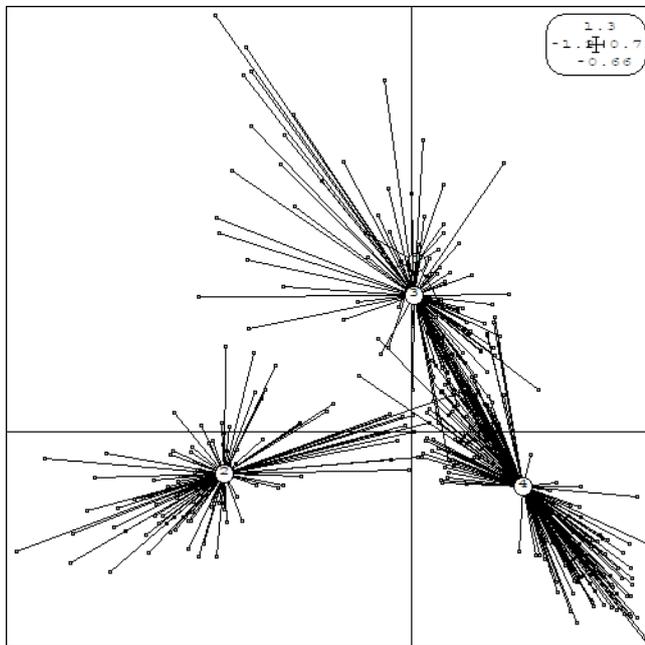
Sur l'HER 9A, les **micropolluants** et notamment les **pesticides agricoles** sont les plus explicatifs de la structure des peuplements. Les **macropolluants** (NO2, DCO, NO3, DBO5) semblent intervenir dans un second temps (le fait que les Nitrates apparaissent comme non significatifs alors que les teneurs observées sont en général assez élevées sur les milieux s'explique certainement par ces teneurs moyennes qui s'observent sur tous les cours



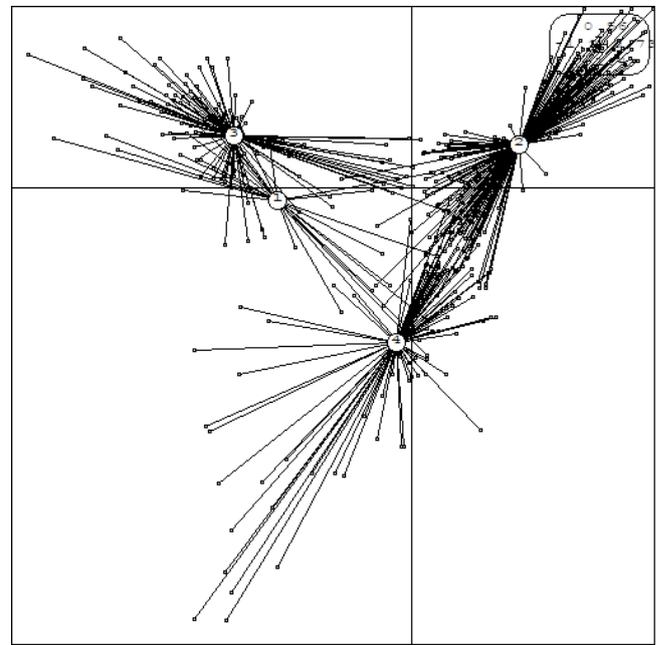
Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

d'eau ce qui ne permet pas une discrimination efficace). Certains paramètres comme H2PO, NH4, ou l'oxygène dissous sont non significatifs.

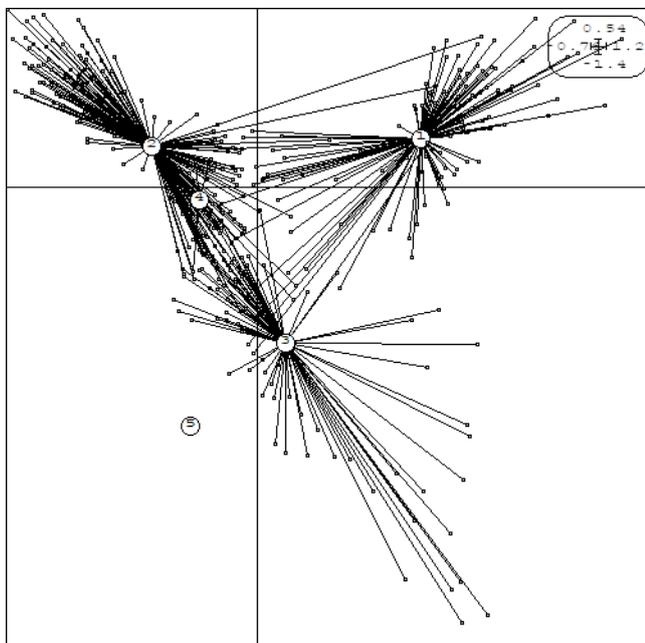
Les graphiques ci-dessous montrent les plans factoriels de certaines des analyses interclasses réalisées et qui sont statistiquement significatives.



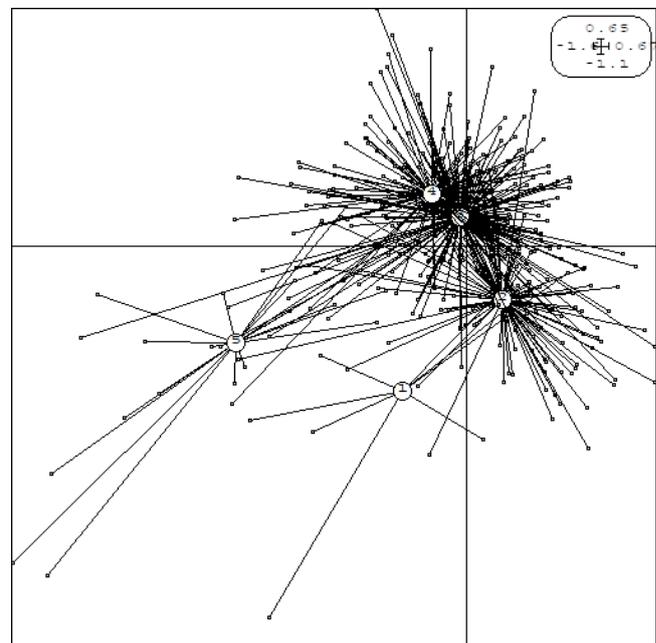
5 CLPHNL



6\_CLBZ



ENDO\_A



NO3

Figure 34 : Présentation des analyses interclasses de différents paramètres physico-chimiques réalisées sur la matrice des peuplements de l'HER 9A

La lecture de ces graphiques permet de valider les classes choisies pour les paramètres testés. Toutefois cette



analyse requiert une analyse en combinant plusieurs axes (une proximité dans un plan factoriel à deux dimensions ne préjuge pas de la proximité réelle des barycentres des points).

### 3.3.2.3 Analyses interclasses peuplement - indices $I_2M_2$ / métriques $I_2M_2$ et indices IBG-équivalent

L'objet de ce test était de tester les différents indices calculés pour déterminer par analyses interclasses ceux qui sont le plus susceptibles d'expliquer la matrice des peuplements de l'HER 9A. En fonction du nombre de données disponibles et notamment IBG-EQ la matrice du peuplement utilisée est une matrice comprenant 357 opérations de contrôle et 251 taxons.

INDICE	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,1970		100%
ASPT	0	0,1170	S	59%
I2M2	0	0,1167	S	59%
POLYVOLTINISME	0	0,1125	S	57%
OVOVIVIPARITE	0	0,0888	S	45%
RICHESSSE	0	0,0827	S	42%
IBG-EQ	0,009	0,0589	S	30%
SHANNON	0,001	0,0304	S	15%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_INDICES	
	<b>0,15</b>	<b>357</b>	<b>251</b>	

Figure 35 : Hiérarchisation des valeurs propres des valeurs propres / part d'explication de la matrice des indices IBG-eq et I2M2 et métriques associées

tous les indices testés expliquent significativement la structure des peuplements. Les variables **ASPT Score** et  **$I_2M_2$**  sont les plus explicatives de la structure du peuplement. On remarque également que sur le jeu de données traité, **l'IBG-équivalent** a une part d'explication de la structure du peuplement presque **2 fois inférieure** à celle de l' $I_2M_2$  ( $I_2M_2 = 59\%$  ; IBG-éq = 30 %).

### 3.3.2.4 Analyses interclasses peuplement - résultats de l'Outil Diagnostic

L'objet de ce test était de tester les différentes probabilités de pression de l'Outil Diagnostic pour déterminer par analyses interclasses, celles qui sont le plus susceptibles d'expliquer la matrice des peuplements de l'HER 9A.

Les classes retenues pour les probabilités de pression de l'Outil Diagnostic sont les suivantes :



PARAMETRE_OD	BORNE_0	BORNE_1	BORNE_2	BORNE_3	BORNE_4
MO	0	0,184	0,367	0,551	0,734
MP	0	0,177	0,353	0,530	0,707
MN	0	0,181	0,362	0,543	0,724
NO3	0	0,606	0,703	0,800	0,995
HAP	0	0,566	0,641	0,716	0,865
PEST	0	0,380	0,511	0,641	0,902
RIPISYLVE	0	0,461	0,540	0,619	0,776
VOIES	0	0,100	0,201	0,301	0,401
URBA	0	0,379	0,522	0,665	0,807
HYDRO	0	0,247	0,399	0,551	0,702
ANTRHOPO	0	0,707	0,802	0,898	0,994

En fonction du nombre de données disponibles, la matrice du peuplement utilisée est une matrice comprenant **410 opérations de contrôle, 123 stations analysées entre 2010 et 2017, 254 taxons.** (voir tableau en annexe 15).

Pression Outil Diagnostic	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,2016		100%
HYDRO	0	0,1135	S	56%
URBA	0	0,1034	S	51%
MP	0	0,0870	S	43%
MN	0	0,0826	S	41%
PEST	0,006	0,0730	S	36%
MO	0,004	0,0728	S	36%
HAP	0	0,0534	S	26%
RIPIS	0,034	0,0390	S	19%
NO3-	0,079	0,0305	S	15%
VOIES	0,001	0,0055	S	3%
ANTHROPO	0,206	0,0331	NS	16%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_TAXONS	
	<b>0,15</b>	<b>410</b>	<b>254</b>	

Figure 36 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice des peuplements des variables physico-chimiques sur l'HER 9A

L'analyse interclasses des résultats obtenus par l'Outil Diagnostic montre que les probabilités de **pression hydrologique (HYDRO)** et les pressions liées à **l'urbanisation (URBA)** sont les plus explicatives parmi les 11 testées. Bien que beaucoup de biocides (herbicides notamment) ressortent de l'analyse interclasses sur la matrice des peuplements, on note ici que la probabilité de pression PESTICIDE de l'Outil Diagnostic explique de façon moyenne cette même matrice des peuplements.

Seule la probabilité de pression **ANTHROPISATION** n'est pas significative.

On note que la pression NITRATES apparaît comme peu significative à l'échelle de cette HER. Cela s'explique certainement par le fait que ces teneurs moyennes s'observent sur tous les cours d'eau ce qui ne permet pas une discrimination efficace.



### 3.3.2.5 Analyse Factorielle des Correspondances sur la matrice des stations et l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques

L'objet de ce test statistique était de caractériser la structure factorielle de la matrice composée des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et des valeurs en EQR des métriques biologiques analysées. Cette analyse est une analyse préparatoire aux analyses interclasses qui suivront.

Cette analyse a été conduite sur une matrice comprenant **233 opérations de contrôle, 80 stations analysées entre 2010 et 2017, 6 métriques.** (voir tableau en annexe 16).

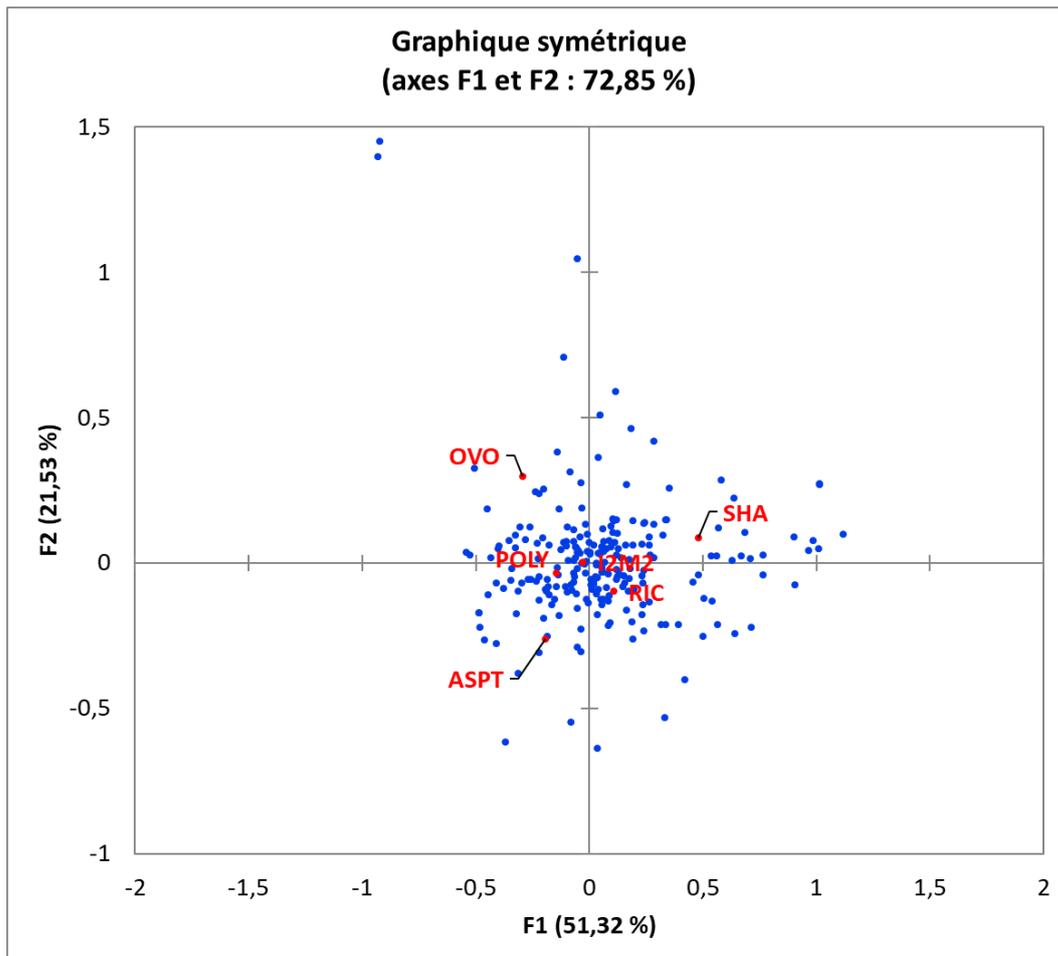


Figure 37 : Représentation des stations et de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques sur le plan factoriel pour l'HER 9A

L'analyse factorielle des correspondances réalisées sur la matrice de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de ses métriques montre que les deux premiers axes expliquent 72.85 % la structure factorielle (F1 = 51.32 % + F2 = 21.53 %).

D'une façon générale, la représentation factorielle ne permet pas de différencier des groupes de stations.

La représentation graphique de ces données sur le plan factoriel montre que les données s'organisent selon une **structure triangulaire**. Les stations de l'HER 9A semblent s'organiser autour d'une structure centrale formée par 3 variables : **I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, RICHESSE et POLYVOLTINISME**.

Trois pôles plus excentrés formés par les variables **OVOVIVIPARITE, SHANNON et ASPT Score** semblent expliquer la position de certaines stations. On peut penser que ce sont ces trois variables qui permettent le plus de différencier les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A. Sur cette matrice les analyses interclasses réalisées sur les paramètres typologie et année montrent que ces paramètres n'expliquent pas significativement l'AFC observée figure 36.



Paramètre milieu	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,0658		100%
Typo/année	0,975	0,0044	NS	7%
ANNEE	1	0,0012	NS	2%
TYPO	1	0,0012	NS	2%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_METRIQUES	
	0,15	233	6	

Figure 38 : Représentation des stations et de l'I2M2 et ses métriques sur le plan factoriel pour l'HER 9A

### 3.3.2.6 Analyse interclasse I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques – paramètres physico-chimiques

À partir de l'analyse précédente, des analyses interclasses ont été réalisées pour tester les paramètres mésologiques par analyse interclasses sur la matrice de l'I2M2 et de ses métriques. Les résultats sont présentés ci-dessous. Cette analyse a été conduite sur une matrice comprenant **233 opérations de contrôle, 80 stations analysées entre 2010 et 2017, 6 métriques** (voir tableau en annexe 16).

Paramètre Physicochimique	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,0658		100%
NO3-	0,436	0,0059	NS	9%
DIURON	0,672	0,0044	NS	7%
ATRAZINE	0,881	0,0037	NS	6%
NO2-	0,901	0,0034	NS	5%
5_CLBZ	0,99	0,0027	NS	4%
ENDOS_A	0,921	0,0025	NS	4%
NH4+	0,985	0,0024	NS	4%
HCH_G	0,984	0,0023	NS	4%
DCO	1	0,0022	NS	3%
CL_PYRIPHOS	0,987	0,0022	NS	3%
ISOP	0,979	0,0020	NS	3%
O2_DIS	1	0,0019	NS	3%
6_CLBZ	0,999	0,0016	NS	2%
DBO5	1	0,0013	NS	2%
TFLURALINE	1	0,0012	NS	2%
ENDOS_B	1	0,0011	NS	2%
H2PO	1	0,0010	NS	2%
ALACL	1	0,0010	NS	1%
SIMAZINE	1	0,0009	NS	1%
HCH_B	1	0,0008	NS	1%
HCH_D	1	0,0008	NS	1%
CLFVP	0,988	0,0008	NS	1%
HCH_A	1	0,0007	NS	1%
5_CLPHNL	1	0,0007	NS	1%
HCH_E	1	0,0000	NS	0%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_METRIQUES	
	0,15	233	6	

Figure 39 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les paramètres



physico-chimiques sur l'HER 9A

Les analyses interclasses, réalisées sur les paramètres physico-chimiques montrent *qu'aucun des paramètres n'est significatif* dans l'explication de la structure de la matrice des indices I2M2 et de ses métriques. La part d'explication de chacune des variables mésologiques testées est très faible.

### 3.3.2.7 Analyse interclasse I2M2 et ses métriques – résultats de l'Outil Diagnostic

Cette analyse a pour objet de tester les probabilités de pression de l'Outil Diagnostic sur la matrice dont les caractéristiques sont présentées en annexe 17 (**232 opérations de contrôle, 79 stations analysées entre 2010 et 2017, 6 métriques**).

Pression Outil Diagnostic	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,0658		100%
ANTHROPO	0,017	0,0138	S	21%
MO	0,015	0,0126	S	19%
URBA	0,095	0,0099	S	15%
NO3-MN	0,097	0,0086	S	13%
	0,121	0,0059	S	9%
HAP	0,294	0,0073	NS	11%
VOIES	0,566	0,0055	NS	8%
RIPIS	0,935	0,0043	NS	7%
PEST	0,862	0,0043	NS	6%
HYDRO	0,999	0,0014	NS	2%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_METRIQUES	
	<b>0,15</b>	<b>232</b>	<b>6</b>	

Figure 40 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les résultats de l'Outil Diagnostic sur l'HER 9A.

Les analyses interclasses réalisées sur les résultats de l'Outil Diagnostic montrent que la hiérarchisation des variables est *complètement différente de celle observée sur la matrice des peuplements*. Par exemple, la variable HYDROLOGIE qui était la plus explicative sur les peuplements (56 %) est ici non significative alors que la probabilité de pression ANTHROPISTATION qui était non significative avec la matrice des peuplements devient ici la plus explicative de la matrice I2M2.

De plus, les parts d'explication de ces variables sur la matrice des indices sont moins élevées que sur la matrice des peuplements (56 % pour la variable la plus explicative des peuplements contre 21 % ici).

Les variables **ANTHROPISATION** (part d'explication = 21 %) reflétant une probabilité de pression liée à l'aménagement général du bassin versant (urbanisation, agriculture intensive), **MATIERES ORGANIQUES** (part d'explication = 19 %) et **URBANISATION** (part d'explication = 15 %) sont les trois variables les plus explicatives de la matrice des indices.

### 3.3.2.8 Matrice des corrélations I2M2 et ses métriques – paramètres physico-chimiques

Afin de préciser les relations entre facteurs mésologiques et note I2M2 et ses métriques, des cartes des



corrélation<sup>16</sup> ont été établies. Ces cartes sont présentées ci-dessous. Le tableau complet est présenté en annexe 18. Il a été réalisé à partir de la matrice comprenant **233 opérations de contrôle, 80 stations analysées entre 2010 et 2017, 6 métriques** (voir tableau en annexe 16).

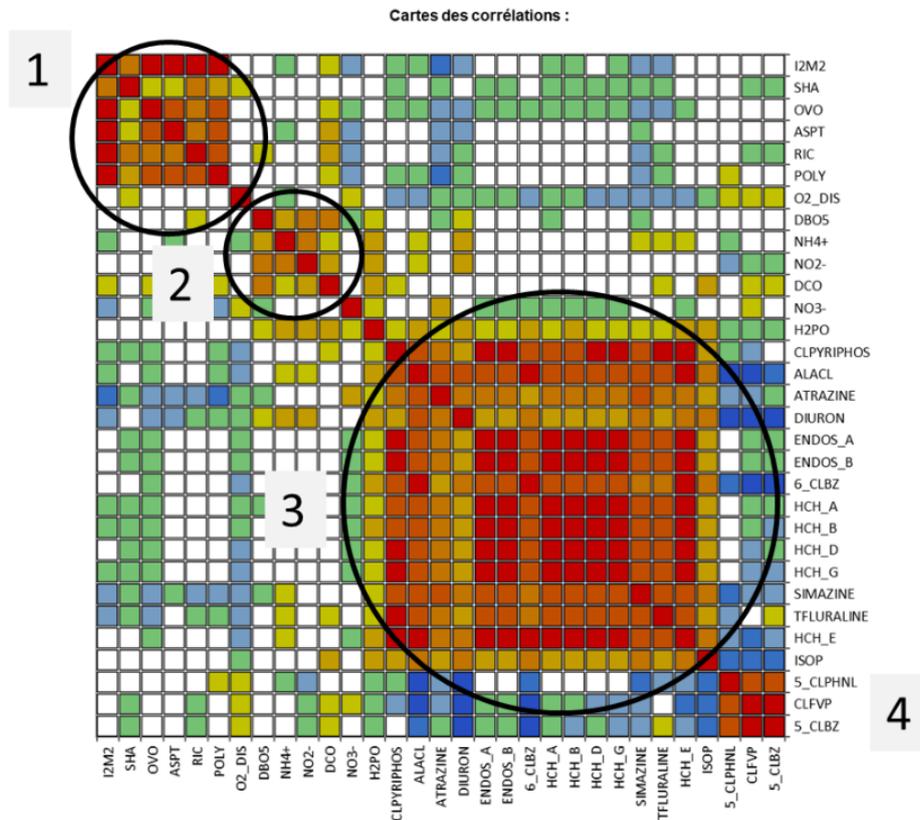


Figure 41 : Carte des corrélations entre indices I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et métriques associées et paramètres physico-chimiques sur l'HER 9A (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.).

La carte des corrélations entre I2M2 / métriques et paramètres physico-chimiques présentée ci-dessus montre :

- De fortes corrélations positives<sup>17</sup> entre l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques (1). Shannon est la métrique la moins corrélée aux autres ;
- Des corrélations positives moyennes à fortes entre paramètres - physico -chimiques de types macro-polluants (2) et notamment DBO5, NH4, NO2, DCO plus particulièrement liés à des pollutions par apport de matières organiques ;

<sup>16</sup> Les cartes de corrélation permettent de voir des structures dans les corrélations surtout dans les cas où il y a de nombreuses variables.

La représentation s'appuie sur une échelle de couleurs allant du bleu au rouge (échelle froid-chaud) pour l'affichage des corrélations. La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.

<sup>17</sup> Pour certains questionnaires, de par la méthode de construction de l'indice, il ne devrait pas y avoir de corrélations entre métriques puisque celles-ci sont censées apporter une « information complémentaire suivant le principe de non-redondance - complémentarité des métriques pour assurer une discrimination moyenne ». C'est à priori une mauvaise interprétation. En effet les métriques (en valeur EQR) retenues pour leur caractère très généraliste (7 des 10 pressions physico-chimiques et 5 des 7 pressions morphologiques), sont toutes susceptibles de présenter des valeurs faibles en cas d'altération(s) ce qui explique des corrélations positives plus ou moins fortes entre elles. L'absence de corrélation impliquerait que les métriques ne réagissent spécifiquement à certaines pressions ce qui n'est pas le cas ici.



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- Des corrélations moyennes à fortes entre paramètres physico-chimiques de type pesticides agricoles (3). Ces paramètres corréleront aussi avec H2PO ;
- Des corrélations moyennes à fortes entre paramètres physico-chimiques de type pesticides liés au traitement bois (4) 5CLPHNL, CLFVP, 5\_CLBZ.
- Peu de corrélations entre l'I2M2 – ses métriques et les paramètres physico-chimiques. On note toutefois une corrélation positive avec la DCO et des corrélations négatives avec NITRATES, ATRAZINE, DIURON, SIMAZYNE et TFLURALINE

### 3.3.2.9 Matrice des corrélations I2M2 et ses métriques – résultats de l'Outil Diagnostic

Afin de préciser les relations entre les probabilités de pressions de l'Outil Diagnostic et la note I2M2 et ses métriques des cartes des corrélations ont été établies. Ces cartes sont présentées ci-dessous. Il a été réalisé à partir de la matrice présentée en annexe 17 (229 opérations de contrôle, 79 stations analysées entre 2010 et 2017, 6 métriques). Le tableau complet est présenté en annexe 18.

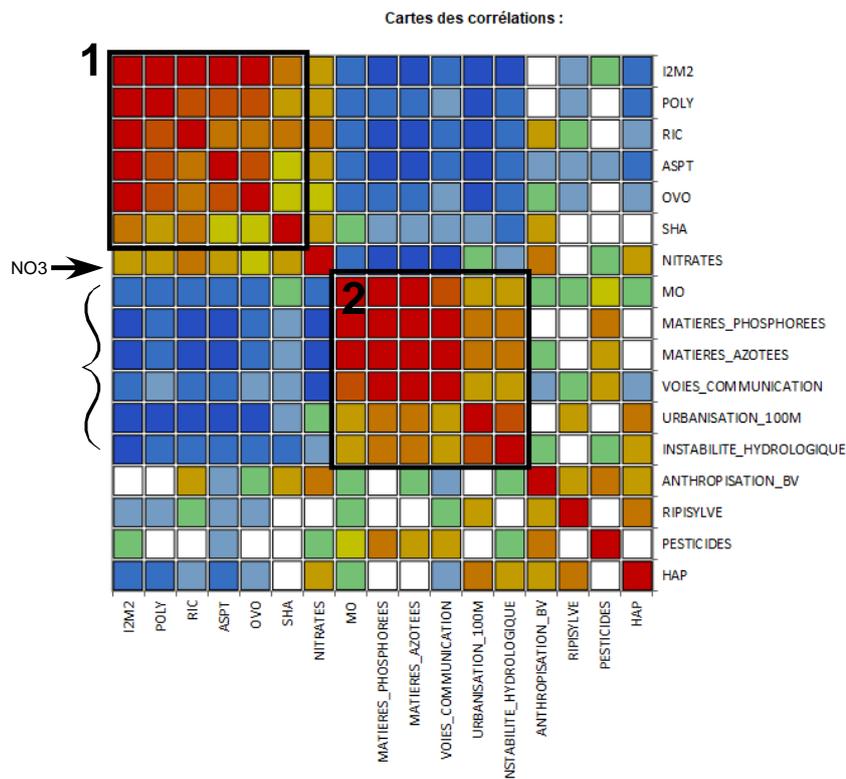


Figure 42 : Carte des corrélations entre indices I2M2 et métriques associées et résultats de l'outil diagnostic sur l'HER 9A (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.)

La carte des corrélations entre I2M2 / métriques et les résultats de l'Outil Diagnostic présentés ci-dessus montre :

- Des corrélations positives fortes entre l'I2M2 et ses métriques et avec le risque nitrates (1) ce qui peut paraître contradictoire. Toutefois, cette contradiction s'explique peut-être par le fait que les teneurs en NITRATES, si elles sont relativement élevées, sont aussi à très peu variables d'une station à une autre du fait des fortes relations avec les nappes ce qui peut fausser les corrélations ;



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- Des corrélations positives moyennes à fortes entre les variables de pression MATIERES PHOSPHOREES, MATIERES AZOTEES, VOIES DE COMMUNICATION, URBANISATION 100 M et INSTABILITE HYDROLOGIQUE (2) ;
- Des corrélations négatives fortes entre l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques et ces mêmes variables (3).
- On note que la probabilité PESTICIDE est peu corrélée avec la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques ce qui semble étonnant au regard des observations faites sur la matrice des peuplements.

### 3.3.2.10 Conclusion sur l'HER 9A

Ces résultats semblent montrer (sous réserve de validation avec une reconstitution des peuplements prenant en compte les habitats), que les peuplements de l'HER 9A semblent plus particulièrement sous l'influence de deux facteurs principaux :

- De fortes variations interannuelles qui restent à expliquer,
- Les micropolluants qui semblent plus impactants que les macro-polluants.

Globalement les métriques de l'I2M2 telles qu'elles sont actuellement calculées peuvent expliquer, plus que la note IBG-EQ, la structure faunistique globale et notamment la note I2M2, l'ASPT, l'Ovoviviparité et le Polyvoltinisme. Des relations significatives sont aussi observées avec les probabilités de pression de l'Outil Diagnostic et notamment l'Hydrologie (ce qui explique peut-être les fortes différences interannuelles observées).

On observe peu de relation entre la matrice constituée de la note I2M2 et ses métriques avec les paramètres physico-chimiques analysés, ce qui peut être normal, car les métriques de cet indice ont été sélectionnées pour leur aptitude à prendre en compte chacune un nombre élevé de pressions.

Les tests de corrélation entre EQR de l'I2M2 et ses indices constitutifs, montrent peu de corrélations avec les paramètres physico-chimiques testés : corrélations négatives avec NITRATES, ATRAZINE, DIURON, SIMAZYNE et TFLURALINE, mais positives avec la DCO. Les probabilités de pressions de l'outil diagnostic sont corrélées négativement avec cette matrice hormis pour ANTHROPISATION et PESTICIDE ce qui est étonnant au regard des observations faites sur la matrice des peuplements.

### 3.3.3 Analyses statistiques sur l'HER 9 (Tables Calcaires)

#### 3.3.3.1 Analyse Factorielle des Correspondances sur la matrice des peuplements

L'analyse factorielle des correspondances est présentée sur le graphique présenté ci-dessous (2277 opérations de contrôle /490 taxons/769 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 19).

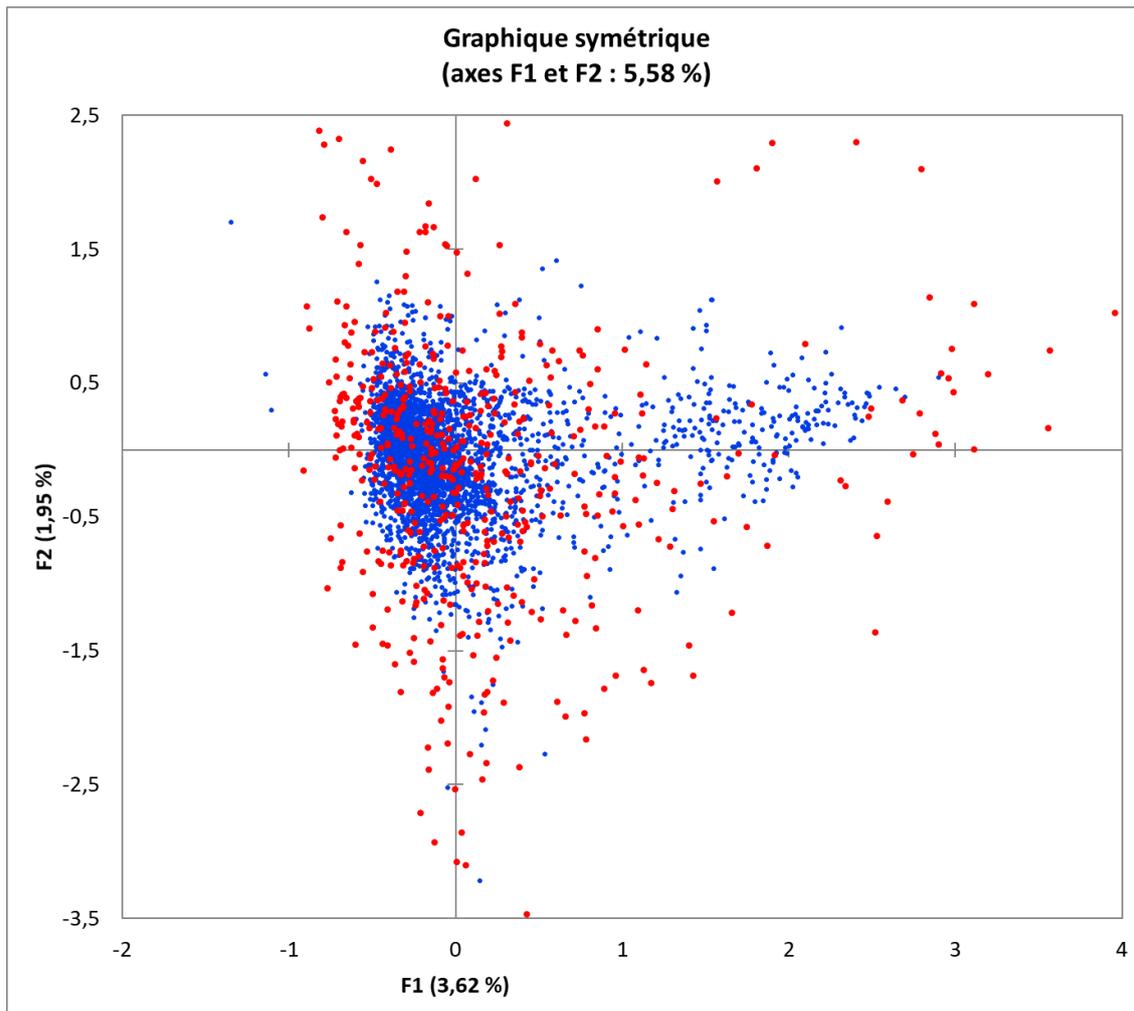


Figure 43 : Représentation du peuplement de l'HER 9 sur les deux premiers axes factoriels (en rouge les taxons, en bleu les stations)

La structure du peuplement représentée sur les deux premiers axes factoriels explique très faiblement l'inertie du jeu de données (F1 = 3.62 % + F2 = 1.95 %).

La structure représentée montre une structure typologique plus caractéristique (VERNEAUX, 1973), mais qui apparaît toutefois très dégradée.

On note ainsi un « vide » entre les cours d'eau amont (coordonnées négatives sur l'axe 1) de ceux présents sur les secteurs aval (coordonnées positives sur l'axe 1) qui traduit sur les HER fortement anthropisés la raréfaction (pour ne pas dire la disparition des cours d'eau de typologie intermédiaire (de hyporhitron au mésopotamon).

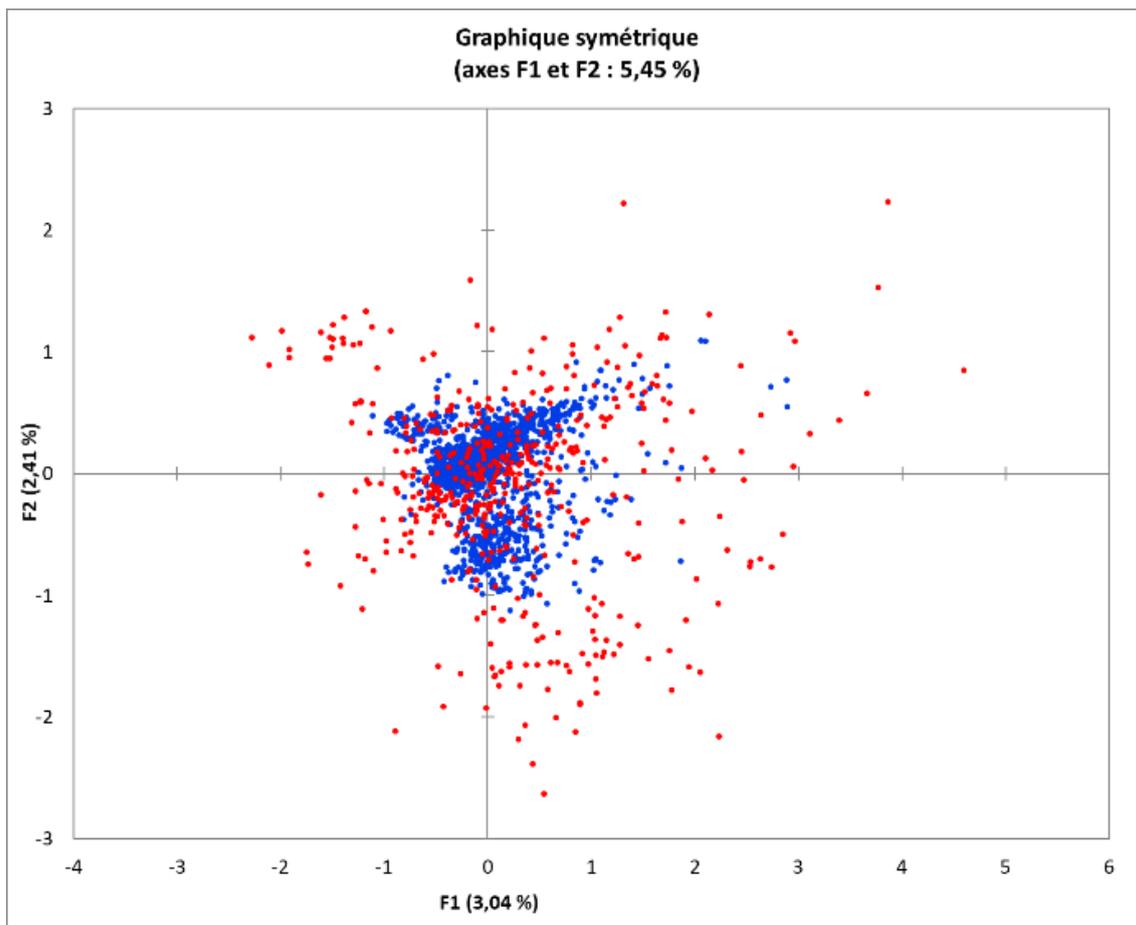
L'analyse ne montre pas d'effet « date » comme sur l'HER 9A, mais le type de cours d'eau explique la structure faunistique observée.



Paramètre Milieu	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,2938		100%
TYPO	0	0,2318	S	79%
ANNEE	0,729	0,0144	NS	5%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_TAXONS	
	<b>0,15</b>	<b>2277</b>	<b>490</b>	

Figure 44 : Hiérarchisation des valeurs propres des variables année et typologie sur l'HER 9

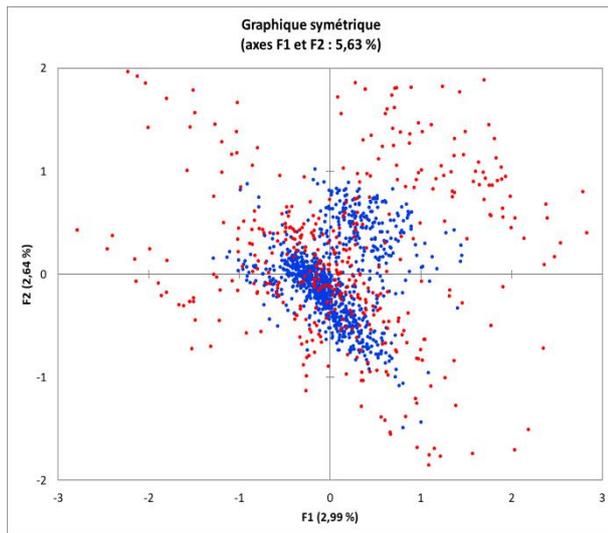
On observe que les structures typologiques par type de cours d'eau sont assez différentes. Il serait intéressant ici de rechercher par type de cours d'eau les facteurs permettant la discrimination de certains groupes stationnels (années d'échantillonnage... ?)



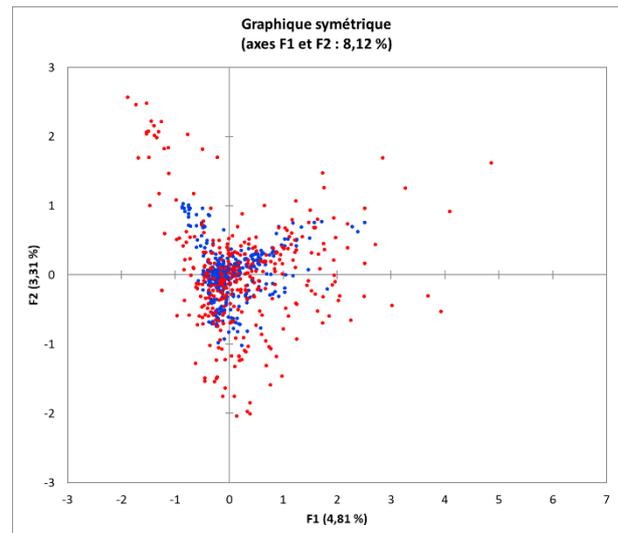
AFC sur petit et moyens cours d'eau



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10



AFC sur petit cours d'eau



AFC sur moyens cours d'eau

Figure 45 : Représentation du peuplement de l'HER 9 sur les deux premiers axes factoriels pour les différents types de cours d'eau (en rouge les taxons, en bleu les stations)

### 3.3.3.2 Analyse interclasses peuplement – paramètres physico-chimiques

Cette analyse a été réalisée à partir de l'AFC vue précédemment (**2277 opérations de contrôle /490 taxons /769 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 19**). Les paramètres analysés en interclasses sont les paramètres physico-chimiques retenus et transformés en classe.

Le tableau ci-dessous présente les principaux résultats de cette analyse interclasses.



Paramètre Physicochimique	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,2938		100%
NO2-	0,00	0,0502	S	17%
NH4+	0,00	0,0404	S	14%
DIURON	0,00	0,0381	S	13%
NO3-	0,00	0,0377	S	13%
H2PO	0,00	0,0320	S	11%
5_CLBZ	0,00	0,0293	S	10%
TFLURALINE	0,00	0,0253	S	9%
ALACL	0,03	0,0240	S	8%
5_CLPHNL	0,00	0,0235	S	8%
SIMAZINE	0,00	0,0235	S	8%
CLFVP	0,03	0,0231	S	8%
ATRAZINE	0,00	0,0215	S	7%
6_CLBZ	0,02	0,0215	S	7%
CL_PYRIPHOS	0,01	0,0208	S	7%
DBO5	0,00	0,0201	S	7%
DCO	0,00	0,0192	S	7%
ISOP	0,00	0,0167	S	6%
HCH_D	0,14	0,0138	S	5%
HCH_G	0,38	0,0146	NS	5%
ENDOS_A	0,64	0,0136	NS	5%
ENDOS_B	0,89	0,0136	NS	5%
HCH_B	0,21	0,0123	NS	4%
O2_DIS	0,48	0,0114	NS	4%
HCH_A	0,85	0,0110	NS	4%
HCH_E	1,00	0,0060	NS	2%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_TAXONS	
	<b>0,15</b>	<b>2277</b>	<b>490</b>	

Figure 46 : Hiérarchisation des valeurs propres des variables physico-chimiques sur l'HER 9

- 🌿 Sur l'HER 9, les analyses interclasses visant à tester l'effet des paramètres physico-chimiques sur la matrice des peuplements donnent des **résultats très différents de ceux obtenus sur l'HER 9A**.
- 🌿 Sur l'HER 9, les paramètres physico-chimiques ont une part d'explication de la structure du peuplement plus faible que sur l'HER 9A (1<sup>re</sup> variable explicative sur HER 9A = 63 % contre 17 % sur HER 9).
- 🌿 De plus, les **paramètres les plus explicatifs** sont les **macro-polluants** liés aux matières azotées (nitrites, ammonium, nitrates) alors que sur l'HER 9A les micropolluants présentent les pourcentages d'explication les plus élevés.
- 🌿 Le DIURON (herbicide) est le micropolluant ayant le pourcentage d'explication le plus important (13%).
- 🌿 La représentation de ces variables les plus explicatives sur le plan factoriel ne permet pas d'identifier de structure particulière.



### 3.3.3.3 Analyse interclasse peuplement – résultats de l'Outil Diagnostic

L'objet de ce test était de tester les différentes probabilités de pression de l'Outil Diagnostic pour déterminer par analyses interclasses, celles qui sont le plus susceptibles d'expliquer la matrice des peuplements de l'HER 9. En fonction du nombre de données disponibles, la matrice du peuplement utilisée est une matrice comprenant 2277 opérations de contrôle /490 taxons/769 stations (voir annexe 19).

Pression Outil Diagnostic	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,2938		100%
MP	0	0,1304	S	44%
MO	0	0,1200	S	41%
MN	0	0,0968	S	33%
NO3-	0,001	0,0801	S	27%
URBA	0	0,0780	S	27%
HYDRO	0	0,0748	S	25%
PEST	0	0,0504	S	17%
ANTHROPO	0	0,0326	S	11%
VOIES	0	0,0146	S	5%
HAP	0	0,0111	S	4%
RIPIS	0	0,0049	S	2%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_TAXONS	
	<b>0,15</b>	<b>2277</b>	<b>490</b>	

Figure 47 : Hiérarchisation des valeurs propres des résultats de l'Outil Diagnostic sur l'HER 9

Sur l'HER 9, les analyses interclasses des résultats donnés par l'Outil Diagnostic montre que les variables (probabilités d'impact de pression), les plus explicatives sont les variables traduisant un **risque de pression lié aux matières phosphorées (MP), aux matières organiques (MO) et aux matières azotées (MN)**.

La hiérarchisation des variables explicatives est différente de celle obtenue sur l'HER 9A où l'instabilité hydrologique et l'anthropisation du bassin étaient les plus explicatives.

### 3.3.3.4 Analyse Factorielle des Correspondances sur matrice des stations et l'I2M2 et ses métriques

L'objet de ce test statistique était de caractériser la structure factorielle de la matrice composée des notes I2M2 et des valeurs en EQR des métriques biologiques analysées. Cette analyse est une analyse préparatoire aux analyses interclasses qui suivront. La matrice réalisée est une matrice regroupant les données de 1135 opérations de contrôle (**1135 opérations de contrôle /452 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 20**)

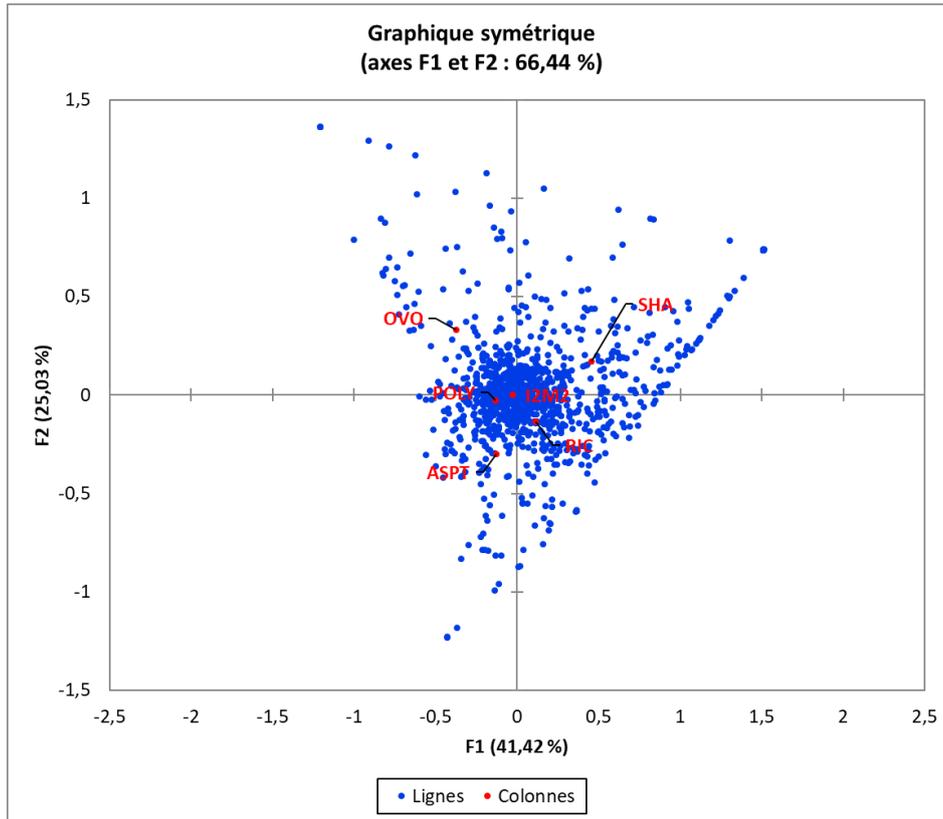


Figure 48 : Représentation des stations et de l'I2M2 et ses métriques sur le plan factoriel pour l'HER 9.

L'analyse factorielle des correspondances réalisées sur la matrice de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de ses métriques montre que les deux premiers axes expliquent 66.44 % l'inertie du jeu de données (F1 = 51.32 % + F2 = 21.53 %).

La représentation graphique sur le plan factoriel montre que les données s'organisent selon une structure triangulaire *comme observée sur l'HER 9A*.

Les stations de l'HER 9 semblent s'organiser autour d'une structure centrale formée par 3 variables : *I2M2*, *RICHESSE* et *POLYVOLTINISME*.

Trois pôles plus excentrés formés par les variables *OVOVIVIPARITE*, *SHANNON* et *ASPT Score* semblent discriminer plus particulièrement la position de certaines stations.

Sur cette matrice les analyses interclasses réalisées sur les paramètres typologie et année montrent que ces paramètres n'expliquent pas significativement l'AFC observée figure précédente.

Paramètre milieu	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,0651		100%
ANNEE	1	0,00	NS	4%
TYPO	1	0,00	NS	2%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_METRIQUES	
	<b>0,15</b>	<b>1162</b>	<b>6</b>	

Figure 49 : Résultats des analyses interclasses typologie et année sur la matrice constituée par les valeurs de l'I2M2 et ses métriques



sur l'HER 9.

### 3.3.3.5 Analyse interclasse I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques – paramètres physico-chimiques

À partir de l'analyse précédente, des analyses interclasses ont été réalisées pour tester les paramètres mésologiques par analyse interclasses sur la matrice de l'I2M2 et de ses métriques. Les résultats sont présentés ci-dessous (**1135 opérations de contrôle /452 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 20**).

Paramètre Physicochimique	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,0649		100%
NO2-	0,977	0,0065	NS	10%
DIURON	0,995	0,0054	NS	8%
H2PO	1	0,0046	NS	7%
DBO5	1	0,0038	NS	6%
NH4+	0,999	0,0031	NS	5%
5_CLBZ	1	0,0023	NS	3%
DCO	1	0,0020	NS	3%
CL_PYRIPHOS	0,997	0,0017	NS	3%
HCH_G	1	0,0016	NS	2%
5_CLPHNL	1	0,0016	NS	2%
ALACL	0,942	0,0015	NS	2%
SIMAZINE	1	0,0014	NS	2%
TFLURALINE	1	0,0012	NS	2%
ATRAZINE	1	0,0010	NS	2%
NO3-	1	0,0010	NS	2%
ENDOS_A	0,935	0,0009	NS	1%
6_CLBZ	0,916	0,0009	NS	1%
HCH_A	1	0,0008	NS	1%
CLFVP	1	0,0007	NS	1%
ISOP	1	0,0006	NS	1%
HCH_D	1	0,0005	NS	1%
HCH_E	1	0,0004	NS	1%
ENDOS_B	0,998	0,0004	NS	1%
O2_DIS	1	0,0004	NS	1%
HCH_B	1	0,0004	NS	1%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_METRIQUES	
	<b>0,15</b>	<b>1135</b>	<b>6</b>	

Figure 50 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I2M2 et métriques associées par les paramètres physico-chimiques sur l'HER 9.

Comme pour l'HER 9A, les analyses interclasses réalisées sur les paramètres physico-chimiques montrent *qu'aucun des paramètres n'est significatif dans l'explication de la structure de la matrice* des indices I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et des métriques de l'HER 9.

### 3.3.3.6 Analyse interclasse I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques – résultats de l'Outil Diagnostic

Cette analyse a pour objet de tester les probabilités de pression de l'Outil Diagnostic sur la matrice précédente.



Pression Outil Diagnostic	KHI>=OBS	Première Valeur Propre de l'analyse interclasse	SIGNIFICATIVITE après test de permutation	% d'explication de la première valeur propre de l'analyse globale
AFC globale		0,0651		100%
MP	0	0,0107	S	16%
MN	0	0,0091	S	14%
MO	0,009	0,0085	S	13%
ANTHROPO	0,97	0,0067	NS	10%
PEST	0,999	0,0055	NS	8%
NO3-	0,932	0,0043	NS	7%
URBA	1	0,0043	NS	7%
HAP	1	0,0029	NS	4%
HYDRO	1	0,0016	NS	2%
VOIES	1	0,0008	NS	1%
RIPIS	1	0,0008	NS	1%
	SEUIL SIGNIFICATIVITE	NB_STATIONS	NB_METRIQUES	
	<b>0,15</b>	<b>1135</b>	<b>6</b>	

Figure 51 : Hiérarchisation des valeurs propres / part d'explication de la matrice de I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et métriques associées par les résultats de l'Outil Diagnostic sur l'HER 9.

Les analyses interclasses réalisées sur les résultats de l'Outil Diagnostic montrent que la hiérarchisation des variables selon leur part d'explication de l'inertie de la matrice de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> de l'HER 9 est presque la même que celle observée sur l'analyse de la matrice des peuplements.

Les trois variables significatives après test de permutations sont les **variables MP (matières phosphorées), MN (matières azotées) et MO (matières organiques)**.

Ces trois variables sont également les **plus explicatives** de la structure des peuplements de l'HER 9.

### 3.3.3.7 Matrice des corrélations I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques – paramètres physico-chimiques

Afin de préciser les relations entre facteurs mésologiques, et entre facteurs mésologiques et notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques, des cartes des corrélations ont été établies. Ces cartes sont présentées ci-dessous. **(1135 opérations de contrôle /452 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 21)**.

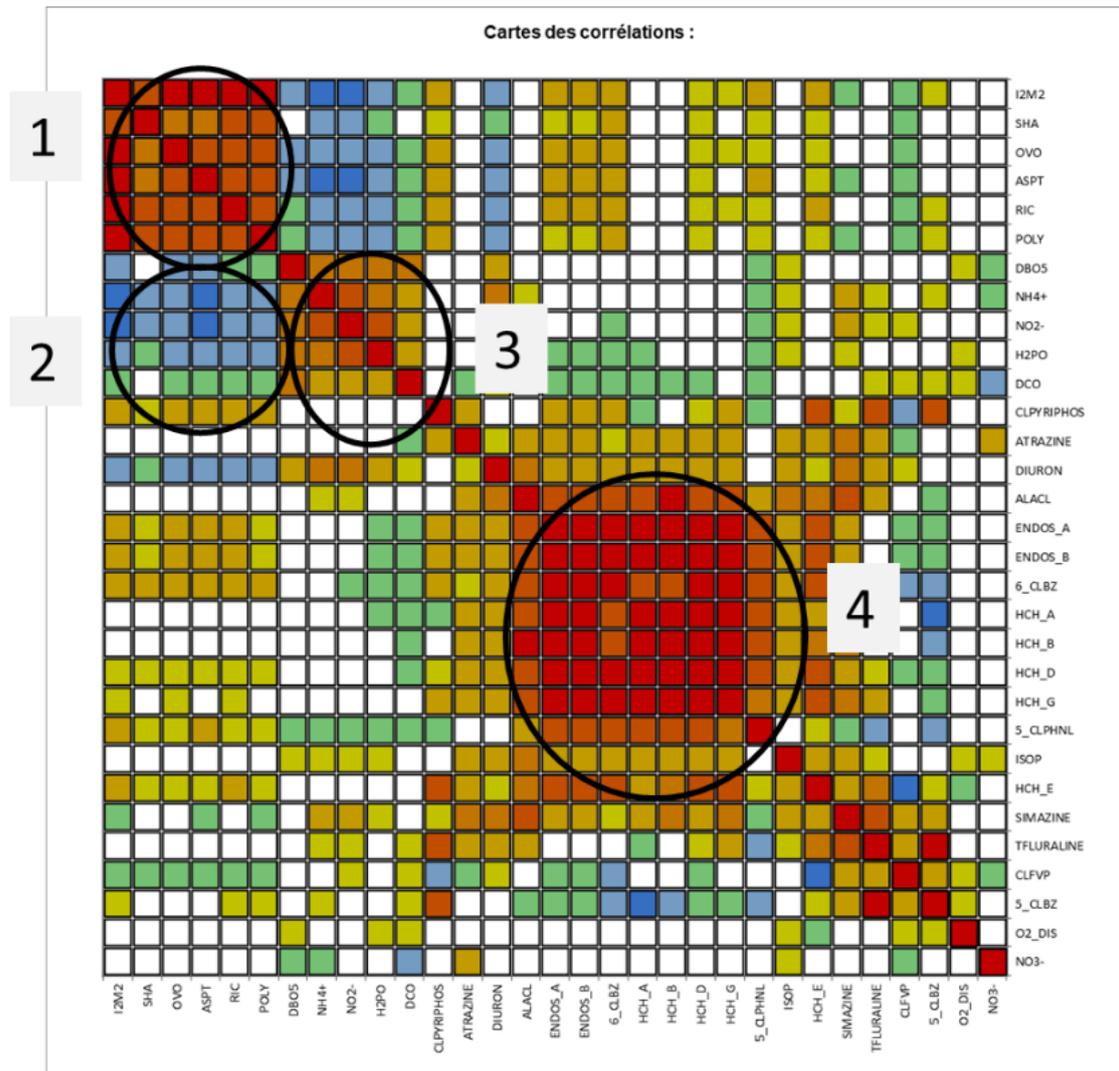


Figure 52 : Carte des corrélations entre indices I2M2 et métriques associées et paramètres physico-chimiques sur l'HER 9 (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.)

La carte des corrélations entre I2M2 / métriques et paramètres physico-chimiques présentée ci-dessus montre :

- De fortes corrélations positives entre l'I2M2 et ses métriques (1) ;
- Des corrélations négatives moyennes entre l'I2M2 et ses métriques et les macropolluants (DBO5, NH4+, NO2-, DCO) et le DIURON (2) et des corrélations positives moyennes avec CHORE\_PYRIPHOS; ENDOSULFAN\_A et B, HEXA CHLOROBENZENE
- Des corrélations positives moyennes à fortes entre paramètres - physico -chimiques de types macropolluants (3) ;
- Des corrélations moyennes à fortes entre paramètres physico-chimiques de type pesticides agricoles (4) ;

### 3.3.3.8 Matrice des corrélation I2M2 et ses métriques – résultats de l'Outil Diagnostic

Afin de préciser les relations entre les probabilités de pressions de l'Outil Diagnostic et la note I2M2 et ses métriques, des cartes des corrélation ont été établies. Ces cartes sont présentées ci-dessous. (1135 opérations de contrôle /452 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 22)

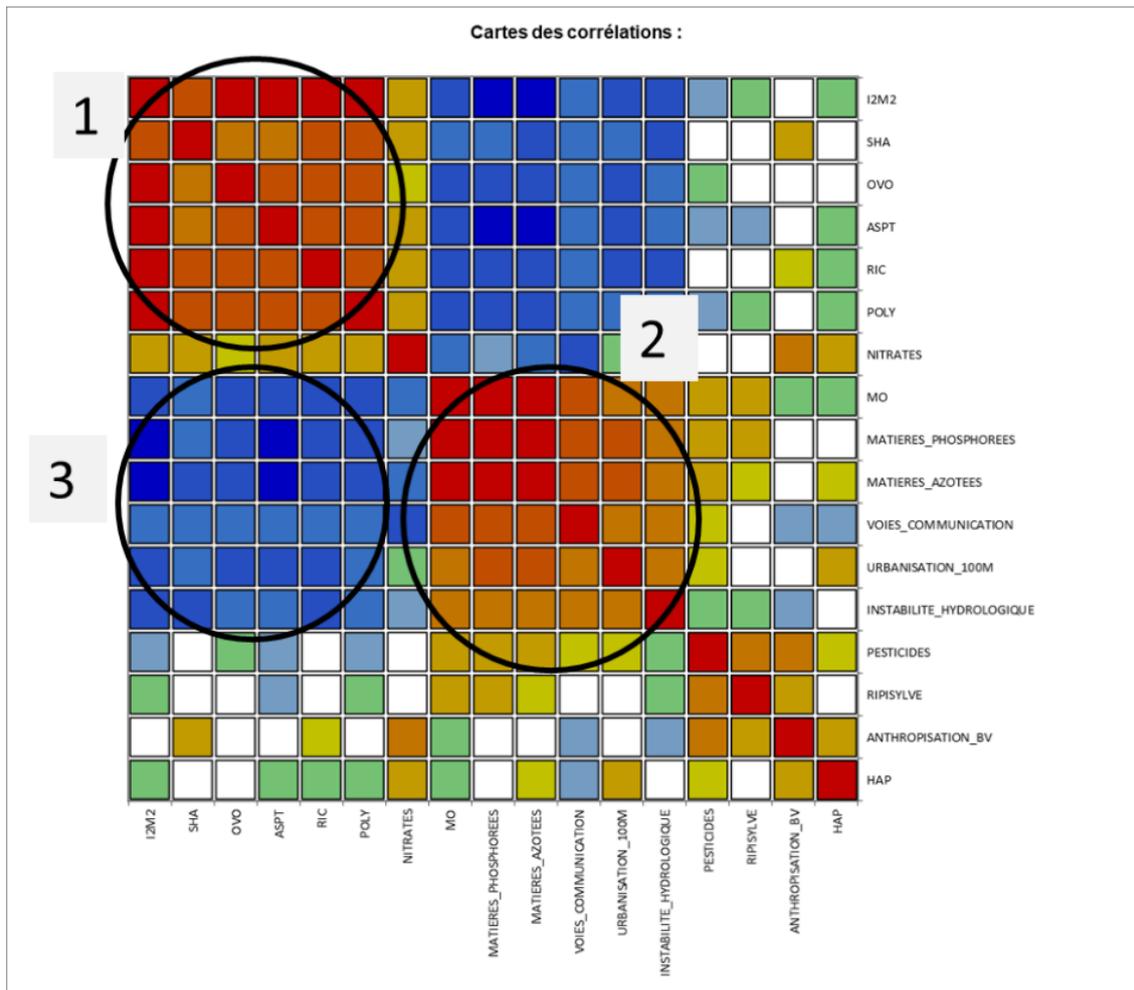


Figure 53 : Carte des corrélations entre indices I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et métriques associées et résultats de l'outil diagnostic sur l'HER 9 (La couleur bleue correspond à une corrélation proche de -1 et la couleur rouge correspond à une corrélation proche de 1. Le vert correspond à une corrélation proche de 0.)

La matrice des corrélations, entre I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> – ses métriques et les paramètres physico-chimiques sur l'HER 9, présente une structure similaire à celle obtenue sur l'HER 9A, à savoir :

- Des corrélations positives fortes entre l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques et avec le risque nitrates (1) ;
- Des corrélations positives moyennes à fortes entre les variables de pression MATIERES PHOSPHOREES, MATIERES AZOTEES, VOIES DE COMMUNICATION, URBANISATION 100 M et INSTABILITE HYDROLOGIQUE (2) ;
- Des corrélations négatives fortes entre l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques et ces mêmes variables (3).

### 3.3.4 Comparaison des résultats obtenus sur les HER 9A et 9.

Les séries d'analyses réalisées sur les deux HER permettent de les distinguer sur plusieurs points :

- Les peuplements de l'HER 9A semblent être beaucoup plus impactés par les pollutions liées aux biocides que les peuplements de l'HER 9 ; en l'état actuel, compte tenu des données disponibles, il n'est pas possible de vérifier/valider ces informations dans la mesure où ces relations entre indices devraient s'appuyer sur une caractérisation correcte du peuplement stationnel. Les variabilités possibles des indices en fonctions du mode de reconstitution du peuplement pouvant être de nature à fausser de façon notable les liens statistiques observés.



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- La structure des peuplements de l'HER 9 semble plutôt être expliquée par les **macropolluants** et le **diuron**.
- Les indices et métriques associées sur l'HER 9 présentent davantage de corrélations que ceux de l'HER 9A, et notamment avec les macropolluants (corrélations négatives). On note que ces informations apparaissent globalement cohérentes avec celles apportées par la matrice des peuplements et les analyses interclasses.

Malgré ces différences, les structures factorielles de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de ses métriques sont similaires pour les deux HER.

### 3.3.5 Analyses statistiques sur l'HER 10 (côtes calcaires Est)

#### 3.3.5.1 Analyse Factorielle des Correspondances sur la matrice des peuplements

L'analyse factorielle des correspondances est présentée sur le graphique présenté ci-dessous. (**636 opérations de contrôle /343 taxons/216 stations analysées de 2010 à 2017 voir annexe 23**)

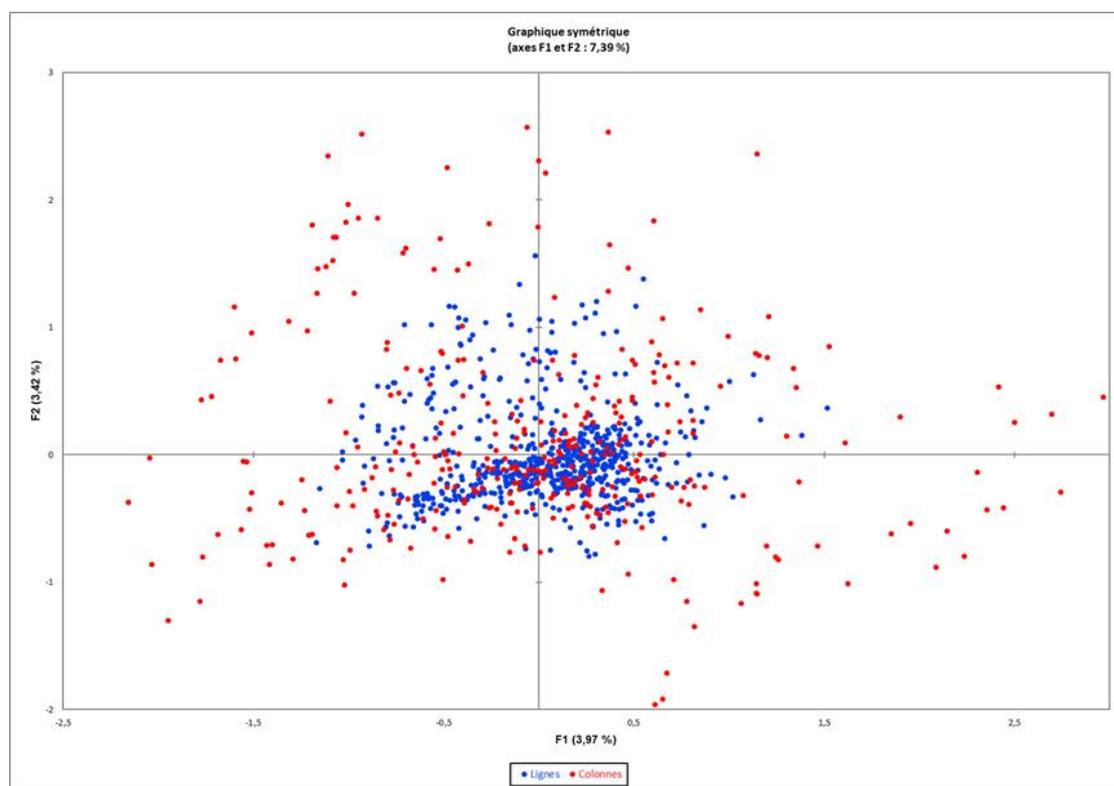


Figure 54 : Représentation du peuplement de l'HER 10 sur les deux premiers axes factoriels (en rouge les taxons, en bleu les stations)

L'analyse factorielle réalisée sur la matrice des peuplements montre une structure **très différente de celles observées sur les HER 9 et 9A**.

Des analyses complémentaires montreront si cette structure peut être expliquée par des paramètres explicatifs différents.

### 3.3.6 Comparaison inter indices biologiques sur les HER 9A, 9 et 10



### 3.3.6.1 Analyse des corrélations entre indices biologiques

	VARIABLE_1	VARIABLES_2	CORRELATION	P-VALUE	COEF_DTRM	NB_DATA	SIGNIFICATIVITE
HER 9	IBGEQ	I2M2	0,775	0,00001	0,6	1509	S
	IBGN	I2M2	0,576	0,00001	0,331	152	S
	IBD	I2M2	0,282	0,00001	0,08	1565	S
	IBMR	I2M2	0,232	0,00001	0,054	390	S
	IPR	I2M2	-0,177	0,008	0,031	224	S
HER 9A	IBGEQ	I2M2	0,758	0,00001	0,575	357	S
	IBGN	I2M2	0,649	0,00001	0,421	65	S
	IBD	I2M2	0,032	0,531	0,001	380	NS
	IBMR	I2M2	-0,002	0,981	0	133	NS
	IPR	I2M2	-0,26	0,071	0,068	49	NS
HER 10	IBGEQ	I2M2	0,223	0,406	0,05	16	NS
	IPR	I2M2	0,2	0,8	0,04	4	NS
	IBD	I2M2	0,097	0,742	0,009	14	NS
	IBMR	I2M2	-0,057	0,883	0,003	9	NS
	IBGN	I2M2					

Figure 55 : Matrice de corrélation entre I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et les autres indices biologiques sur les HER 9A, 9 et 10

La matrice des corrélations entre I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et autres indices biologiques présentés ci-dessus montre que :

- 🌿 Les relations I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> – IBG-équivalent, sont en général significatives, sauf sur l'HER 10 ;
- 🌿 Sur l'HER 9, tous les indices biologiques corrént avec l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ;
- 🌿 Sur l'HER 9A, seuls l'IBG-équivalent et l'IBGN corrént de manière significative avec l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.
- 🌿 Sur l'HER 10, aucun indice n'est en corrélation avec l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

## 3.4 Conclusion sur les analyses statistiques

Les différentes analyses statistiques ont permis de montrer :

### Pour l'HER 9A :

- 🌿 Pour la matrice des peuplements :
  - Une forte variation interannuelle des peuplements sur les cours d'eau de cette HER qui semble davantage liée aux conditions hydrologiques et climatiques qu'aux pressions anthropiques.
  - Les micropolluants (Pentachlorophénol, Hexa chlorobenzène) ressortent de l'analyse bien plus que les Macropolluants (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, DBO, DCO...) ;
  - Les probabilités des pressions de l'outil diagnostic sont discriminantes (HYDRO, URBA), mais souvent moins que les analyses physico-chimiques.
- 🌿 Pour la matrice composée des indices I2M2 et ses métriques
  - Une structure particulière dont la dispersion dans le plan factoriel s'expliquerait par l'influence des variables ASPT, Ovoviviparité et Shannon.
  - Pas d'analyses interclasses significatives avec les paramètres physico-chimiques testés.
  - 5 probabilités de pression présentent des analyses interclasses significatives Anthropisation, Matières organiques, Urbanisation, Nitrates et Matières azotées.
  - Les analyses de corrélations entre I2M2 et ses métriques et paramètres physico-chimiques et probabilité de pression de l'outil diagnostic montrent :



- Peu de corrélation avec les paramètres physico-chimiques (positive avec la DCO et négative avec NO<sub>3</sub>, Atrazine, Diuron, et Simazine notamment)
- Des relations plus marquées avec les probabilités de l'Outil diagnostique (positive avec les Nitrates et négatives avec MO, MP, Voies communication, Urbanisation, HAP et instabilité Hydrologique. On note peu de lien avec la probabilité pesticide qui pourtant ressort fortement de l'analyse des peuplements.

#### Pour l'HER 9 :

##### 🌿 Pour la matrice des peuplements :

- Une structure typologique globale plus conforme à la théorie, mais fortement dégradée
- Une discrimination par type de cours d'eau et non pas par année.
- La décomposition par type de cours d'eau montre des structures différentes qu'il serait nécessaire de préciser.
- Les analyses interclasses sur micro et macro-polluants montrent que contrairement à l'HER 9A les macro-polluants jouent un rôle plus marqué NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>PO. Dans les pesticides, le DIURON apparaît le plus impactant.

##### 🌿 Pour la matrice composée des indices I2M2 et ses métriques

- La structure de la matrice de l'I2M2 et ses variables est similaire à celle de l'HER 9A avec peu d'éléments physico-chimiques significatifs dans les analyses interclasses. Certaines probabilités de pression de l'outil Diagnostique sont discriminantes (Matières phosphorées, Matière azotées, Matière organiques), mais souvent moins que les analyses physico-chimiques.
- La carte des corrélations entre I2M2 et ses indices et les paramètres physico-chimiques montre des corrélations positives (faibles) entre métriques I2M2 et certains pesticides et des corrélations négatives avec DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>PO, DCO, DIURON et CLFVP

#### Pour l'HER 10 :

##### 🌿 Pour la matrice des peuplements :

- Une structure typologique différente de celles des HER 9A et 9 qui reste à préciser par des analyses plus approfondies

Si l'on considère ces trois HER dans leur globalité, les points qui ressortent sont :

- 🌿 Les analyses sur les matrices des peuplements montrent des différences très nettes entre les HER analysées et notamment sur l'impact des conditions, hydrologiques/ hydrauliques et de façon générale climatiques, sur les cours d'eau de l'HER 9A.
- 🌿 L'HER 9A semble beaucoup plus impactée par les pollutions liées aux biocides alors que sur l'HER 9 l'impact des macropolluants semble plus notable (excepté le DIURON). Une analyse plus poussée des concentrations rencontrées sur les HER 9A et 9 permettrait de comparer les teneurs sur les HER concernées. Il pourrait être alors possible de déterminer si l'impact est lié à des concentrations différentes ou à des polluosensibilités différentes en fonction des HER.
- 🌿 On n'observe pas de différence sur les structures factorielles des matrices I2M2 et métriques associées.

Notons enfin que l'analyse des corrélations entre indices biologiques montre :

- 🌿 En général des relations de corrélation positives entre I2M2 et IBGeq (IBGN)



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- Toutefois si tous les indices biologiques corrèlent avec l'I2M2 sur l'HER 9, c'est moins vrai sur les autres HER (9A, 10, 12B, 9-10, 20) ou en général les autres métriques biologiques (IBD, IBMR, IPR) ne sont pas en corrélation.



## AXE 4 : Analyse des pistes pour le développement d'une méthode d'interprétation de l'indice sur l'HER 9A

### 4.1 Rappels des objectifs de l'Axe 4

L'objectif de cet axe est de voir s'il est possible de développer et mettre en œuvre une méthodologie, sur la base des résultats des axes précédents, permettant d'identifier les pressions sur lesquelles agir pour atteindre le bon état et ce sur l'ensemble des masses d'eau localisées dans les HER 9A, 9 et 10.

Cette méthodologie doit intégrer les enseignements issus des axes précédents relatifs :

- Aux connaissances accumulées, tant via le volet bibliographique que par des éléments de réponses obtenus par les analyses de données (axe 2 et 3), sur les paramètres expliquant les variations entre indices biologiques à l'échelle de l'hydroécorégion étudiée au cours du troisième axe.
- A la méthodologie de traitement et d'analyse des données de l'axe 3.

Cette adaptation du protocole pourra se traduire par la régionalisation / spatialisation des EQR (Ecological Quality Ratio) en fonction des typologies des cours d'eau déterminées.

### 4.2 Présentation de la problématique.

Comme nous avons pu l'évoquer dans l'axe 1 de ce document, l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est une méthode qui est délicate d'interprétation et susceptible de présenter de grandes variabilités en partie liées au calcul des métriques avec :

- Une reconstruction du peuplement qui ne tient pas compte du pourcentage de recouvrement des couples substrat/vitesse,
- Des traits écologiques par taxons qui ne semblent pas pertinents dans le cadre du territoire métropolitain et plus particulièrement sur les HER de l'étude (9A, 9 et 10),
- Une non prise en compte des capacités de développement de chaque taxon pour le calcul des différents scores considérés ce qui marginalise très fortement les taxons peu proliférants et en général de nature plutôt polluosensible.
- Un cadre référentiel qui peut poser problème compte tenu du faible nombre de stations de référence

La correction de ces données de base serait possible, mais cela nécessiterait :

- Une caractérisation des pourcentages de recouvrement des couples substrat vitesse échantillonnés
- Une bancarisation des données par prélèvement unitaire et non plus par bocal
- Une analyse fine des traits écologiques retenus dans certains indices de façon à s'assurer que les valeurs de score correspondent bien aux connaissances écologiques connues de l'espèce dans les hydro systèmes métropolitains.
- Une réflexion approfondie sur la signification réelle de certains traits écologiques comme polyvoltinisme et ovoviviparité et notamment le lien avec des facteurs de pression.



Nul doute que la prise en compte de ces différents éléments appliqués de façon conjointe et sur les opérations de référence et sur les opérations de contrôle permettrait de limiter les incertitudes sur les résultats de l'évaluation I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Toutefois cela supposerait que l'ensemble du processus soit réévalué ce qui conduirait nécessairement à une redéfinition des variables à retenir et une modification des valeurs d'efficacité de discrimination (DE) attachées à chaque pression.

Dans l'état actuel, une modification globale ou partielle de la méthode qui compromettrait l'ensemble du processus du calcul, ne semble pas envisageable.

Toutefois, il serait intéressant, en travaillant sur un échantillon de stations qui auront été parfaitement décrites et échantillonnées de façon à pouvoir reconstituer parfaitement le peuplement, d'analyser la variabilité liée à la méthodologie de calcul des indices.

Ce travail n'a pas pu être engagé dans la présente étude, car les bancarisations des données hydrobiologiques, actuellement faites par « bocal » ne permettent pas un recalcul des variables d'une façon correcte.

#### 4.1. Méthodologie de validation des données envisageables

Le travail envisagé serait alors sur ce jeu de stations témoin :

- D'échantillonner le lot de stations témoin sur les bases du protocole MPCE en accompagnant ce relevé d'une description poussée des paramètres mésologiques et plus particulièrement du recouvrement des couples substrat/vitesse.
- De recalculer les variables utilisées dans l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> notamment pour vérifier la variabilité liée à la non-prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats sur les stations.
- De recalculer la note et les variables de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les stations de « référence » si les données sont disponibles (listes faunistiques pour les 12 prélèvements unitaires et description des pourcentages de recouvrement des couples substrat/vitesse).
- D'analyser les résultats de l'outil diagnostic (OD) dont les résultats semblent mieux correspondre à l'état des peuplements tels qu'ils peuvent être expertisés, de façon à étudier les corrélations entre les métriques de cet indice et les métriques de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> avec ou sans modification de la méthodologie du calcul des métriques.

Le deuxième axe de ce travail consisterait à calculer, sur les peuplements à analyser ou les stations de référence, des métriques caractéristiques du peuplement, mais différentes de celles utilisées dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour permettre de façon statistique et non pas par l'utilisation d'un indice synthétique de caractériser « l'état » du peuplement. Quatre séries d'indices pourraient être ainsi calculées.

- La première série cherchera à caractériser la structure du peuplement à partir de différents indices : Variété taxonomique, Equitabilité, Dominance, % EPT en nombre d'individus.
- La deuxième viserait à caractériser le niveau de polluosensibilité générale du peuplement à partir du calcul des indices suivants : indice trophie (trait du Tachet), indice saprobie (trait Tachet), % EPT en nombre de taxons



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

- 🌿 Le troisième chercherait à caractériser le niveau typologique réel de la station à partir du trait « distribution longitudinale » du Tachet ainsi que le niveau typologique théorique à partir de l'analyse des données mésologiques de l'état actuel ou de l'état potentiel (cours d'eau avant recalibrage...)
- 🌿 Enfin, une caractérisation fine des habitats serait à faire à partir de différents indices variété des substrats, Equitabilité, Dominance, score habitats

Enfin le troisième axe visera à caractériser les différences d'appréciation de l'état entre les deux techniques d'analyse de façon à définir les stations qui pourraient/devraient être expertisées notamment afin de déterminer si les décalages observés peuvent être imputés :

- 🌿 Au mode de calcul des métriques biologiques et notamment à la façon dont les données ont été reconstituées.
- 🌿 Au système référentiel utilisé qui peut être plus ou moins pertinent en fonction du nombre de stations de référence par type de cours d'eau et par HER (Rang 1 ou Rang 2)

La qualité d'une station pourra alors être analysée en comparant les valeurs d'indices en utilisant notamment :

- 🌿 Des représentations graphiques pour qui rendraient possible une comparaison synchronique/diachronique des différentes variables comme on peut le voir ci-dessous :

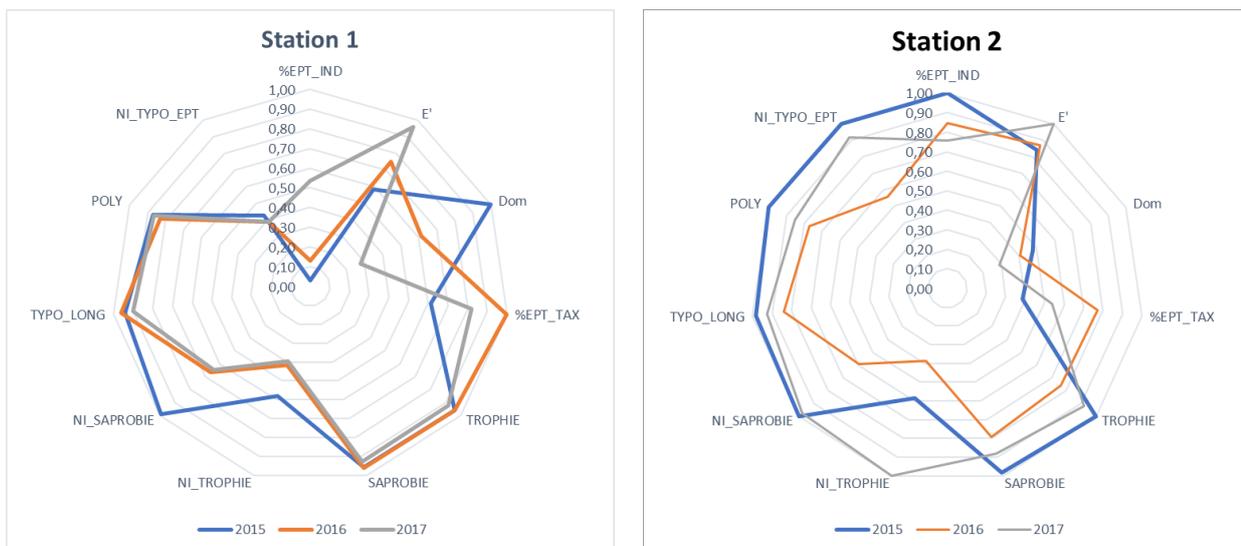


Figure 56 : Valeurs des différentes variables calculées sur deux stations analysées pour les années 2015, 2016 et 2017

- 🌿 Des analyses factorielles qui permettent mieux que par le calcul d'indices synthétiques de rendre compte d'un état par rapport à une référence. Cette méthode présuppose que cet état soit défini par rapport aux valeurs observées en moyennes sur les stations LIRRs pour caler régionalement pour chaque variable les seuils d'altération. L'analyse des structures factorielles pourrait être déduite de la lecture du graphe qui présente une forme linéaire. Un exemple du type de graphique est présenté ci-dessous.

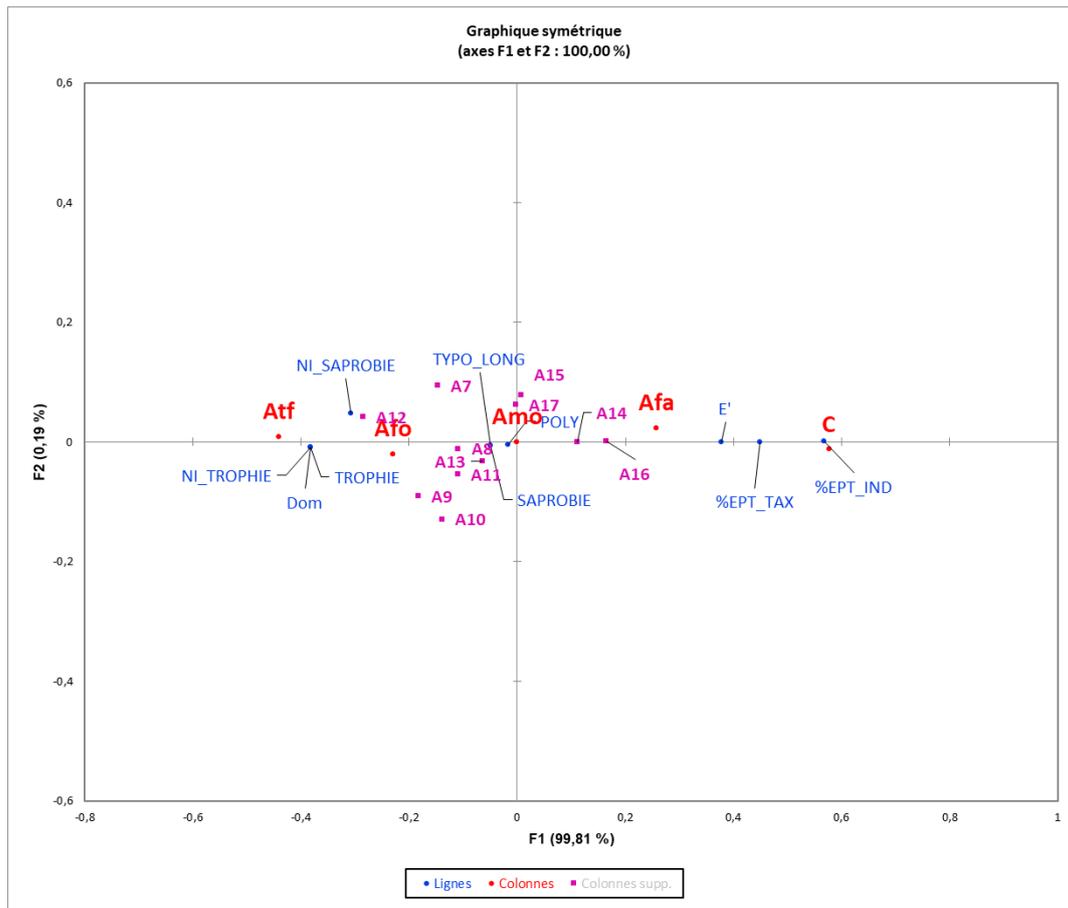


Figure 57 : Exemple de présentation de l'analyse de 10 stations (notées de A1 à A10) dans l'espace de référence des variables (C conforme, Afa altération faible, Amo Altération moyenne, Afo Altération Forte et Atf Altération très forte). Les points stationnel sont projetés en variables supplémentaires.

Il est à noter que la lecture du degré d'altération peut être déduite de la coordonnée stationnelle sur l'axe 1. Cette méthode rendrait possible le traitement des données par lot et donc une analyse rapide.

Un diagramme général méthodologique est présenté pages suivantes.

Les objectifs visés par les différents traitements statistiques sont les suivants :

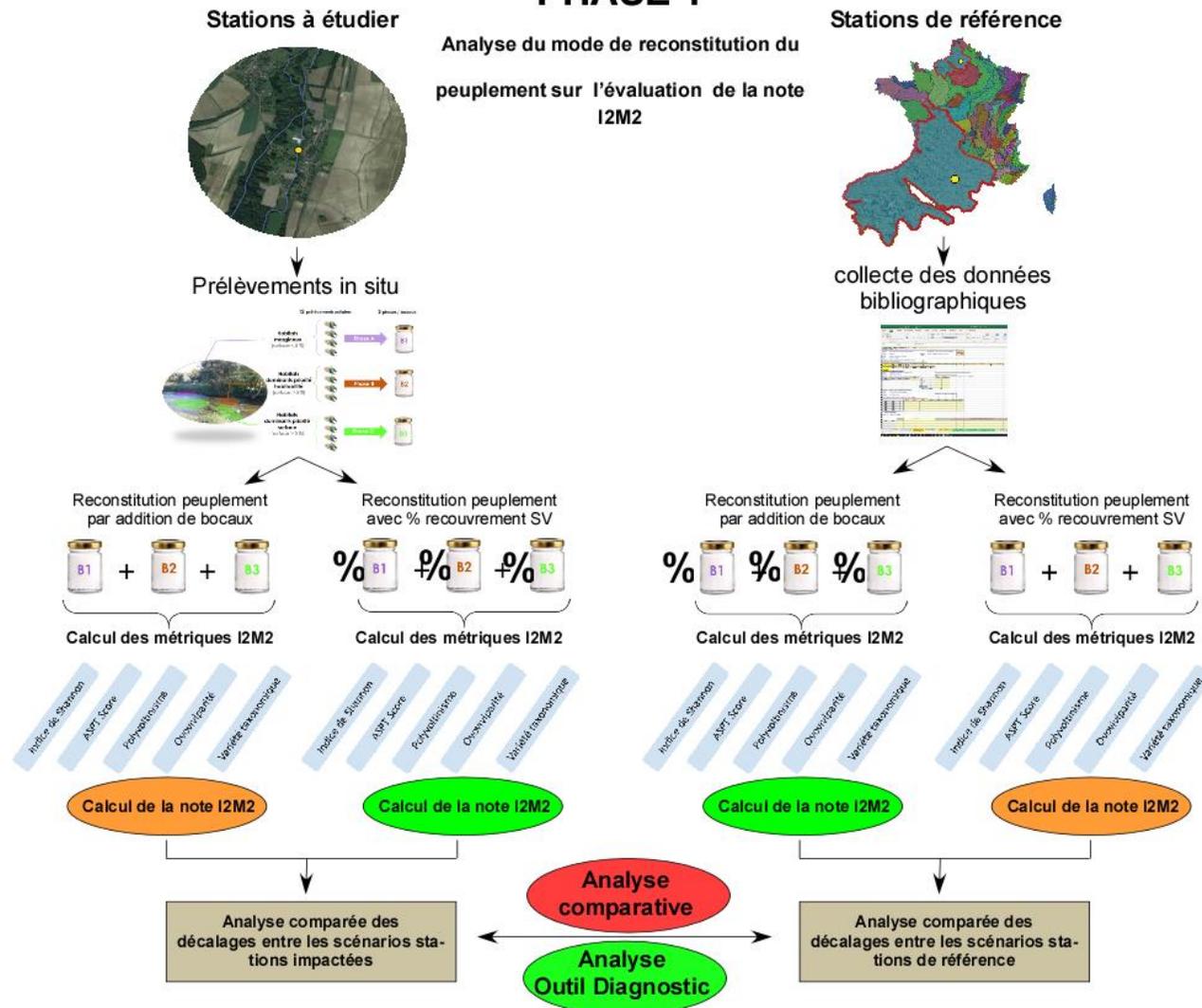
**PHASE 1 :** Analyse de l'impact du mode de reconstruction du peuplement sur l'évaluation de la note I2M2 de l'HER 9A. Cette évaluation devra être menée sur des opérations de contrôle particulières pour lesquelles les données seront bancarisées avec les 12 prélèvements unitaires. Ce travail devra aussi être réalisé sur les opérations de référence. Les métriques de l'indice I2M2 seront recalculées sur cette base ce qui permettra de valider les écarts potentiels liés à la mauvaise reconstruction du peuplement.

**Phase 2 :** Cette phase devra permettre de calculer des variables différentes de celles utilisées dans le cadre de la méthode I2M2. Ces variables doivent permettre à terme de disposer d'un outil d'évaluation basé uniquement sur des caractéristiques des peuplements et des stations pour permettre une comparaison avec l'évaluation globale portée par la méthode I2M2. Les indices seront calculés sur les opérations de contrôle et sur les stations de « référence » pour permettre des comparaisons et valider des références à l'échelle de l'HER 9A.

**PHASE 3 :** Dans cette phase sera effectuée une comparaison des états évaluatifs entre les deux approches. Pour ce qui est de l'I2M2, deux états seront pris en compte ; le premier sur des peuplements non corrigés au pourcentage de recouvrement des états et le deuxième avec des abondances corrigées.



## PHASE 1





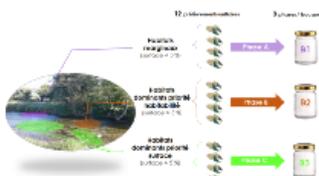
## PHASE 2

Calcul de variables descriptives des l'état du peuplement (structure, polluo sensibilité, biocénotype) et caractérisation du milieu (Typologie, Habitat)  
Validation des références

### Stations à étudier



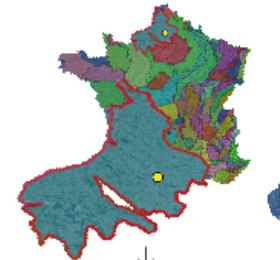
### Prélèvements in situ



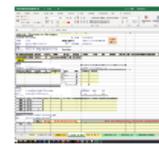
Reconstitution peuplement avec % recouvrement SV



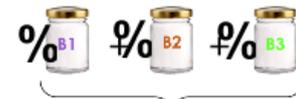
### Stations de référence



### collecte des données bibliographiques



Reconstitution peuplement par addition de bocalux



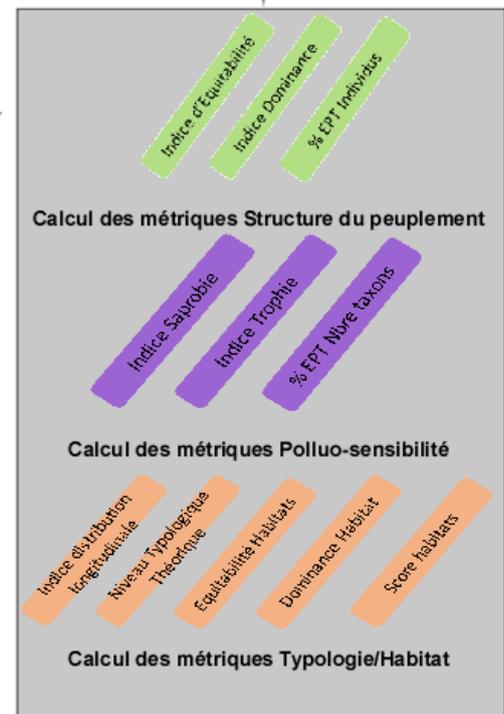
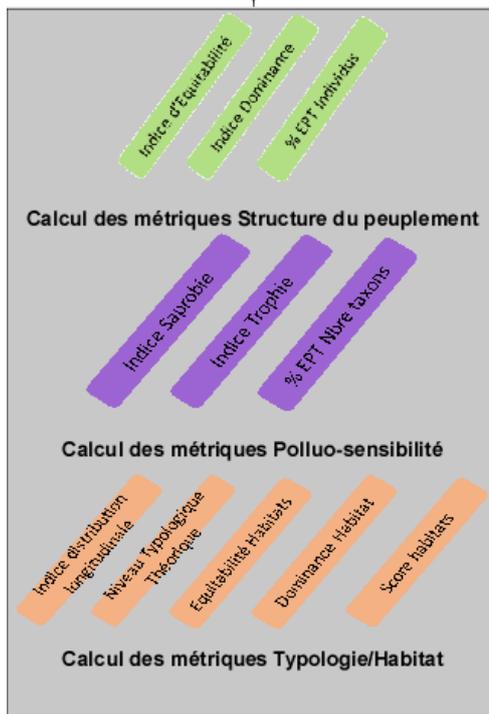
Définition des classes d'abondance taxonomique

### Analyse comparative

### Analyse comparative

### Analyse comparative

### Validation des références



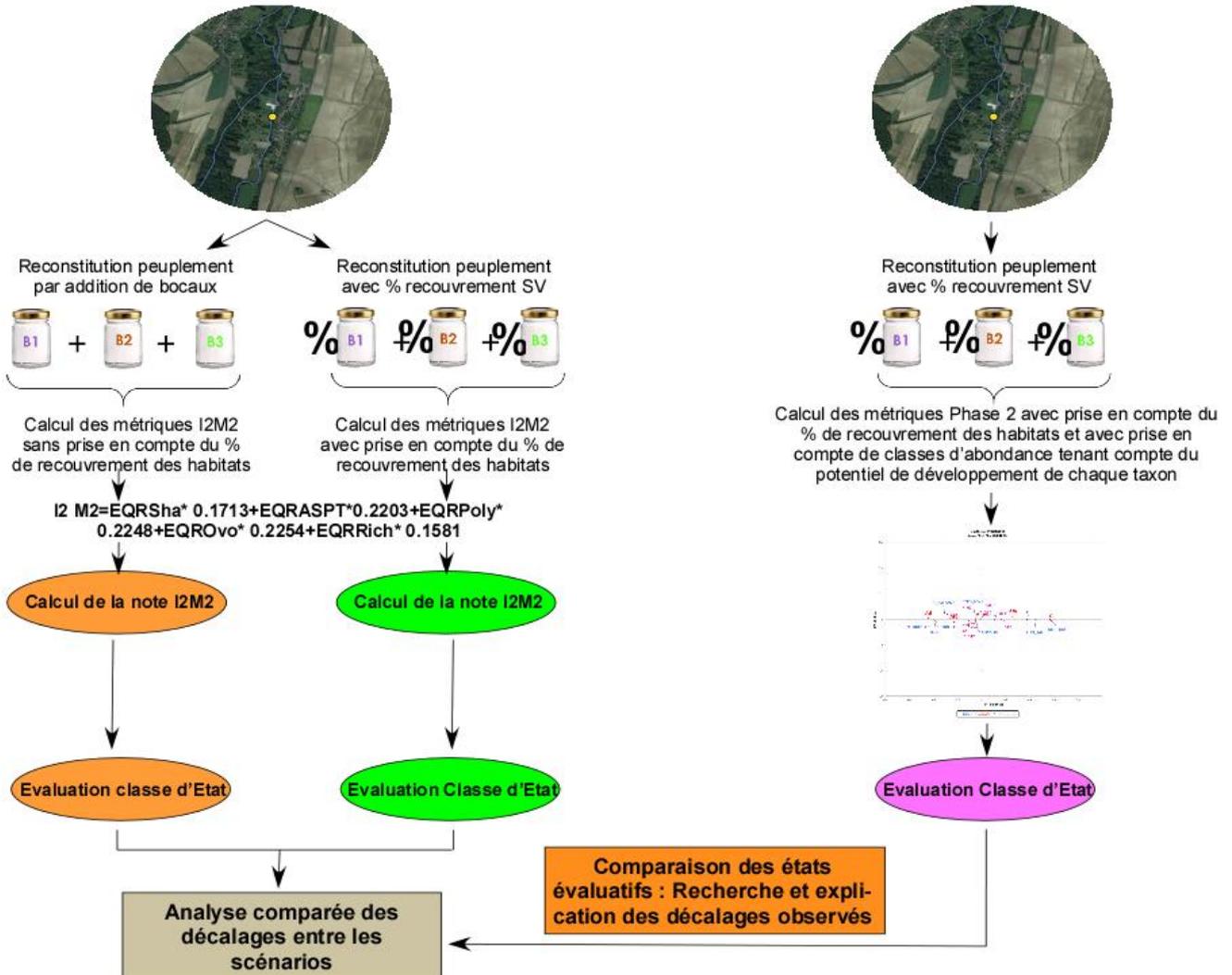


# PHASE 3

Stations à étudier

Analyse comparée des Etats évaluatifs

Stations à étudier





## Conclusion

Les travaux présentés dans le cadre de ce rapport ont permis de mener un travail exploratoire qui a permis, dans un cadre hydroécorégional donné, de préciser les informations apportées par la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour la définition de l'état écologique des masses d'eau.

Les analyses menées sur l'axe 1 ont montré que les méthodes IBGN/IBG-EQ et I2M2 apportent des informations différentes : la première plus en lien avec la qualité des peuplements observés, la deuxième en lien avec les impacts potentiels des pressions sur un milieu donné.

Si la note IBGN/IBG-EQ n'était pas exempte de défauts, il s'avère que l'analyse plus particulière des métriques calculées pour déterminer la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pose aussi question sur un certain nombre de points et plus particulièrement :

- ❧ Le mode de reconstruction du peuplement stationnel par addition des abondances brutes sans correction par rapport au pourcentage de recouvrement des habitats ce qui peut paraître très étonnant puisque la méthode d'échantillonnage MPCE prend en compte ces pourcentages pour structurer l'échantillonnage. Cette non-prise en compte des pourcentages de recouvrement a un impact fort sur les métriques prenant en compte l'abondance (Shannon, Polyvoltinisme et ovoviviparité).
- ❧ Le fait que certains indices ne soient calculés que sur une partie des 12 Prélèvements unitaires (Shannon et BMWP/ASPT score) ce qui n'est pas représentatif du peuplement global. On note aussi que l'indice ASPT est calculé avec un niveau taxonomique de la famille qui, comme cela avait été évoqué pour la méthode IBGN/IBG-EQ, n'est pas suffisant pour rendre réellement compte de la qualité des peuplements.
- ❧ La valeur écologique présupposée d'un certain nombre de taxons ne semble pas correspondre à leur niveau de polluosensibilité réel (BMWP et score et polyvoltinisme et ovoviviparité) ce qui peut être source de mésinterprétation de l'état écologique réel.
- ❧ L'analyse comparée des traits écologiques de taxons constituant des peuplements différents ne peut être conduite que sur la base d'abondances transformées en classes pour ne pas donner plus de poids aux taxons proliférants et souvent présentant une polluosensibilité plus forte qu'aux taxons polluosensibles.

Plusieurs tests menés sur différents relevés présentés à titre d'exemple ont pu démontrer que :

- ❧ La variabilité des métriques biologiques calculées, avec ou sans prise en compte du pourcentage de recouvrement des habitats, peut être de l'ordre de 10 à 20 % pour chaque métrique,
- ❧ La non-prise en compte de ces mêmes pourcentages de recouvrement peut amener à de fortes surestimations ou sous-estimations de la qualité du peuplement en fonction de la position de certaines espèces clés dans la structure habitationnelle de la station. De plus cela rend impossible tout travail de comparaison à une référence qui ne présenterait pas la même structure d'habitat.
- ❧ L'évaluation de la qualité d'un même peuplement diffère d'une HER à une autre en fonction de caractéristiques des peuplements propres à chaque HER. Ainsi, cette différence d'évaluation n'est pas nécessairement en lien avec les pressions qui s'exercent sur ces différents milieux.



Ces analyses posent aussi la question de l'utilisation/intégration de métriques calculées sur des références locales pour le calcul d'indices qui seront par nature très liées au contexte typologique ou habitationnel. Le calcul de la note implique que les références choisies présentent des profils écologiques très proches. Un point qui ne semble pas nécessairement validé, compte tenu du faible nombre de stations de référence sur les HER analysées. De plus les stations de référence n'étant pas décrites dans un document spécifique, il est très difficile d'interpréter les résultats.

Enfin, les probabilités de pression issues de l'Outil Diagnostique semblent dans certains cas apporter une information intéressante au regard de l'état général des milieux. Toutefois il est à noter que les résultats de l'OD ne sont pas régionalisés contrairement à ceux de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Cela implique qu'un même peuplement analysé sur des HER différentes n'aura pas les mêmes notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, mais une même évaluation des probabilités de pression par l'outil diagnostique.

Ce travail a également permis de constater que le caractère complexe de cette méthode (multimétrique et statistique) rend difficile voire impossible une interprétation même pour un hydrobiologiste confirmé et ce d'autant plus qu'en l'état actuel les valeurs des métriques varient fortement en fonction des conditions habitationnelles et non pas en fonction des seules pressions.

Le travail sur l'axe 2 a permis de montrer que, pour de nombreux acteurs, l'évaluation de l'état de la masse d'eau par la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semblait plus conforme à l'évaluation de l'état portée par la note IBG-EQ sur l'HER 9A.

En effet, les acteurs présents lors des visites de sites sont tous unanimes pour confirmer que l'état, déterminé à partir de l'IBG-EQ a tendance à surestimer l'état écologique des cours d'eau sur cette HER.

Toutefois, pour de nombreux acteurs il s'agit d'un état « ressenti » qui ne prend pas nécessairement en compte la connaissance précise des pressions qui s'exercent sur les milieux, du fonctionnement écologique des stations analysées en condition de référence ainsi que du potentiel autoépurateur de chaque milieu.

Les analyses de terrain ont permis de vérifier que les cours d'eau de cette HER présentaient de façon globale des caractéristiques particulières qui justifient un traitement particulier. Les points les plus notables sont :

- 🌿 De fortes relations avec les nappes alluviales ou d'une autre nature ;
- 🌿 Des habitats assez caractéristiques : régime hydraulique soutenu notamment par les apports de nappe, forte dominance des substrats végétaux ou des substrats fins
- 🌿 Recalibrages généralisés, mais avec des cours d'eau qui, contrairement à ce qui est couramment observé sur l'HER 9, des situations typologiques qui restent favorables au maintien de beaucoup de ces cours d'eau dans un contexte salmonicole.
- 🌿 Un contexte multipression plus particulièrement marqué par des apports agricoles (pollution « diffuses » ou apports par ruissellements superficiels), des apports urbains (stations d'épuration, Assainissement Non Collectif) et dans quelques cas des pollutions industrielles.

Les principales différences d'appréciation de la qualité des milieux entre notes IBG-EQ et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont liées aux métriques Ovoviviparité, Polyvoltinisme et dans une moindre mesure à l'ASPT score.

Différentes analyses ont permis de montrer que, sur ces milieux, l'information apportée par certains taxons ovovivipares et polyvoltins comme les Gammaridae semblait contraire aux attendus ; ces taxons contrairement à d'autres comme les Hydrobiidae ne semblant pas être liés à des pressions (forte réserve sur les résultats obtenus puisque la bancarisation par « biocal » n'a pas permis de reconstituer correctement le peuplement.



Toutefois ce point restera à valider par des analyses complémentaires pour caractériser, par contexte hydroécorégional, les liens effectifs entre pressions et taxons (BMW<sub>P</sub>, Polyvoltinisme et ovoviviparité). Cette analyse devrait être conduite à un niveau taxonomique genre / espèce, car il est très vraisemblable que des familles de taxons comme les Gammaridae et Hydrobiidae comportent aussi des espèces de polluosensibilité très différente.

Cette analyse devrait aussi permettre de déterminer si les taxons polluorésistants ne sont caractéristiques que des seuls sites perturbés. Ce point semble essentiel pour pouvoir interpréter correctement les liens entre présence de l'espèce et perturbation.

L'Axe 3 a permis d'analyser les liens entre peuplements et pressions potentielles plus particulièrement sur les HER 9A et 9. Toutefois les peuplements n'ayant pas pu être reconstitués correctement puisque les données ne sont bancarisées que par « bocal » et non par prélèvements unitaires, les résultats produits sont à interpréter avec prudence.

Les analyses produites permettent cependant de comparer les hydroécorégions sur des bases équivalentes. Les principaux points sont les suivants :

- Les structures faunistiques observées entre les HER analysées sont très différentes et présentent toutes des profils typologiques particuliers assez éloignés des profils classiques généralement observés,
- L'HER 9A se différencie des deux autres HER (9 et 10) par un contexte local très influencé par de fortes variations interannuelles certainement sous l'influence des conditions climatiques et donc hydrologiques et hydrauliques.
- Les relations entre peuplements et macro et micropolluants semblent montrer des situations très contrastées entre les HER 9A et 9 : la première semblant plus fortement marquée par l'impact de micropolluants alors que sur la deuxième on peut noter un impact plus fort des macro-polluants.
- Les matrices des peuplements, pour les différentes HER testées, peuvent être aussi expliquées par les métriques de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de l'outil diagnostic, mais l'on a pu noter que les probabilités de pression de l'outil diagnostic sont prises en compte de façon différente entre les HER.
- Les analyses réalisées sur les matrices constituées par la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques n'ont pas permis de montrer de liens avec les pressions analysées ce qui peut être normal puisque chaque métrique biologique a été choisie pour répondre à 7 des 10 pressions physico-chimiques et 5 des 7 pressions morphologiques. Toutefois, des liens différents entre HER, ont pu être montrés avec les probabilités de l'Outil Diagnostic.
- Des analyses de corrélations entre I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques ont pu être esquissées. Elles montrent là aussi des différences hydroécorégionales notables qui restent à confirmer sur la base d'analyse de peuplements valides.

Le travail de l'axe 4 n'a pu être dans la méthode puisque les données disponibles pour le calcul d'indices complémentaires à ceux utilisés dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ne permettrait pas un calcul juste. Il a toutefois été proposé une méthodologie qui aurait pour objet :

- De caractériser finement, par HER, les impacts liés à la méthodologie de reconstruction actuelle du peuplement,
- De proposer une approche complémentaire de celle de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A pour permettre une meilleure expertise de la note (en cas de sur ou sous-estimation de l'évaluation).



## Références bibliographiques

- AFNOR, (2004).** Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). NF T90-350, 15 pp.
- AFNOR, (2009).** Qualité de l'eau – Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes. XP T90-333, 22 pp.
- AFNOR, (2010).** Qualité de l'eau – Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau. XP T90-388, 21 pp.
- Aquascope (2014) :** Étude de l'indice multimétrique (I2M2) en Artois Picardie : 1 rapport Général. Rapport d'étude.
- Aquascope (2014) :** Étude de l'indice multimétrique (I2M2) en Artois Picardie : 2. Recherche de sites de référence. Rapport d'étude.
- Aquascope (2014) :** Étude de l'indice multimétrique (I2M2) en Artois Picardie : 3. Analyse de listes faunistiques. Rapport d'étude.
- Aquascope (2014) :** Étude de l'indice multimétrique (I2M2) en Artois Picardie : Rapport annexes statistiques. Rapport d'étude.
- Armitage P., Moss D., Wright J.F., Furse M.T., (1982) :** The performance of a new biological water quality system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites (1983) *Water Res* Vol 17 N°3 pp333-347.
- Champely, S., D. Chessel, and S. Dolédec. (1993).** ADE : Un logiciel d'analyses multivariées linéaires et de représentations graphiques sur Macintosh(r). in *Communication 133, XXV° Journées de Statistique. SSF & ASU, Vannes.*
- Dolédec, S., and D. Chessel. (1989).** Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique II- Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. *Acta Œcologica, Œcologia Generalis* 10:207-232.
- Dolédec, S., and D. Chessel. (1991).** Recent developments in linear ordination methods for environmental sciences. *Advances in Ecology, India* 1:133-155
- Furse, M.T., Hering, D., Brabec, K., Buffagni, A., Sandin, L., Verdonshot, P.F.M., (2006) :** The Ecological Status of European Rivers : Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods. *Hydrobiologia* Volume 566.
- Mondy C. P., Villeneuve B., Archaimbault V., Usseglio-Polatera P. (2012) :** A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18 (2012) 452–467
- Ofenböck, T., Moog, O., Gerritsen, J., Barbour, M., (2004).** A stressor specific multi-metric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macro-invertebrates. *Hydrobiologia* 516 (1–3), 251–268.
- Usseglio-Polatera P., Larras F., Coulaud R. (2016) :** Bioévaluation des cours d'eau peu profonds basée sur le compartiment des macroinvertébrés benthiques : I2M2 et outil diagnostique. *Livret Guide.*
- Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P., Tachet, H., (2000).** Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? *Hydrobiologia* 422–423, 153–162.
- Verneaux, J., Galmiche P., Almiche, Janier F., & Monnot A., (1982).** Une nouvelle méthode pratique d'évaluation



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

de la qualité des eaux courantes. Un indice de qualité biologique générale (I.B.G.). Ann. Sci. Univ. Besançon, Biol. Anim.. 4e sér. 3: 11-21

**Verneaux, J. & G. Tuffery, (1967).** Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices Biotiques. Annals. Scien. Univ. Besancon (3e Serie, Zoologie) 3: 79-90

**Verneaux J., (1982).** Expression biologique, qualitative et pratique de l'aptitude des cours d'eau au développement de la faune benthique. Un coefficient d'aptitude biogène : le Cb2 Laboratoire d'hydrobiologie et Centre d'étude des Eaux continentales, 250

**Woodiwiss, F. S. (1964).** A biological system to stream classification used by Trent River Board. Chemy. Ind., 11: 443-447.

**Wright, J.F., D. Moss, P.D. Armitage & M.T. Furse, (1984).** A preliminary classification of running-water sites in Great Britain based on macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data. Freshwat. Biol. 14: 221-256.

**Wright, J.F., P.D. Armitage, M.T. Furse & D. Moss, (1988).** A new approach to the biological surveillance of river quality using macroinvertebrates. Verh. Znt. Verein Limnol. 23: 1548-1552



## ANNEXES



## ANNEXE N°1 - Score de polluosensibilité attribué dans le cadre du BMWP Score (Source : Armitage, 1983)

Families	Score
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae Aphelocheiridae Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae.	10
Astacidae Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae Psychomyiidae (+Ecnomidae), Philopotamidae	8
Caenidae Nemouridae Rhyacophilidae (+Glossosomatidae), Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancylidae (+Acroloxidae) Hydroptilidae Unionidae Corophiidae, Gammaridae Platycnemididae, Coenagriidae	6
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Scirtidae, Dryopidae, Elmididae, Chrysomelidae, Curculionidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planariidae (+Dugesidae), Dendrocoelidae	5
Baetidae Sialidae Piscicolidae	4
Valvatidae, Hydrobiidae (+Bithyniidae), Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae Asellidae	3
Chironomidae	2
Oligochaeta (whole class)	1



## ANNEXE N°2 - Protocoles d'échantillonnage utilisés pour déterminer les pourcentages de recouvrement utilisés pour reconstituer les peuplements des relevés R1, R2, R3.

### Protocole P1

Vitesses superficielles (en cm/s)		V	m <sup>2</sup>	% Rec.	MA DOM	V > 75	75 > V > 25	25 > V > 5	V < 5
Supports	Habitabilité	N6				N5	N3	N1	
Bryophytes	11		4 %	MA1		2 %	1 %	1 %	
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	10		16 %	DH1		10 %	3 %	3 %	
Débris organiques grossiers (litières)	9		1.5 %	MA2			0.5 %	1 %	
Chevelus racinaires, supports ligneux	8		2 %	MA3		0.5 %	1 %	0.5 %	
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)	7		34.5 %	DH2, DS3, DS4		25 %	6 %	3.5 %	
Blocs facilement déplaçables (> 250 mm)	6		6 %	DH3		4 %	1 %	1 %	
Granulats grossiers (graviers) (2 à 25 mm).	5		10 %	DH4		2 %	7 %	1 %	
Spermaphytes émergents de strate basse (hélophytes)	4		6 %	DS2			2 %	4 %	
Vases : sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins	3		3 %	MA4			1 %	2 %	
Sables et limons (< 2mm)	2		10 %	DS1			6 %	4 %	
Algues, bactéries, champignons, éponges)	1		4 %	MA		1 %	2 %	1 %	
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, marnes et argiles compactes)	0		3 %	MA	2 %	1 %			
<b>Total superficie</b>				<b>100 %</b>	<b>P : Substrat présent, mais non prélevé</b>				
<b>DOM1 = 5-25% surface ; DOM2 : 25 %-50% surface; DOM3 : &gt; 50% surface</b>									
<b>Substrats marginaux &lt; 5% de la surface de la station</b>					<b>Substrats dominants &gt; 5% de la surface de la station</b>				
<p>La surface totale échantillonnée (<b>B1, B2, B3</b>) représente <b>71.5%</b> de la surface totale de la station</p> <p>Les bocaux <b>B1 et B2</b> représentent <b>52 %</b> de la surface totale de la station</p> <p>Les bocaux <b>B2 et B3</b> représentent <b>65.5 %</b> de la surface totale de la station</p>									



## Protocole P2

Vitesses superficielles (en cm/s)		V	m <sup>2</sup>	% Rec.	MA DOM	V > 75	75 > V > 25	25 > V > 5	V < 5
Supports	Habitabilité	N6				N5	N3	N1	
Bryophytes		11		1 %	MA1		1 %		
Spermaphytes immergés (hydrophytes)		10		10 %	DH1		7 %	2 %	1 %
Débris organiques grossiers (litières)		9		1 %	MA2				1 %
Chevelus racinaires, supports ligneux		8		1 %	MA3			1 %	
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)		7		60 %	DH2, DS3, DS4		53 %	5 %	2 %
Blocs facilement déplaçables (> 250 mm)		6		6 %	DH3		4 %	1 %	1 %
Granulats grossiers (graviers) (2 à 25 mm).		5		7 %	DH4		1 %	5 %	1 %
Spermaphytes émergents de strate basse (hélrophytes)		4		5 %	DS2			2 %	3 %
Vases : sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins		3		1 %	MA4				1 %
Sables et limons (< 2mm)		2		6 %	DS1			4 %	2 %
Algues, bactéries, champignons, éponges)		1		1 %	MA			1 %	
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, marnes et argiles compactes)		0		1 %	MA		1 %		
<b>Total superficie</b>				<b>100 %</b>	<b>P : Substrat présent, mais non prélevé</b>				
<b>DOM1 = 5-25% surface ; DOM2 : 25 %-50% surface; DOM3 : &gt; 50% surface</b>									
<b>Substrats marginaux &lt; 5% de la surface de la station</b>					<b>Substrats dominants &gt; 5% de la surface de la station</b>				
<p>La surface totale échantillonnée (<b>B1, B2, B3</b>) représente <b>87 %</b> de la surface totale de la station</p> <p>Les bords <b>B1 et B2</b> représentent <b>73 %</b> de la surface totale de la station</p> <p>Les bords <b>B2 et B3</b> représentent <b>76 %</b> de la surface totale de la station</p>									



## ANNEXE N°3 - Liste faunistique du peuplement R1 sans pondération des abondances.



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R1  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	OF	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>TRICHOPTERES</b>														<b>428</b>
Goeridae	7		4	5		1		7						17
<i>Silo</i>			4	5		1		7						
Hydropsychidae	3	5	3	35				3		85		155		286
<i>Hydropsyche</i>		5	3	35				3		85		155		
Leptoceridae	4	3	8	5	4			2		3		5		30
<i>Mystacides</i>		3	8	5	4			2		3		5		
Polycentropodidae	4	1		2				2				3		8
<i>Polycentropus</i>		1		2				2				3		
Rhyacophilidae	4	4	8	1	3			1	5			3		25
<i>Rhyacophila</i>		4	8	1	3			1	5			3		
Sericostomatidae	6	10	15		5	12		3	2			15		62
<i>Sericostoma</i>		10	15		5	12		3	2			15		
<b>EPHEMEROPTERES</b>														<b>955</b>
Baetidae	2	5	1	10		3	25			11	75	140	35	305
<i>Baetis</i>		5	1	10		3	25			11	75	140	35	
Caenidae	2			7			1	5		10	85	3	120	231
<i>Caenis</i>				7				5		10	85	3	120	
Ephemerellidae	3		1	12			10		12	55	25	250	54	419
<i>Seratella (Ephemerella)</i>			1	12			10		12	55	25	250	54	
<b>HETEROPTERES</b>														<b>10</b>
Aphelocheiridae	3	3						5				1		9
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>		3						5				1		
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>														<b>53</b>
Elmidae	2		1	16	10			6	10	7				50
<i>Elmis</i>			1	15	10			5	10	4				
<i>Limnius</i>				1				1		3				
Gyrinidae												3		3
<i>Orectochilus</i>												3		
<b>DIPTERES</b>														<b>1270</b>
Chironomidae	1	3	50	75	15	20	15		1	180	350	145	70	924
Simuliidae		65	3	5				48		225				346
<b>ODONATES</b>														<b>18</b>
Calopterygidae								2				7		9
<i>Calopteryx</i>								2				7		
Gomphidae					5	3					1			9
<i>Gomphus</i>					5	3					1			
<b>MEGALOPTERES</b>														<b>3</b>
Sialidae											2		1	3
<i>Sialis</i>											2		1	
<b>AMPHIPODES</b>														<b>1283</b>
Gammaridae	2	10			5	1	120	2	140	270	75	580	80	1283
<i>Echinogammarus</i>		10			5	1	120	2	140	270	75	580	80	
<b>DECAPODES</b>														<b>5</b>
Astacidae												5		5
<i>Pacifastacus</i>												5		
<b>BIVALVES</b>														<b>770</b>
Sphaeriidae	2			30	75		15	15	10		380		245	770
<i>Pisidium</i>				30	75		15	15	10		380		245	
<b>GASTEROPODES</b>														<b>1166</b>
Ancylidae	2					8					3		5	16
<i>Ancylus</i>						8					3		5	
Hydrobiidae	2	25		120	10		15		85	450	85	235	120	1145
<i>Potamopyrgus</i>		25		120	10		15		85	450	85	235	120	
Valvatidae	2			2				3						5
<i>Valvata</i>				2				3						
<b>ACHETES</b>	1													<b>18</b>
Erpobdellidae	1	2							3		10			15
Piscicolidae	1			1					1			1		3
<b>TRICLADES</b>														<b>6</b>
Dendrocoelidae						5				1				6
<b>OLIGOCHETES</b>	1	1		3		1		2	1		4		12	24
<b>Variété (famille)</b>														<b>28</b>
<b>Variété (genre)</b>														<b>29</b>



## ANNEXE N°4 - Liste faunistique du peuplement R1 avec pondération des abondances P1



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R1\_P1  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	GBI	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>256</b>	
Goeridae	7		12	3		1		6						22
<i>Silo</i>			12	3		1		6						
Hydropsychidae	3	6	9	17				3		21			19	75
<i>Hydropsyche</i>		6	9	17				3		21			19	
Leptoceridae	4	4	24	3	4		1			1		1		38
<i>Mystacides</i>		4	24	3	4		1			1		1		
Polycentropodidae	4	2		1			1					1		5
<i>Polycentropus</i>		2		1			1					1		
Rhyacophilidae	4	5	24	1	3		1	4				1		39
<i>Rhyacophila</i>		5	24	1	3		1	4				1		
Sericostomatidae	6	12	45		5	9		3	1			2		77
<i>Sericostoma</i>		12	45		5	9		3	1			2		
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>200</b>	
Baetidae	2	6	3	5		3	12			3	9	17	9	67
<i>Baetis</i>		6	3	5		3	12			3	9	17	9	
Caenidae	2			4			1	4		3	11	1	29	53
<i>Caenis</i>				4			1	4		3	11	1	29	
Ephemereidae	3		3	6			5		6	14	3	30	13	80
<i>Serratella (Ephemereella)</i>			3	6			5		6	14	3	30	13	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>9</b>	
Aphelocheiridae	3	4					3					1		8
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>		4					3					1		
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>													<b>34</b>	
Elmidae	2		3	9	9			5	5	2				33
<i>Elmis</i>			3	8	9			4	5	1				
<i>Limnius</i>				1				1		1				
Gyrinidae												1		1
<i>Orectochilus</i>												1		
<b>DIPTERES</b>													<b>527</b>	
Chironomidae	1	4	150	36	13	15	8		1	44	42	18	17	348
Simuliidae		78	9	3				35		54				179
<b>ODONATES</b>													<b>11</b>	
Calopterygidae							1					1		2
<i>Calopteryx</i>							1					1		
Gomphidae				5	3						1			9
<i>Gomphus</i>				5	3						1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>2</b>	
Sialidae											1		1	2
<i>Sialis</i>											1		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>301</b>	
Gammaridae	2	12			5	1	58	2	59	65	9	70	20	301
<i>Echinogammarus</i>		12			5	1	58	2	59	65	9	70	20	
<b>DECAPODES</b>													<b>1</b>	
Astacidae												1		1
<i>Pacifastacus</i>												1		
<b>BIVALVES</b>													<b>207</b>	
Sphaeriidae	2			15	63		8	11	5		46		59	207
<i>Pisidium</i>				15	63		8	11	5		46		59	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>331</b>	
Ancylidae	2					6					1		2	9
<i>Ancylus</i>						6					1		2	
Hydrobiidae	2	30		58	9		8		36	108	11	29	29	318
<i>Potamopyrgus</i>		30		58	9		8		36	108	11	29	29	
Valvatidae	2			1				3						4
<i>Valvata</i>				1				3						
<b>ACHETES</b>													<b>10</b>	
Erpobdellidae	1	3							2		2			7
Piscicolidae	1			1				1				1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>5</b>	
Dendrocoelidae						4				1				5
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>12</b>	
Variété (famille)	1	2		2		1		2	1		1		3	28
Variété (genre)														29



## ANNEXE N°5 - Liste faunistique du peuplement R1 avec pondération des abondances P2



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R1\_P2  
Date de prélèvement :  
Heure :

ORDRE - Famille - Genre	GFI	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>358</b>	
Goeridae	7		26	3		1		5						35
<i>Silo</i>			26	3		1		5						
Hydropsychidae	3	5	20	17				2		11		19		74
<i>Hydropsyche</i>		5	20	17				2		11		19		
Leptoceridae	4	3	51	3	3		1			1		1		63
<i>Mystacides</i>		3	51	3	3		1			1		1		
Polycentropodidae	4	1		1			1					1		4
<i>Polycentropus</i>		1		1			1					1		
Rhyacophilidae	4	4	51	1	2		1	3				1		63
<i>Rhyacophila</i>		4	51	1	2		1	3				1		
Sericostomatidae	6	9	96		3	6		2	1			2		119
<i>Sericostoma</i>		9	96		3	6		2	1			2		
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>165</b>	
Baetidae	2	5	7	5		2	9			2	9	17	5	61
<i>Baetis</i>		5	7	5		2	9			2	9	17	5	
Caenidae	2			4			1	3		2	11	1	15	37
<i>Caenis</i>				4			1	3		2	11	1	15	
Ephemerellidae	3		7	6			4		3	7	3	30	7	67
<i>Seratella (Ephemerella)</i>			7	6			4		3	7	3	30	7	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>7</b>	
Aphelocheinidae	3	3					2					1		6
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>		3					2					1		
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>													<b>32</b>	
Elmidae	2		7	9	6			4	3	2				31
<i>Elmis</i>			7	8	6			3	3	1				
<i>Limnius</i>				1				1		1				
Gynnidae												1		1
<i>Orectochilus</i>												1		
<b>DIPTERES</b>													<b>608</b>	
Chironomidae	1	3	318	36	9	10	6		1	22	42	18	9	474
Simuliidae		55	20	3				29		27				134
<b>ODONATES</b>													<b>8</b>	
Calopterygidae							1					1		2
<i>Calopteryx</i>							1					1		
Gomphidae				3	2						1			6
<i>Gomphus</i>				3	2						1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>2</b>	
Sialidae											1		1	2
<i>Sialis</i>											1		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>215</b>	
Gammaridae	2	9			3	1	44	2	34	33	9	70	10	215
<i>Echinogammarus</i>		9			3	1	44	2	34	33	9	70	10	
<b>DECAPODES</b>													<b>1</b>	
Astacidae												1		1
<i>Pacifastacus</i>												1		
<b>BIVALVES</b>													<b>154</b>	
Sphaeriidae	2			15	45		6	9	3		46		30	154
<i>Pisidium</i>				15	45		6	9	3		46		30	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>230</b>	
Ancylidae	2					4					1		1	6
<i>Ancylus</i>						4					1		1	
Hydrobiidae	2	21		58	6		6		21	54	11	29	15	221
<i>Potamopyrgus</i>		21		58	6		6		21	54	11	29	15	
Valvatidae	2			1				2						3
<i>Valvata</i>				1				2						
<b>ACHETES</b>													<b>8</b>	
Erpobdellidae	1	2							1		2			5
Piscicolidae	1			1				1	1			1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>4</b>	
Dendrocoelidae						3				1				4
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>10</b>	
Variété (famille)	1	1		2		1		2	1		1		2	28
Variété (genre)														29



## ANNEXE N°6 - Liste faunistique du peuplement R2 sans pondération des abondances.



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R2  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	IC	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>PLECOPTERES</b>													<b>99</b>	
Chloroperliidae	9		8	3		1		7						19
<i>Chloroperla</i>			8	3		1		7						
Nemouridae	6	1	5	10				2		8		3		29
<i>Nemurella</i>		1	5	10				2		8		3		
Perlidae	9	3	8	5	4			2		3		5		30
<i>Perla</i>		3	8	5	4			2		3		5		
Perlodidae	9	3		12				5				1		21
<i>Perlodes</i>		3		12				5				1		
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>373</b>	
Hydropsychidae	3	5	3	35				3		85		155		286
<i>Hydropsyche</i>		5	3	35				3		85		155		
Odontoceridae	8	10	15		5	12		3	2		15			62
<i>Odontocerum</i>		10	15		5	12		3	2		15			
Rhyacophilidae	4	4	8	1	3			1	5		3			25
<i>Rhyacophila</i>		4	8	1	3			1	5		3			
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>530</b>	
Baetidae	2	5	1	10		3	25			11	75	140	35	305
<i>Baetis</i>		5	1	10		3	25			11	75	140	35	
Ephemerellidae	3	12	1	1	14			8		6	14	6	120	195
<i>Seratella (Ephemerella)</i>		12	1	1	14			8		6	14	6	120	13
Leptophlebiidae	7		3								10	5	12	30
<i>Paraleptophlebia</i>			3								10	5	12	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>1</b>	
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>													<b>53</b>	
Elmidae	2		1	16	10			6	10	7				50
<i>Elmis</i>			1	15	10			5	10	4				
<i>Limnius</i>				1				1		3				
Gyrinidae												3		3
<i>Orectochilus</i>												3		
<b>DIPTERES</b>													<b>1223</b>	
Chironomidae	1	3	3	75	15	20	15		1	180	350	145	70	877
Simuliidae		65	3	5				48		225				346
<b>ODONATES</b>													<b>18</b>	
Calopterygidae							2					7		9
<i>Calopteryx</i>							2					7		
Gomphidae				5	3						1			9
<i>Gomphus</i>				5	3						1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>3</b>	
Sialidae											2		1	3
<i>Sialis</i>											2		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>1675</b>	
Gammaridae	2	10	1	12	5	1	130	2	152	325	90	825	122	1675
<i>Gammarus</i>		10	1	12	5	1	130	2	152	325	90	825	122	
<b>ISOPODES</b>													<b>231</b>	
Asellidae	1			7			1	5		10	85	3	120	231
<i>Asellus</i>				7			1	5		10	85	3	120	
<b>DECAPODES</b>													<b>6</b>	
Astaciidae			1									5		6
<i>Austropotamobius</i>			1									5		
<b>BIVALVES</b>													<b>844</b>	
Sphaeriidae	2	1	3	10	15	120		2	8		320		365	844
<i>Pisidium</i>		1	3	10	15	120		2	8		320		365	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>1014</b>	
Ancylidae	2					8					3		5	16
<i>Ancylus</i>						8					3		5	
Hydrobiidae	2	12	2	12	25	10	210	10	3	85	35	564	25	993
<i>Potamopyrgus</i>		12	2	12	25	10	210	10	3	85	35	564	25	
Valvatidae	2			2				3						5
<i>Valvata</i>				2				3						
<b>ACHETES</b>													<b>18</b>	
Erpobdellidae	1	2						3		10				15
Piscicolidae	1			1				1				1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>14</b>	
Planariidae			8			5				1				14
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>24</b>	
Variété (famille)	1	1		3		1		2	1		4		12	24
Variété (genre)														30



## ANNEXE N°7 - Liste faunistique du peuplement R2 avec pondération des abondances P1



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R2\_P1  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	GF	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>PLECOPTERES</b>														<b>111</b>
Chloroperlidae	9		24	2		1		6						33
<i>Chloroperla</i>			24	2		1		6						
Nemouridae	6	2	15	5				1		2		1		26
<i>Nemurella</i>				5				1		2		1		
Perlidae	9	4	24	3	4			1		1		1		38
<i>Perla</i>			24	3	4			1		1		1		
Perlodidae	9	4		6				3				1		14
<i>Perlodes</i>				6				3				1		
<b>TRICHOPTERES</b>														<b>191</b>
Hydropsychidae	3	6	9	17				3		21		19		75
<i>Hydropsyche</i>		6	9	17				3		21		19		
Odontooceridae	8	12	45		5	9		3	1		2			77
<i>Odontocerum</i>		12	45		5	9		3	1		2			
Rhyacophilidae	4	5	24	1	3			1	4		1			39
<i>Rhyacophila</i>		5	24	1	3			1	4		1			
<b>EPHEMEROPTERES</b>														<b>144</b>
Baetidae	2	6	3	5		3	12			3	9	17	9	67
<i>Baetis</i>		6	3	5		3	12			3	9	17	9	
Ephemereidae	3	15	3	1	12			4		3	4	1	15	62
<i>Serratella (Ephemera)</i>		15	3	1	12			4		3	4	1	15	
Leptophlebiidae	7		9								2	1	3	15
<i>Paraleptophlebia</i>			9								2	1	3	
<b>HETEROPTERES</b>												1		<b>1</b>
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>														<b>34</b>
Elmidae	2		3	9	9			5	5	2				33
<i>Elmis</i>			3	8	9			4	5	1				
<i>Limnius</i>				1				1		1				
Gyrinidae												1		1
<i>Orectochilus</i>												1		
<b>DIPTERES</b>														<b>386</b>
Chironomidae	1	4	9	36	13	15	8		1	44	42	18	17	207
<i>Simuliidae</i>		78	9	3				35		54				179
<b>ODONATES</b>														<b>11</b>
Calopterygidae							1					1		2
<i>Calopteryx</i>							1					1		
Gomphidae				5	3						1			9
<i>Gomphus</i>				5	3						1			
<b>MEGALOPTERES</b>														<b>2</b>
Sialidae											1		1	2
<i>Sialis</i>											1		1	
<b>AMPHIPODES</b>														<b>374</b>
Gammaridae	2	12	3	6	5	1	63	2	64	78	11	99	30	374
<i>Gammarus</i>		12	3	6	5	1	63	2	64	78	11	99	30	
<b>ISOPODES</b>														<b>53</b>
Asellidae	1			4			1	4		3	11	1	29	53
<i>Asellus</i>				4			1	4		3	11	1	29	
<b>DECAPODES</b>														<b>4</b>
Asfacidae			3									1		4
<i>Austropotamobius</i>			3									1		
<b>BIVALVES</b>														<b>249</b>
Sphaeriidae	2	2	9	5	13	87		2	4		39		88	249
<i>Pisidium</i>		2	9	5	13	87		2	4		39		88	
<b>GASTEROPODES</b>														<b>280</b>
Ancylidae	2					6					1		2	9
<i>Ancylus</i>						6					1		2	
Hydrobiidae	2	15	6	6	21	8	101	8	2	21	5	68	6	267
<i>Potamopyrgus</i>		15	6	6	21	8	101	8	2	21	5	68	6	
Valvatidae	2			1				3						4
<i>Valvata</i>				1				3						
<b>ACHETES</b>	1													<b>10</b>
Erebodellidae	1	3						2			2			7
<i>Pisicollidae</i>		3						2			2			
<b>TRICLADES</b>														<b>29</b>
Planariidae			24			4				1				29
<b>OLIGOCHETES</b>	1	2		2		1		2	1		1		3	12
Variété (famille)														<b>29</b>
Variété (genre)														<b>30</b>



## ANNEXE N°8 - Liste faunistique du peuplement R2 avec pondération des abondances P2



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R2\_P2  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	GR	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>PLECOPTERES</b>													<b>175</b>	
Chloroperlidae	9		51	2		1		5						59
<i>Chloroperla</i>			51	2		1		5						
Nemouridae	6	1	32	5			1			1		1		41
<i>Nemurella</i>		1	32	5			1			1		1		
Perlidae	9	3	51	3	3		1			1		1		63
<i>Perla</i>		3	51	3	3		1			1		1		
Perlodidae	9	3		6			2						1	12
<i>Perlodes</i>		3		6			2						1	
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>256</b>	
Hydropsychidae	3	5	20	17				2		11			19	74
<i>Hydropsyche</i>		5	20	17				2		11			19	
Odontoceridae	8	9	96		3	6		2	1			2		119
<i>Odontocerum</i>		9	96		3	6		2	1			2		
Rhyacophilidae	4	4	51	1	2		1	3				1		63
<i>Rhyacophila</i>		4	51	1	2		1	3				1		
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>139</b>	
Baetidae	2	5	7	5		2	9			2	9	17	5	61
<i>Baetis</i>		5	7	5		2	9			2	9	17	5	
EphemereIIDae	3	11	7	1	9		3		2	2	1	15	2	53
<i>Seratella (EphemereIIa)</i>		11	7	1	9		3		2	2	1	15	2	
Leptophlebiidae	7		20								2	1	2	25
<i>Paraleptophlebia</i>			20								2	1	2	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>1</b>	
Nepidae													1	1
<i>Nepa</i>													1	
<b>COLEOPTERES</b>													<b>32</b>	
Elmidae	2		7	9	6			4	3	2				31
<i>Elmis</i>			7	8	6			3	3	1				
<i>Limnius</i>				1				1		1				
Gyrinidae													1	1
<i>Oreochilus</i>													1	
<b>DIPTERES</b>													<b>310</b>	
Chironomidae	1	3	20	36	9	10	6		1	22	42	18	9	178
Simuliidae		55	20	3				29		27				134
<b>ODONATES</b>													<b>8</b>	
Calopterygidae							1						1	2
<i>Calopteryx</i>							1						1	
Gomphidae					3	2					1			6
<i>Gomphus</i>					3	2					1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>2</b>	
Sialidae											1		1	2
<i>Sialis</i>											1		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>276</b>	
Gammaridae	2	9	7	6	3	1	47	2	37	39	11	99	15	278
<i>Gammarus</i>		9	7	6	3	1	47	2	37	39	11	99	15	
<b>ISOPODES</b>													<b>37</b>	
Asellidae	1			4			1	3		2	11	1	15	37
<i>Asellus</i>				4			1	3		2	11	1	15	
<b>DECAPODES</b>													<b>8</b>	
Astacidae			7										1	8
<i>Austropotamobius</i>			7										1	
<b>BIVALVES</b>													<b>180</b>	
Sphaeriidae	2	1	20	5	9	58		2	2		39		44	180
<i>Pisidium</i>		1	20	5	9	58		2	2		39		44	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>229</b>	
Ancylidae	2					4					1		1	6
<i>Ancylus</i>						4					1		1	
Hydrobiidae	2	11	13	6	15	5	76	6	1	11	5	68	3	220
<i>Potamopyrgus</i>		11	13	6	15	5	76	6	1	11	5	68	3	
Valvatidae	2			1				2						3
<i>Valvata</i>				1				2						
<b>ACHETES</b>													<b>8</b>	
Erpobdellidae	1	2							1		2			5
Pisicollidae	1			1				1				1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>55</b>	
Planariidae			51			3				1				55
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>10</b>	
Variété (famille)	1	1		2		1		2	1		1		2	29
Variété (genre)														30



## ANNEXE N°9 - Liste faunistique du peuplement R3 sans pondération des abondances.



Cours d'eau :  
 Commune / Dépt :  
 Référence de la station : R3  
 Date de prélèvement :  
 Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	N°	ECHANTILLONS												Effectif	
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4		
<b>PLECOPTERES</b>														<b>34</b>	
Leuctridae	7			12	1			1	5	15					34
<i>Leuctra</i>				12	1			1	5	15					
<b>TRICHOPTERES</b>														<b>198</b>	
Goeridae	7		10	2	25			10	5						52
<i>Silo</i>			10	2	25			10	5						
Hydroptilidae	5	35	24					10					4		73
<i>Hydroptila</i>		35	24					10					4		
Leptoceridae	4	28	5		2			12	4	9		8	5		73
<i>Ceraclea</i>		1	5					1	3	4			1		
<i>Leptocerus</i>		25						10					3		
<i>Mystacides</i>		2			2			1	1	5		8	1		
<b>EPHEMEROPTERES</b>														<b>107</b>	
Ephemerellidae	3	1	24	10	2			15	2	3	12	5	25	1	100
<i>Seratella (Ephemerella)</i>		1	24	10	2			15	2	3	12	5	25	1	
Ephemeridae	6							2					5		7
<i>Ephemerella</i>								2					5		
<b>HETEROPTERES</b>														<b>46</b>	
Aphelocheiridae	3	3	12	5				10			2		14		46
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>		3	12	5				10			2		14		
<b>COLEOPTERES</b>														<b>289</b>	
Elmidae	2	4	17		18	7		19	76		20	81	6		248
<i>Elmis</i>		3	12		8	5		14	75		14	80	5		
<i>Esolus</i>		1	5		10	2		5	1		6	1	1		
Gyrinidae								12			22		5		39
<i>Gyrinus</i>								12			22		5		
Helodidae								1				1			2
<i>Helodes</i>								1				1			
<b>DIPTERES</b>														<b>99</b>	
Athericidae					5			1	5					3	14
Chironomidae	1	1	20	2	1	3	10	1	1	10	14	12	1		76
Tabanidae			1	5										3	9
<b>ODONATES</b>														<b>46</b>	
Calopterygidae		3						15					12		30
<i>Calopteryx</i>		3						15					12		
Gomphidae					2						1		5		8
<i>Onychogomphus</i>					2						1		5		
Platycnemididae		1						5					2		8
<i>Platycnemis</i>		1						5					2		
<b>MEGALOPTERES</b>														<b>15</b>	
Sialidae												12		3	15
<i>Sialis</i>												12		3	
<b>AMPHIPODES</b>														<b>85</b>	
Gammaridae	2	5	35		3			5		10	7	15	5		85
<i>Gammarus</i>		5	35		3			5		10	7	15	5		
<b>GASTEROPODES</b>														<b>196</b>	
Bithyniidae	2		25	1	3			5	5		3		1		43
<i>Bithynia</i>			25	1	3			5	5		3		1		
Hydrobiidae	2	7	30	1	2			7		3		1	5		56
<i>Potamopyrgus</i>		7	30	1	2			7		3		1	5		
Lymnaeidae	2	4									28	15	2		49
<i>Myxas</i>		1									25	10			
<i>Radix</i>		3									3	5	2		
Neritidae	2		1	5	1			1	2						10
<i>Theodoxus</i>			1	5	1			1	2						
Physidae	2							21			10	3			34
<i>Physa</i>								21			10	3			
Valvatidae	2		1		3										4
<i>Valvata</i>			1		3										
<b>ACHETES</b>														<b>3</b>	
Piscicolidae	1		1	2											3
<b>TRICLADES</b>														<b>49</b>	
Dugesidae			1					15	3			25		5	49
<b>Variété (famille)</b>														<b>26</b>	
<b>Variété (genre)</b>														<b>30</b>	



## ANNEXE N°10 - Liste faunistique du peuplement R3 avec pondération des abondances P1



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R3\_P1  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	GFI	ECHANTILLONS												Effectif	
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4		
<b>PLECOPTERES</b>														<b>15</b>	
Leuctridae	7			6	1			1	3	4					15
<i>Leuctra</i>				6	1			1	3	4					
<b>TRICHOPTERES</b>														<b>255</b>	
Goeridae	7		30	1	21			8	3						63
<i>Silo</i>			30	1	21			8	3						
Hydroptilidae	5	42	72					5					1		120
<i>Hydroptila</i>		42	72					5					1		
Leptoceridae	4	35	15		2			7	4	5		1	3		72
<i>Ceraolea</i>		2	15					1	3	2			1		
<i>Leptocerus</i>		30						5					1		
<i>Mystacides</i>		3			2			1	1	3		1	1		
<b>EPHEMEROPTERES</b>														<b>103</b>	
Ephemereidae	3	2	72	5	2			8	2	2	3	1	3	1	101
<i>Seratiella (Ephemereilla)</i>		2	72	5	2			8	2	2	3	1	3	1	
Ephemeridae	6							1					1		2
<i>Ephemer</i>								1					1		
<b>HETEROPTERES</b>														<b>51</b>	
Aphelocheiridae	3	4	36	3				5			1		2		51
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>		4	36	3				5			1		2		
<b>COLEOPTERES</b>														<b>157</b>	
Elmidae	2	6	51		16	6		15	33		3	11	3		144
<i>Elmis</i>		4	36		7	4		11	32		2	10	2		
<i>Esolus</i>		2	15		9	2		4	1		1	1	1		
Gyrinidae								6			3		2		11
<i>Gyrinus</i>								6			3		2		
Helodidae								1					1		2
<i>Helodes</i>								1					1		
<b>DIPTERES</b>														<b>99</b>	
Athericidae					5			1	3					1	10
Chironomidae	1	2	60	1	1	3	5	1	1	3	2	2	1		82
Tabanidae			3	3										1	7
<b>ODONATES</b>														<b>25</b>	
Calopterygidae		4						8					2		14
<i>Calopteryx</i>		4						8					2		
Gomphidae					2						1		2		5
<i>Onychogomphus</i>					2						1		2		
Platycnemididae		2						3					1		6
<i>Platycnemis</i>		2						3					1		
<b>MEGALOPTERES</b>														<b>3</b>	
Sialidae											2		1		3
<i>Sialis</i>											2		1		
<b>AMPHIPODES</b>														<b>126</b>	
Gammaridae	2	6	105		3			4		3	1	2	2		126
<i>Gammarus</i>		6	105		3			4		3	1	2	2		
<b>GASTEROPODES</b>														<b>243</b>	
Bithyniidae	2		75	1	3			4	3		1		1		88
<i>Bithynia</i>			75	1	3			4	3		1		1		
Hydrobiidae	2	9	90	1	2			6		1		1	2		112
<i>Potamopyrgus</i>		9	90	1	2			6		1		1	2		
Lymnaeidae	2	6									4	3	1		14
<i>Myxas</i>		2									3	2			
<i>Radix</i>		4									1	1	1		
Neritidae	2		3	3	1			1	1						9
<i>Theodoxus</i>			3	3	1			1	1						
Physidae	2							11			2	1			14
<i>Physa</i>								11			2	1			
Valvatidae	2		3		3										6
<i>Valvata</i>			3		3										
<b>ACHETES</b>														<b>4</b>	
Pisicolidae	1		3	1											4
<b>TRICLADES</b>														<b>19</b>	
Dugesidae			3					8	3		3		2		19
Variété (famille)															26
Variété (genre)															30



## ANNEXE N°11 - Liste faunistique du peuplement R3 avec pondération des abondances P2



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R3\_P2  
Date de prélèvement :  
Heure :

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	COT	ECHANTILLONS												Effectif	
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4		
<b>PLECOPTERES</b>														<b>12</b>	
Leuctridae	7			6	1			1	2	2					12
<i>Leuctra</i>				6	1			1	2	2					
<b>TRICHOPTERES</b>														<b>350</b>	
Goeridae	7		64	1	15			6	2						88
<i>Silo</i>			64	1	15			6	2						
Hydroptilidae	5	30	153					4					1		188
<i>Hydroptila</i>		30	153					4					1		
Leptoceridae	4	24	32		2			6	3	3		1	3		74
<i>Ceradea</i>		1	32					1	2	1			1		
<i>Leptocerus</i>		21						4					1		
<i>Mystacides</i>		2			2			1	1	2		1	1		
<b>EPHEMEROPTERES</b>														<b>179</b>	
Ephemerellidae	3	1	153	5	2			6	2	1	2	1	3	1	177
<i>Seratiella (Ephemerella)</i>		1	153	5	2			6	2	1	2	1	3	1	
Ephemeridae	6							1					1		2
<i>Ephemerella</i>								1					1		
<b>HETEROPTERES</b>														<b>90</b>	
Aphelocheilidae	3	3	77	3				4			1		2		90
<i>Aphelocheilus aestivalis</i>		3	77	3				4			1		2		
<b>COLEOPTERES</b>														<b>186</b>	
Elmidae	2	4	109		11	4		12	19			3	11	2	175
<i>Elmis</i>		3	77		5	3		9	18			2	10	1	
<i>Esolus</i>		1	32		6	1		3	1			1	1	1	
Gyrinidae								5				3		1	9
<i>Gyrinus</i>								5				3		1	
Helodidae								1					1		2
<i>Helodes</i>								1					1		
<b>DIPTERES</b>														<b>164</b>	
Athericidae					3			1	2					1	7
Chironomidae	1	1	128	1	1	2	4	1	1	2	2	2	2	1	146
<i>Tabanidae</i>			7	3										1	11
<b>ODONATES</b>														<b>19</b>	
Calopterygidae		3						6					2		11
<i>Calopteryx</i>		3						6					2		
Gomphidae					2							1		1	4
<i>Onychogomphus</i>					2							1		1	
Platycnemididae		1						2					1		4
<i>Platycnemis</i>		1						2					1		
<b>MEGALOPTERES</b>														<b>3</b>	
Sialidae												2		1	3
<i>Sialis</i>												2		1	
<b>AMPHIPODES</b>														<b>239</b>	
Gammaridae	2	5	223		2			3		2	1	2	1		239
<i>Gammarus</i>		5	223		2			3		2	1	2	1		
<b>GASTEROPODES</b>														<b>422</b>	
Bithyniidae	2		159	1	2			3	2		1		1		169
<i>Bithynia</i>			159	1	2			3	2		1		1		
Hydrobiidae	2	6	191	1	2			5		1		1	1		208
<i>Potamopyrgus</i>		6	191	1	2			5		1		1	1		
Lymnaeidae	2	4									4	3	1		12
<i>Myxas</i>		1									3	2			
<i>Radix</i>		3									1	1	1		
Neritidae	2		7	3	1			1	1						13
<i>Theodoxus</i>			7	3	1			1	1						
Physidae	2							8			2	1			11
<i>Physa</i>								8			2	1			
Valvatidae	2		7		2										9
<i>Valvata</i>			7		2										
<b>ACHETES</b>														<b>8</b>	
Piscicolidae	1		7	1											8
<b>TRICLADES</b>														<b>19</b>	
Dugesiiidae			7					6	2			3		1	19
<b>Variété (famille)</b>														<b>26</b>	
<b>Variété (genre)</b>														<b>30</b>	



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

## ANNEXE N°12 - tableau des scores BMWP, Polyvoltinisme et Ovoviviparité utilisés pour le calcul de la méthode I2M2

cf. taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP Orig. ml. Score	cf. taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP Orig. ml. Score	cf. taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP Orig. ml. Score	cf. taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP Orig. ml. Score	cf. taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP Orig. ml. Score	
2	Taeniopterygidae	0	0	10	204	Tricholeiostichon	0,5	0	6	318	Setodes	0	0	10	509	Potamanthus	0	0	10	655	Lestes	0,3	0	8	823
3	Brachyptera	0	0	10	206	Philopotamidae	0	0	8	319	Leptocerina	0	0	10	512	Gyrinidae	0	0	5	657	Platycnemis	0	0	6	824
10	Rhabdiopteryx	0	0	10	207	Chimarra	0	0	8	320	Adicella	0	0	10	513	Aulonogyrus	0	0	5	658	Caenagrionidae	0,2	0	6	831
14	Taeniopteryx	0	0	10	209	Philopotamus	0	0	8	321	Sericostoma	0,4	0	10	514	Gyrinus	0	0	5	659	Aeshnidae	0	0	8	836
20	Nemouridae	0	0	7	210	Wormaldia	0	0	8	322	Sericostoma	0,5	0	10	515	Orectochilus	0	0	5	670	Boyeria	0	0	8	837
21	Amphinemura	0	0	7	211	Hydropsychidae	0,4	0	5	323	Notidobia	0,7	0	10	517	Halipilidae	0,8	0	5	672	Brachytron	0	0	8	838
26	Nemoura	0	0	7	212	Hydropsyche	0,5	0	5	327	Beraeidae	0	0	10	518	Halipilus	0,8	0	5	674	Aeshna	0	0	8	841
44	Nemurella	0	0	7	221	Cheumatopsyche	0,4	0	5	328	Beraea	0	0	10	519	Peltodytes	0,8	0	5	675	Anax	0	0	8	843
46	Protoneurina	0	0	7	223	Polycentropodidae	0,6	0	7	329	Beraeodes	0	0	10	520	Bruchius	0,8	0	5	676	Hemianax	0	0	8	844
66	Leuctridae	0	0	10	224	Cyrnus	0,6	0	7	330	Ernodes	0	0	10	523	Hygrobia	0,8	0	5	678	Gomphidae	0	0	8	845
67	Euleuctra	0	0	10	228	Plectrocnemia	0,4	0	7	331	Beraeodina	0	0	10	526	Noterus	0	0	NA	679	Gomphus	0	0	8	846
69	Leuctra	0	0	10	231	Polycentropus	0,3	0	7	333	Beraemyia	0	0	10	527	Dytiscidae	0,4	0	5	680	Ophiogomphus	0	0	8	847
110	Pachyleuctra	0	0	10	235	Holocentropus	0,6	0	7	336	Helicopsyche	0	0	NA	571	Hydrophilidae	0,3	0	5	682	Oncyogomphus	0	0	8	854
115	Capniidae	0	1	10	236	Neureclipsis	1	0	7	339	Odontocerum	0	0	10	599	Limnebius	0,3	0	NA	683	Paragomphus	0	0	8	856
116	Capnia	0	1	10	238	Psychomyiidae	0,8	0	8	342	Calamocerata	0	0	NA	601	Spercheus	0	0	NA	687	Cardulegaster	0	0	8	858
120	Capniopsis	0	1	10	239	Psychomyia	0,8	0	8	344	Molannidae	0	0	10	604	Helophorus	0,3	0	NA	690	Cardulidae	0	0	8	861
122	Capniocnema	0	1	10	241	Lype	1	0	8	345	Molanna	0	0	10	606	Hydrachus	0,3	0	NA	691	Oxygastra	0	0	8	864
127	Perlodidae	0	0	10	245	Timodes	0,6	0	8	346	Molannodes	0	0	10	607	Hydraenidae	0,3	0	NA	693	Somatodrilora	0	0	8	865
128	Arcynopteryx	0	0	10	246	Metalype	1	0	8	350	Siphonurus	0	0	10	608	Hydraena	0,3	0	NA	694	Macromia	0	0	NA	867
130	Besdolus	0	0	10	249	Ecnomus	0,3	0	NA	356	Ameletus	0	0	NA	609	Ochthebius	0,3	0	NA	696	Libellulidae	0	0	8	870
132	Dicthyogenus	0	0	10	251	Phryganeidae	0	0	10	358	Metretetus	0	0	NA	610	Dryopidae	0	0	NA	697	Libellula	0	0	8	872
136	Dura	0	0	10	252	Trichostegia	0	0	10	362	Ametropus	NA	NA	NA	613	Dryops	0	0	5	698	Orthetrum	0	0	8	875
138	Isogenus	0	0	10	254	Agrypnia	0	0	10	363	Baetidae	0,7	0,1	4	614	Elmidae	0	0	5	699	Sympetrum	0,3	0	8	878
140	Isoperla	0	0	10	255	Phryganea	0,3	0	10	364	Baetis	0,6	0	4	615	Potamophilus	0	0	5	704	Sialis	0	0	4	880
150	Perlodes	0	0	10	256	Oligotrichia	0	0	10	383	Centroptilum	1	0	4	617	Stenelmis	0	0	5	709	Corixidae	0,8	0	5	887
155	Perlidae	0	0	10	258	Hagenella	0	0	10	387	Cloeon	0,8	0,6	4	618	Elmis	0	0	5	718	Cymatia	1	0	5	888
156	Dinocras	0	0	10	260	Oligotomis	0	0	10	390	Procladius	0,8	0	4	619	Esolus	0	0	5	719	Micronecta	1	0	5	892
159	Marthamea	0	0	10	262	Brachycentridae	0	0	10	394	Oligoneuriel	0	0	NA	620	Dupophilus	0	0	5	721	Aphelocheirus	0	0	10	902
162	Eoperla	0	0	10	263	Oligopterygidae	0	0	10	397	Isonymphina	0	0	NA	622	Oulimnius	0	0	5	722	Naucoridae	0,3	0	5	906
164	Perla	0	0	10	265	Brachycentrus	0	0	10	399	Heptageniidae	0	0	10	623	Limnius	0	0	5	725	Nepidae	0	0	5	908
169	Chloroperlidae	0	0	10	268	Micrasema	0	0	10	400	Epeorus	0	0	10	624	Normandia	0	0	5	728	Notonectidae	0,1	0	5	918
170	Chloroperla	0	0	10	276	Limnephiliidae	0	0	7	404	Rhithrogena	0	0	10	625	Riolus	0	0	5	733	Plea minutissima	0	0	5	923
174	Siphonoperla	0	0	10	286	Goeridae	0	0	10	421	Ecdyonurus	0	0	10	626	Macronychus	0	0	5	735	Gerris	0,6	0	5	928
178	Xanthoperla	0	0	10	287	Goera	0	0	10	443	Heptagenia	0	0	10	629	Hydroscapha	0,3	0	NA	738	Hebrus	0	0	NA	933
180	Isoptera	0	0	10	289	Lithax	0	0	10	449	Ephemerella	0,1	0	10	632	Eubria	0	0	NA	740	Hydrometra	0,3	0	5	967
183	Rhyacophila	0	0	7	292	Silla	0	0	10	450	Ephemerella	0,3	0	10	634	Scirtidae	0	0	5	742	Mesovella	1	0	5	970
189	Glossosomatidae	0	0	NA	298	Silanelia	0	0	10	456	Caenidae	0,5	0	7	635	Cyphon	0	0	5	743	Velidae	0,4	0	NA	972
190	Glossosoma	0	0	NA	301	Thremma	0	0	NA	457	Caenis	0,8	0	7	636	Elodes	0	0	5	747	Blephariceridae	0,1	0	NA	973
191	Agapetus	0	0	NA	304	Lepidostomatidae	0,1	0	10	468	Brachycentrus	0	0	7	637	Hydrogryhon	0	0	5	753	Tipulae	0,2	0	5	974
192	Synagapetus	0	0	NA	305	Lepidostoma	0,3	0	10	471	Prosigastrum	0	0	NA	639	Microaxa	0	0	5	755	Cylindrotomidae	0,1	0	NA	978
193	Hydroptilidae	1	0	6	307	Lasioccephala	0	0	10	473	Leptophlebi	0	0	10	641	Scirtes	0	0	5	757	Limoniidae	0,3	0	NA	982
194	Ptilocolepus	1	0	6	309	Crunoidea	0	0	10	474	Choroterpes	0,3	0	10	642	Chrysomelidae	0	0	5	783	Psychodidae	0,8	0,2	NA	986
196	Stactobia	1	0	6	310	Leptoeridae	0,1	0	10	476	Thraulius	0	0	10	643	Macroplea	0	0	5	789	Psychopteriidae	0,4	0	NA	989
197	Orthotrichia	1	0	6	311	Athripsodes	0	0	10	478	Leptophlebi	0	0	10	645	Donada	0	0	5	791	Chaobonidae	0,3	0	NA	992
198	Ithytrichia	0	0	6	312	Mystacides	0	0	10	481	Paraleptoph	0	0	10	646	Platemeris	0	0	5	793	Dixidae	0	0	NA	994
199	Oxyethira	1	0	6	313	Ceraeola	0,3	0	10	485	Habrolopeton	0	0	10	647	Curculionidae	0,3	0	5	796	Culicidae	0,5	0	NA	995
200	Hydroptila	1	0	6	314	Trisnoides	0	0	10	491	Habrolopeton	0	0	10	650	Calopteryx	0	0	8	801	Simuliidae	0,6	0	5	996
201	Agayzia	1	0	6	315	Erotasis	0	0	10	496	Ephoron	0	0	NA	653	Lestidae	0,4	0	8	807	Chironomidae	0,5	0,1	2	998
202	Allotridia	1	0	6	317	Decetis	0,3	0	10	502	Ephemera	0	0	10	654	Sympetma	0,7	0	8	819	Ceratopogonidae	0,4	0	NA	999



## ANNEXE N°13 - tableau des coefficients de pondération des métriques biologiques dans la formule I2M2. (valeurs brutes et %)

typo	Shannon	ASPT	olyvoltinism	Ovoviviparité	Richesse	Shannon %	ASPT %	Polyvoltinisme%	Ovoviviparité%	Richesse%
1	0,1945	0,2388	0,2287	0,2254	0,2517	17,08%	20,96%	20,07%	19,79%	22,10%
2	0,1811	0,2423	0,2360	0,2254	0,2012	16,67%	22,31%	21,73%	20,76%	18,53%
3	0,1879	0,2475	0,3181	0,2421	0,2100	15,59%	20,53%	26,39%	20,08%	17,42%
4	0,2037	0,2338	0,2360	0,2254	0,2268	18,09%	20,77%	20,97%	20,02%	20,15%
5	0,3467	0,2869	0,4065	0,2335	2,9407	8,23%	6,81%	9,65%	5,54%	69,78%
6	0,2751	0,2271	0,2439	0,2254	0,5314	18,30%	15,11%	16,23%	15,00%	35,36%
7	0,2038	0,2203	0,2248	0,2254	0,3310	16,91%	18,28%	18,65%	18,70%	27,46%
8	0,1811	0,2310	0,2962	0,2579	0,2098	15,40%	19,64%	25,19%	21,93%	17,84%
9	0,1839	0,2381	0,2558	0,2254	0,2285	16,25%	21,04%	22,60%	19,91%	20,19%
10	0,1860	0,2473	0,2939	0,2514	0,1740	16,14%	21,45%	25,50%	21,81%	15,10%
11	0,2297	0,2437	0,2814	0,2254	0,2028	19,42%	20,60%	23,79%	19,05%	17,14%
12	0,1792	0,2313	0,2523	0,2335	0,1754	16,72%	21,59%	23,55%	21,78%	16,37%
13	0,1713	0,2343	0,2360	0,2254	0,1971	16,10%	22,02%	22,18%	21,18%	18,52%
14	0,2056	0,2406	0,2581	0,2335	0,2451	17,38%	20,34%	21,82%	19,74%	20,72%
15	0,2241	0,2479	0,2999	0,2514	0,2478	17,63%	19,50%	23,59%	19,78%	19,50%
16	0,1967	0,2350	0,2793	0,2403	0,2723	16,08%	19,20%	22,83%	19,64%	22,25%
17	0,1933	0,2209	0,2705	0,2416	0,1797	17,48%	19,97%	24,46%	21,85%	16,24%
18	0,1910	0,2461	0,2439	0,2306	0,2000	17,18%	22,14%	21,94%	20,74%	18,00%
19	0,2181	0,2555	0,2782	0,2254	0,2303	18,06%	21,16%	23,04%	18,67%	19,08%
20	0,2277	0,3311	0,5171	0,3069	0,2126	14,27%	20,75%	32,41%	19,23%	13,32%
21	0,2059	0,2667	0,2814	0,2514	0,2565	16,32%	21,13%	22,30%	19,92%	20,32%
22	0,2173	0,2573	0,2586	0,2335	0,2239	18,25%	21,61%	21,72%	19,61%	18,81%
23	0,2258	0,2616	0,3484	0,2356	0,2233	17,44%	20,20%	26,91%	18,19%	17,25%
24	0,2231	0,3038	0,3484	0,2310	0,2819	16,07%	21,88%	25,10%	16,64%	20,30%
25	0,2002	0,2786	0,2974	0,2254	0,2189	16,40%	22,83%	24,37%	18,47%	17,94%
26	0,2141	0,2779	0,4065	0,2615	0,2100	15,63%	20,28%	29,67%	19,08%	15,33%
27	0,2302	0,2653	0,3326	0,2615	0,2100	17,71%	20,41%	25,59%	20,12%	16,16%
28	0,1848	0,2434	0,2793	0,2254	0,2451	15,69%	20,66%	23,71%	19,13%	20,80%
29	0,2093	0,2634	0,3326	0,2254	0,2116	16,85%	21,20%	26,77%	18,14%	17,03%
30	0,1983	0,2453	0,2595	0,2254	0,1969	17,62%	21,80%	23,06%	20,03%	17,50%
31	0,2008	0,2501	0,2519	0,2254	0,2440	17,13%	21,34%	21,49%	19,23%	20,82%
32	0,1851	0,3332	0,3484	0,3592	0,1581	13,37%	24,07%	25,18%	25,95%	11,42%
33	0,2271	0,2607	0,3861	0,2992	0,2054	16,47%	18,92%	28,01%	21,70%	14,90%
P9-A 34	0,2473	0,3062	0,4193	0,4358	0,2602	14,82%	18,35%	25,13%	26,11%	15,59%
P9 35	0,1843	0,2750	0,3154	0,2944	0,1877	14,66%	21,88%	25,09%	23,43%	14,93%
36	0,1999	0,2984	0,3501	0,3268	0,2052	14,48%	21,61%	25,36%	23,68%	14,86%
37	0,2102	0,3206	0,4736	0,3244	0,1697	14,03%	21,40%	31,61%	21,65%	11,32%
38	0,2421	0,3210	0,3851	0,2724	0,2100	16,92%	22,44%	26,92%	19,04%	14,68%
P10 39	0,2261	0,3083	0,2927	0,2724	0,1688	17,82%	24,31%	23,08%	21,47%	13,31%
40	0,2017	0,2716	0,3296	0,2770	0,2091	15,65%	21,07%	25,57%	21,49%	16,22%
41	0,2366	0,4825	0,3696	0,3113	0,3992	13,15%	26,82%	20,54%	17,30%	22,19%
42	0,2083	0,2296	0,3622	0,2254	0,2111	16,85%	18,57%	29,29%	18,23%	17,07%
43	0,1769	0,2731	0,2927	0,2519	0,1698	15,19%	23,45%	25,14%	21,63%	14,58%
44	0,2014	0,2838	0,2751	0,2553	0,2766	15,58%	21,96%	21,29%	19,76%	21,40%
45	0,1851	0,2535	0,2710	0,2421	0,1800	16,36%	22,40%	23,95%	21,39%	15,91%
46	0,2129	0,3147	0,3087	0,2615	0,2205	16,15%	23,87%	23,42%	19,83%	16,73%
47	0,2419	0,3373	0,4751	0,3757	0,3106	13,90%	19,38%	27,30%	21,58%	17,85%
48	0,2137	0,2499	0,4065	0,3113	0,2113	15,34%	17,95%	29,19%	22,35%	15,17%
49	0,1879	0,2860	0,3181	0,2476	0,2152	14,98%	22,79%	25,35%	19,73%	17,15%
50	0,2150	0,2941	0,3181	0,2335	0,1838	17,27%	23,63%	25,56%	18,76%	14,77%
51	0,2221	0,2815	0,3326	0,2615	0,2328	16,69%	21,16%	25,00%	19,65%	17,50%
52	0,2598	0,3150	0,3326	0,3459	0,2105	17,75%	21,52%	22,72%	23,63%	14,38%
53	0,2288	0,2341	0,2825	0,2254	0,3273	17,63%	18,03%	21,76%	17,36%	25,21%
54	0,2061	0,2855	0,3140	0,2690	0,2322	15,77%	21,85%	24,03%	20,58%	17,77%
55	0,3297	0,7498	0,6227	0,9338	0,4411	10,72%	24,37%	20,24%	30,35%	14,33%
56	0,2002	0,2652	0,2968	0,2615	0,1895	16,50%	21,86%	24,47%	21,55%	15,62%
57	0,1883	0,2946	0,3181	0,2842	0,2464	14,14%	22,12%	23,89%	21,34%	18,50%
58	0,2253	0,2418	0,2766	0,2254	0,3508	17,07%	18,32%	20,96%	17,08%	26,58%
59	0,2093	0,3181	0,3484	0,3113	0,2217	14,86%	22,58%	24,73%	22,10%	15,73%
60	0,2016	0,2757	0,3743	0,3631	0,1937	14,31%	19,58%	26,58%	25,78%	13,75%
61	0,1964	0,2306	0,2814	0,2335	0,1877	17,38%	20,42%	24,91%	20,67%	16,62%
62	0,1795	0,2359	0,2710	0,2254	0,2113	15,98%	21,00%	24,13%	20,07%	18,82%
63	0,1836	0,2349	0,2360	0,2254	0,2100	16,84%	21,55%	21,66%	20,68%	19,27%
64	0,1976	0,2642	0,2875	0,2381	0,1950	16,71%	22,35%	24,32%	20,14%	16,49%
65	0,2877	0,2772	0,3011	0,2254	0,3819	19,53%	18,81%	20,44%	15,30%	25,92%
66	0,2119	0,2374	0,2814	0,2254	0,3074	16,77%	18,79%	22,27%	17,84%	24,33%



## ANNEXE N°14 – Description des variables complémentaires calculées sur les 37 stations présélectionnées

Compartiment	Nom de la Variable	Description de la variable
Type de substrat	<b>Sédiments minéraux fins</b>	<p>Somme des % de recouvrement des substrats suivants par prélèvement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Algues, marne et argile (S27)</li> <li>- Limons (minéral et organique, <math>\varnothing \leq 2,5</math> mm) (S13)</li> <li>- Marnes et argiles (S19)</li> <li>- Sables (strictement minéral, <math>\varnothing \leq 2,5</math> mm) (S12)</li> <li>- Sables et limons (S25)</li> <li>- Sédiments fins <math>\pm</math> organiques (vases" <math>\leq 0,1</math> mm) (S11)</li> </ul>
	<b>Sédiments minéraux grossiers</b>	<p>Somme des % de recouvrement des substrats suivants par prélèvement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulats grossiers (<math>2,5</math> mm <math>&lt; \varnothing &lt; 25</math> mm) (S9)</li> <li>- Blocs (<math>&gt;250</math> mm) inclus dans une matrice d'éléments minéraux de grande taille (25 à 250 mm) (S30)</li> <li>- Cailloux (S22)</li> <li>- Dalles (substrats immergés sans protubérances, à <math>&gt; 250</math> mm) (S15)</li> <li>- Galets et blocs roulés (S8)</li> <li>- Pierres (blocs anguleux, <math>25</math> mm <math>&lt; \varnothing &lt; 250</math> mm)</li> <li>- Roches (substrats immergés avec protubérances, <math>\varnothing &gt; 250</math> mm) (S14)</li> <li>- Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) <math>25</math> mm <math>&lt; \varnothing &lt; 250</math> mm (S24)</li> </ul>
	<b>Substrats végétaux</b>	<p>Somme des % de recouvrement des substrats suivants par prélèvement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bryophytes (S1)</li> <li>- Spermaphytes ou phanérogames émergents (S10)</li> <li>- Spermaphytes ou phanérogames immergés (S2)</li> </ul>
	<b>Débris organiques</b>	<p>Somme des % de recouvrement des substrats suivants par prélèvement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Branchage et racines (S28)</li> <li>- Branchages (S4)</li> <li>- Éléments organiques grossiers (litières, branchages, racines) (S23)</li> <li>- Litières (S3)</li> <li>- Racines (S5)</li> <li>- Troncs (S6)</li> </ul>
	<b>Algues et autres</b>	<p>Somme des % de recouvrement des substrats suivants par prélèvement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Algues (S18)</li> <li>- Bactéries (S20)</li> <li>- Champignons (S21)</li> <li>- Parois (surfaces artificielles verticales, <math>\varnothing &gt; 250</math> mm) (S17)</li> <li>- Sols (surfaces artificielles horizontales, <math>\varnothing &gt; 250</math> mm) (S16)</li> <li>- Substrat artificiel (S32)</li> <li>- Substrat non-déterminé (s)</li> <li>- Surfaces naturelles et artificielles (roches, dalles, sols, parois) blocs <math>\varnothing &gt; 250</math> mm) (S26)</li> </ul>



Compartiment	Nom de la Variable	Description de la variable
		- Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, marnes et argiles compactes) (S29)
Structure du peuplement	% Mollusques	% d'individus faisant partie de la <b>Classe</b> des <b>Mollusques</b> par rapport à l'ensemble du peuplement
	% Crustacés	% d'individus faisant partie de la <b>Classe</b> des <b>Crustacés</b> par rapport à l'ensemble du peuplement
	% Gammaridae	% d'individus faisant partie de la <b>Famille</b> des <b>Gammaridae</b> par rapport à l'ensemble du peuplement
	% Sphaeridae	% d'individus faisant partie de la <b>Famille</b> des <b>Sphaeridae</b> des Mollusques par rapport à l'ensemble du peuplement
	% Hydrobiidae	% d'individus faisant partie de la <b>Famille</b> des <b>Hydrobiidae</b> par rapport à l'ensemble du peuplement
	% Chironomidae	% d'individus faisant partie de la <b>Famille</b> des <b>Chironomidae</b> Mollusques par rapport à l'ensemble du peuplement
Stabilité du régime thermique	Coef_var	Coefficient de variation interannuelle des températures moyennes mensuelles sur la période d'étude.
Indice de variabilité biologique	var_poly	Coefficient de variation de la métrique <b>POLYVOLTINISME</b> de l'I2M2 sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	var_shannon	Coefficient de variation de la métrique indice de diversité de <b>SHANNON</b> de l'I2M2 sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	var_I2M2	Coefficient de variation de l'indice <b>I2M2</b> sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	var_aspt	Coefficient de variation de la métrique <b>ASPT Score</b> de l'I2M2 sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	Var_ovo	Coefficient de variation de la métrique <b>OVOVIVIPARITE</b> de l'I2M2 sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	Var_ibg	Coefficient de variation de l'indice <b>IBG-équivalent</b> sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	Var_ibd	Coefficient de variation de l'indice <b>IBD</b> sur la chronique de données pour chaque prélèvement
	Var_globale	Moyenne de des coefficients de variation de l'ensemble des métriques et indices (POLY, OVO, SHANNON, ASPT, I2M2, IBG, IBD)
Probabilité d'impact de pression (calcul. via le SEEE)	MATIERES ORGANIQUES	Probabilité d'impact reflétant à un risque de <b>contamination organique</b>
	MATIERES PHOSPHOREES	Probabilité d'impact reflétant un risque de <b>pollution phosphorée</b>
	MATIERES AZOTEES	Probabilité d'impact reflétant un risque de <b>pollution azotée</b>
	NITRATES	Probabilité d'impact reflétant un risque de pollution par les <b>nitrites</b>



Compartiment	Nom de la Variable	Description de la variable
	<b>HAP</b>	Probabilité d'impact reflétant un risque de pollution par les <b>Hydro Carbures Polycycliques</b>
	<b>PESTICIDES</b>	Probabilité d'impact reflétant un risque de contamination par les <b>Pesticides</b>
	<b>RIPISYLVE</b>	Probabilité d'impact reflétant un risque de <b>dégradation de la ripisylve</b>
	<b>VOIES_COMMUNICATIONS</b>	Probabilité d'impact reflétant un taux <b>important de voies de communication</b>
	<b>URBANISATION_100M</b>	Probabilité d'impact reflétant un <b>taux d'urbanisation du lit majeur</b>
	<b>RISQUE_COLMATAGE</b>	Probabilité d'impact reflétant un <b>risque potentiel d'érosion des sols.</b>
	<b>INSTABILITE_HYDROLOGIQUE</b>	Probabilité d'impact reflétant un rapport <b>surface agricole irriguée / surface totale du BV.</b>
	<b>ANTHROPISATION_BV</b>	Probabilité d'impact reflétant <b>l'urbanisation</b> du bassin versant, le pourcentage de surface en <b>agriculture intensive</b> et le pourcentage de <b>surfaces naturelles.</b>



## ANNEXE N°15 – Présentation des paramètres physico-chimiques analysés

PARAMETRE_PC	FAMILLE	UTILISATIONS
<b>CHLORPYRIPHOS-ETHYL</b>	<b>organo-phosphorés</b>	insecticide en traitement des parties aériennes des cultures de pommes de terre, vignes, poiriers, pommiers et en traitement des sols dans les bâtiments d'élevage.
<b>ALACHLORE</b>	<b>amides</b>	herbicide (dycotylédones et poacées) en traitement précoce des cultures de maïs et soja ou pendant le repos végétatif à la sortie de l'hiver.
<b>ATRAZINE</b>	<b>triazines</b>	herbicide pour des usages agricoles (maïs, sorgho, vignes, vergers), industriel (SNCF, désherbage des ballasts) et de voiries (collectivités)
<b>DIURON</b>	<b>urées substituées</b>	herbicide en traitement des cultures asperge lentilles, poiriers, pommiers, vignes et en traitement domestique
<b>ENDOSULFAN A/B</b>	<b>organo-chlorés</b>	insecticide, acaricide en traitement des cultures céréalières, crucifères, oléagineuses, fêveroles, pommes de terre, des vergers, cultures légumières (artichaut, asperge, betterave, cornichon, courgette, choux, fraisiers, laitue, melon, navet, pois, radis), rosiers, traitement des sols contre les noctuelles terricoles.
<b>HEXACHLOROENZÈNE</b>	<b>organo-chlorés</b>	fongicide sur les semences de blé, orge, seigle; pesticide; industrie des colorants, pyrotechnique, chimique.
<b>HEXACHLOROCYCLOHEXANE A/B/D/E/G</b>	<b>organo-chlorés</b>	insecticide(G)(inactifs(A,B,D,E)) en traitement au sol des cultures de maïs, betteraves en traitement des semences de céréales, en traitement foliaire des cultures maraîchères, en protection des bois d'œuvres, en traitement antiparasite animal et humain.
<b>ISOPROTURON</b>	<b>urées substituées</b>	herbicide en traitement du blé tendre d'hiver, des poacées fourragères, de la lavande, de l'orges, et du seigle d'hiver.
<b>PENTACHLOROPHÉNOL</b>	<b>organo-chlorés</b>	préservation du bois, imprégnation des fibres et tissus à usage non vestimentaire, traitement des bâtiments historiques
<b>SIMAZINE</b>	<b>triazines</b>	herbicide total des cultures du maïs, fruitières, fruits secs à coque, culture non agricoles.
<b>TRIFLURALINE</b>	<b>dinitroanilines</b>	herbicide contre les poacées annuelles et dicotylédones sur les cultures céréalières, maraîchères, horticoles et destinées à la fabrication d'huiles végétales.
<b>CHLORFENVINPHOS</b>	<b>organo-phosphorés</b>	présente un effet insecticide, et qui appartient à la famille chimique des organophosphorés. Du fait de sa toxicité, son usage est interdit en France et dans la Communauté Européenne à compter du 31 décembre 2007
<b>PENTACHLOROENZÈNE</b>	<b>organo-chlorés</b>	fongicide pour conserver le bois et les textiles



## ANNEXE N°15 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser les peuplements de L'HER 9A (Stations/Dates).

Stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3023000							1	
3076000					1			
3103000			1					
3138390	1	1	1	1	1	1	1	1
3138485	1				1			1
3162240	1	1	1	1	1	1	1	1
3162325	1						1	
3162365	1	1	1	1	1		1	1
3163742							1	
3163750	1	1	1	1	1	1	1	1
3163805							1	
3164330							1	1
3165011							1	
3165200							1	
3172392					1			
3175000	1	1	1	1	1	1	1	1
3175500				1				
3176110				1				
3176220				1				
3176297				1				
3176360				1				
3176745				1			1	
3176850				1				
3176880				1				
3176945	1	1	1	1	1	1	1	1
3178000	1	1	1	1	1	1	1	1
3178348				1				
3178469					1			
3178520	1		1				1	
3178660					1	1	1	1
3178692		1	1					
3178835					1	1	1	1
3178870		1	1					
3179000								1
3179690		1	1					
3179740	1	1	1		1		1	
3180100	1	1	1	1	1	1	1	1
3181000								1
3182000					1			
3182100					1			
3183415							1	1
3183950							1	
3184850							1	
3185620	1	1						
3185950	1	1						
3186325		1	1					
3193000	1	1	1	1	1	1	1	1
3198530	1	1	1	1	1	1	1	1
3198750							1	1
3199200	1	1	1	1	1	1	1	1
3200070	1	1	1	1	1	1	1	1
3200435					1		1	1
3201260	1	1	1	1	1	1	1	1
3201650	1	1	1				1	1
3202250	1	1	1	1	1	1	1	1
3203850								1
3203472			1		1		1	1
3203750							1	
3204000	1	1	1	1	1	1	1	1
3205000	1	1	1	1	1	1	1	1
3206150	1		1	1	1		1	
3206350			1		1		1	
3207020	1	1	1	1	1	1	1	1
3207220							1	
3207235							1	
3207335							1	
3207490							1	
3207610							1	
3207710							1	
3207750	1	1		1			1	1
3207865							1	
3208000	1	1	1	1	1	1	1	1
3208483	1	1		1	1		1	1
3208520			1		1		1	1
3209000	1	1	1	1	1	1	1	1
3209485	1	1		1		1	1	1
3210050			1		1		1	
3211000			1		1	1	1	1
3211430					1			
3211850	1	1						
3212090	1	1	1	1	1	1	1	1
3212150					1			
3213000					1			
3213480					1			
3213505					1			
3213830					1			
3214000	1	1	1	1	1	1	1	1
3214240	1	1	1	1	1	1	1	1
3215000	1	1	1	1	1	1	1	1
3215193				1			1	
3215470		1	1					
3216000	1	1	1	1	1	1	1	1
3216160			1		1			
3216250	1	1	1	1	1	1	1	1
3216310			1					1
3217000	1	1	1	1	1	1	1	1
3217400	1	1	1	1	1	1	1	1
3218070		1						
3218150			1		1		1	
3219000	1	1	1	1	1	1	1	1
3221250						1		
3221500	1	1	1	1	1	1	1	1
3221530						1		
3221625	1					1		
3221700		1	1					
3221795						1	1	
3221860						1	1	
3221876						1		
3222000	1	1	1	1		1	1	
3222135						1		
3222246						1		
3222275	1	1						
3222327		1	1			1		
3222331						1		
3222345						1		
3224407					1	1		
3224975					1			
3224990	1							
3225015	1				1			
3225040					1	1		
3225150	1				1	1		
3231000							1	
3254370						1		



## ANNEXE N°16 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser la matrice I2M2 et ses métriques de L'HER 9A (Stations/dates).

stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3076000					1			
3102000			1					
3138390	1	1	1	1	1	1	1	1
3138485	1							
3162240	1	1	1					
3162325	1							
3162365	1	1	1					
3163750	1	1	1					
3175000	1	1	1					
3176220				1				
3176745				1			1	
3176945	1	1	1	1	1	1	1	1
3178000	1	1	1					
3178469					1			
3178520	1		1					
3178692		1	1					
3178835					1	1	1	1
3178870		1	1					
3179000								1
3179690		1	1					
3179740	1	1	1					
3180100	1	1	1					
3182100					1			
3185620	1	1						
3185950	1	1						
3186325		1	1					
3193000	1	1	1					
3198530	1	1	1	1	1	1	1	1
3199200	1	1	1					
3200070	1	1	1					
3200435			1					
3201260	1	1	1					
3201650	1	1	1					
3202250	1	1	1					
3203050			1					
3203750							1	
3204000	1	1	1	1	1	1	1	1
3205000	1	1	1	1	1	1	1	1
3206150	1		1					
3206350			1					
3207020	1	1	1					
3207750	1	1						
3208000	1	1	1					
3208483	1	1						
3208520			1					
3209000	1	1	1	1	1	1	1	1
3209485	1	1						
3210050			1					
3211000			1					
3211950	1	1						
3212090	1	1	1	1	1	1	1	1
3213000					1			
3213480					1			
3214000	1	1	1					
3214240	1	1	1	1	1	1	1	1
3215000	1	1	1					
3215470		1	1					
3216000	1	1	1	1	1	1	1	1
3216160			1		1			
3216250	1	1	1					
3216310			1					
3217000	1	1	1					
3217400	1	1	1	1	1	1	1	1
3218070		1	1					
3218150			1					
3218221					1			
3219000	1	1	1	1	1	1	1	1
3221500	1	1	1	1	1	1	1	1
3221625	1					1		
3221700		1	1			1		
3221795						1	1	
3222000	1	1	1	1		1	1	
3222135						1		
3222275	1	1						
3222327		1	1					
3224990	1							
3225015	1							
3225040					1	1		
3225150	1							
3231000							1	



## ANNEXE N°17 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser la matrice I2M2 et ses métriques de L'HER 9A (stations/dates).

Stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3076000					1			
3102000			1					
3138390	1	1	1	1	1	1	1	1
3138485	1							
3162240	1	1	1					
3162325	1							
3162365	1	1	1					
3163750	1	1	1					
3175000	1	1	1					
3176220				1				
3176745				1			1	
3176945	1	1	1	1	1	1	1	1
3178000	1	1	1					
3178469					1			
3178520	1		1					
3178692		1	1					
3178835					1	1	1	1
3178870		1	1					
3179000								1
3179690		1	1					
3179740	1	1	1					
3180100	1	1	1					
3182100					1			
3185620	1	1						
3185950	1	1						
3186325		1	1					
3193000	1	1	1					
3198530	1	1	1	1	1	1	1	1
3199200	1	1	1					
3200070	1	1	1					
3200435			1					
3201260	1	1	1					
3201650	1	1	1					
3202250	1	1	1					
3203050			1					
3203750							1	
3204000	1	1	1	1	1	1	1	1
3205000	1	1	1	1	1	1	1	1
3206150	1		1					
3206350			1					
3207020	1	1	1					
3207750	1	1						
3208000	1	1	1					
3208483	1	1						
3208520			1					
3209000	1	1	1	1	1	1	1	1
3209485	1	1						
3210050			1					
3211000			1					
3211950	1	1						
3212090	1	1	1	1	1	1	1	1
3213000					1			
3213480					1			
3214000	1	1	1					
3214240	1	1	1	1	1	1	1	1
3215000	1	1	1					
3215470		1	1					
3216000	1	1	1	1	1	1	1	1
3216160			1		1			
3216250	1	1	1					
3216310			1					
3217000	1	1	1					
3217400	1	1	1	1	1	1	1	1
3218070		1	1					
3218150			1					
3219000	1	1	1	1	1	1	1	1
3221500	1	1	1	1	1	1	1	1
3221625	1					1		
3221700		1	1			1		
3221795						1	1	
3222000	1	1	1	1		1	1	
3222135						1		
3222275	1	1						
3222327		1	1					
3224990	1							
3225015	1							
3225040					1	1		
3225150	1							
3231000							1	



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

# ANNEXE N°17 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les paramètres physico-chimiques testés dans le cadre de l'étude pour l'HER 9A.

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	I2M2	SHA	OVO	ASPT	RIC	POLY	O2_DIS	DBOS	NH4+	NO2-	DCO	NO3-	H2PO	CLPFRPHOS	ALACL	ATRAZINE	DIURON	ENDOS_A	ENDOS_B	6_CLRZ	HCH_A	HCH_B	HCH_D	HCH_G	SIMAZINE	TFURALINE	HCH_E	ISOP	5_CLPNHL	CLFVP	5_CLRZ		
I2M2	1																																
SHA	0,400	1																															
OVO	0,842	0,175	1																														
ASPT	0,832	0,178	0,652	1																													
RIC	0,816	0,413	0,569	0,578	1																												
POLY	0,909	0,265	0,752	0,713	0,735	1																											
O2_DIS	0,089	0,109	0,087	0,018	0,041	0,077	1																										
DBOS	0,063	0,077	0,043	0,077	0,136	0,063	0,076	1																									
NH4+	-0,128	-0,039	-0,097	-0,157	-0,090	-0,078	-0,124	0,386	1																								
NO2-	0,006	0,046	0,045	-0,040	-0,001	0,410	0,559	1	0,295	1																							
DCO	0,199	-0,042	0,191	0,218	0,207	0,192	0,082	0,435	0,182	0,295	1																						
NO3-	-0,274	0,002	-0,162	-0,343	-0,264	-0,256	0,151	-0,122	-0,063	0,035	-0,009	1																					
H2PO	-0,026	-0,012	0,057	-0,071	-0,087	-0,004	0,109	0,222	0,229	0,247	0,185	1																					
CLPFRPHOS	-0,129	-0,165	-0,177	0,001	-0,100	-0,109	-0,251	-0,054	0,094	-0,019	0,102	-0,071	0,168	1																			
ALACL	-0,154	-0,361	-0,308	-0,262	-0,094	-0,152	-0,094	-0,124	0,121	0,105	0,082	0,151	0,053	-0,251	-0,245	-0,182	-0,177	-0,198	-0,222	-0,200	-0,185	-0,201	-0,206	-0,201	-0,227	-0,288	-0,194	0,182	0,174	0,137	0,033		
ATRAZINE	-0,412	-0,176	-0,329	-0,322	-0,335	-0,407	-0,182	-0,143	0,068	0,011	0,017	0,218	0,155	0,522	0,600	1																	
DIURON	-0,242	-0,016	-0,039	-0,103	-0,103	0,031	-0,118	-0,109	-0,101	-0,016	-0,103	-0,103	-0,103	-0,103	-0,103	0,001	1																
ENDOS_A	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	1																
ENDOS_B	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	-0,089	1															
6_CLRZ	0,005	-0,127	0,118	-0,096	-0,101	-0,110	-0,151	-0,193	-0,082	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	1															
HCH_A	0,118	-0,109	-0,101	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	1														
HCH_B	-0,096	-0,109	-0,101	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	1													
HCH_D	-0,096	-0,109	-0,101	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	1												
HCH_G	-0,096	-0,109	-0,101	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	-0,110	1											
SIMAZINE	-0,206	-0,109	-0,097	-0,157	-0,090	-0,078	-0,124	0,386	1	0,559	0,182	-0,063	0,222	0,094	0,121	0,068	0,262	0,063	0,063	0,089	0,047	0,053	0,059	0,065	0,122	0,108	0,113	0,075	-0,129	-0,092	-0,045		
TFURALINE	-0,206	-0,109	-0,097	-0,157	-0,090	-0,078	-0,124	0,386	1	0,559	0,182	-0,063	0,222	0,094	0,121	0,068	0,262	0,063	0,063	0,089	0,047	0,053	0,059	0,065	0,122	0,108	0,113	0,075	-0,129	-0,092	-0,045		
HCH_E	-0,089	-0,103	-0,157	0,013	-0,037	-0,054	-0,198	-0,087	0,063	-0,090	-0,030	-0,126	0,179	0,854	0,638	0,423	0,285	1	1,000	0,745	0,948	0,943	0,975	0,969	0,614	0,735	0,865	0,262	0,095	-0,181	-0,100		
ISOP	-0,089	-0,103	-0,157	0,013	-0,037	-0,054	-0,198	-0,087	0,063	-0,090	-0,030	-0,126	0,179	0,854	0,638	0,423	0,285	1,000	1	0,745	0,948	0,943	0,975	0,969	0,614	0,735	0,865	0,262	0,095	-0,181	-0,100		
5_CLPNHL	0,005	0,031	-0,116	0,074	0,073	0,016	-0,222	-0,031	0,089	-0,006	-0,093	-0,162	0,230	0,654	0,816	0,378	0,568	0,745	0,745	1	0,678	0,701	0,751	0,746	0,539	0,463	0,867	0,549	-0,170	-0,642			
CLFVP	-0,127	-0,138	-0,157	-0,032	-0,066	-0,100	-0,200	-0,103	0,047	-0,059	-0,033	-0,107	0,188	0,777	0,703	0,488	0,378	0,948	0,948	0,948	0,678	1	0,988	0,978	0,976	0,675	0,716	0,820	0,302	0,029	-0,143	-0,185	

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

p-values (Spearman) :

Variables	I2M2	SHA	OVO	ASPT	RIC	POLY	O2_DIS	DBOS	NH4+	NO2-	DCO	NO3-	H2PO	CLPFRPHOS	ALACL	ATRAZINE	DIURON	ENDOS_A	ENDOS_B	6_CLRZ	HCH_A	HCH_B	HCH_D	HCH_G	SIMAZINE	TFURALINE	HCH_E	ISOP	5_CLPNHL	CLFVP	5_CLRZ	
I2M2	0	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,176	0,210	0,052	0,931	0,002	<0,0001	0,693	0,050	0,019	<0,0001	0,000	0,176	0,177	0,143	0,053	0,072	0,125	0,000	0,002	0,145	0,040	0,215	0,271	0,359		
SHA	<0,0001	0	0,008	0,007	<0,0001	<0,0001	0,096	0,244	0,557	0,482	0,521	0,972	0,860	0,012	0,352	0,007	0,810	0,117	0,118	0,644	0,072	0,097	0,125	0,094	0,022	0,003	0,215	0,857	0,893	0,122	0,045	
OVO	<0,0001	0,008	0	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,185	0,508	0,140	0,496	0,004	0,014	0,384	0,007	0,002	<0,0001	<0,0001	0,017	0,017	0,079	0,017	0,023	0,027	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
ASPT	<0,0001	0,007	<0,0001	0	<0,0001	<0,0001	0,184	0,243	0,017	0,540	0,001	<0,0001	0,285	0,986	0,336	<0,0001	0,001	0,841	0,839	0,260	0,629	0,778	0,898	0,898	0,030	0,348	0,817	0,193	0,362	0,217	0,589	
RIC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0	<0,0001	0,532	0,038	0,170	0,621	0,002	<0,0001	0,187	0,130	0,153	<0,0001	0,025	0,570	0,573	0,266	0,316	0,358	0,513	0,463	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084
POLY	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0	0,240	0,339	0,235	0,398	0,003	<0,0001	0,948	0,099	0,021	<0,0001	0,003	0,414	0,414	0,804	0,129	0,154	0,275	0,251	0,000	0,003	0,212	0,812	0,117	0,308	0,527	
O2_DIS	0,176	0,096	0,185	0,794	0,532	0,240	0	0,285	0,060	0,996	0,015	0,022	0,423	0,000	0,006	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	<0,0001	0,042	0,006	0,008	0,037	
DBOS	0,210	0,244	0,508	0,243	0,038	0,339	0,285	0	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,004	0,097	0,416	0,340	0,029	0,054	0,188	0,185	0,635	0,118	0,162	0,201	0,243	0,090	0,218	0,385	0,276	0,733	0,036	0,990	
NH4+	0,052	0,557	0,140	0,017	0,170	0,235	0,060	<0,0001	0	<0,0001	0,006	0,339	0,001	0,154	0,067	0,302	<0,0001															



## ANNEXE N°18 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les probabilités de pression de l'Outil diagnostic pour l'HER 9A.

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	I2M2	POLY	RIC	ASPT	OVO	SHA	NITRATES	MO	RES_PHOSPTIERES	AZOT	COMMUNICANISATION	1LITE	HYDROHROPISATION	RIPISYLVE	PESTICIDES	HAP	
I2M2	1	0,909	0,816	0,832	0,842	0,440	0,389	-0,584	-0,645	-0,698	-0,452	-0,732	-0,665	-0,004	-0,264	-0,101	-0,419
POLY	0,909	1	0,735	0,713	0,752	0,265	0,331	-0,465	-0,466	-0,539	-0,289	-0,624	-0,578	-0,050	-0,255	-0,005	-0,450
RIC	0,816	0,735	1	0,578	0,569	0,413	0,576	-0,569	-0,603	-0,690	-0,524	-0,607	-0,567	0,284	-0,157	0,036	-0,242
ASPT	0,832	0,713	0,578	1	0,652	0,178	0,231	-0,518	-0,636	-0,681	-0,467	-0,695	-0,563	-0,214	-0,278	-0,277	-0,406
OVO	0,842	0,752	0,569	0,652	1	0,175	0,110	-0,513	-0,486	-0,511	-0,238	-0,642	-0,516	-0,107	-0,305	-0,038	-0,378
SHA	0,440	0,265	0,413	0,178	0,175	1	0,394	-0,184	-0,280	-0,291	-0,284	-0,255	-0,434	0,298	0,037	0,026	-0,059
NITRATES	0,389	0,331	0,576	0,231	0,110	0,394	1	-0,534	-0,601	-0,637	-0,756	-0,131	-0,262	0,483	0,083	-0,131	0,258
MO	-0,584	-0,465	-0,569	-0,518	-0,513	-0,184	-0,534	1	0,813	0,837	0,666	0,273	0,375	-0,182	-0,143	0,173	-0,148
MATIERES_Pi	-0,645	-0,466	-0,603	-0,636	-0,486	-0,280	-0,601	0,813	1	0,927	0,858	0,436	0,451	-0,046	-0,028	0,430	-0,026
MATIERES_A	-0,698	-0,539	-0,690	-0,681	-0,511	-0,291	-0,637	0,837	0,927	1	0,839	0,511	0,491	-0,134	0,029	0,305	0,028
VOIES_COMI	-0,452	-0,289	-0,524	-0,467	-0,238	-0,284	-0,756	0,666	0,858	0,839	1	0,334	0,361	-0,267	-0,150	0,350	-0,219
URBANISATI	-0,732	-0,624	-0,607	-0,695	-0,642	-0,255	-0,131	0,273	0,436	0,511	0,334	1	0,620	0,079	0,357	0,012	0,524
INSTABILITE	-0,665	-0,578	-0,567	-0,563	-0,516	-0,434	-0,262	0,375	0,451	0,491	0,361	0,620	1	-0,127	0,052	-0,120	0,380
ANTHROPISA	-0,004	-0,050	0,284	-0,214	-0,107	0,298	0,483	-0,182	-0,046	-0,134	-0,267	0,079	-0,127	1	0,216	0,502	0,365
RIPISYLVE	-0,264	-0,255	-0,157	-0,278	-0,305	0,037	0,083	-0,143	-0,028	0,029	-0,150	0,357	0,052	0,216	1	0,058	0,430
PESTICIDES	-0,101	-0,005	0,036	-0,277	-0,038	0,026	-0,131	0,173	0,430	0,305	0,350	0,012	-0,120	0,502	0,058	1	-0,056
HAP	-0,419	-0,450	-0,242	-0,406	-0,378	-0,059	0,258	-0,148	-0,026	0,028	-0,219	0,524	0,380	0,365	0,430	-0,056	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

p-values (Spearman) :

Variables	I2M2	POLY	RIC	ASPT	OVO	SHA	NITRATES	MO	RES_PHOSPTIERES	AZOT	COMMUNICANISATION	1LITE	HYDROHROPISATION	RIPISYLVE	PESTICIDES	HAP		
I2M2	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,957	< 0,0001	0,124	< 0,0001	
POLY	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,450	< 0,0001	0,940	< 0,0001	
RIC	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,017	0,586	0,000	
ASPT	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	0,007	0,000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	
OVO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	0,008	0,095	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,104	< 0,0001	0,561	< 0,0001
SHA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,007	0,008	0	< 0,0001	0,005	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,570	0,688	0,369	
NITRATES	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,000	0,095	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,047	< 0,0001	< 0,0001	0,207	0,047	< 0,0001	
MO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,005	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,005	0,030	0,008	0,025	
MATIERES_Pi	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,490	0,671	< 0,0001	0,697	
MATIERES_A	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,041	0,659	< 0,0001	0,672	
VOIES_COMI	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,022	< 0,0001	0,001	
URBANISATI	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,047	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	0,230	< 0,0001	0,857	< 0,0001	
INSTABILITE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	0,053	0,426	0,068	< 0,0001	
ANTHROPISA	0,957	0,450	< 0,0001	0,001	0,104	< 0,0001	< 0,0001	0,005	0,490	0,041	< 0,0001	0,230	0,053	0	0,001	< 0,0001	< 0,0001	
RIPISYLVE	< 0,0001	< 0,0001	0,017	< 0,0001	< 0,0001	0,570	0,207	0,030	0,671	0,659	0,022	< 0,0001	0,426	0,001	0	0,379	< 0,0001	
PESTICIDES	0,124	0,940	0,586	< 0,0001	0,561	0,688	0,047	0,008	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,857	0,068	< 0,0001	0,379	0	0,392	
HAP	< 0,0001	< 0,0001	0,000	< 0,0001	< 0,0001	0,369	< 0,0001	0,025	0,697	0,672	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,392	0	





## ANNEXE N°20 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser la matrice I2M2 et ses métriques de L'HER 9 (Stations/Dates).

stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3004349	1	1	1						3112480	1	1	1						3068560							1	1
3005200	1								3112565	1	1	1						3068800							1	1
3006000	1	1	1						3112710	1	1	1						3068950	1		1					
3008267	1	1	1						3112805	1	1	1						3069000	1	1	1	1	1	1	1	1
3008505	1	1	1						3113040	1	1	1						3069325								1
3011175			1						3113140				1	1				3070440	1		1		1			
3011300	1	1	1					1	3113179				1	1				3071080	1	1	1	1	1	1	1	1
3011620	1	1							3113218	1								3071550	1	1	1					
3011740						1	1		3113248						1	1		3071770	1	1				1	1	
3011760						1	1		3113280									3072200	1							1
3011780								1	3113295						1	1		3073000	1	1	1	1	1	1	1	1
3011840	1	1	1						3113310						1	1		3074214								1
3012100	1	1	1						3113340						1	1		3074800								1
3012355				1					3113546						1	1		3075000	1	1		1	1	1	1	1
3012380						1	1		3113610			1	1					3075379								1
3012680					1				3113653									3075400	1	1	1				1	1
3013290		1	1						3113895									3075860	1	1	1					1
3013300	1	1	1						3114000	1	1	1						3075890								1
3013345		1	1						3114145	1								3076000	1	1	1	1	1	1	1	1
3013372								1	3114386		1							3076002								1
3013550						1			3114395									3076047								1
3013615				1					3114735		1							3076148	1		1		1			1
3013660	1	1	1	1	1	1	1	1	3115000	1	1	1						3076443								1
3013705						1	1		3115060		1							3076493								1
3013740						1	1		3115095		1							3077000	1	1	1				1	1
3014000	1	1	1	1	1	1	1	1	3115490			1						3077596								1
3017900	1	1	1						3115616	1								3077645		1	1					1
3018342	1	1	1						3115770			1						3077910								1
3018652				1					3115840									3078110		1	1	1	1	1	1	1
3018951	1	1	1						3115860	1	1	1						3078510	1	1						1
3019795				1					3115915			1						3078600	1	1						1
3020000				1					3115955			1						3078630							1	
3020145	1	1	1						3115990			1						3078832								1
3020650	1	1	1						3116192					1				3079270			1					
3021000	1	1	1						3116260									3079622	1	1	1	1	1	1	1	1
3022445	1	1	1						3116600									3079850	1	1	1	1	1	1	1	1
3022718				1					3116720	1	1	1						3079994								1
3023000	1	1	1						3117138									3080025		1	1					
3028000				1					3117310	1		1						3080660	1	1						
3029000	1	1	1						3117565									3081000		1	1					
3029290				1					3117800									3082000	1	1	1	1	1	1	1	1
3029530	1	1	1						3118000	1	1							3082719	1							
3030457				1					3118270							1		3082781						1		
3032000	1	1	1						3118300	1	1							3083125								1
3036070	1	1	1						3119560									3083450	1		1					
3037650	1	1	1						3119590		1	1						3084470	1	1	1	1	1	1	1	1
3038385				1					3119670									3085000	1	1						
3038700	1	1	1						3120000									3088890		1						
3039000	1	1	1						3120685	1								3089225			1					
3041247	1	1	1						3120800	1		1						3090050		1						
3041348				1					3122008	1	1	1	1	1	1	1		3090413								
3041600	1	1	1						3122999	1		1						3090470	1	1	1					1
3042820	1	1	1						3125000	1	1	1	1	1	1	1		3090500		1						
3043450	1	1	1						3125500	1								3090689								1
3044170	1	1	1						3125925	1		1						3090780								1
3044580	1	1	1						3126055	1	1	1	1	1	1			3090904								1
3046200	1	1			1	1			3126088			1						3091000	1	1	1					
3047445	1	1	1	1	1	1	1	1	3127001									3092356		1						1
3047627							1		3127235							1	1	3092500								1
3047680				1	1				3127370		1	1	1	1	1	1		3096000	1							
3047685							1	1	3127550	1		1						3096125	1							
3047740									3128000									3096255	1							
3048000	1	1	1	1	1	1	1	1	3128270			1						3096310	1							
3049850									3128745	1								3096400	1							
3050000	1	1	1	1	1	1	1	1	3128837									3096583								1
3050200				1					3128935	1	1	1						3096650	1	1	1					
3050520				1					3129200	1		1						3096690	1	1	1					
3051120								1	3130270									3096706	1							1
3051395									3130490		1	1	1					3097020								1
3051490				1	1				3131000		1	1	1					3097150				1				
3051500	1	1	1	1	1	1	1	1	3131800									3097235			1					1
3051520							1	1	3132000	1								3098000	1	1	1					
3051580									3132827	1								3101740								
3051590	1	1	1						3132976	1	1	1						3102000	1	1	1					1
3052245	1	1	1						3133000	1	1	1						3102920								
3052338				1	1				3133474	1								3103370	1	1	1					
3053000	1	1	1						3133850	1	1	1						3103440								1
3053310	1	1	1						3133937	1	1	1						3103490			1					
3054000	1	1	1																							



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

# ANNEXE N°21 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les paramètres physico-chimiques testés dans le cadre de l'étude pour l'HER 9A.

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	I2M2	SHA	OVO	ASPT	RIC	POLY	DBOS	NH4+	NO2-	H2PO	DCO	CLPYRPHOS	ATRAZINE	DIURON	ALACL	ENDOS_A	ENDOS_B	6_CLBZ	HCH_A	HCH_B	HCH_D	HCH_G	S_CLPHNL	ISOP	HCH_E	SIMAZINE	TFURALINE	CLFVP	S_CLBZ	O2_DIS	NO3-
I2M2	1	0.751	0.861	0.885	-0.221	-0.408	-0.453	-0.318	-0.169	0.282	0.015	-0.305	-0.025	0.232	0.290	0.036	0.069	0.152	0.105	0.214	-0.030	0.209	-0.124	0.040	-0.195	0.109	-0.007	-0.053			
SHA	0.751	1	0.523	0.569	0.657	0.601	-0.056	-0.200	-0.232	-0.150	-0.072	0.196	0.036	-0.419	0.011	0.139	0.151	0.213	0.008	0.052	0.104	0.084	0.124	0.028	0.136	-0.047	0.049	-0.133	0.073	-0.023	-0.089
OVO	0.861	0.523	1	0.714	0.642	0.740	-0.241	-0.357	-0.387	-0.282	-0.167	0.256	0.054	-0.270	-0.013	0.224	0.224	0.264	0.058	0.075	0.153	0.117	0.199	-0.051	0.196	-0.090	0.023	-0.187	0.081	-0.023	-0.003
ASPT	0.885	0.569	0.714	1	0.739	0.729	-0.256	-0.461	-0.506	-0.344	-0.178	0.213	-0.050	-0.343	-0.061	0.214	0.220	0.283	0.053	0.065	0.134	0.076	0.254	-0.060	0.160	-0.187	-0.038	-0.186	0.055	-0.016	-0.039
RIC	0.863	0.657	0.642	0.739	1	0.748	-0.138	-0.320	-0.356	-0.263	-0.118	0.268	0.063	-0.253	0.019	0.221	0.229	0.261	0.053	0.088	0.166	0.130	0.189	0.025	0.214	-0.066	0.078	-0.162	0.118	0.009	-0.031
POLY	0.903	0.601	0.740	0.729	0.748	1	-0.199	-0.358	-0.397	-0.289	-0.172	0.274	0.008	-0.266	-0.030	0.179	0.183	0.236	0.001	0.039	0.116	0.072	0.152	-0.029	0.195	-0.104	0.064	-0.177	0.121	-0.004	-0.055
DBOS	-0.221	-0.056	-0.241	-0.256	-0.138	-0.199	1	0.496	0.470	0.445	0.520	0.028	-0.042	0.293	-0.006	-0.097	-0.091	-0.070	-0.094	-0.060	-0.069	-0.022	-0.114	0.155	0.036	0.071	0.075	0.046	0.053	0.136	-0.136
NH4+	-0.408	-0.200	-0.357	-0.461	-0.320	-0.358	0.496	1	0.691	0.554	0.308	0.065	0.041	0.431	0.109	-0.030	-0.040	-0.059	-0.039	0.004	0.018	0.083	-0.158	0.175	0.097	0.218	0.191	0.072	0.104	0.071	-0.123
NO2-	-0.453	-0.232	-0.387	-0.506	-0.356	-0.397	0.470	0.691	1	0.674	0.364	-0.057	0.097	0.458	0.109	-0.092	-0.098	-0.136	-0.035	-0.004	-0.028	0.044	-0.173	0.192	-0.032	0.245	0.156	0.167	0.062	0.097	0.025
H2PO	-0.318	-0.150	-0.282	-0.344	-0.263	-0.289	0.445	0.554	0.674	1	0.376	-0.014	0.060	0.382	0.009	-0.121	-0.120	-0.111	-0.106	-0.061	-0.076	-0.001	-0.147	0.183	-0.037	0.116	0.095	0.087	0.061	0.136	-0.029
DCO	-0.169	-0.072	-0.167	-0.178	-0.118	-0.172	0.520	0.308	0.364	0.376	1	0.065	-0.105	0.147	-0.072	-0.147	-0.148	-0.131	-0.186	-0.129	-0.141	-0.093	-0.144	0.099	-0.043	0.075	0.169	0.192	0.103	-0.250	
CLPYRPHOS	0.282	0.196	0.256	0.213	0.268	0.274	0.008	0.065	-0.057	-0.014	0.065	1	0.236	-0.049	0.011	0.240	0.239	0.235	-0.186	-0.083	0.163	0.217	-0.161	0.073	0.094	0.184	0.652	-0.349	0.679	-0.019	0.023
ATRAZINE	0.015	0.036	0.054	-0.050	0.063	0.008	-0.042	0.041	0.097	0.060	-0.105	0.236	1	0.156	0.361	0.247	0.234	0.176	0.205	0.231	0.289	0.311	-0.063	0.218	0.350	0.410	-0.103	0.071	-0.066	0.368	
DIURON	-0.305	-0.119	-0.270	-0.343	-0.213	-0.266	0.293	0.421	0.458	0.382	0.147	-0.049	0.156	1	0.518	0.235	0.210	0.226	0.258	0.366	0.238	0.388	-0.016	0.312	0.191	0.487	0.221	0.126	-0.067	0.659	-0.070
ALACL	-0.025	-0.011	-0.013	-0.061	0.019	-0.030	-0.006	0.109	0.109	0.009	-0.072	0.011	0.361	0.518	1	0.654	0.653	0.603	0.727	0.829	0.794	0.768	0.223	0.411	0.480	0.731	0.329	0.072	-0.186	-0.065	0.008
ENDOS_A	0.225	0.139	0.224	0.214	0.221	0.179	-0.097	-0.038	-0.092	-0.121	-0.147	0.240	0.247	0.205	0.654	1	0.977	0.899	0.848	0.870	0.946	0.890	0.750	0.213	0.643	0.255	0.087	-0.159	-0.048	0.081	
ENDOS_B	0.232	0.151	0.224	0.220	0.229	0.183	-0.091	-0.040	-0.098	-0.120	-0.148	0.239	0.234	0.210	0.653	0.977	1	0.901	0.842	0.866	0.942	0.886	0.746	0.226	0.637	0.252	0.086	-0.160	-0.113	-0.037	0.065
6_CLBZ	0.290	0.213	0.264	0.283	0.261	0.236	-0.070	-0.036	-0.136	-0.111	-0.131	0.235	0.176	0.226	0.603	0.899	0.901	1	0.735	0.781	0.869	0.815	0.700	0.257	0.633	0.162	-0.020	-0.332	-0.229	-0.036	0.059
HCH_A	0.036	0.008	0.058	0.053	0.053	0.001	-0.094	-0.039	-0.035	-0.106	-0.186	0.205	0.258	0.727	0.848	0.842	0.735	1	0.919	0.891	0.814	0.701	0.224	0.393	0.238	-0.195	-0.098	-0.482	-0.078	0.073	
HCH_B	0.069	0.052	0.075	0.065	0.088	0.039	-0.060	0.004	-0.004	-0.061	-0.129	-0.083	0.231	0.366	0.829	0.870	0.866	0.781	0.919	1	0.934	0.885	0.677	0.365	0.441	0.426	0.050	0.083	-0.274	-0.021	0.035
HCH_D	0.152	0.104	0.153	0.134	0.166	0.116	-0.069	0.018	-0.028	-0.076	-0.141	0.163	0.289	0.328	0.794	0.946	0.942	0.869	0.891	0.934	1	0.934	0.661	0.288	0.642	0.393	0.122	-0.117	-0.181	-0.060	0.064
HCH_G	0.105	0.084	0.117	0.076	0.130	0.072	-0.022	0.083	0.044	-0.001	-0.093	0.217	0.311	0.388	0.768	0.890	0.886	0.815	0.814	0.855	0.934	1	0.584	0.322	0.660	0.488	0.203	-0.097	-0.101	-0.035	0.065
S_CLPHNL	0.214	0.124	0.199	0.254	0.189	0.152	-0.114	-0.158	-0.173	-0.147	-0.144	-0.161	-0.063	-0.016	0.223	0.750	0.746	0.700	0.701	0.677	0.661	0.584	1	0.003	0.143	-0.186	-0.344	0.053	-0.261	0.046	0.049
ISOP	-0.030	-0.028	-0.051	-0.060	0.015	0.025	0.155	0.175	0.192	0.183	0.099	0.073	0.218	0.312	0.411	0.213	0.226	0.257	0.224	0.305	0.288	0.322	0.003	1	0.253	0.340	0.186	-0.025	-0.051	0.102	0.121
HCH_E	0.209	0.136	0.196	0.160	0.216	0.195	0.006	0.097	-0.032	-0.037	-0.043	0.694	0.350	0.191	0.480	0.643	0.637	0.633	0.393	0.441	0.642	0.660	0.143	0.253	1	0.342	0.419	-0.468	0.190	-0.105	0.056
SIMAZINE	-0.124	-0.047	-0.090	-0.187	-0.064	-0.104	0.071	0.218	0.245	0.116	0.075	0.184	0.410	0.487	0.731	0.255	0.252	0.162	0.238	0.426	0.393	0.438	-0.186	0.340	0.342	1	0.619	0.320	0.258	-0.033	-0.019
TFURALINE	0.040	0.040	-0.039	-0.039	0.018	0.064	0.018	0.056	0.016	0.056	0.016	0.056	0.016	0.056	0.016	0.056	0.016	0.056	0.016	0.056	0.016	0.056	-0.344	0.119	0.659	1	0.345	0.345	0.345	0.345	-0.051
CLFVP	-0.195	-0.133	-0.187	-0.186	-0.162	-0.177	0.046	0.072	0.167	0.087	0.142	-0.340	-0.103	0.126	0.072	-0.159	-0.160	-0.332	-0.098	0.083	-0.117	-0.097	0.053	-0.025	-0.468	0.320	0.345	1	0.388	0.169	-0.111
S_CLBZ	0.109	0.073	0.081	0.085	0.118	0.121	0.053	0.114	0.062	0.061	0.195	0.679	0.071	-0.067	-0.186	-0.113	-0.110	-0.229	-0.482	-0.274	-0.181	-0.101	-0.261	-0.051	0.190	0.258	0.835	0.388	1	0.110	-0.069
O2_DIS	-0.007	-0.002	-0.023	-0.016	0.009	-0.004	0.136	0.071	0.097	0.136	0.103	-0.019	-0.068	0.059	-0.065	-0.048	-0.037	-0.036	-0.078	-0.021	-0.060	-0.035	0.046	0.102	-0.105	-0.003	0.051	0.169	0.110	0.024	-0.024
NO3-	-0.053	-0.089	-0.033	-0.039	-0.031	-0.056	-0.136	-0.123	0.025	-0.029	0.023	0.368	0.069	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0.05

p-values (Spearman) :

Variables	I2M2	SHA	OVO	ASPT	RIC	POLY	DBOS	NH4+	NO2-	H2PO	DCO	CLPYRPHOS	ATRAZINE	DIURON	ALACL	ENDOS_A	ENDOS_B	6_CLBZ	HCH_A	HCH_B	HCH_D	HCH_G	S_CLPHNL	ISOP	HCH_E	SIMAZINE	TFURALINE	CLFVP	S_CLBZ	O2_DIS	NO3-
I2M2	0	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.617	<0.0001	0.408	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.229	0.019	<0.0001	0.000	<0.0001	0.316	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.176	<0.0001	0.	



Étude sur l'Indice Multi-Métrique (I2M2) dans les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie, sur les hydro écorégions 9A, 9 et 10

## ANNEXE N°22 – Matrice des corrélations entre I2M2 et ses métriques et les probabilités de pression de l'Outil diagnostic pour l'HER 9A.

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	I2M2	SHA	OVO	ASPT	RIC	POLY	NITRATES	MO	RES_PHOSPHIERES	AZOT_COMMUNICANISATION_ILITE	HYDROL	PESTICIDES	RIPISYLVE	HROPISATION	HAP	
I2M2	1	0,751	0,861	0,885	0,863	0,903	0,278	-0,768	-0,838	-0,841	-0,557	-0,736	-0,663	-0,243	0,017	-0,146
SHA	0,751	1	0,523	0,569	0,657	0,601	0,340	-0,536	-0,580	-0,621	-0,466	-0,581	-0,608	-0,066	0,205	-0,093
OVO	0,861	0,523	1	0,714	0,642	0,740	0,103	-0,657	-0,708	-0,680	-0,479	-0,631	-0,539	-0,183	-0,026	-0,030
ASPT	0,885	0,569	0,714	1	0,739	0,729	0,245	-0,760	-0,851	-0,836	-0,520	-0,699	-0,524	-0,338	-0,231	-0,044
RIC	0,863	0,657	0,642	0,739	1	0,748	0,399	-0,669	-0,726	-0,763	-0,529	-0,667	-0,656	-0,077	-0,047	0,160
POLY	0,903	0,601	0,740	0,729	0,748	1	0,221	-0,651	-0,696	-0,693	-0,434	-0,585	-0,568	-0,264	-0,124	-0,075
NITRATES	0,278	0,340	0,103	0,245	0,399	0,221	1	-0,465	-0,395	-0,417	-0,673	-0,190	-0,343	-0,035	-0,059	0,465
MO	-0,768	-0,536	-0,657	-0,760	-0,669	-0,651	-0,465	1	0,901	0,887	0,602	0,528	0,485	0,280	0,228	-0,153
MATIERES_P	-0,838	-0,580	-0,708	-0,851	-0,726	-0,696	-0,395	0,901	1	0,959	0,671	0,717	0,507	0,389	0,273	-0,012
MATIERES_A	-0,841	-0,621	-0,680	-0,836	-0,763	-0,693	-0,417	0,887	0,959	1	0,665	0,728	0,567	0,315	0,197	-0,086
VOIES_COMI	-0,557	-0,466	-0,479	-0,520	-0,529	-0,434	-0,673	0,602	0,671	0,665	1	0,580	0,504	0,153	-0,034	-0,276
URBANISATI	-0,736	-0,581	-0,631	-0,699	-0,667	-0,585	-0,190	0,528	0,717	0,728	0,580	1	0,566	0,187	0,043	0,096
INSTABILITE	-0,663	-0,608	-0,539	-0,524	-0,656	-0,568	-0,343	0,485	0,507	0,567	0,504	0,566	1	-0,152	-0,195	-0,250
PESTICIDES	-0,243	-0,066	-0,183	-0,338	-0,077	-0,264	-0,035	0,280	0,389	0,315	0,153	0,187	-0,152	1	0,473	0,585
RIPISYLVE	-0,118	-0,033	-0,026	-0,231	-0,047	-0,124	-0,059	0,228	0,273	0,197	-0,034	0,043	-0,195	0,473	1	0,249
ANTHROPISA	0,017	0,205	-0,039	-0,044	0,160	-0,075	0,465	-0,172	-0,012	-0,086	-0,249	0,096	-0,250	0,585	0,249	1
HAP	-0,146	-0,093	-0,030	-0,190	-0,178	-0,127	0,366	-0,153	0,068	0,120	-0,276	0,371	0,050	0,108	0,073	0,373

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

p-values (Spearman) :

Variables	I2M2	SHA	OVO	ASPT	RIC	POLY	NITRATES	MO	RES_PHOSPHIERES	AZOT_COMMUNICANISATION_ILITE	HYDROL	PESTICIDES	RIPISYLVE	HROPISATION	HAP	
I2M2	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,556	< 0,0001
SHA	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,026	0,262	< 0,0001	0,002
OVO	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,376	0,187	0,316
ASPT	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
RIC	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,009	0,111	< 0,0001	< 0,0001
POLY	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,012	< 0,0001
NITRATES	< 0,0001	< 0,0001	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,234	0,046	< 0,0001	< 0,0001
MO	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
MATIERES_P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,676
MATIERES_A	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
VOIES_COMI	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,249	< 0,0001
URBANISATI	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	0,150	0,001	< 0,0001
INSTABILITE	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,094
PESTICIDES	< 0,0001	0,026	< 0,0001	< 0,0001	0,009	< 0,0001	0,234	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001	0,000
RIPISYLVE	< 0,0001	0,262	0,376	< 0,0001	0,111	< 0,0001	0,046	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,249	0,150	< 0,0001	< 0,0001	0	< 0,0001
ANTHROPISA	0,556	< 0,0001	0,187	0,142	< 0,0001	0,012	< 0,0001	< 0,0001	0,676	0,004	< 0,0001	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
HAP	< 0,0001	0,002	0,316	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,022	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,094	0,000	0,014	< 0,0001



## ANNEXE N°23 – Tableau des opérations de contrôle utilisées pour analyser les peuplements de L'HER 10 (Stations/Dates).

stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	stations	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1053000			1		1			1	3026179	1								3086621							1	
3000033							1	1	3026382					1				3087000	1							1
3000070								1	3027000	1	1	1	1	1	1		1	3087545							1	
3000344	1	1		1		1	1		3027489					1				3088029				1				
3000456								1	3027490	1	1	1				1		3088255					1			
3000560	1								3027491	1		1				1		3088345	1	1	1	1	1	1	1	1
3000890		1	1	1	1	1	1	1	3027549	1		1				1		3088360	1	1	1	1	1	1	1	1
3001000	1	1	1	1	1	1	1	1	3032942				1					3088395				1				1
3002100	1	1	1		1	1	1	1	3032959	1		1	1					3088410	1							1
3002310							1		3033535			1	1					3088460				1				1
3002315	1								3033610							1		3088545							1	
3002900	1	1	1	1	1	1	1	1	3033830					1				3088630						1		
3003790	1		1		1			1	3034000	1	1	1	1	1	1	1	1	3088800	1	1	1	1	1	1	1	1
3004095								1	3034127								1	3090000	1							
3004280	1	1	1	1	1	1	1	1	3034869								1	3090010		1	1		1	1	1	1
3006215								1	3034961	1	1	1				1		3090258		1	1	1				
3006241							1	1	3035000								1	3090380	1		1	1	1	1	1	1
3006268	1	1	1	1	1	1	1	1	3035455	1	1	1	1	1	1	1	1	3092811	1							1
3006271	1	1	1	1	1	1	1	1	3035570		1	1		1	1		1	3093145		1				1		
3006354			1	1	1	1	1	1	3035770	1							1	3093190			1					1
3006390			1	1					3035840	1			1	1			1	3093395					1			1
3006410								1	3036000								1	3093445								1
3006590	1	1	1	1	1	1	1	1	3036030		1	1				1		3093540			1					
3006735								1	3036325					1				3093572							1	
3006900								1	3036339					1				3093900	1	1	1	1	1	1	1	1
3007000			1		1	1	1		3036361					1				3094390								1
3007023							1		3036475					1				3094405	1	1	1	1	1	1	1	1
3014130	1	1	1		1	1	1	1	3036496					1				3094660				1				1
3014550	1	1						1	3036510	1	1	1	1	1	1	1	1	3094700			1	1	1	1	1	1
3014695			1	1					3036650	1			1				1	3094890							1	
3014846			1						3036800					1				3094940							1	
3014927				1					3036885	1	1	1		1	1	1		3095000	1	1	1	1	1	1	1	1
3014986			1						3036970	1	1	1		1	1			3095190		1	1	1	1	1	1	1
3015000	1	1	1	1	1	1	1	1	3037480	1	1	1	1	1	1		1	3095249		1	1	1	1	1		
3015514							1		3039390		1	1			1			3095300	1	1	1	1	1	1	1	1
3016285								1	3039444					1				3095400		1	1	1	1	1	1	1
3016310			1				1	1	3039940		1	1		1				3095620	1							
3016488							1		3040250	1	1	1	1	1	1	1	1	3095945		1						1
3016498								1	3040450					1				3096010	1			1				
3016840	1	1	1	1				1	3040485					1				3096025	1	1	1	1	1	1	1	1
3017000	1	1	1	1	1	1	1	1	3040639					1				3096028				1				1
3021917	1	1						1	3041000	1			1	1				3096100	1	1	1	1	1	1	1	1
3022000	1	1		1	1	1	1	1	3085533	1				1				3096332				1				1
3024510							1		3085558	1							1	3097000				1				
3024597							1		3085584							1		3098190				1				1
3024725							1		3085590	1						1	1	3098291								1
3024840	1	1	1		1	1	1	1	3085607							1		3098690							1	
3024885		1	1				1		3085608		1					1		3098695	1	1	1	1	1	1	1	1
3024922			1						3085630	1						1		3098845	1							1
3024941							1		3085651					1				3098850		1	1	1	1	1		
3025020							1		3085669								1	3099185					1			
3025021							1		3085670							1		3099205		1	1	1	1	1		
3025045								1	3085688							1		3099330	1							1
3025130							1		3085700	1							1	3099490	1	1	1		1	1	1	1
3025151							1		3085730	1	1	1	1	1	1	1	1	3099545	1							1
3025165								1	3085763							1		3099750	1				1			
3025238	1	1	1	1	1	1	1	1	3085769	1						1		3099870				1				
3025249			1						3085805								1	3099950	1				1			
3025368	1	1	1	1	1	1	1	1	3085825	1						1		3100440	1							
3025440								1	3085837	1		1	1	1	1	1	1	3128379								1
3025492	1	1	1		1	1			3085855								1	3156150			1					
3025548								1	3085857								1	3156155							1	
3025549								1	3085908			1						3156172							1	1
3025550								1	3085922				1	1				3156175							1	
3025551			1				1		3085929								1	3156310							1	
3025570								1	3085945	1	1	1	1			1	1	3156344						1		
3025919	1	1	1	1	1	1		1	3085960							1		3156350	1	1		1	1	1	1	1
3025938								1	3086100	1	1	1	1	1	1	1	1	3156352							1	
3026000			1	1					3086340		1						1	3156438							1	
3200070			1						3156547							1		3156510							1	
3221500					1				3156580	1	1	1	1	1	1	1	1	3156540				1				
3222000			1						3156995	1	1	1	1	1	1	1	1									1