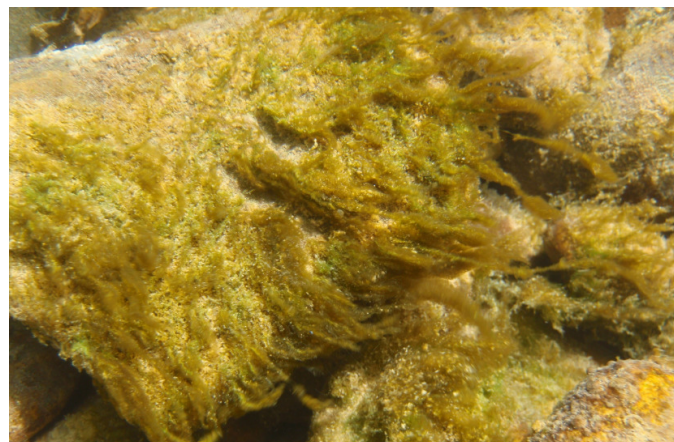


# Développement algal dans les rivières Franc-Comtoises

Année 2011/2012



Etude réalisée par



**EAUX CONTINENTALES**

**Novembre 2012**

Jean-Baptiste BAUD

Alain CUINET

Thomas DAUDEY

Julien RAHON

# Table des matières

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLE DES MATIERES .....</b>                                                | <b>2</b>  |
| <b>LISTE DES FIGURES.....</b>                                                  | <b>5</b>  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>                                                | <b>6</b>  |
| <b>1 INTRODUCTION.....</b>                                                     | <b>9</b>  |
| <b>2 MATERIEL ET METHODE.....</b>                                              | <b>11</b> |
| 2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE .....                                               | 11        |
| 2.2 LES COURS D'EAU .....                                                      | 11        |
| 2.2.1 <i>La Loue</i> .....                                                     | 11        |
| 2.2.2 <i>Le Doubs</i> .....                                                    | 12        |
| 2.2.3 <i>Le Dessoubre</i> .....                                                | 13        |
| 2.2.4 <i>Le Cusancin</i> .....                                                 | 13        |
| 2.2.5 <i>Le Lison</i> .....                                                    | 14        |
| 2.2.6 <i>L'Ain</i> .....                                                       | 14        |
| 2.3 LES STATIONS D'ETUDE .....                                                 | 14        |
| 2.3.1 <i>Sur la Loue (3 stations de suivi)</i> .....                           | 14        |
| 2.3.2 <i>Sur le Doubs (1 seule station de suivi)</i> .....                     | 16        |
| 2.3.3 <i>Sur le Dessoubre (1 seule station de suivi)</i> .....                 | 16        |
| 2.3.4 <i>Sur le Cusancin (1 seule station de suivi)</i> .....                  | 17        |
| 2.3.5 <i>Sur le Lison (1 seule station de suivi)</i> .....                     | 17        |
| 2.3.6 <i>Sur le L'Ain (1 seule station de suivi)</i> .....                     | 18        |
| 2.4 LE SUIVI DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX.....                                    | 18        |
| 2.5 INDICE BIOLOGIQUE MACROPHYTE RIVIERE (IBMR) (NORME AFNOR NF T 90-395)..... | 21        |
| 2.6 LES CYANOBACTERIES .....                                                   | 22        |
| 2.7 INDICE BIOLOGIQUE DIATOMIQUE (IBD) (NORME AFNOR NF T90-354) .....          | 23        |
| 2.8 LES MESURES CONJOINTES .....                                               | 24        |
| 2.8.1 <i>Paramètres mésologiques des stations</i> .....                        | 24        |
| 2.8.2 <i>Analyses physico-chimiques</i> .....                                  | 25        |
| 2.8.3 <i>Mesures in situ</i> .....                                             | 25        |
| 2.8.4 <i>Mesures au laboratoire</i> .....                                      | 25        |
| 2.8.4.1 Eau brute .....                                                        | 25        |
| 2.8.4.2 Sédiments .....                                                        | 25        |
| <b>3 RESULTATS .....</b>                                                       | <b>26</b> |
| 3.1 INDICE BIOLOGIQUE MACROPHYTE RIVIERE .....                                 | 27        |
| 3.1.1 <i>Résultats 2011</i> .....                                              | 27        |
| 3.1.1.1 La Loue .....                                                          | 28        |
| 3.1.1.1.1 <b>Mouthier-Haute-Pierre</b> .....                                   | 28        |
| 3.1.1.1.2 <b>Ornans</b> .....                                                  | 28        |
| 3.1.1.1.3 <b>Rurey</b> .....                                                   | 29        |
| 3.1.1.2 Le Doubs .....                                                         | 30        |
| 3.1.1.3 Le Dessoubre.....                                                      | 30        |
| 3.1.1.4 Le Cusancin.....                                                       | 31        |
| 3.1.1.5 Le Lison.....                                                          | 31        |

|           |                                                                                                                                                 |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1.6   | L'Ain .....                                                                                                                                     | 32 |
| 3.1.2     | <i>Données antérieures</i> .....                                                                                                                | 32 |
| 3.1.3     | <i>Synthèse et interprétation des IBMR</i> .....                                                                                                | 34 |
| 3.2       | LES ALGUES FILAMENTEUSES .....                                                                                                                  | 35 |
| 3.2.1     | <i>Résultats 2011</i> .....                                                                                                                     | 35 |
| 3.2.1.1   | La Loue .....                                                                                                                                   | 35 |
| 3.2.1.1.1 | Mouthier-Haute-Pierre .....                                                                                                                     | 35 |
| 3.2.1.1.2 | Ornans .....                                                                                                                                    | 37 |
| 3.2.1.1.3 | Rurey .....                                                                                                                                     | 38 |
| 3.2.1.2   | Le Doubs à Goumois.....                                                                                                                         | 40 |
| 3.2.1.3   | Le Dessoubre à Saint-Hippolyte .....                                                                                                            | 41 |
| 3.2.1.4   | Le Cusancin en aval de Pont les Moulins .....                                                                                                   | 43 |
| 3.2.1.5   | Le Lison en aval de Cussey sur Lison.....                                                                                                       | 45 |
| 3.2.1.6   | L'Ain .....                                                                                                                                     | 46 |
| 3.2.1.7   | Pourcentage de recouvrement .....                                                                                                               | 48 |
| 3.2.1.8   | Evolution pondérale .....                                                                                                                       | 51 |
| 3.2.1.9   | Les communautés d'algues (sur base d'une bibliographie à compléter) .....                                                                       | 54 |
| 3.2.2     | <i>Synthèse des données 2011 et interprétation</i> .....                                                                                        | 59 |
| 3.2.3     | <i>Comparaison aux données antérieures</i> .....                                                                                                | 63 |
| 3.2.3.1   | Taxons présents dans les études antérieures .....                                                                                               | 63 |
| 3.2.3.2   | Comparaison des biomasses mesurées en 2011 avec les données antérieures..                                                                       | 63 |
| 3.3       | LES CYANOBACTERIES .....                                                                                                                        | 65 |
| 3.3.1     | <i>Résultats du suivi 2011 (déterminations réalisées par Aqua-gestion)</i> .....                                                                | 65 |
| 3.3.1.1   | Les cyanobactéries potentiellement toxiques .....                                                                                               | 69 |
| 3.3.1.2   | Les cyanobactéries non toxiques.....                                                                                                            | 73 |
| 3.3.1.3   | Comparaison des résultats obtenus entre les laboratoires Bi-eau et Aqua-gestion sur une campagne commune de prélèvements de cyanobactéries..... | 78 |
| 3.3.2     | <i>Analyse des données 2010 (prélèvements Eaux Cont. ONEMA déterminations Aqua-gestion )</i> 81                                                 |    |
| 3.3.3     | <i>Synthèse et interprétation</i> .....                                                                                                         | 85 |
| 3.3.3.1   | La température de l'eau .....                                                                                                                   | 85 |
| 3.3.3.2   | La lumière .....                                                                                                                                | 85 |
| 3.3.3.3   | Les nutriments .....                                                                                                                            | 86 |
| 3.3.3.4   | Les cyanotoxines .....                                                                                                                          | 87 |
| 3.4       | INDICE BIOLOGIQUE DIATOMIQUE (IBD) .....                                                                                                        | 89 |
| 3.4.1     | <i>Résultats du suivi 2011</i> .....                                                                                                            | 89 |
| 3.4.1.1   | Résultats bruts .....                                                                                                                           | 89 |
| 3.4.1.2   | Résultats de l'IBD .....                                                                                                                        | 90 |
| 3.4.1.2.1 | Sur l'ensemble des stations .....                                                                                                               | 90 |
| 3.4.1.2.2 | Sur la Loue .....                                                                                                                               | 91 |
| 3.4.1.2.3 | Sur les autres cours d'eau .....                                                                                                                | 91 |
| 3.4.1.3   | L'IPS .....                                                                                                                                     | 92 |
| 3.4.1.3.1 | L'IPS sur l'ensemble des stations .....                                                                                                         | 92 |
| 3.4.1.3.2 | L'IPS sur la Loue .....                                                                                                                         | 93 |
| 3.4.1.3.3 | L'IPS sur les autres cours d'eau .....                                                                                                          | 93 |
| 3.4.1.4   | Evolution saisonnière du nombre d'espèces .....                                                                                                 | 94 |
| 3.4.1.4.1 | Sur la Loue .....                                                                                                                               | 94 |
| 3.4.1.4.2 | Sur les autres cours d'eau .....                                                                                                                | 95 |
| 3.4.1.5   | Affinité saisonnière des peuplements pour la polluosensibilité maximale .....                                                                   | 96 |
| 3.4.1.6   | Analyse des listes floristiques (Annexes 12-13-14-15).....                                                                                      | 96 |

|           |                                                                      |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4.1.6.1 | Suivi sur la Loue .....                                              | 97         |
| 3.4.1.6.2 | Suivi sur les autres cours d'eau .....                               | 99         |
| 3.4.1.7   | Préférendums écologiques des populations.....                        | 101        |
| 3.4.2     | <i>Analyse des données antérieures (DREAL 2010)</i> .....            | 102        |
| 3.4.3     | <i>Synthèse et interprétation</i> .....                              | 103        |
| 3.5       | CHIMIE .....                                                         | 105        |
| 3.5.1     | <i>Seuils de qualité</i> .....                                       | 105        |
| 3.5.2     | <i>Suivi global 2011</i> .....                                       | 106        |
| 3.5.2.1   | La conductivité.....                                                 | 106        |
| 3.5.2.2   | Le pH.....                                                           | 107        |
| 3.5.2.3   | La DBO <sub>5</sub> .....                                            | 108        |
| 3.5.2.4   | La DCO .....                                                         | 109        |
| 3.5.2.5   | Suivi des éléments azotés .....                                      | 110        |
| 3.5.2.5.1 | Azote Kjeldahl.....                                                  | 110        |
| 3.5.2.5.2 | Ammonium.....                                                        | 112        |
| 3.5.2.5.3 | Nitrites .....                                                       | 115        |
| 3.5.2.5.4 | Nitrates .....                                                       | 118        |
| 3.5.2.6   | Suivi des éléments phosphorés.....                                   | 121        |
| 3.5.2.6.1 | Phosphore total .....                                                | 121        |
| 3.5.2.6.2 | Phosphates .....                                                     | 123        |
| 3.5.2.7   | Suivi des sédiments .....                                            | 127        |
| 3.5.3     | <i>Analyse statistiques des données chimiques</i> .....              | 132        |
| 3.5.4     | <i>Synthèse et discussion sur la qualité chimique</i> .....          | 141        |
| 3.5.4.1   | Qualité de l'eau en 2011.....                                        | 141        |
| 3.5.4.2   | Qualité des sédiments.....                                           | 142        |
| 3.5.4.3   | Evolution des fertilisations minérales .....                         | 144        |
| 3.5.4.4   | Evolution des concentrations en nutriments mesurées à Chenecey ..... | 145        |
| <b>4</b>  | <b>DISCUSSION .....</b>                                              | <b>146</b> |
| 4.1       | RELATION ALGUES NUTRIMENTS .....                                     | 146        |
| 4.2       | RELATION CYANOBACTERIES NUTRIMENTS .....                             | 151        |
| 4.3       | NOTIONS D'AUTO-EPURATION ET DE POLLUTION DIFFEREE .....              | 153        |
| <b>5</b>  | <b>SUITE A DONNER A CETTE ETUDE .....</b>                            | <b>155</b> |
| 5.1       | LE CONCEPT GENERAL.....                                              | 155        |
| 5.2       | LE CHOIX DES STATIONS .....                                          | 155        |
| 5.3       | LE PAS DE MESURE .....                                               | 157        |
| 5.4       | LE SUIVI DES ALGUES FILAMENTEUSES .....                              | 157        |
| 5.5       | LE SUIVI DES CYANOBACTERIES .....                                    | 158        |
| 5.6       | LE SUIVI DES CYANOTOXINES .....                                      | 160        |
| 5.7       | L'IBMR (INDICE BIOLOGIQUE MACROPHYTE RIVIERE).....                   | 160        |
| 5.8       | L'IBD (INDICE BIOLOGIQUE DIATOMIQUE) .....                           | 160        |
| 5.9       | LE SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE.....                                       | 161        |
| 5.9.1     | <i>Sur l'eau</i> .....                                               | 161        |
| 5.9.2     | <i>Sur le sédiment</i> .....                                         | 161        |
| 5.9.3     | <i>Sur l'eau interstitielle des bancs alluvionnaires</i> .....       | 161        |
| <b>6</b>  | <b>CONCLUSION.....</b>                                               | <b>162</b> |
| <b>7</b>  | <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>                                           | <b>163</b> |

## Liste des figures

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>FIGURE 1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS D'ETUDE</b>                                      | 11 |
| <b>FIGURE 2 : PROFIL LONGITUDINAL DE LA LOUE</b>                                                   | 12 |
| <b>FIGURE 3 : PROFIL LONGITUDINAL DU DOUBS</b>                                                     | 12 |
| <b>FIGURE 4 : PROFIL LONGITUDINAL DU DESSOUBRE</b>                                                 | 13 |
| <b>FIGURE 5 : PROFIL LONGITUDINAL DU CUSANCIN</b>                                                  | 13 |
| <b>FIGURE 6 : PROFIL LONGITUDINAL DU LISON</b>                                                     | 14 |
| <b>FIGURE 7 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION A MOUTHIER-HAUTE-PIERRE</b>                               | 14 |
| <b>FIGURE 8 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION A ORNANS</b>                                              | 15 |
| <b>FIGURE 9 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION A RUREY</b>                                               | 15 |
| <b>FIGURE 10 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION A GOUMOIS</b>                                            | 16 |
| <b>FIGURE 11 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION A SAINT-HIPPOLYTE</b>                                    | 16 |
| <b>FIGURE 12 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION EN AVAL DE PONT LES MOULINS</b>                          | 17 |
| <b>FIGURE 13 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION EN AVAL DE CUSSEY-SUR-LISON</b>                          | 17 |
| <b>FIGURE 14 : PHOTOGRAPHIE DE LA STATION EN AMONT DU PONT DE CHATILLON</b>                        | 18 |
| <b>2011</b>                                                                                        | 26 |
| <b>FIGURE 15 : PRELEVEMENTS ET EVOLUTION HYDROLOGIQUE</b>                                          | 26 |
| <b>FIGURE 16 : RESULTATS DE L'INDICE BIOLOGIQUE MACROPHYTE RIVIERE</b>                             | 27 |
| <b>FIGURE 17 : SUIVI DES NOTES IBMR A MOUTHIER ET LA PIQUETTE</b>                                  | 32 |
| <b>FIGURE 18 : DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LA LOUE A MOUTHIER</b>                                    | 35 |
| <b>FIGURE 19 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LA LOUE A ORNANS</b>                        | 37 |
| <b>FIGURE 20 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LA LOUE A RUREY</b>                         | 38 |
| <b>FIGURE 21 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LE DOUBS</b>                                | 40 |
| <b>FIGURE 22 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LE DESSOUBRE A SAINT-HIPPOLYTE</b>          | 41 |
| <b>FIGURE 23 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LE CUSANCIN EN AVAL DE PONT LES MOULINS</b> | 43 |
| <b>FIGURE 24 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR LE LISON EN AVAL DE CUSSEY SUR LISON</b>    | 45 |
| <b>FIGURE 25 : RESULTATS DES DEVELOPPEMENTS ALGAUX SUR L'AIN</b>                                   | 46 |
| <b>FIGURE 26 : EVOLUTION DU RECOUVREMENT LORS DE CHAQUE CAMPAGNE</b>                               | 48 |
| <b>FIGURE 27 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE LORS DE CHAQUE CAMPAGNE</b>                                | 51 |
| <b>FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE SUR LA LOUE</b>                                            | 52 |
| <b>FIGURE 29 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE CUMULEE ET DU POURCENTAGE DE RECOUVREMENT MOYEN</b>        | 53 |
| <b>FIGURE 30 : DIVERSITE ALGALE</b>                                                                | 54 |
| <b>FIGURE 31 : CONCENTRATION EN CYANOBACTERIES DANS L'EAU BRUTE LORS DU SUIVI 2011</b>             | 65 |
| <b>FIGURE 32 : CONCENTRATION EN CYANOBACTERIES SUR LES GALETS LORS DU SUIVI 2011</b>               | 66 |
| <b>FIGURE 33 : CONCENTRATION EN CYANOBACTERIES SUR LES VEGETAUX LORS DU SUIVI 2011</b>             | 67 |
| <b>FIGURE 34 : EVOLUTION DE L'IBD SUR LES TROIS STATIONS DE LA LOUE</b>                            | 91 |
| <b>FIGURE 35 : EVOLUTION DE L'IBD SUR LES AUTRES COURS D'EAU</b>                                   | 91 |

|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>FIGURE 36 : EVOLUTION DE L'IBD SUR LES HUIT STATIONS .....</b>                       | <b>92</b>  |
| <b>FIGURE 37 : EVOLUTION DE L'IPS SUR LES TROIS STATIONS DE LA LOUE.....</b>            | <b>93</b>  |
| <b>FIGURE 38 : EVOLUTION DE L'IPS SUR LES AUTRES COURS D'EAU .....</b>                  | <b>93</b>  |
| <b>FIGURE 39 : EVOLUTION DU NOMBRE D'ESPECES SUR LES TROIS STATIONS DE LA LOUE ....</b> | <b>94</b>  |
| <b>FIGURE 40 : EVOLUTION DU NOMBRE D'ESPECE SUR LES AUTRES COURS D'EAU.....</b>         | <b>95</b>  |
| <b>FIGURE 41 : EVOLUTION DE LA POLLUOSENSIBILITE MAXIMALE.....</b>                      | <b>96</b>  |
| <b>FIGURE 42 : TAXONS INDICATEURS DE POLLUTION ORGANIQUE SUR LA LOUE .....</b>          | <b>97</b>  |
| <b>FIGURE 43 : TAXONS INDICATEURS D'EUTROPHISATION ANTHROPIQUE SUR LA LOUE.....</b>     | <b>97</b>  |
| <b>FIGURE 44 : EVOLUTION DES NOTES IBD SUR LE SITE DE MOUTHIER .....</b>                | <b>102</b> |
| <b>FIGURE 45 : EVOLUTION DES NOTES IBD SUR LE SITE DE LA PIQUETTE (RUREY) .....</b>     | <b>102</b> |
| <b>FIGURE 46 : SUIVI DE LA CONDUCTIVITE.....</b>                                        | <b>106</b> |
| <b>FIGURE 47 : SUIVI DU PH.....</b>                                                     | <b>107</b> |
| <b>FIGURE 48 : SUIVI DE LA DBO<sub>5</sub>.....</b>                                     | <b>109</b> |
| <b>FIGURE 49 : SUIVI DE LA DCO .....</b>                                                | <b>109</b> |
| <b>FIGURE 50 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE KJELDAHL .....</b>                 | <b>110</b> |
| <b>FIGURE 51 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM.....</b>                        | <b>112</b> |
| <b>FIGURE 52 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN NITRITES .....</b>                       | <b>115</b> |
| <b>FIGURE 53 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN NITRATES .....</b>                       | <b>118</b> |
| <b>FIGURE 54 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE TOTAL .....</b>                | <b>121</b> |
| <b>FIGURE 55 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES .....</b>                     | <b>123</b> |
| <b>FIGURE 56 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE DANS LES SEDIMENTS....</b>     | <b>128</b> |
| <b>FIGURE 57 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS NUTRITIFS DES SEDIMENTS</b>     |            |
| <b>.....</b>                                                                            | <b>129</b> |
| <b>LORS DE LA CAMPAGNE DE DECEMBRE.....</b>                                             | <b>129</b> |
| <b>FIGURE 58 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS NUTRITIFS DES SEDIMENTS</b>     |            |
| <b>.....</b>                                                                            | <b>130</b> |
| <b>LORS DE LA CAMPAGNE DE MARS 2012.....</b>                                            | <b>130</b> |
| <b>FIGURE 59 : EVOLUTION DE L'AZOTE TOTAL ET DU PHOSPHORE TOTAL SUR LA LOUE ET LE</b>   |            |
| <b>LISON .....</b>                                                                      | <b>141</b> |
| <b>FIGURE 60 : EVOLUTION DES LIVRAISONS D'ENGRAIS MINERAUX DANS LE DOUBS. 1973-</b>     |            |
| <b>2010 .....</b>                                                                       | <b>144</b> |
| <b>FIGURE 61 : EVOLUTION DU RAPPORT N/P .....</b>                                       | <b>153</b> |
| <b>FIGURE 62 : SCHEMA D'UN LINEAIRE DE 10 CM DE GALETS, DEPLOYE ET RAMENE A 16.7 CM</b> |            |
| <b>.....</b>                                                                            | <b>158</b> |

## Liste des tableaux

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLEAU 1 : ECLAIREMENT DES STATIONS.....</b>                                      | <b>24</b> |
| <b>TABLEAU 2 : LISTE DES TAXONS OBSERVES SUR LA LOUE .....</b>                        | <b>28</b> |
| <b>TABLEAU 3 : LISTE DES TAXONS OBSERVES SUR LE DOUBS A GOUMOIS .....</b>             | <b>30</b> |
| <b>TABLEAU 4 : LISTE DES TAXONS OBSERVES SUR LE DESSOUBRE A SAINT-HIPPOLYTE .....</b> | <b>30</b> |
| <b>TABLEAU 5 : LISTE DES TAXONS OBSERVES SUR .....</b>                                | <b>31</b> |
| <b>LE CUSANCIN EN AVAL DE PONT LES MOULINS.....</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>TABLEAU 6 : LISTE DES TAXONS OBSERVES SUR LE LISON EN AVAL DE CUSSEY SUR LISON</b> | <b>31</b> |
| <b>TABLEAU 7 : LISTE DES TAXONS OBSERVES SUR L'AIN EN AMONT DU PONT DE CHATILLON</b>  |           |
| <b>.....</b>                                                                          | <b>32</b> |
| <b>TABLEAU 8 : SUIVI DU NOMBRE DE TAXON PAR STATION.....</b>                          | <b>34</b> |

|                                                                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>TABLEAU 9 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES (ANNEXE 4) SUR LA LOUE A MOUTHIER-HAUTE-PIERRE .....</b>                        | <b>36</b>  |
| <b>TABLEAU 10 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR LA LOUE A ORNANS.....</b>                                                  | <b>37</b>  |
| <b>TABLEAU 11 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR LA LOUE A RUREY.....</b>                                                   | <b>39</b>  |
| <b>TABLEAU 12 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR LE DOUBS A GOUMOIS .....</b>                                               | <b>40</b>  |
| <b>TABLEAU 13 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR LA DESSOUBRE A SAINT-HIPPOLYTE.....</b>                                    | <b>42</b>  |
| <b>TABLEAU 14 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR LE CUSANCIN EN AVAL DE PONT LES MOULINS .....</b>                          | <b>44</b>  |
| <b>TABLEAU 15 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR LE LISON EN AVAL DE CUSSEY SUR LISON .....</b>                             | <b>45</b>  |
| <b>TABLEAU 16 : DONNEES DU SUIVI DES TEMPERATURES SUR L'AIN EN AMONT DU PONT DE CHATILLON .....</b>                              | <b>47</b>  |
| <b>TABLEAU 17 : LISTE DES TAXONS OBSERVES PAR STATION .....</b>                                                                  | <b>55</b>  |
| <b>TABLEAU 18 : BESOIN EN NUTRIMENT DES ALGUES .....</b>                                                                         | <b>59</b>  |
| <b>TABLEAU 19 : TEMPERATURE MINIMALE ET MAXIMALE OBSERVEE ET TAXON PRINCIPAL .</b>                                               | <b>59</b>  |
| <b>TABLEAU 20 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DONNEES ISSU DU SUIVI DES ALGUES FILAMENTEUSES.....</b>                                | <b>62</b>  |
| <b>TABLEAU 21 : CAPACITE A PRODUIRE DES STATIONS .....</b>                                                                       | <b>62</b>  |
| <b>TABLEAU 22 : DONNEES ANTERIEURES DE BIOMASSE ALGALE SUR LA LOUE .....</b>                                                     | <b>63</b>  |
| <b>TABLEAU 23 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE ALGALE ENTRE 1973 ET 2011.....</b>                                                      | <b>64</b>  |
| <b>TABLEAU 24 : LISTE DES CYANOBACTERIES OBSERVEES.....</b>                                                                      | <b>68</b>  |
| <b>TABLEAU 25 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION D'<i>OSCILLATORIA</i>.....</b>                                               | <b>69</b>  |
| <b>TABLEAU 26 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>PSEUDANABAENA</i> .....</b>                                            | <b>70</b>  |
| <b>TABLEAU 27 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>PLANKTOTHRIX</i>.....</b>                                              | <b>71</b>  |
| <b>TABLEAU 28 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION D'<i>ANABAENA</i> .....</b>                                                  | <b>71</b>  |
| <b>TABLEAU 29 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>SYNECHOCYCUS</i> .....</b>                                             | <b>72</b>  |
| <b>TABLEAU 30 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION D'<i>APHANOTHECE</i> .....</b>                                               | <b>72</b>  |
| <b>TABLEAU 31 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>PHORMIDIUM</i>.....</b>                                                | <b>73</b>  |
| <b>TABLEAU 32 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>PLANKTOLYNGBYA</i> .....</b>                                           | <b>74</b>  |
| <b>TABLEAU 33 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>MERISMOPEDIA</i> .....</b>                                             | <b>74</b>  |
| <b>TABLEAU 34 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>GEITLERINEMA</i>.....</b>                                              | <b>75</b>  |
| <b>TABLEAU 35 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>ROMERIA</i> .....</b>                                                  | <b>76</b>  |
| <b>TABLEAU 36 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>RHABDODERMA</i> .....</b>                                              | <b>76</b>  |
| <b>TABLEAU 37 : PERIODE ET STATION D'IDENTIFICATION DE <i>LEPTOLYNGBYA</i> .....</b>                                             | <b>77</b>  |
| <b>TABLEAU 38 : RESULTATS DES ANALYSES EFFECTUEES PAR DEUX LABORATOIRES .....</b>                                                | <b>78</b>  |
| <b>TABLEAU 39 : LISTE DES CYANOBACTERIES IDENTIFIEES EN 2010 .....</b>                                                           | <b>81</b>  |
| <b>TABLEAU 40 : SUIVI DES CYANOBACTERIES DANS L'EAU EN 2010.....</b>                                                             | <b>82</b>  |
| <b>TABLEAU 41 : SUIVI DES CYANOBACTERIES SUR LES GALETS EN 2010.....</b>                                                         | <b>83</b>  |
| <b>TABLEAU 42 : SUIVI DES CYANOBACTERIES SUR LES VEGETAUX EN 2010.....</b>                                                       | <b>84</b>  |
| <b>TABLEAU 43 : TOXICITE DES CYANOBACTERIES D'EAU DOUCE VIS-A-VIS DES ANIMAUX DOMESTIQUES ET SAUVAGES (SYLVANO., 2005) .....</b> | <b>88</b>  |
| <b>TABLEAU 44 : RESULTATS 2011 DE L'ANALYSE DES DIATOMEES .....</b>                                                              | <b>89</b>  |
| <b>TABLEAU 45 : EVOLUTION DU NOMBRE D'ESPECES POUR LES HUIT STATIONS .....</b>                                                   | <b>95</b>  |
| <b>TABLEAU 46 : MOYENNE DES RESULTATS DES INDICES, CLASSES DU PLUS ELEVE AU MOINS ELEVE.....</b>                                 | <b>104</b> |
| <b>TABLEAU 47 : REFERENCE QUALITE CHIMIQUE DES EAUX.....</b>                                                                     | <b>105</b> |
| <b>TABLEAU 48 : REFERENCE QUALITE CHIMIQUE DES EAUX D'APRES LA DCE.....</b>                                                      | <b>105</b> |
| <b>TABLEAU 49 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR LA CONDUCTIVITE .....</b>                                                      | <b>107</b> |
| <b>TABLEAU 50 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR LE PH .....</b>                                                                | <b>108</b> |

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>TABEAU 51 : RESULTATS DES MESURES D'AZOTE KJELDAHL .....</b>                                    | <b>110</b> |
| <b>TABEAU 52 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR L'AZOTE KJELDAHL.....</b>                         | <b>111</b> |
| <b>TABEAU 53 : CLASSE SELON LE SEQ EAU POUR L'AZOTE KJELDAHL.....</b>                              | <b>111</b> |
| <b>TABEAU 54 : RESULTATS DES MESURES D'AMMONIUM.....</b>                                           | <b>113</b> |
| <b>TABEAU 55 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR L'AMMONIUM .....</b>                              | <b>113</b> |
| <b>TABEAU 56 : CLASSE SELON LES ANCIENNES GRILLES RNB POUR L'AMMONIUM .....</b>                    | <b>114</b> |
| <b>TABEAU 57 : CLASSE SELON LE SEQ EAU POUR L'AMMONIUM .....</b>                                   | <b>114</b> |
| <b>TABEAU 58 : CLASSE SELON LA DCE POUR L'AMMONIUM.....</b>                                        | <b>114</b> |
| <b>TABEAU 59 : RESULTATS DES MESURES DE NITRITES (MG/L) .....</b>                                  | <b>115</b> |
| <b>TABEAU 60 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR LES NITRITES .....</b>                            | <b>116</b> |
| <b>TABEAU 61 : CLASSE SELON LES ANCIENNES GRILLES RNB POUR LES NITRITES .....</b>                  | <b>116</b> |
| <b>TABEAU 62 : CLASSE SELON SEQ EAU POUR LES NITRITES.....</b>                                     | <b>117</b> |
| <b>TABEAU 63 : CLASSE SELON LA DCE POUR LES NITRITES .....</b>                                     | <b>117</b> |
| <b>TABEAU 64 : RESULTATS DES MESURES DE NITRATES .....</b>                                         | <b>118</b> |
| <b>TABEAU 65 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR LES NITRATES .....</b>                            | <b>119</b> |
| <b>TABEAU 66 : CLASSE SELON LES ANCIENNES GRILLES RNB POUR LES NITRATES.....</b>                   | <b>119</b> |
| <b>TABEAU 67 : CLASSE SELON LE SEQ EAU POUR LES NITRATES .....</b>                                 | <b>120</b> |
| <b>TABEAU 68 : CLASSE SELON LA DCE POUR LES NITRATES.....</b>                                      | <b>120</b> |
| <b>TABEAU 69 : RESULTATS DES MESURES DE PHOSPHORE TOTAL .....</b>                                  | <b>121</b> |
| <b>TABEAU 70 : CLASSE SELON LES ANCIENNES GRILLES RNB POUR LE PHOSPHORE TOTAL .....</b>            | <b>122</b> |
| <b>TABEAU 71 : CLASSE SELON LE SEQ EAU POUR LE PHOSPHORE TOTAL .....</b>                           | <b>122</b> |
| <b>TABEAU 72 : CLASSE SELON LA DCE POUR LE PHOSPHORE TOTAL .....</b>                               | <b>123</b> |
| <b>TABEAU 73 : RESULTATS DES MESURES DE PHOSPHATES .....</b>                                       | <b>124</b> |
| <b>TABEAU 74 : CLASSE SELON NISBET-VERNEAUX POUR LES PHOSPHATES .....</b>                          | <b>124</b> |
| <b>TABEAU 75 : POURCENTAGE D'ANALYSES SUPERIEURES A 30µG/L OU 50µG/L (DOUBS A GOUMOIS) .....</b>   | <b>125</b> |
| <b>TABEAU 76 : CLASSE SELON LES ANCIENNES GRILLES RNB POUR LES PHOSPHATES.....</b>                 | <b>125</b> |
| <b>TABEAU 77 : CLASSE SELON LE SEQ EAU POUR LES PHOSPHATES .....</b>                               | <b>126</b> |
| <b>TABEAU 78 : CLASSE SELON LA DCE POUR LES PHOSPHATES.....</b>                                    | <b>126</b> |
| <b>TABEAU 79 : RESULTATS DU SUIVI DES SEDIMENTS LORS DE LA CAMPAGNE DE DECEMBRE .....</b>          | <b>131</b> |
| <b>TABEAU 83 : MOYENNES ESTIVALES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE .....</b>                                | <b>145</b> |
| <b>TABEAU 80 : VALEURS MINIMALES, MAXIMALES ET MOYENNES DES NUTRIMENTS ET DE LA BIOMASSE .....</b> | <b>147</b> |
| <b>TABEAU 81 : CLASSEMENT DES STATIONS POUR LES ELEMENTS NUTRITIFS ET LA BIOMASSE .....</b>        | <b>148</b> |
| <b>TABEAU 82 : CLASSEMENT DES STATIONS SELON LES MOYENNES.....</b>                                 | <b>149</b> |
| <b>TABEAU 84 : CONCENTRATION EN CYANOBACTERIES POTENTIELLEMENT TOXIQUES....</b>                    | <b>151</b> |
| <b>TABEAU 85 : RAPPORT N/P .....</b>                                                               | <b>151</b> |
| <b>TABEAU 86 : EVOLUTION RAPPORT N/P ET DEVELOPPEMENT DES CYANOBACTERIES....</b>                   | <b>152</b> |
| <b>TABEAU 87 : RESULTATS DE LA FIXATION DES NUTRIMENTS PAR LES ALGUES.....</b>                     | <b>153</b> |



# 1 Introduction

Les écosystèmes aquatiques, à l'échelle mondiale, subissent des apports importants en substances nutritives (Dodds W., 2003). L'accroissement ainsi que la concentration des populations à proximité des milieux aquatiques et l'augmentation des activités anthropiques a engendré une élévation de la quantité des apports en nutriments dans les milieux (Baud J-B., & Gesell A., 2011).

Cet enrichissement entraîne un sur-développement du compartiment des producteurs primaires et en particulier des communautés d'algues filamenteuses dans les milieux lotiques dulcaquicoles. Les blooms algaux prennent souvent des proportions préoccupantes (Frossard V., 2006). Ils sont **la conséquence et la cause** du dysfonctionnement des systèmes aquatiques.

Les proliférations algales définissent des conditions de vie particulières pouvant être limitantes pour les macro-invertébrés et les poissons. Ces développements excessifs provoquent des perturbations de natures diverses comme l'amplification des variations journalières de l'oxygène dissous parfois associée à des phénomènes de microbullages, des modifications notables et également cycliques du pH de l'eau, le ralentissement des écoulements, le colmatage des substrats voire de la masse d'eau (Baud J-B., 2009).

En général, on parle d'eutrophisation pour caractériser un développement important d'algues dans un milieu aquatique. Etymologiquement, ce terme signifie « qui nourrit bien », et le terme d'eutrophe correspond à un milieu riche en équilibre. Son acception courante est désormais « qui nourrit trop ». Il indique la détérioration d'un écosystème aquatique par des apports d'éléments nutritifs excessifs associés à la prolifération des algues et des végétaux aquatiques. Il serait donc plus approprié de parler de dystrophie, mais à des fins pédagogiques nous conserverons dans ce document le terme d'eutrophie.

Les rivières franc-comtoises présentent naturellement un bon potentiel écologique et dépendent de bassins versants karstiques, dont la délimitation est difficile à déterminer (Decourcière, 1998). L'eau peut provenir de zones géographiques parfois très éloignées dont l'occupation du sol et les activités anthropiques peuvent être notablement différentes de celles de la proche vallée.

Depuis quelques décennies les phénomènes « d'eutrophisation », symbolisés par les développements algaux, s'amplifient régulièrement dans le temps et l'espace (Rodriguez & Vergon., 1996). Jusqu'à présent les proliférations avaient concernées essentiellement les algues filamenteuses et les diatomées.

Au cours de l'année 2010, la Haute Loue, dans le secteur compris entre les communes de Lods et Quingey (50 kms), et l'Ain, entre les Granges Bruant (commune de Mirebel) et le barrage de Blye (9 kms), ont connu des mortalités piscicoles importantes. Des analyses réalisées sur des échantillons d'eau et de substrat ont montré la présence de cyanobactéries en quantité importante.

Cette prolifération semble être un phénomène nouveau ou pour le moins récent qui pourrait être significatif d'un changement qualitatif notable du milieu.

Les cyanobactéries sont capables de coloniser de nombreux milieux (rivières, lacs, grottes), se développent dans les eaux en présence d'azote et de phosphore et à de basses intensités lumineuses (Silvano J., 2005).

Certaines souches peuvent être toxiques et émettre, à leur mort, des cyanotoxines dans l'eau. Ces toxines sont susceptibles d'affecter les macro-invertébrés, les poissons, via la nourriture et la filtration de l'eau (Brient L & Al., 2001), l'ensemble de la chaîne alimentaire et les animaux domestiques. D'un point de vue santé humaine, les cyanotoxines peuvent engendrer des perturbations sur la production d'eau potable et les activités de loisirs.

Suite aux événements de l'année 2010, l'ensemble des acteurs locaux (Fédération de pêche du Doubs, Agence de l'eau Rhône méditerranée, Conseil général 25, Conseil Régional de Franche-comté) ont décidé de lancer une étude sur le suivi du développement algal de six rivières franc-comtoises, dans le but de préciser les facteurs de prolifération des algues filamenteuses, des cyanobactéries et de comprendre les phénomènes déclenchant les mortalités piscicoles.

## 2 Matériel et méthode

### 2.1 Situation géographique

Les cours d'eau franc-comtois échantillonnés pour cette étude sont la Loue, le Doubs, le Dessoubre, le Cusancin, le Lison et l'Ain.

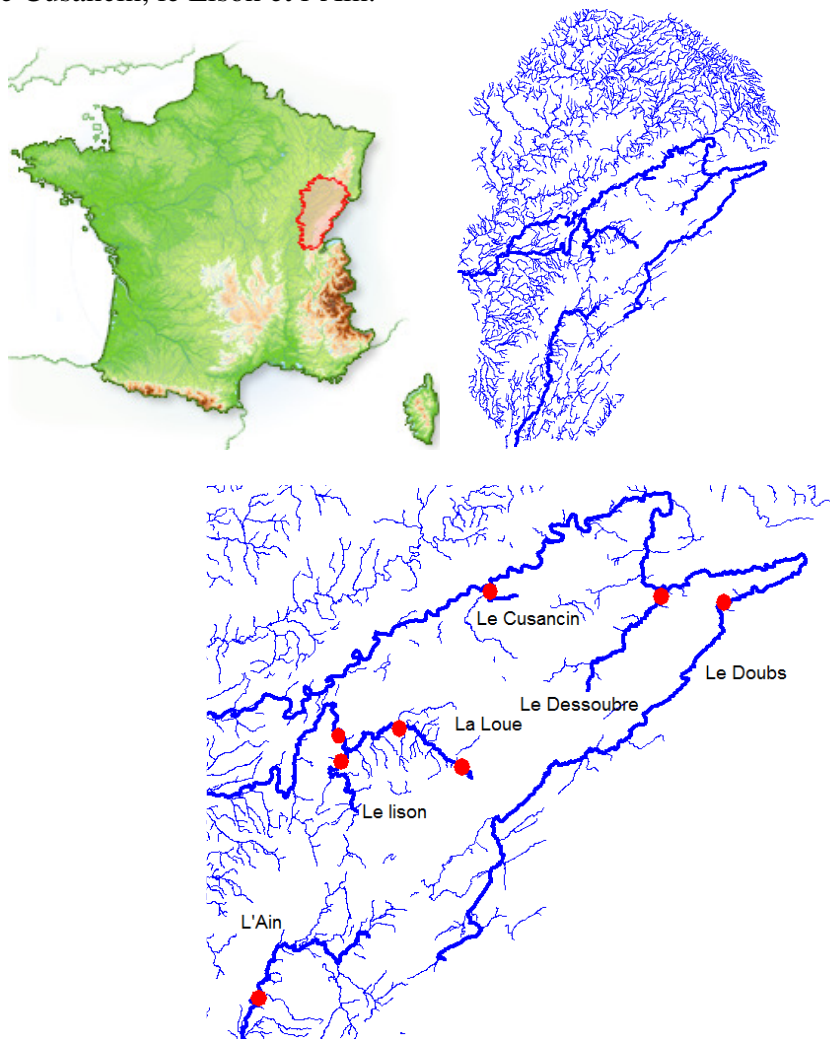


Figure 1 : Situation géographique des stations d'étude

### 2.2 Les cours d'eau

#### 2.2.1 La Loue

La Loue naît d'une résurgence, sur la commune d'Ouhans (543 mètres) et conflue avec le Doubs en aval de Parcey (193 mètres) dans le Jura, après avoir parcouru 125 kilomètres. La source principale est essentiellement alimentée par :

- ✓ les pertes du Doubs près de Pontarlier,
- ✓ une série de fissures situées entre Arçon et Maison du bois,
- ✓ les pertes du Drugeon.

La Loue s'écoule principalement dans des formations constituées de zones de plateaux, séparées par des zones plissées (faisceaux), avant de pénétrer dans le domaine bressan. Le dénivelé moyen de la Loue est estimé à 2,8 ‰.

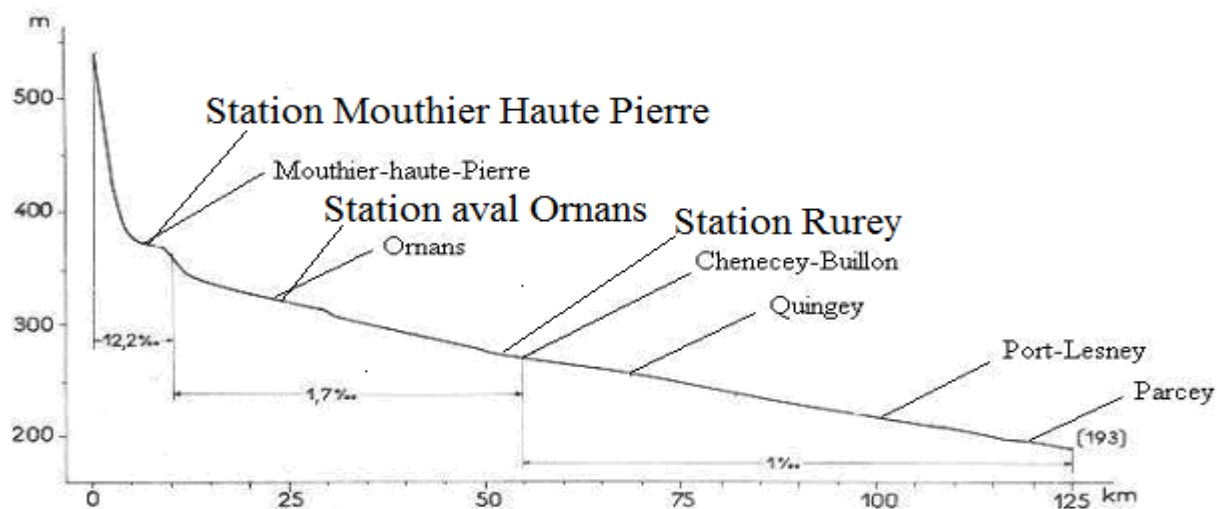


Figure 2 : Profil longitudinal de la Loue

## 2.2.2 Le Doubs

La source du Doubs se situe sur la commune de Mouthe à 945 m d'altitude. Le long de son parcours, des barrages hydroélectriques se succèdent dans le secteur compris entre le saut du Doubs et Goumois. Après avoir parcouru 459 kilomètres, il rejoint la Saône au niveau de Verdun sur le Doubs (172 m).

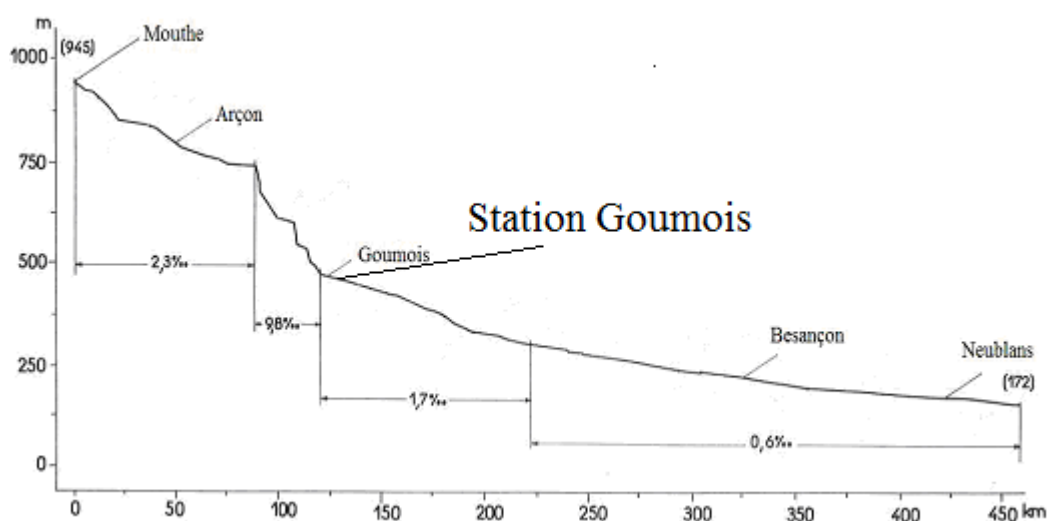


Figure 3 : Profil longitudinal du Doubs

### 2.2.3 Le Dessoubre

Le secteur des sources du Dessoubre, situé à 600 m d'altitude, présente une pente forte (75 ‰). Il est constitué d'un ensemble de résurgences permanentes ou temporaires issues de grottes. Puis, le Dessoubre coule sur le fond d'un ancien lac et reçoit La Reverotte, qui est son principal affluent. Il conflue avec le Doubs au niveau de Saint Hippolyte (379 m) après avoir parcouru une trentaine de kilomètres.

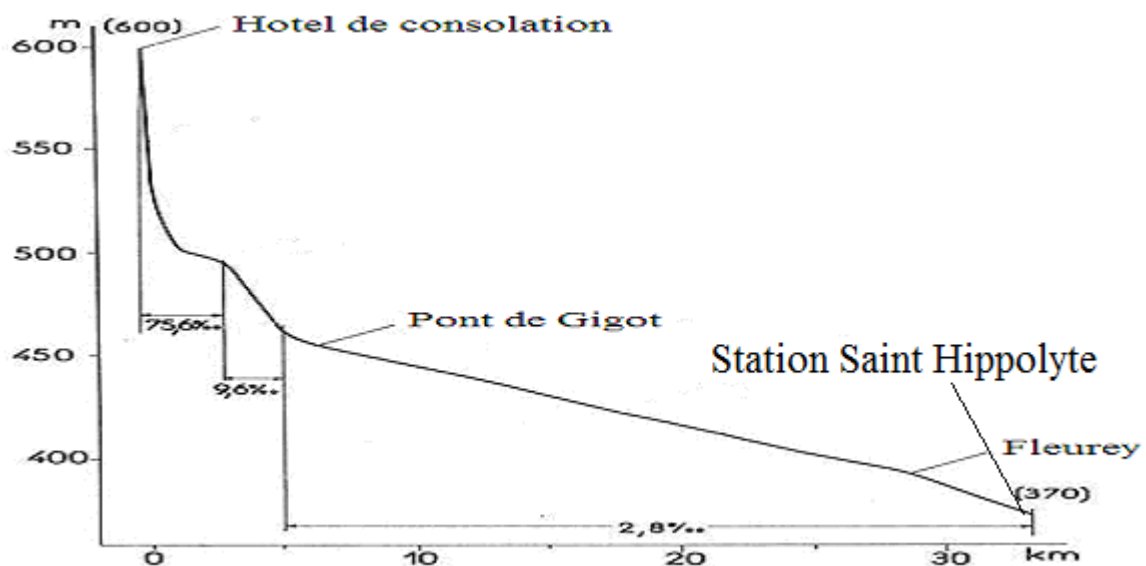


Figure 4 : Profil longitudinal du Dessoubre

### 2.2.4 Le Cusancin

Le Cusancin est formé de deux sources principales, la Source Bleue et la source « du Moulin du Mont », situées à 350 m d'altitude. Il faut également ajouter la résurgence temporaire du « Puits des Alloz ». Au niveau de Pont les Moulins, le Cusancin reçoit la résurgence de l'Audeux. Il conflue avec le Doubs au niveau de Baume les Dames (262 m) après avoir parcouru 13 km.

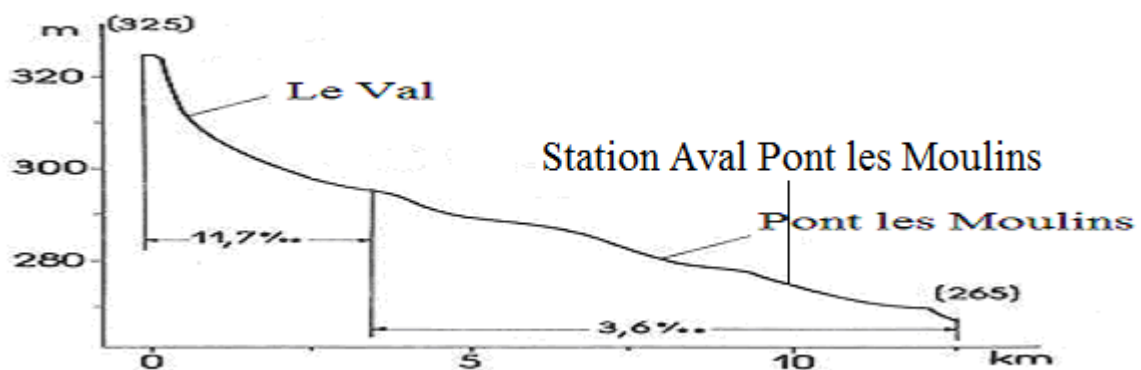
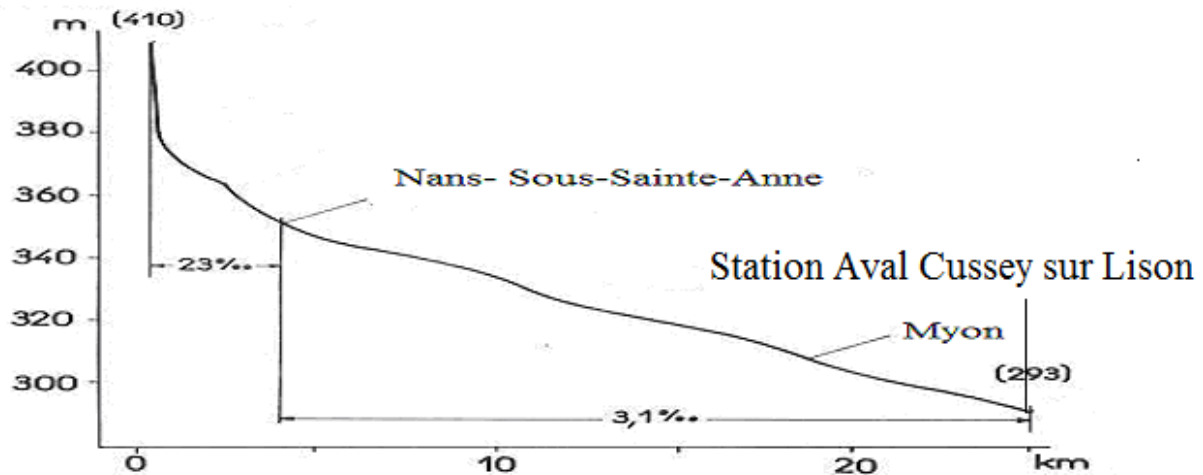


Figure 5 : Profil longitudinal du Cusancin

### 2.2.5 Le Lison

Affluent de la Loue au niveau de Chatillon-sur-Lison (293 m), cette résurgence, prend sa source sur la commune de Nans-sous-Sainte-Anne (410 m) et parcourt 25 kilomètres. Le Lison a un bassin versant de 240 Km<sup>2</sup>. Ces principaux affluents sont le Verneau à Nans-sous-Sainte-Anne, le Gour de Conche à Myon et la Goulue à Cussey sur Lison.



### 2.2.6 L'Ain

La rivière d'Ain prend sa source dans le Jura sur le plateau de Nozeroy et se jette dans le Rhône après un parcours d'environ 200 km. Son bassin versant est d'environ de 3 630 km<sup>2</sup>. Dans sa partie jurassienne il est faiblement urbanisé et caractérisé par une activité agricole dominante.

## 2.3 Les stations d'étude

### 2.3.1 Sur la Loue (3 stations de suivi)

- La loue à Mouthier-Haute-Pierre



Figure 7 : Photographie de la station à Mouthier-Haute-Pierre  
Coordonnées Lambert 93 : X = 948 605  
Y = 6 664 842

La station, située au cœur du village de Mouthier-Haute-Pierre, est localisée à 5 kilomètres de la source. La ripisylve n'est pas présente sur cette station chenalisée. On remarque la présence d'un rejet domestique en rive gauche. Le substrat principal se compose d'un mélange de galets-graviers.

➤ La Loue à Ornans



**Figure 8 : Photographie de la station à Ornans**

Coordonnées Lambert 93 : X = 936 838

Y = 6 672 199

La station d'Ornans se situe à 23 kilomètres de la source, au niveau de la zone industrielle de la ville éponyme en aval de l'agglomération. Sur chaque rive, la ripisylve est bien développée et le substrat dominant est composé d'un mélange de galets-graviers.

➤ La Loue à Rurey



**Figure 9 : Photographie de la station à Rurey**

Coordonnées Lambert 93 : X = 925 448

Y = 6 670 466

La station se situe dans un secteur où la vallée est relativement ouverte, à environ 45 kilomètres de la source. La rive gauche est bordée par une pâture et une ripisylve éparse. La rive droite présente une prairie associée à une strate arbustive bien développée. Le substrat est constitué de graviers-galets associé à des zones de tufs.



### 2.3.2 Sur le Doubs (1 seule station de suivi)

➤ Le Doubs à Goumois



**Figure 10 : Photographie de la station à Goumois**  
Coordonnées Lambert 93 : X = 998 006  
Y = 6 695 071

La station d'étude se situe sur le territoire de la commune de Goumois entre la station de pompage et le moulin du Plain, à 124 kilomètres de la source. La rive gauche est bordée par une prairie et quelques bosquets. Une prairie étroite longe la rive droite, puis on trouve une route et le coteau boisé. Le fond de la rivière est constitué essentiellement de galet-gravier avec la présence de quelques blocs. Cette station est influencée par le fonctionnement du barrage de la Goule situé en amont et par la gestion hydroélectrique du secteur en général.

### 2.3.3 Sur le Dessoubre (1 seule station de suivi)

➤ Le Dessoubre à Saint-Hippolyte



**Figure 11 : Photographie de la station à Saint-Hippolyte**  
Coordonnées Lambert 93 : X = 987 739  
Y = 6 697 645

La station se situe au cœur de Saint-Hippolyte, en amont du pont, à environ 32 kilomètres de la source. Un rejet direct d'eau usée domestique est à noter en rive gauche avec présence d'habitations et de jardins. Les strates arbustives et arborées sont inexistantes sur cette rive. En rive droite, on remarque également l'existence d'un rejet, une habitation et des jardins. La strate arbustive est présente mais très peu développée. Le substrat dominant est le galet-gravier associé à quelques blocs.



### 2.3.4 Sur le Cusancin (1 seule station de suivi)

- Le Cusancin en aval de Pont les Moulins



**Figure 12 : Photographie de la station en aval de Pont les Moulins**  
Coordonnées Lambert 93 : X = 954 680  
Y = 6 698 520

La station est située entre Pont-les-Moulins et la confluence avec le Doubs, le long de la départementale n°50 à 10 kilomètres des sources. Les strates arborées et arbustives sont bien présentes sur chaque rive. Une forêt est présente en rive droite alors que l'on trouve une prairie en rive gauche. Le fond de la rivière est composé de galets et de blocs fortement recouverts par des fines.

### 2.3.5 Sur le Lison (1 seule station de suivi)

- Le Lison en aval de Cussey-sur-Lison



**Figure 13 : Photographie de la station en aval de Cussey-sur-Lison**  
Coordonnées Lambert 93 : X = 925 538  
Y = 6 665 901

La station se situe sur le territoire de la commune de Cussey-sur-Lison en aval du barrage, à 23 kilomètres de la source. Les rives présentent une strate arbustive et arborée bien fournie. Une prairie borde la rivière de chaque côté. Le substrat est essentiellement composé d'une dalle calcaire.

### **2.3.6 Sur le L'Ain (1 seule station de suivi)**

- L'Ain en amont du pont de Châtillon



**Figure 14 : Photographie de la station en amont du pont de Châtillon**

Coordonnées Lambert 93 : X = 910 306

Y = 6 621 492

La station se situe sur la commune de Châtillon, en amont du pont, à une quarantaine de kilomètres de la source. Une ripisylve importante est installée et des pâturages sont présents en rive droite. En rive gauche, on trouve un coteau couvert par des bois. Le substrat est largement dominé par un mélange galets-graviers.

## **2.4 Le suivi des développements algaux**

### **2.4.1 Cadre du protocole**

Ce suivi est réalisé sur la base de l'application du protocole de mesure des colmatages algaux (Degiorgi F., et al., 2006 / Frossard V., 2006 / Baud J-B., 2009) qui permet d'estimer la biomasse stationnelle par échantillonnage stratifié reposant sur une cartographie préalable de l'occupation spatiale des algues sur le fond du cours d'eau. Ce protocole reproductible permet d'effectuer des suivis pluri-annuels basés sur des prélèvements de substrats naturels.

Au total, 10 campagnes ont eu lieu sur les 8 stations, lorsque les débits permettaient de réaliser les prélèvements.

### **2.4.2 Choix de la station**

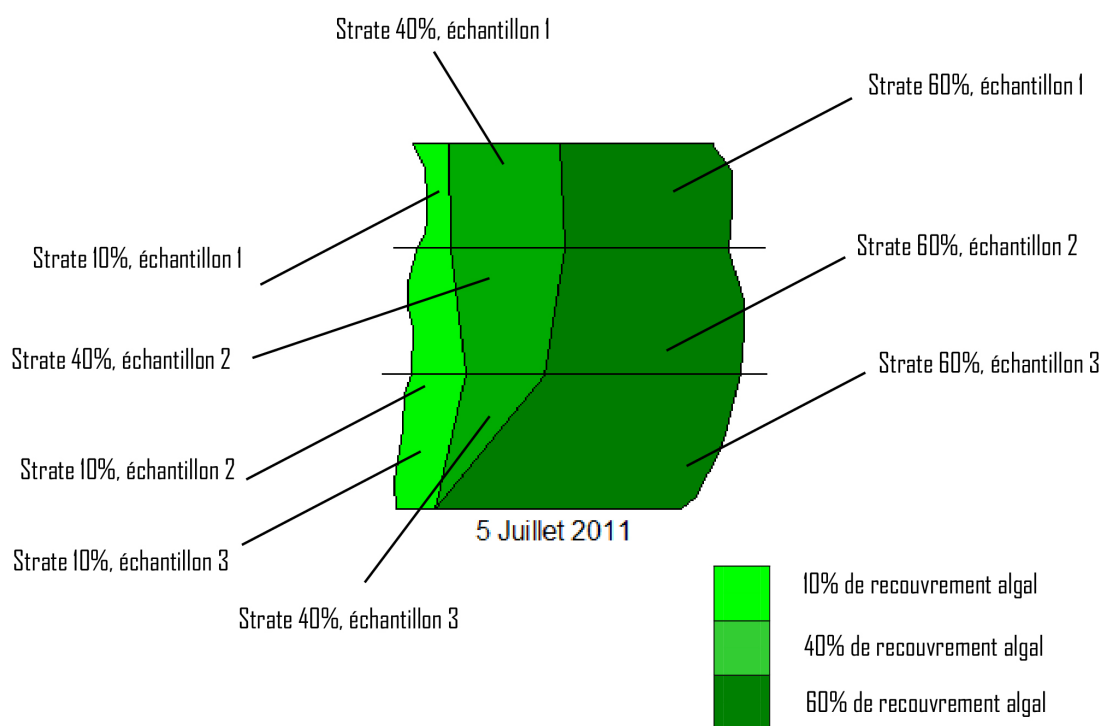
La station doit avoir une profondeur permettant la prospection à pied, et sans ombrage lié au feuillage des arbres et arbustes rivulaires. Les limites amont et aval des stations sont définies et 4 transects (rive gauche / rive droite) sont disposés à l'aide de cordes.

### 2.4.3 Mode d'échantillonnage et de traitement

Plusieurs étapes doivent être suivies pour effectuer l'échantillonnage de façon optimale.

**1) Procéder à la cartographie des recouvrements de la station.** Le taux de recouvrement (ou taux de colmatage) des algues est estimé à l'aide de classe de recouvrement, puis mesuré à l'aide d'un décimètre et reporté sur un plan de la station. Les classes de recouvrement (annexe 2) utilisées ont un pas de 10 % sauf les 2 premières classes qui s'étendent respectivement de 0 à 5 % et de 5 à 10 %. Les cartes réalisées sur le terrain sont numérisées sur SIG afin d'obtenir la surface de chaque strate.

**2) Réaliser l'échantillon :** trois prélèvements, réalisés au filet surber ( $1/20^{\text{ème}}$  de  $\text{m}^2$ ), sont effectués au sein de chacune des différentes strates de recouvrement (3 échantillons par strate).



L'ensemble des substrats dans le cadre du filet Surber sont raclés à la main, filets orienté vers l'amont, de manière à collecter l'ensemble des algues.

Dans le cas de faibles recouvrements (présence de touffes éparées) on effectue un prélèvement représentatif de l'occupation des algues. On note la profondeur, la vitesse du courant et la distance à une des rives du prélèvement, sa strate d'appartenance ainsi que l'état sanitaire.

**3) Préparer les échantillons :** De retour au laboratoire, les impuretés (éléments minéraux, larves d'insectes...) sont enlevées des échantillons ; on trie individuellement et minutieusement chaque prélèvement ; le tri est effectué à l'eau courante par lavages successifs

et doit être poussé jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de retirer des impuretés sans enlever d'algues. Compter de 10 à 40 minutes pour traiter un échantillon.

**4) Déterminer les échantillons :** les algues sont déterminées à l'aide du guide de détermination des algues (RODRIGUEZ et al. 1996). La limite de détermination est généralement le genre.

5) Essorer de manière constante en effectuant une dizaine de pression sur le bouton presseur de l'essoreuse.

6) Conditionner chaque prélèvement dans un sachet plastique fermé hermétiquement. Pour une meilleure conservation, utiliser une glacière et stocker les échantillons au réfrigérateur.

7) Peser les échantillons pour obtenir le Poids Frais (PF), pour obtenir le Poids Sec (PS), mettre les échantillons 8 heures à l'étuve à 105°C. Pour obtenir le Résidu Sec Sans Cendres (RSSC), mettre au four à 550°C pendant 6 heures.

8) La biomasse de la station, exprimée en g/m<sup>2</sup>, est estimée par la moyenne stratifiée calculée à partir des poids frais par placettes pondérées par la surface relative de chaque classe de recouvrement. Pour cela, on utilise les variables ci-dessous :

$$\begin{aligned} W_i &= S_i / S_{\text{station}} \\ B_i &= R_i \times (\sum P_i) / n_i \times 20. \\ B_{\text{st}} &= \sum (W_i * B_i) \end{aligned}$$

$W_i$  = Poids de la strate  $i$

$S_i$  = Surface de la strate  $i$ .

$S_{\text{station}}$  = Surface de la station.

$R_i$  = valeur médiane de la classe de recouvrement de la strate  $i$  (en %)

$n_i$  = nombre de prélèvement (de 1/20e de m effectués pour la strate  $i$ )

$P_i$  = Biomasse d'un prélèvement appartenant à la strate  $i$

$B_i$  = Biomasse de la strate  $i$

$B_{\text{st}}$  = Biomasse moyenne totale de la station en g/m<sup>2</sup>.

| Etape      | Prélèvement                                                               | détermination,                         | Analyses et interprétation                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Opérateurs | Baud JB, Cuinet A.<br>Rahon J. Daudey T.<br>( <i>Eaux Continentales</i> ) | Baud JB, ( <i>Eaux Continentales</i> ) | Baud JB, Cuinet A. ( <i>Eaux Continentales</i> ) |

## **2.5 Indice Biologique Macrophyte Rivière (IBMR) (norme AFNOR NF T 90-395)**

L'Indice Biologique Macrophyte Rivière permet d'estimer le niveau trophique des cours d'eau.

Sur l'ensemble des stations, une seule campagne d'échantillonnage a eu lieu entre fin Juin et fin Juillet, lorsque que les végétaux présentaient un développement optimal et que les conditions de débit permettaient la prospection à pied.

Le protocole mis en place pour obtenir les données nécessaires repose sur les investigations suivantes :

- Une longueur de station de 50 ou 100 m,
- Deux faciès prospectés (1 lentique et 1 lotique),
- Le prélèvement des végétaux aquatiques effectué en été lors de la période de développement,
- Le pourcentage de recouvrement estimé pour chaque faciès et chaque différent taxon.

Dans le cas des cours d'eau peu profonds, le relevé se fait en parcourant l'ensemble de la zone. Il faut remonter le cours d'eau le long des deux berges et un parcours en zigzag est effectué au centre du chenal, afin que toutes les profondeurs et tous les substrats soient échantillonnés. Les espèces de petite taille sont spécifiquement recherchées, quitte à écarter les végétaux dominants et à lever blocs et rochers (NF T90-395., 2003).

La détermination des bryophytes a été réalisée à l'aide du guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques (Bailly G & al., 2004) et pour les végétaux aquatiques, la clé de détermination des macrophytes de France (Barbe J., 1984).

Les données obtenues permettent de calculer l'indice à partir de la formule ci-dessous :

$$IBMR = \frac{\sum_i^n E_i * K_i * CS_i}{\sum_i^n E_i * K_i} \text{ avec :}$$

i : taxon contributeur,

n : nombre de taxons contributeurs,

CS<sub>i</sub> : cote spécifique (Annexe 3), variant de 0 (eutrophe) à 20 (oligotrophe), correspond à la classe trophique de chaque taxon,

E<sub>i</sub> : coefficient de sténocécie (Annexe 3), variant de 1 (amplitude large) à 3 (amplitude étroite), traduit l'amplitude écologique du taxon

K<sub>i</sub> : coefficient d'abondance du taxon, variant de 1 à 5 selon son recouvrement dans la station.

L'Indice Biologique Macrophyte Rivière est interprété de la façon suivante :

|                              |                         |                        |                       |                             |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Niveau trophique très faible | Niveau trophique faible | Niveau trophique moyen | Niveau trophique fort | Niveau trophique très élevé |
| ≥ à 14                       | 12 à 13,9               | 10 à 11,9              | 8 à 9,9               | < à 8                       |
|                              |                         |                        |                       |                             |

| Etape      | Prélèvement                            | détermination,                         | Analyses et interprétation             |
|------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Opérateurs | Baud JB, ( <i>Eaux Continentales</i> ) | Baud JB, ( <i>Eaux Continentales</i> ) | Baud JB, ( <i>Eaux Continentales</i> ) |

## 2.6 Les cyanobactéries

L'échantillonnage s'effectue au centre du chenal sur l'eau et les substrats.

Pour les prélèvements benthiques, à l'aide d'un filet à plancton, on gratte la surface d'un sûrber (1/20<sup>ème</sup> de m<sup>2</sup>), sur les premiers centimètres de galets ou graviers de petit diamètre afin de pouvoir les mettre dans un flacon. On prélève également de la même manière des végétaux ou des bryophytes.

Pour les prélèvements dans la masse d'eau, on prélève simplement 1 litre d'eau.

Les prélèvements sont stockés dans une glacière et envoyé le jour même au laboratoire. Lors de chaque campagne, les cyanobactéries sont recherchées, comptées et déterminées par le Bureau d'étude Aqua-Gestion dans les trois prélèvements.

| Etape      | Prélèvement                                                               | Détermination et comptage              | Analyse et interprétation                        |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Opérateurs | Baud JB, Cuinet A.<br>Rahon J. Daudey T.<br>( <i>Eaux Continentales</i> ) | Combrouze P.<br>( <i>Aquagestion</i> ) | Baud JB, Cuinet A. ( <i>Eaux Continentales</i> ) |

## **2.7 Indice Biologique Diatomique (IBD) (norme AFNOR NF T90-354)**

Lors de cette étude, 5 campagnes d'échantillonnage ont eu lieu (début Mai, mi-Août, fin Septembre, début Décembre, mi-mars 2012), lorsque que le débit était stable depuis un certain temps afin que les diatomées puissent se développer. L'objectif est d'observer les variations saisonnières de populations et d'identifier d'éventuels taxons caractérisant une surcharge en éléments nutritifs de l'eau.

Le prélèvement de la flore algale unicellulaire fixée sur les pierres et galets du fond des rivières permet d'établir un diagnostic de la qualité biologique des eaux. La note obtenue est comprise entre 0 (qualité très mauvaise) et 20 (qualité très bonne). L'IBD traduit le niveau de pollution organique et trophique.

L'échantillonnage doit être réalisé dans une zone bien éclairée et dans la gamme de vitesse principale. Le prélèvement s'effectue à l'aide d'une brosse ou d'un racloir afin de gratter une surface totale d'au moins 100 cm<sup>2</sup>. Le contenu obtenu est homogénéisé, puis transféré dans un flacon. Une faible quantité de formol est ensuite ajoutée afin de conserver l'échantillon. Dans cette étude, l'échantillonnage a été réalisé en plusieurs endroits au sein d'un faciès lotique.

De retour au laboratoire, la matière organique est éliminée. Pour cela, un volume d'échantillon est introduit dans un tube à essai, dans lequel 6 volumes d'eau oxygénée sont ajoutés. Après décantation, l'eau oxygénée est éliminée dans le but de récupérer le fond du tube. De l'acide chlorhydrique est ajouté pour éliminer les carbonates et avoir ainsi une préparation plus propre. L'échantillon traité à l'acide chlorhydrique est rincé à l'eau déminéralisée et laissé à décanter une dizaine d'heures.

Ensuite, un peu d'échantillon traité est dilué avec de l'eau dans un pilulier afin d'obtenir une suspension légèrement trouble. Une goutte de cette suspension est déposée sur une lamelle puis elle est laissée à sécher à l'abri de la poussière. La lamelle est retournée et collée sur une lame à l'aide d'une résine.

Enfin, sous microscope, les diatomées sont comptées et identifiées à l'espèce, à l'aide d'ouvrage de référence.

L'Indice Biologique Diatomique est interprété de la façon suivante :

| Très bon état | Bon état  | Moyen     | Médiocre   | Mauvais |
|---------------|-----------|-----------|------------|---------|
| ≥ à 18        | 16 à 17,9 | 13 à 15,9 | 9,5 à 12,9 | < à 9,5 |
|               |           |           |            |         |

| Etape      | Prélèvement                                                               | détermination,                                | Analyses et interprétation                                                            |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Opérateurs | Baud JB, Cuinet A.<br>Rahon J. Daudey T.<br>( <i>Eaux Continentales</i> ) | Parmentier E., ( <i>Poyri Environnement</i> ) | Parmentier E., ( <i>Poyri Environnement</i> ) Cuinet A. ( <i>Eaux Continentales</i> ) |

## 2.8 Les mesures conjointes

### 2.8.1 Paramètres mésologiques des stations

Le lien trophique ne suffit pas à expliquer les développements d'algues en termes de biomasse et de recouvrement. D'autres facteurs mésologiques semblent prépondérants tels que l'éclairement de la station. Ce paramètre est approché par l'orientation de la station, sa situation topographique (reliefs) et le développement de sa ripisylve.

| Stations  | Orientation | % de ripisylve | Présence de relief en RG | Présence de relief en RD | Note ensoleillement |
|-----------|-------------|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| Mouthier  | SE/NO       | 0%             | 2                        | 4                        | 15                  |
| Ornans    | SE/NO       | 5%             | 4                        | 0                        | 12                  |
| Rurey     | SO/NE       | 1%             | 2                        | 3                        | 15                  |
| Doubs     | SO/NE       | 0%             | 2                        | 0                        | 12                  |
| Dessoubre | SO/NE       | 0%             | 2                        | 4                        | 16                  |
| Cusancin  | SO/NE       | 30%            | 1                        | 0                        | 8                   |
| Lison     | NO/SE       | 10%            | 2                        | 3                        | 10                  |
| Ain       | NE/SO       | 5%             | 0                        | 5                        | 13                  |

Tableau 1 : Eclairement des stations

Afin d'estimer l'éclairement de chaque station, des classes de 1 (faible effet) à 5 (fort effet voir annexe 1) ont été établies pour chaque paramètre.

La note d'éclairement, calculée sur 20, indique le niveau d'insolation de la station, qui sera important si la note est élevée et faible pour une note basse.

Le pourcentage de ripisylve correspond à une estimation de la surface protégée des rayons du soleil par la couverture végétale quand ce dernier se trouve au zénith.

La présence de relief prend en compte la distance des coteaux au cours d'eau.



## **2.8.2 Analyses physico-chimiques**

Les analyses physico-chimiques réalisées dans le cadre de cette étude sont représentatives des conditions de prélèvements nécessaires à l'échantillonnage des algues. Elles ne sauraient constituer une chronique de la qualité physico-chimique des stations suivies puisqu'elles ne sont représentatives que de conditions d'étiage ou de basses eaux.

## **2.8.3 Mesures in situ**

Lors de chaque campagne de prélèvement des algues, la température de l'eau, la conductivité, le pH, l'oxygène dissout (mg/l) et le pourcentage de saturation en oxygène sont mesurés.

## **2.8.4 Mesures au laboratoire**

### **2.8.4.1 Eau brute**

Un échantillon d'eau de 2 litres est prélevé lors de chaque campagne et transmis au laboratoire agréé de chimie des eaux de Besançon, pour réaliser les analyses suivantes :

- Azote (NH<sub>4</sub>, NK, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>),
- Phosphore (PO<sub>4</sub>, Pt),
- DBO<sub>5</sub>,
- DCO,
- MEST.

Le prélèvement est réalisé au centre du chenal, à l'aide d'un flacon refermé dans l'eau afin d'éviter d'emprisonner de l'air dans les échantillons.

### **2.8.4.2 Sédiments**

Lors de 5 campagnes (en 2011, début Avril, mi-Juin, fin Septembre, début Décembre, en 2012 mi Mars), un échantillon de sédiment (la partie fine supérieure) est envoyé au laboratoire de chimie des eaux pour effectuer les mesures de phosphore total et de phosphate.

Pour ces analyses, les prélèvements ont été réalisés dans les sédiments accumulés le long des rives dans des zones où le courant est faible à nul. Le substrat échantillonné correspond à un dépôt fin plus ou moins organique.

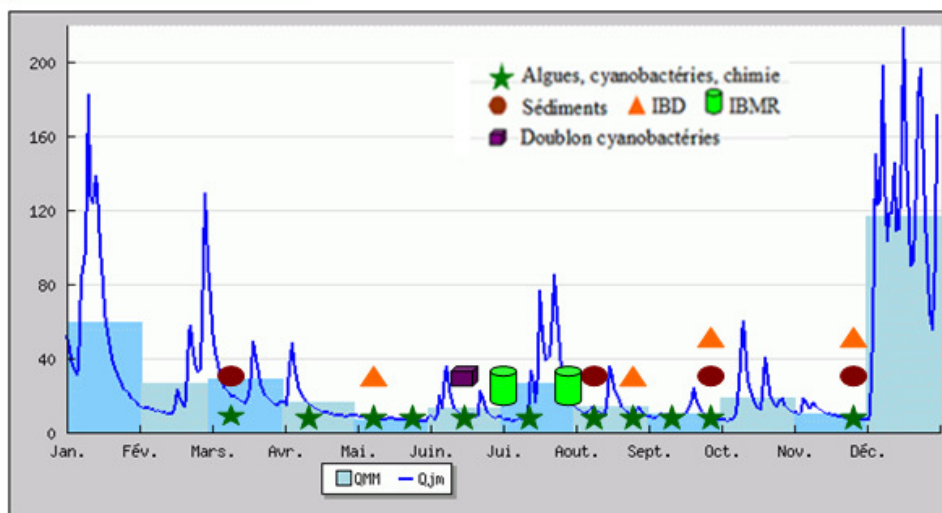
Lors des campagnes de Décembre 2011 et Mars 2012 des analyses complémentaires ont été réalisées. En plus du phosphore total et des phosphates, les teneurs en azote kjeldahl et ammoniacal sont recherchées.

### 3 Résultats

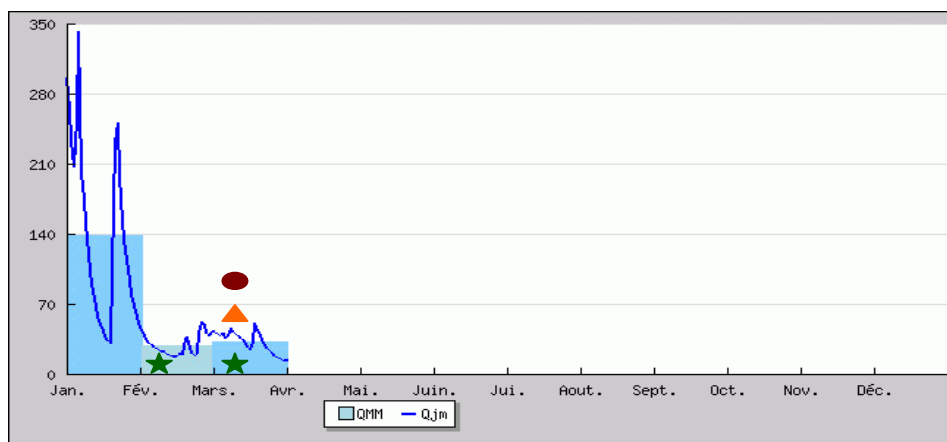
Les résultats obtenus ne restent représentatifs que de la station échantillonnée et ne peuvent en aucun cas être généralisés à l'ensemble du cours d'eau étudié.

Les prospections de terrain ont eu lieu toutes les trois semaines en général. La première campagne du suivi, début mars 2011, a été réalisée par Synusie Eau, association des hydrobiologistes francs-comtois. Les autres campagnes ont été effectuées par Eaux Continentales.

La figure ci-dessous présente les différentes périodes de prélèvements ainsi que l'évolution hydrologique (données 2011 de la station hydrologique de Chenecey-Buillon, débits journaliers en m<sup>3</sup>/s). Lors de la campagne de février 2012, compte tenu des forts débits, seules des cyanobactéries et des algues filamenteuses ont été prélevées. Pour ces dernières, l'échantillonnage complet n'a pu être mis en œuvre et le prélèvement n'est effectué qu'afin de déterminer les espèces présentes.



2011



2012

Figure 15 : Prélèvements et évolution hydrologique

### 3.1 Indice Biologique Macrophyte Rivière

#### 3.1.1 Résultats 2011

Rappel :

L'Indice Biologique Macrophyte Rivière définit des niveaux trophiques, dans une gamme allant de très faibles à très élevés, exprimés par la combinaison des taxons présents et de leur recouvrement.

| Niveau trophique très faible | Niveau trophique faible | Niveau trophique moyen | Niveau trophique fort | Niveau trophique très élevé |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| ≥ à 14                       | 12 à 13,9               | 10 à 11,9              | 8 à 9,9               | < à 8                       |
| Blue                         | Green                   | Yellow                 | Orange                | Red                         |

Le graphique ci-dessous présente les notes obtenues pour l'Indice Biologique Macrophyte Rivière (IBMR) en 2011.

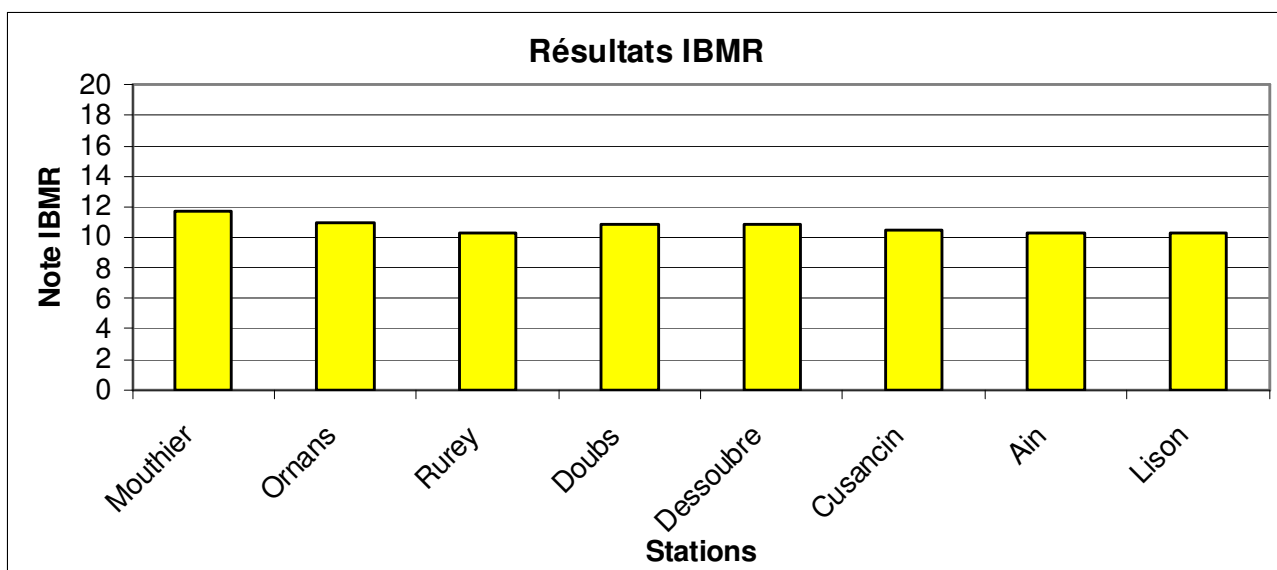


Figure 16 : Résultats de l'Indice Biologique Macrophyte Rivière

**Les notes indiquent un niveau trophique moyen et des écarts faibles entre les stations.** Sur la Loue, aucun site ne révèle une qualité ou une altération particulière d'après cette méthode. Les notes s'échelonnent de 10.24 pour la station de Rurey à 11.69 pour la station de Mouthier.

### 3.1.1.1 La Loue

| Taxons                                 | Mouthier | Ornans | Rurey |
|----------------------------------------|----------|--------|-------|
| <i>Amblystegium fluviatile</i> (11)    |          |        |       |
| <i>Cinclidotus aquaticus</i> (15)      |          |        |       |
| <i>Cinclidotus danubicus</i> (13)      |          |        |       |
| <i>Cinclidotus riparius</i> (13)       |          |        |       |
| <i>Cladophora sp.</i> (6)              |          |        |       |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> (10)    |          |        |       |
| <i>Glyceria fluitans</i> (14)          |          |        |       |
| <i>Melosira sp.</i> (10)               |          |        |       |
| <i>Mentha aquatica</i> (12)            |          |        |       |
| <i>Phalaris arundinacea</i> (10)       |          |        |       |
| <i>Ranunculus fluitans</i> (10)        |          |        |       |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> (11)   |          |        |       |
| <i>Rhynchostegium riparioides</i> (12) |          |        |       |
| <i>Spirogyra sp.</i> (10)              |          |        |       |
| <i>Tetraspora sp.</i> (12)             |          |        |       |
| <i>Vaucheria sp.</i> (4)               |          |        |       |

Présence en vert ; niveau trophique entre parenthèse

**Tableau 2 : Liste des taxons observés sur la Loue**

#### 3.1.1.1.1 Mouthier-Haute-Pierre

Avec une note de 11.69, l'IBMR définit pour cette station **un niveau trophique moyen**. 12 taxons sont répertoriés dont

- ✓ 7 avec une amplitude écologique large,
- ✓ 4 avec une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 1 avec une amplitude écologique étroite.

Les classes trophiques de l'ensemble des genres varient de 4 à 15.

La liste floristique est composée de 3 algues dont une présente un caractère « eutrophe » (*Vaucheria*), de 6 bryophytes et de 3 phanérogames.

#### 3.1.1.1.2 Ornans

Sur cette station, la note de 10.93 indique **un niveau trophique moyen**. Sur les 10 taxons prélevés, on remarque que :

- ✓ 7 présentent une amplitude écologique large,
- ✓ 2 présentent une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 1 présente une amplitude écologique étroite.

Les classes trophiques des genres observés varient de 4 à 13.

La liste floristique est composée de 4 algues dont 2 avec une préférence pour les milieux eutrophe (*Vaucheria* et *Cladophora*), 4 bryophytes et 2 phanérogames.

#### 3.1.1.1.3 Rurey

La note de 10.24 obtenue sur cette station indique **un niveau trophique moyen**. Le nombre de taxons observés sur cette station est de 9 dont :

- ✓ 6 ont une amplitude écologique large,
- ✓ 2 ont une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 1 a une amplitude écologique étroite.

Les différents genres ont des classes trophiques variant de 4 à 13.

La liste floristique est composée de 2 algues ayant une préférence pour les milieux eutrophe (*Vaucheria* et *Cladophora*), 4 bryophytes et 4 phanérogames.

Sur la Loue, l'IBMR ne montre pas d'amélioration de la qualité de l'eau avec l'éloignement à la source principale.

On constate au contraire en plus de la diminution globale du nombre de genre, la perte des taxons qui ont une préférence pour les eaux présentant une concentration plus faible en nutriments (cote spécifique élevée), ce qui confirme la présence d'apports d'éléments nutritifs entre les stations dont l'origine pourrait également être recherchée dans des phénomènes de relargage par le compartiment sédimentaire.

Entre Mouthier et Ornans, la perte de 5 taxons, dont le niveau trophique (entre 10 et 15) indique une eau oligo-mésotrophe, est compensée par l'apparition de 3 genres plus mésotrophes.

Entre Ornans et Rurey, 3 taxons, présentant des niveaux trophiques moyens entre 10 et 13, sont perdus et 2 apparaissent dont les cotes spécifiques indiquent une préférence pour les eaux mésotrophes.

### 3.1.1.2 Le Doubs

| Taxons                                  | Goumois |
|-----------------------------------------|---------|
| <i>Amblystegium riparium</i> (5)        |         |
| <i>Cinclidotus aquaticus</i> (15)       |         |
| <i>Cinclidotus danubicus</i> (13)       |         |
| <i>Cinclidotus riparius</i> (13)        |         |
| <i>Cladophora sp.</i> (6)               |         |
| <i>Fissidens gracilifolius</i> (14)     |         |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> (10)     |         |
| <i>Mentha aquatica</i> (12)             |         |
| <i>Phalaris arundinacea</i> (10)        |         |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> (11)    |         |
| <i>Vaucheria sp.</i> (4)                |         |
| <i>Veronica anagallis-aquatica</i> (11) |         |

Présence en vert ; niveau trophique entre parenthèse

Sur cette station, le calcul de l'indice donne une note de 10.89 et indique **un niveau trophique moyen**. Au total, 12 taxons ont été référencés dont :

- ✓ 5 présentent une amplitude écologique large,
- ✓ 5 présentent une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 2 présentent une amplitude écologique étroite.

Les taxons présentent des classes trophiques variant de 4 à 15.

La liste floristique est composée de 2 algues, préférant les eaux eutrophes (*Vaucheria* et *Cladophora*), 6 bryophytes et 4 phanérogames

Tableau 3 : Liste des taxons observés sur le Doubs à Goumois

### 3.1.1.3 Le Dessoubre

| Taxons                               | Saint-Hippolyte |
|--------------------------------------|-----------------|
| <i>Amblystegium riparium</i> (5)     |                 |
| <i>Cinclidotus aquaticus</i> (15)    |                 |
| <i>Cinclidotus danubicus</i> (13)    |                 |
| <i>Cinclidotus riparius</i> (13)     |                 |
| <i>Cladophora sp.</i> (6)            |                 |
| <i>Fissidens gracilifolius</i> (14)  |                 |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> (10)  |                 |
| <i>Mentha aquatica</i> (12)          |                 |
| <i>Nasturtium officinale</i> (11)    |                 |
| <i>Phalaris arundinacea</i> (10)     |                 |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> (11) |                 |
| <i>Spirogyra sp.</i> (10)            |                 |
| <i>Vaucheria sp.</i> (4)             |                 |

Présence en vert ; niveau trophique entre parenthèse

Avec une note de 10.85, **le niveau trophique sur cette station est qualifié de moyen**. Le nombre de taxons observé est de 13 dont :

- ✓ 7 ont une amplitude écologique large,
- ✓ 4 ont une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 2 ont une amplitude écologique étroite.

Les classes trophiques, variant de 4 pour les taxons les plus « eutrophes » à 15 pour les moins « eutrophes ».

La liste floristique est composée de 3 algues dont 2 ayant un caractère « eutrophe », 6 bryophytes et 4 phanérogames.

Tableau 4 : Liste des taxons observés sur le Dessoubre à Saint-Hippolyte

### 3.1.1.4 Le Cusancin

| Taxons                                                  | Aval Pont<br>les<br>Moulins |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Aneura pinguis</i> ( <i>Riccardia pinguis</i> ) (14) |                             |
| <i>Cladophora</i> sp.(6)                                |                             |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> (10)                     |                             |
| <i>Melosira</i> sp. (10)                                |                             |
| <i>Mentha aquatica</i> (12)                             |                             |
| <i>Phalaris arundinacea</i> (10)                        |                             |
| <i>Spirogyra</i> sp. (10)                               |                             |

Présence en vert ; niveau trophique entre parenthèse

**Tableau 5 : Liste des taxons observés sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins**

Sur cette station, la note de l'indice est de 10.52, ce qui signifie **un niveau trophique moyen**. Au total, 7 taxons ont été échantillonnés dont :

- ✓ 6 avec une amplitude écologique large,
- ✓ 1 avec une amplitude écologique moyenne.

Le nombre de taxons paraît particulièrement faible. Il est à noter qu'aucun taxon, présentant une amplitude étroite n'a été observé sur ce site. Cela signifie que des espèces, préférant les eaux peu chargées, ne peuvent pas se développer sur cette station.

L'ensemble des genres présente des classes trophiques, variant de 6 à 14.

La liste floristique est composée de 3 algues dont une présente un caractère eutrophe (*Cladophora*), 2 bryophytes et 2 phanérogames.

### 3.1.1.5 Le Lison

| Taxons                                                 | Aval Cussey sur<br>Lison |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Amblystegium riparium</i> (5)                       |                          |
| <i>Aneura pinguis</i> ( <i>Riccardia pinguis</i> )(14) |                          |
| <i>Cinclidotus danubicus</i> (13)                      |                          |
| <i>Cinclidotus riparius</i> (13)                       |                          |
| <i>Cladophora</i> sp. (6)                              |                          |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> (10)                    |                          |
| <i>Mentha aquatica</i> (12)                            |                          |
| <i>Phalaris arundinacea</i> (10)                       |                          |
| <i>Rhynchostegium riparioides</i> (12)                 |                          |
| <i>Spirogyra</i> sp.(10)                               |                          |
| <i>Vaucheria</i> sp.(4)                                |                          |

Présence en vert ; niveau trophique entre parenthèse

**Tableau 6 : Liste des taxons observés sur le Lison en aval de Cussey sur Lison**

Avec une note de 10.30, **cette station présente un niveau trophique moyen**. Au total, 11 taxons ont été répertoriés dont :

- ✓ 7 ont une amplitude écologique large,
- ✓ 3 ont une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 1 a une amplitude écologique étroite.

Les genres identifiés présentent des classes trophiques, variant de 4 à 14.

La liste floristique est composée de 3 algues dont 2 préférant les eaux eutrophes (*Vaucheria* et *Cladophora*), 6 bryophytes et 2 phanérogames.

### 3.1.1.6 L'Ain

| Taxons                                                 | Amont Pont de Châtillon |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Amblystegium riparium</i> (5)                       |                         |
| <i>Aneura pinguis</i> ( <i>Riccardia pinguis</i> )(14) |                         |
| <i>Callitriche platycarpa</i> (10)                     |                         |
| <i>Cinclidotus danubicus</i> (13)                      |                         |
| <i>Cinclidotus riparius</i> (13)                       |                         |
| <i>Cladophora</i> sp. (6)                              |                         |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> (10)                    |                         |
| <i>Mentha aquatica</i> (12)                            |                         |
| <i>Nasturtium officinale</i> (11)                      |                         |
| <i>Phalaris arundinacea</i> (10)                       |                         |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> (11)                   |                         |
| <i>Rhynchostegium riparioides</i> (12)                 |                         |
| <i>Vaucheria</i> sp.(4)                                |                         |

Présence en vert ; niveau trophique entre parenthèse

La note de cet indice, de 10.32, indique que **ce site présente un niveau trophique moyen**. Le nombre de taxon observé est de 13 taxons dont :

- ✓ 8 présentent une amplitude écologique large,
- ✓ 4 présentent une amplitude écologique moyenne,
- ✓ 1 présente une amplitude écologique étroite.

Les classes trophiques varient de 4 à 14.

La liste floristique est composée de 2 algues préférant les eaux eutrophes (*Vaucheria* et *Cladophora*), 6 bryophytes et 5 phanérogames.

Tableau 7 : Liste des taxons observés sur l'Ain en amont du Pont de Châtillon

### 3.1.2 Données antérieures

Des données (DREAL 2010) collectées sur les stations de Mouthier-Haute-Pierre et de la Piquette (5.5 kilomètres en amont de notre station de Rurey) sont présentées par le graphique suivant.

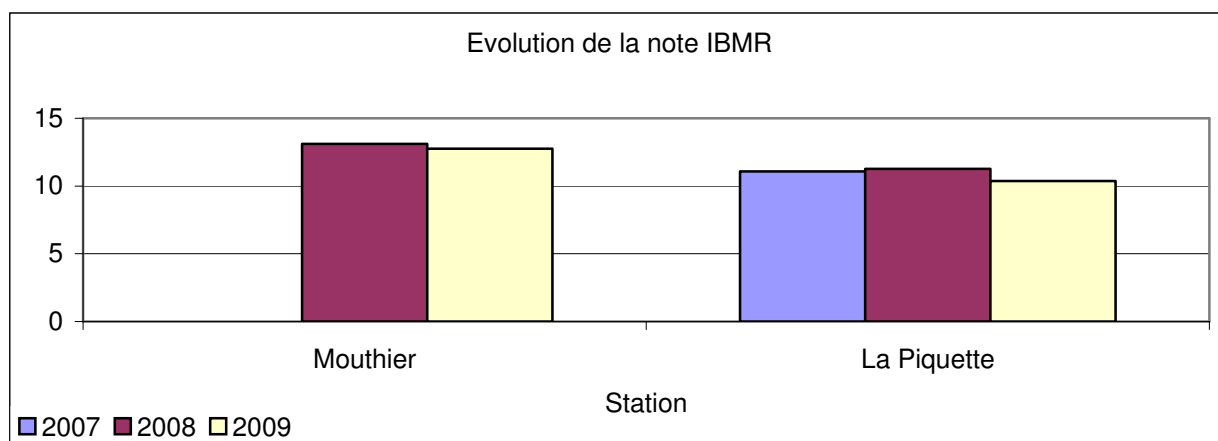


Figure 17 : Suivi des notes IBMR à Mouthier et la Piquette



**La station de Mouthier-Haute-Pierre**, présente des notes IBMR, respectivement de 13.10 en 2008 et 12.76 en 2009. La méthode définit pour ces valeurs un milieu aquatique de niveau trophique faible, « peu altéré » par les pollutions.

L'algue *Vaucheria* sp. avec un taux de recouvrement de 1,45% en 2008 et 6,4 % en 2009, indique un « léger » enrichissement des eaux en nutriments.

La couverture végétale est composée principalement de bryophytes dont

- 75% en faciès lotique dont 70% de bryophytes,
- 45% en faciès lentique dont 20% de bryophytes.

La richesse taxonomique globale est moyenne avec au total 13 taxons relevés, qui se répartissent de la manière suivante :

- 9 bryophytes en 2008 contre 8 en 2009,
- 2 algues en 2008 contre 3 en 2009,
- 2 phanérogames.

Au niveau des algues, seuls les genres *Vaucheria* sp. et *Melosira* sp. sont recensés auxquels s'ajoute une diatomée filamenteuse (*Diatoma* sp. en 2009).

Le peuplement de bryophytes est dominé par deux espèces communes relativement ubiquistes à savoir *Rhynchostegium riparioides* et *Fontinalis antipyretica*. On trouve également deux espèces rhéophiles *Cinclidotus danubicus* et *Cinclidotus aquaticus*. Les autres espèces relevées sont plus marginales: *Cinclidotus riparius* et *Cratoneuron filicinum* caractéristiques des eaux calcaires.

**Sur le site de la Piquette**, les notes IBMR s'échelonnent de 10,38 à 11,26 et correspondent à un milieu aquatique de niveau trophique moyen. La présence d'algues vertes polluo-résistantes indique que l'eau est enrichie « modérément » en éléments minéraux.

La couverture végétale est assez diversifiée. Au total 19 à 23 taxons ont été respectivement relevés pour les années 2008 et 2009. Ils se répartissent de la manière suivante :

- 9 bryophytes en 2008 contre 10 en 2009
- 3 algues en 2008 contre 6 en 2009
- 7 phanérogames en 2008 et en 2009

La couverture algale est dominée par une algue ubiquiste : *Cladophora* sp. En 2009, des taxons caractéristiques des milieux eutrophisés sont présents comme *Oedogonium* sp, *Rhizoclonium* sp.

### 3.1.3 Synthèse et interprétation des IBMR

Cet indice définit un niveau trophique moyen pour l'ensemble des stations. Sur la Loue, il n'est pas observé de restauration de la qualité de l'eau entre l'amont (Mouthier) et l'Aval (Rurey).

Le nombre de taxon observé est relativement faible sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins (7). Il est plus élevé sur l'Ain en amont du pont de Châtillon et sur le Dessoubre à Saint Hippolyte (13).

|                          | Nombre de taxons |       |           |             |
|--------------------------|------------------|-------|-----------|-------------|
|                          | Général          | Algue | Bryophyte | Phanérogame |
| Mouthier                 | 12               | 3     | 6         | 3           |
| Ornans                   | 10               | 4     | 4         | 2           |
| Rurey                    | 9                | 2     | 3         | 4           |
| Goumois                  | 12               | 2     | 6         | 4           |
| Saint Hippolyte          | 13               | 3     | 6         | 4           |
| Aval de Pont les Moulins | 7                | 3     | 2         | 2           |
| Aval de Cussey sur Lison | 11               | 3     | 6         | 2           |
| Amont pont de Châtillon  | 13               | 2     | 6         | 5           |

Tableau 8 : Suivi du nombre de taxon par station

La plupart des taxons identifiés présentent une amplitude écologique large ou moyenne. **L'absence ou la faible proportion de genre ayant une amplitude écologique étroite indique que la qualité du milieu n'est pas optimale.**

Les algues, identifiées sur l'ensemble des stations, présentent les plus forts pourcentages de recouvrement. Les deux taxons principaux, à savoir *Cladophora* et *Vaucheria*, sont caractérisés par une côte spécifique faible (en liaison avec leur préférence pour les concentrations en nutriments élevées). La présence de ces deux genres détermine alors fortement le résultat de la note IBMR.

Les bryophytes constituent entre 30% et 55% des taxons identifiés. Ils sont rencontrés dans les eaux mésotrophes sauf *Amblystegium riparium*, qui est observé dans les eaux eutrophes (Goumois, Saint-Hippolyte, Cussey sur Lison, Châtillon). Les amplitudes écologiques varient de 1 à 3.

Les phanérogames identifiées sur l'ensemble des stations sont caractérisées par une préférence pour les eaux mésotrophes et par une amplitude écologique large ou moyenne.

## 3.2 Les algues filamenteuses

### 3.2.1 Résultats 2011

#### 3.2.1.1 La Loue

##### 3.2.1.1.1 Mouthier-Haute-Pierre

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus sur la Loue à Mouthier.

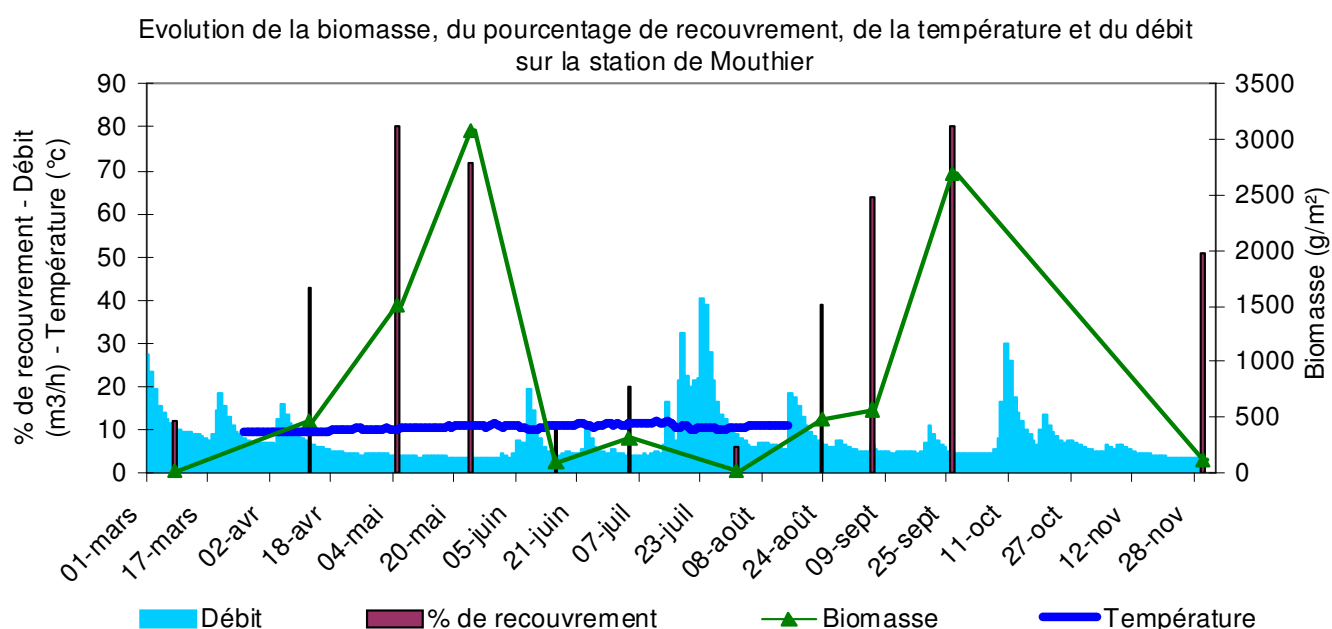


Figure 18 : Développements algaux sur la Loue à Mouthier

Le graphique montre la présence d'un pic de développement algal en fin de printemps (fin Mai) et d'un pic à l'automne (fin Septembre).

La plus forte biomasse (3079 g/m²) est obtenue lors de l'étiage printanier. A cette période, le pourcentage de recouvrement est à son maximum. Toutefois, on constate que le rapport PS/PF augmente, ce qui signifie que la qualité sanitaire des algues se dégrade (Boussinet S., 1995). Cet élément est confirmé par des observations de terrain : les algues se décrochent plus facilement du substrat lors de la campagne de fin Mai.

D'après ces constations et suite à une augmentation du débit, il est logique d'observer une diminution de la biomasse et du pourcentage de recouvrement lors de la campagne de Juin.

Les conditions météorologiques de l'été (Juillet à mi-Août) ont engendré un débit plus élevé (pic à 40,6 m<sup>3</sup>/s le 23 Juillet,) ce qui a limité le développement algal en période estivale.

Des niveaux plus stables de débit (sans préjuger d'autres facteurs) permettent une nouvelle poussée algale à compter du mois d'Août. Elle se traduit par une augmentation de la biomasse et du pourcentage de recouvrement en fin d'été.

| Min    | Max     | Moyenne | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse) |
|--------|---------|---------|--------------------------|------------------------------|
| 8.84°C | 12.61°C | 10.24°C | 26/03/2011 au 11/08/2011 | 442.8°C (12/04 au 24/05)     |

**Tableau 9 : Données du suivi des températures (annexe 4) sur la Loue à Mouthier-Haute-Pierre**

**Sur cette station la poussée algale semble indépendante du paramètre température qui s'avère extrêmement stable dans le temps** (proximité de la résurgence). Les minimas et maximas ne dépassent pas 8,84°C et 12,61°C. Lors de la poussée algale, aboutissant au pic printanier, un **accroissement de biomasse** de 2623 g a été mesuré entre le 12 Avril et le 24 Mai. Sur cette période, la somme des températures moyennes journalières atteint 442,8°C. A partir de ces valeurs, 1°C permet de synthétiser 5,92g de biomasse.

### 3.2.1.1.2 Ornans

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus durant l'étude sur la station d'Ornans.

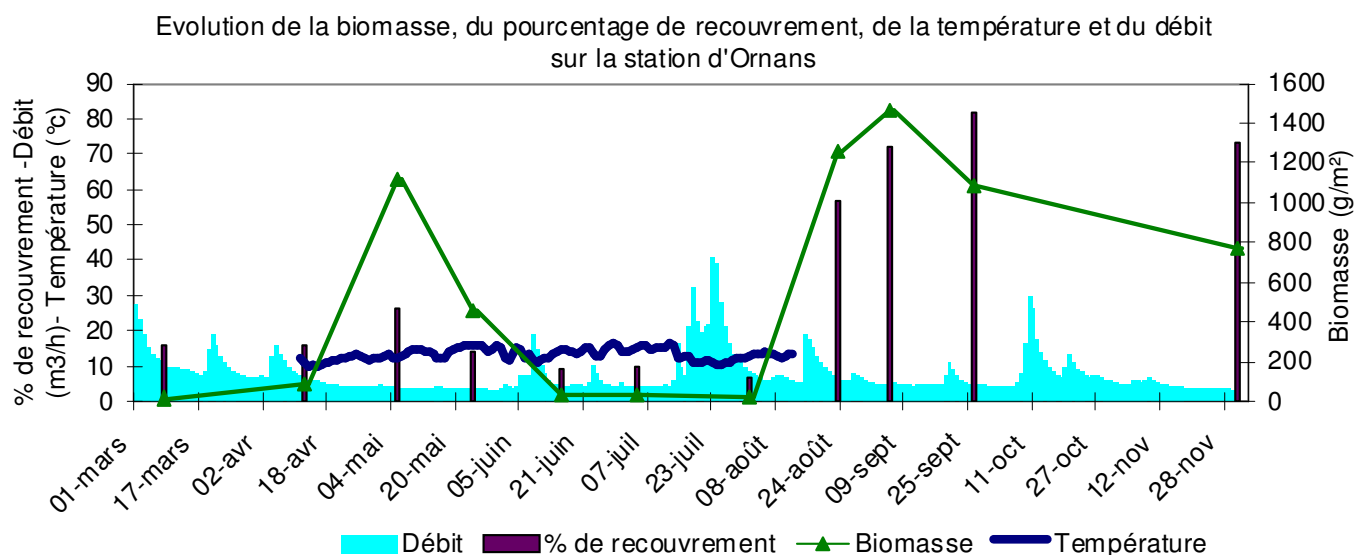


Figure 19 : Résultats des développements algaux sur la Loue à Ornans

On remarque à nouveau sur cette station, la présence de deux pics de poussée algale (printemps et automne) lors de périodes hydrologiques stables. Les pourcentages de recouvrement sont plus élevés lors de la seconde pousse. Ce phénomène peut être expliqué par les taxons recensés sur le site.

En effet, lors des premières campagnes, le genre dominant était *Vaucheria*, alors que sur la fin de l'été, le genre *Cladophora* était le plus présent. Il faut noter que *Vaucheria* présente des poids frais élevés, même avec des faibles recouvrements, alors que *Cladophora* a un fort pouvoir de colonisation mais une biomasse fraîche plus faible.

Comparativement à la station de Mouthier, le pic printanier est obtenu trois semaines plus tôt. **Cette différence pourrait être due à l'écart des températures moyennes mesurées entre les deux sites de la mi-Avril à début Mai (9.9°C à Mouthier et 11.8°C à Ornans)**

| Min    | Max     | Moyenne | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse) |
|--------|---------|---------|--------------------------|------------------------------|
| 8.84°C | 17.61°C | 13.28°C | 12/04/2011 au 12/08/2011 | 258.26°C (12/04 au 03/05)    |

Tableau 10 : Données du suivi des températures sur la Loue à Ornans

Les températures enregistrées (annexe 4) sur cette station présentent des variations importantes durant le suivi, avec un écart de 8,77 °C entre les températures maximales et minimales. Pour la période du 12 Avril au 03 Mai, l'**accroissement de biomasse** atteint 1029 g et la somme des températures moyennes journalières 258,26°C. 1°C permet alors de produire 3,98 g de biomasse.

Début Août, le retour à des périodes hydrologiques plus stables favorise le départ de la seconde pousse.

Comme sur la station de Mouthier, cette augmentation de la biomasse algale fait suite à la période de météo pluvieuse de Juillet. Ce second pic est-il dépendant ou indépendant de cette phase de crue ? Il serait intéressant de comparer ces courbes avec celles d'une année sèche.

### 3.2.1.1.3 Rurey

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus pour la station de Rurey.

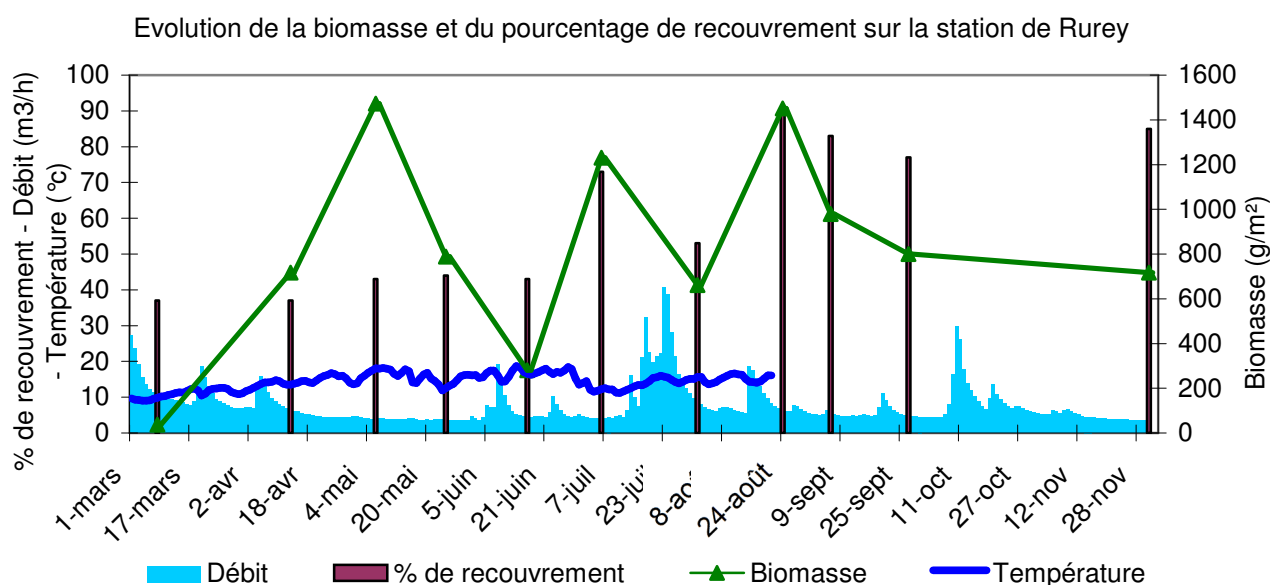


Figure 20 : Résultats des développements algaux sur la Loue à Rurey

Sur ce graphique, on observe la présence de trois pics (printemps, été, automne). Le premier est toujours obtenu début Mai, comme pour le site d'Ornans, à une période où le débit est stable. Le peuplement est alors composé en grande partie par le taxon *Vaucheria*, ce qui explique la forte biomasse et le pourcentage de recouvrement moyen.

Le dernier pic est obtenu fin Août (une semaine avant le second pic de la station d'Ornans avec un effet possible voire probable de la température). Il présente une biomasse et un pourcentage de recouvrement élevés ainsi qu'un peuplement composé de *Vaucheria* et *Cladophora*.

Le pic intermédiaire se met en place très rapidement (15 jours) entre deux évènements hydrologiques. Les genres *Vaucheria* et *Cladophora* sont identifiés sur la station.

Il est possible que la différence de conditions thermiques entre Ornans et Rurey explique ce pic supplémentaire. Entre début Mai et début Juillet, la température moyenne est de 13.9°C à Ornans et de 15.8°C à Rurey.

| Min   | Max    | Moyenne | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse)                                                       |
|-------|--------|---------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 8.3°C | 19.9°C | 14.32°C | 17/03/2011 au 02/09/2011 | 276.95°C (14/04 au 04/05)<br>332.5°C (17/06 au 06/07)<br>331.85°C (01/08 au 23/08) |

**Tableau 11 : Données du suivi des températures sur la Loue à Rurey**

Le suivi de la température (annexe 4) montre une variation de 11,6°C entre les minimas et les maximas. Lors des différents pics de biomasse, 1°C permet de synthétiser une biomasse de :

- 2,73 g (**accroissement de biomasse** de 756 g),
- 3,15 g (**accroissement de biomasse** 1050g),
- 2,38 g (**accroissement de biomasse** de 790 g).

On constate alors que l'accroissement de biomasse de cette station est plus élevé lors du second pic de croissance.

### 3.2.1.2 Le Doubs à Goumois

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus sur le Doubs à Goumois.

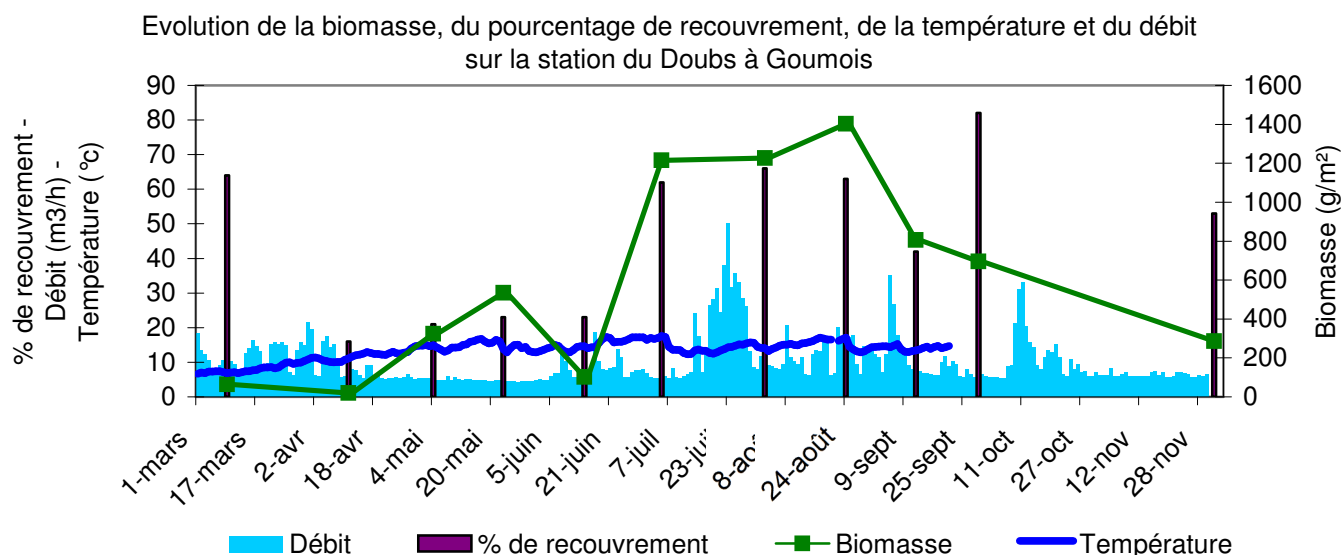


Figure 21 : Résultats des développements algaux sur le Doubs

Sur cette station, les niveaux d'eau et de débit sont constamment en variation (centrale hydroélectrique en amont) ; aucun véritable pic de croissance printanière n'a été mis en évidence. L'augmentation de biomasse observée en Mai correspond cependant à une période d'étiage stabilisé.

A partir de fin-Juin, malgré de fortes variations de débit, une augmentation de la biomasse algale et du pourcentage de recouvrement est observée.

Durant toute l'étude, le peuplement algal est composé principalement par le genre *Vaucheria* et *Cladophora*. En effet, les variations régulières de débit ne permettent pas aux algues, telle que *Spirogyra* de se développer dans la masse d'eau.

| Min                 | Max     | Moyenne  | Durée du suivi              | Degré jour (pic de biomasse)                            |
|---------------------|---------|----------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|
| 3.4°C<br>(sonde 1)  | 19° C   | 12.24° C | 10/03/2011 au<br>23/11/2011 | 556.3°C 11/04<br>au 23/05                               |
| 6.2°C<br>(sonde 1)  | 19°C    | 13.13° C | 10/03/2011 au<br>26/08/2011 | 334.15°C 14/06<br>au 05/07                              |
| 6.2° C<br>(sonde 2) | 18.9° C | 13.12° C | 10/03/2011 au<br>26/08/2011 | 555.05°C 11/04<br>au 23/05<br>333.5°C 14/06<br>au 05/07 |

Tableau 12 : Données du suivi des températures sur le Doubs à Goumois



Afin de suivre les températures (annexe 5), deux sondes ont été placées sur le site de Goumois. Sur la même période de suivi, on observe sur ces sondes que les valeurs minimales, maximales et les moyennes sont identiques. La sonde 1, ayant enregistré des données jusqu'au 23 Novembre, montre une variation de 15,6°C entre les minimas et les maximas. Sur cette station, les sommes des températures moyennes journalières indiquent que 1°C permet de synthétiser :

- 0,92 g de biomasse lors du pic printanier (Sonde 1 et 2) (**accroissement de biomasse** de 514g),
- 2,03 g (sonde 1) ou 2,04 g (sonde 2) de biomasse lors du pic automnal (**accroissement de biomasse** de 681g).

La station de Goumois présente, lors de ce suivi une plus forte capacité à produire durant les mois de Juillet et d'Août.

### 3.2.1.3 Le Dessoubre à Saint-Hippolyte

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus sur la station du Dessoubre à Saint-Hippolyte.

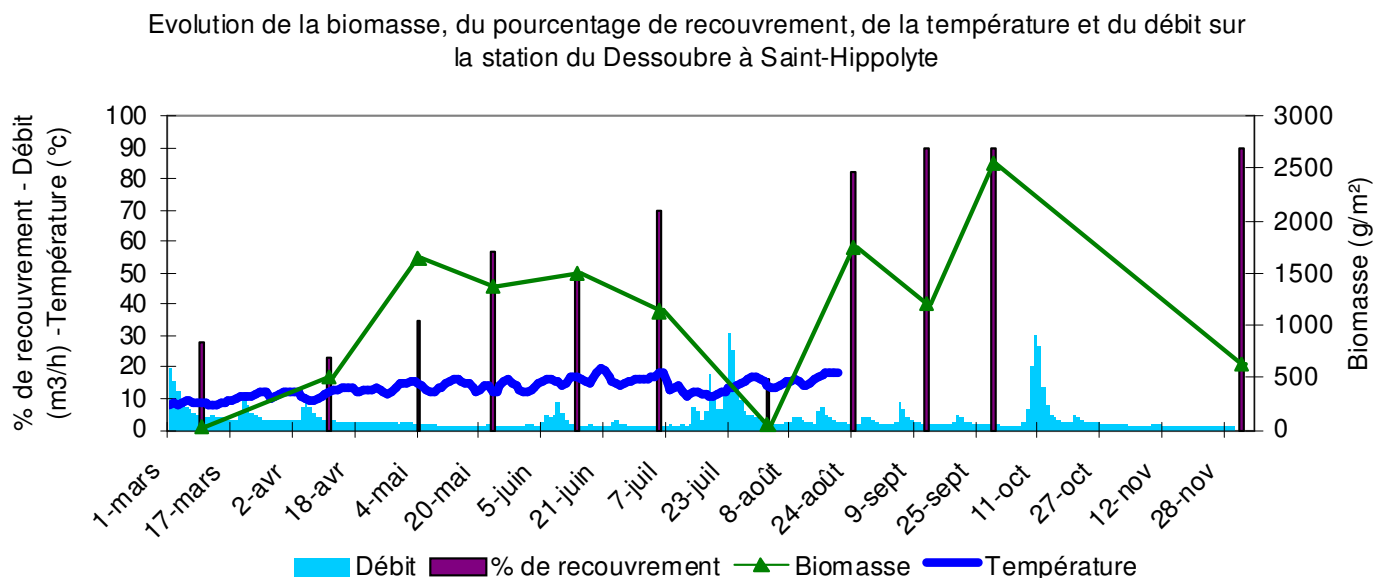


Figure 22 : Résultats des développements algaux sur le Dessoubre à Saint-Hippolyte

Sur cette station, il est difficile de mettre en évidence la présence de pic très net. Les valeurs de biomasse sont élevées du mois de Mai jusqu'à début Juillet, période pour laquelle le débit est resté stable.

Lors de la campagne de début Juillet, la biomasse est en légère diminution alors que le pourcentage de recouvrement augmente nettement par rapport aux prélèvements effectués mi-

Juin. Ces valeurs peuvent être expliquées par la température élevée de l'eau (20,5°C), qui a favorisé le développement en quantité importante de *Spirogyra*. Ce taxon présente en condition optimale un fort recouvrement mais une biomasse très faible.

Comme pour toutes les autres stations, on constate une augmentation de la biomasse et du pourcentage de recouvrement pour les trois dernières campagnes. Le peuplement algal est composé principalement de *Vaucheria* et de *Cladophora*.

| Min    | Max     | Moyenne  | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse)                       |
|--------|---------|----------|--------------------------|----------------------------------------------------|
| 6.9° C | 20.5° C | 13.42° C | 10/03/2011 au 26/08/2011 | 286.85°c 11/04 au 04/05<br>364.45°c 02/08 au 24/08 |

**Tableau 13 : Données du suivi des températures sur la Dessoubre à Saint-Hippolyte**

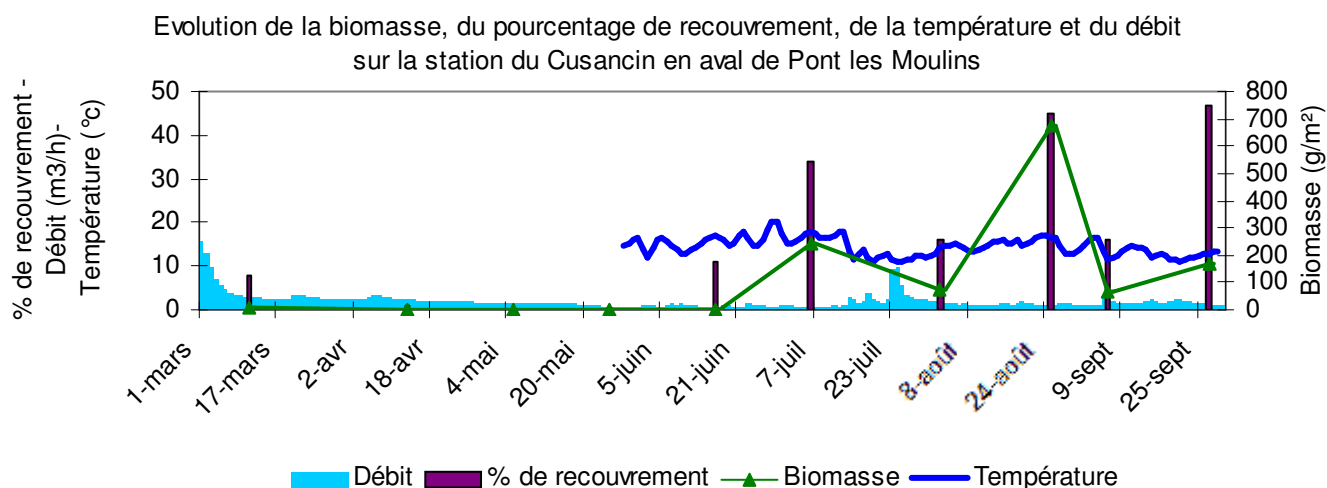
Sur cette station, la température (annexe 6) présente des variations régulières, avec un écart de température entre les minimas et les maximas de 13,6°C. Lors du pic printanier (du 11 Avril au 04 Mai) pour un **accroissement de biomasse** de 1140 g/m<sup>2</sup>, la somme des températures moyennes journalières est de 286,85°C. Ces résultats indiquent que 1°C permet de synthétiser 3,97 g de biomasse. Durant le mois d'Août (**accroissement de biomasse** de 1686g/m<sup>2</sup>), 1°C permet de produire 4,63 g de biomasse.

**Durant ce suivi, le Dessoubre à Saint-Hippolyte présente une plus forte capacité à produire lors de l'été.**

### 3.2.1.4 Le Cusancin en aval de Pont les Moulins

Cette station n'a pas été échantillonnée lors de la campagne de Décembre, en raison du niveau d'eau.

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus sur le site du Cusancin en aval de Pont les Moulins.



**Figure 23 : Résultats des développements algaux sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins**  
Contrairement aux autres stations, on constate un développement algal très faible durant le printemps.

Le peuplement, composé de *Vaucheria*, *Cladophora* et *Spirogyra* présente un pic début Juillet et un deuxième fin Août.

Les particularités des développements algaux sur cette station semblent plutôt liées à des conditions d'habitat local plutôt que de qualité d'eau. Sur une grande partie de la station, les hauteurs d'eau peuvent être importantes (1 à 1,5 mètres) et sur certaines zones la lumière est totalement absente. Ces conditions peuvent expliquer les faibles valeurs de biomasse et de pourcentage de recouvrement obtenues.

Il apparaît également que sur ce cours d'eau, des secteurs à l'amont ont présenté de très fort pourcentage de recouvrement et notamment une forte prolifération de *Vaucheria*. Ceci confirme l'importance du choix de la station et la nécessité de considérer les résultats obtenus comme représentatifs de la station étudiée et elle seule.

Les températures (annexe 7) élevées mesurées sur cette station peuvent limiter le développement de *Vaucheria* et favoriser celui de *Spirogyra*. En effet, ce dernier genre nécessite une température supérieure à 15°C pour se développer. A partir du 15 Juin, le

dépassement du seuil coïncide avec l'apparition de ce taxon sur la station et confirme ainsi les données bibliographiques.

| Min    | Max     | Moyenne | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse) |
|--------|---------|---------|--------------------------|------------------------------|
| 9.97°C | 18.14°C | 14.46°C | 28/05/2011 au 29/09/2011 | 362.73°C 02/08 au 25/08      |

**Tableau 14 : Données du suivi des températures sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins**

Sur ce site, les températures présentent des variations importantes et continues. La différence entre la température minimale et maximale est de 8,17°C.

**Lors du pic de biomasse (606 g/m<sup>2</sup>) observé durant le mois d'Août, la somme des températures moyennes journalières est de 362,73°C. 1°C permet de produire 1,67 g/m<sup>2</sup>.**

### 3.2.1.5 Le Lison en aval de Cussey sur Lison

Cette station n'a pas été échantillonnée lors de la campagne de Décembre, en raison du niveau d'eau trop important.

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus sur le Lison à Cussey sur Lison.

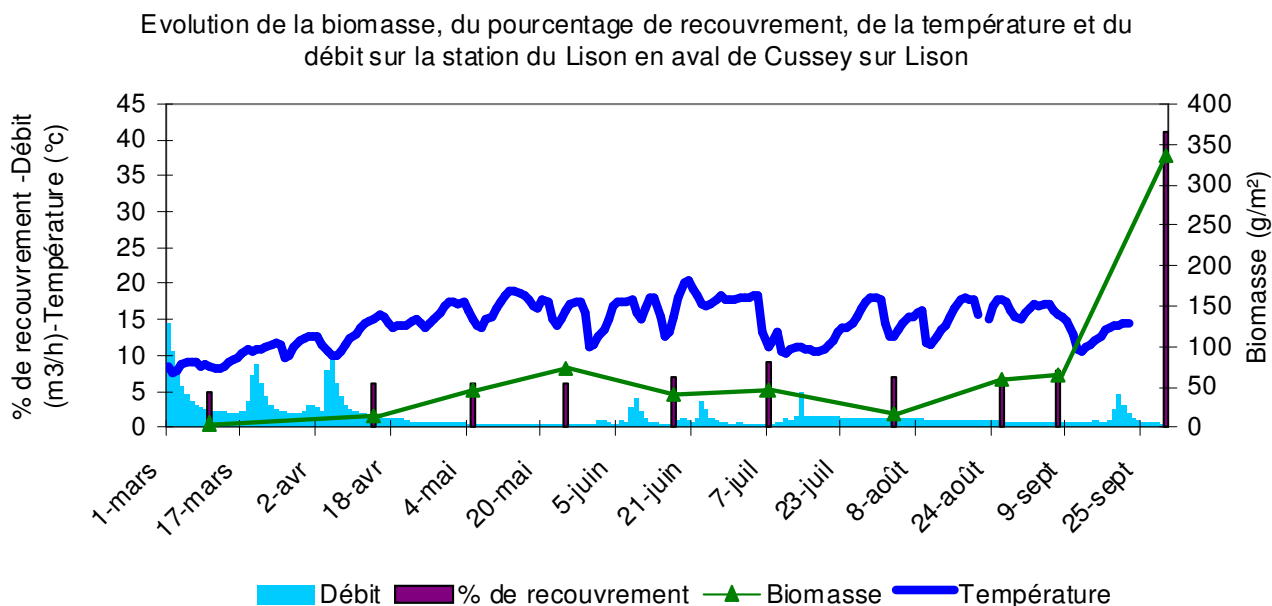


Figure 24 : Résultats des développements algaux sur le Lison en aval de Cussey sur Lison

Le pourcentage de recouvrement et la biomasse, sur ce site, sont faibles sauf pour la dernière campagne, qui présente le seul pic de développement bien net.

On observe un léger pic lors de la campagne de fin Mai, malgré un pourcentage de recouvrement stable par rapport aux autres périodes de prélèvement.

L'augmentation de la biomasse algale sur les dernières campagnes permet de penser que la prolifération algale n'a pas encore atteint son maximum en Septembre.

Le peuplement algal est composé de *Vaucheria*, *Cladophora* et *Spirogyra*.

| Min   | Max    | Moyenne | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse) |
|-------|--------|---------|--------------------------|------------------------------|
| 4.4°C | 21.5°C | 12.86°C | 11/03/2011 au 21/11/2011 | 393.1°C 07/09 au 03/10       |

Tableau 15 : Données du suivi des températures sur le Lison en aval de Cussey sur Lison

Sur cette station, les températures (annexe 8) présentent des variations importantes et régulières. L'écart mesuré entre les minimas et les maximas est très élevé (17,1°C).

**Lors de l'unique pic observé (accroissement de biomasse de 271 g/m<sup>2</sup>) la somme des températures moyennes journalières est de 393,1°C. 1°C permet de produire 0,69 g/m<sup>2</sup>.**

### 3.2.1.6 L'Ain

Cette station n'a pas été échantillonnée lors de la campagne de Décembre, en raison du niveau d'eau trop élevé.

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus durant l'étude sur le site de l'Ain en amont du pont de Châtillon.

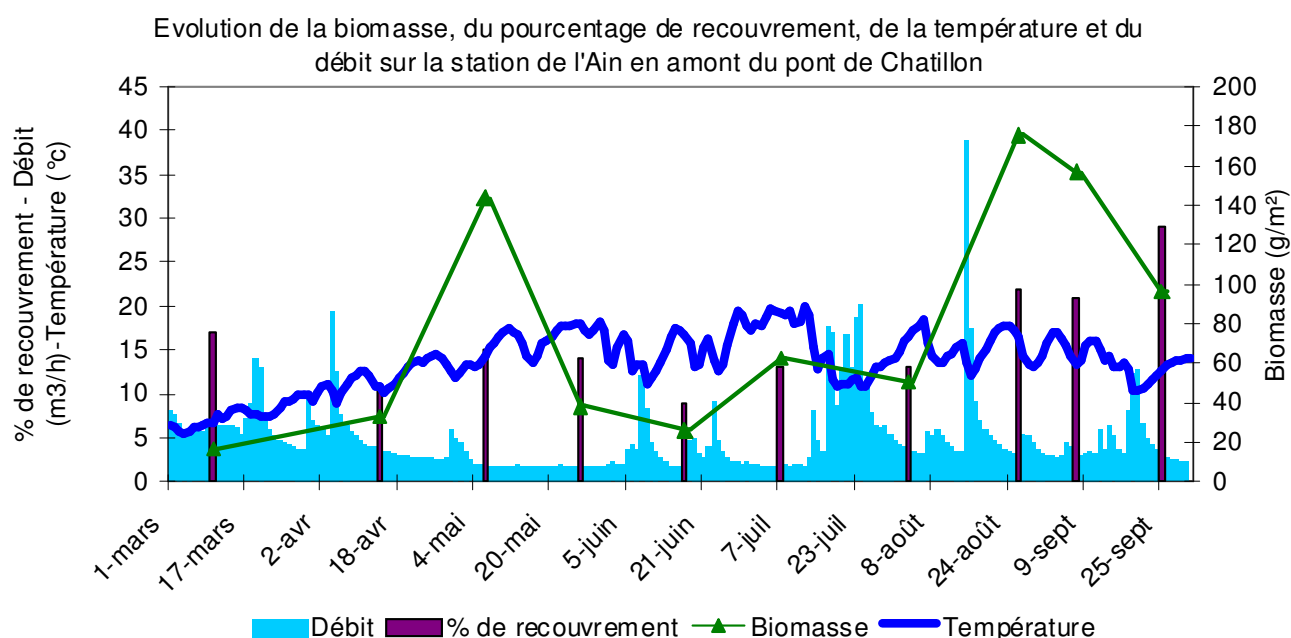


Figure 25 : Résultats des développements algaux sur l'Ain

Ce site présente deux pics de développement (printemps et automne). La diminution de la biomasse lors du printemps est associée à une dégradation de l'état sanitaire des algues, qui présentent un rapport PS/PF en augmentation. Elle n'est pas corrélée à un événement hydrologique particulier.

Le pourcentage de recouvrement est assez faible et stable au cours de l'étude avec toutefois, une légère augmentation lors des trois dernières campagnes. La biomasse présente également des valeurs basses.

Lors de la campagne de Juillet, on remarque une augmentation du pourcentage de recouvrement et de la biomasse, par rapport à celle de Juin. L'augmentation du débit durant la

deuxième quinzaine de Juillet et la baisse de la température, engendre une stagnation du recouvrement et une légère diminution de la biomasse.

Les taxons recensés sont *Vaucheria*, et *Cladophora* que l'on rencontre à partir de fin Mai quand la température est élevée.

| Min    | Max     | Moyenne | Durée du suivi           | Degré jour (pic de biomasse)                       |
|--------|---------|---------|--------------------------|----------------------------------------------------|
| 4.58°C | 22.39°C | 12.76°C | 16/02/2011 au 08/11/2011 | 319.27°C 12/04 au 06/05<br>376.98°C 03/08 au 26/08 |

**Tableau 16 : Données du suivi des températures sur l'Ain en amont du pont de Châtillon**

Le suivi des températures (annexe 9), sur cette station, montre des variations importantes et régulières. Avec une température minimale de 4,58°C et une température maximale de 22,39°C, l'écart est très élevé (17,81°C). Sur cette station, en fonction des sommes de températures moyennes journalières, 1°C permet de synthétiser une biomasse de 0,35 g/m<sup>2</sup> (**accroissement de biomasse** de 111g/m<sup>2</sup>) et 0,33 g/m<sup>2</sup> (**accroissement de biomasse** de 125 g/m<sup>2</sup>).

**Sur ce site, la biomasse mesurée est faible lors de ce suivi et la capacité à produire est très proche lors des deux pics observés.**

### 3.2.1.7 Pourcentage de recouvrement

Les cartographies données en annexe 10 permettent d'apprécier l'évolution spatiale du pourcentage de recouvrement sur les différentes stations entre chaque campagne.

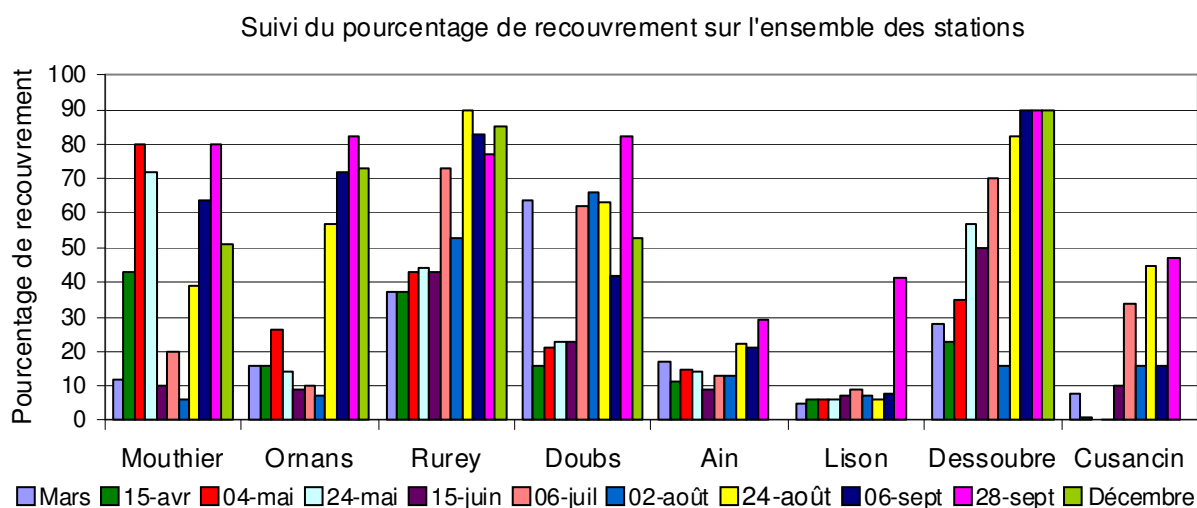


Figure 26 : Evolution du recouvrement lors de chaque campagne

D'après ce graphique, on constate que toutes les stations ne réagissent pas de la même manière en termes de recouvrement algal.

Les stations de Mouthier-Rurey-Goumois-Saint-Hippolyte présentent les plus forts pourcentages de recouvrement avec des variations intra et interstationnelles.

On remarque un fort recouvrement dès le printemps à Mouthier, suivi d'une réduction de recouvrement suite à la première augmentation du débit (Juin), puis une nouvelle augmentation du pourcentage de recouvrement à l'automne. Cette station est la seule à présenter un recouvrement algal important au printemps, composé essentiellement du taxon *Vaucheria*.

A Ornans, on observe un pourcentage de recouvrement moyen de Mars à Août et une augmentation brutale fin Août qui se poursuit lors des deux campagnes suivantes.

La station de Rurey présente des pourcentages de recouvrement moyens de Mars à Juin puis une augmentation de recouvrement en juillet, alors que les débits sont plus élevés qu'en période printanière.



Le Doubs à Goumois a une valeur de recouvrement important en Mars puis plus faible d'Avril à Juin. A partir de Juillet, une augmentation de ce recouvrement est à noter avec un point culminant fin Août et des valeurs élevées jusqu'en Décembre.

Deux stations (Amont Pont de Châtillon - Aval Cussey sur Lison) présentent les plus faibles pourcentages de recouvrement tout au long de l'étude, avec une augmentation au début de l'automne. Sur le site du Lison, les faibles pourcentages de recouvrement observés peuvent être liés au faible ensoleillement de la station.

La station sur le Cusancin, en aval de Pont les Moulins, présente la plus faible note d'éclairement et les plus faibles valeurs de recouvrement observées lors des campagnes de Mars à fin Mai. Toutefois, lors des autres prélèvements, le pourcentage de recouvrement, qui augmente et diminue en fonction des événements hydrologiques, est supérieure par rapport aux stations, Amont pont de Châtillon – Aval Cussey sur Lison, alors que l'estimation d'éclairement est plus élevée.

Lors de la campagne réalisée en Mars 2012, malgré un débit ne permettant pas une correcte prospection des stations et une intégration aux résultats précédents, une estimation du pourcentage de recouvrement par les algues a été effectuée. Un développement important des diatomées a été observé sur l'ensemble des stations le long des rives. Les résultats des observations sont donnés ci-dessous :

- Mouthier : 80% (2 mètres de large le long de chaque rive) et 5% au centre du chenal,
- Ornans : 50% (le long de chaque rive) et 30% au centre du chenal,
- Rurey : 40% (le long de la rive droite) et 5% au centre du chenal,
- Goumois : 50% (10 mètres le long de la rive gauche),
- Saint Hippolyte : 60% le long des deux rives et 20% au centre du chenal,
- Amont pont de Châtillon : 50% le long de la rive droite et 30% au centre du chenal,
- Aval Cussey sur Lison : 30% le long des deux rives et 5% au centre du chenal,
- Aval Pont les Moulins : 40% le long des deux rives et 20% au centre du chenal.

### **En résumé.**

Les stations de l'Ain en amont du pont de Châtillon, du Lison en aval de Cussey sur Lison et du Cusancin à l'aval de Pont-les-Moulins montrent un potentiel de recouvrement inférieur qu'il faudra rapporter à des qualités physico-chimiques de l'eau différentes ou à une exposition moins favorable.

5 stations montrent un potentiel de recouvrement supérieur à 80 % : il s'agit des 3 sites de la Loue, du Doubs à Goumois et du Dessoubre à Saint-Hippolyte.

Les stations les plus affectées (pourcentage de recouvrement moyen sur les 9 campagnes) se classent comme suit de façon décroissante : Rurey (60%), Saint Hippolyte (57%), Mouthier (46%), Goumois (44%), Ornans (33%), Aval Pont les Moulins (19%), Amont Pont de Châtillon (16%), Aval Cussey sur Lison (11%).

Sur la Loue à Mouthier un épisode de pousse printanière s'observe en Avril-Mai. Sur la Loue à Rurey, les pourcentages de recouvrement sont toujours forts (supérieurs à 30 %). Sur l'ensemble de la Loue le mois de Septembre montre des stations très impactées.

Sur le Doubs à Goumois, la campagne de Mars montre le plus fort recouvrement enregistré à cette saison. Les recouvrements printaniers sont faibles. Les recouvrements estivaux et automnaux sont importants.

Sur le Dessoubre à Saint-Hippolyte, mis à part une valeur faible début Août, on constate dans l'ensemble une augmentation du pourcentage de recouvrement au cours de la saison avec des maxima atteints lors des trois dernières campagnes.

### 3.2.1.8 Evolution pondérale

Evolution pondérale sur l'ensemble des stations

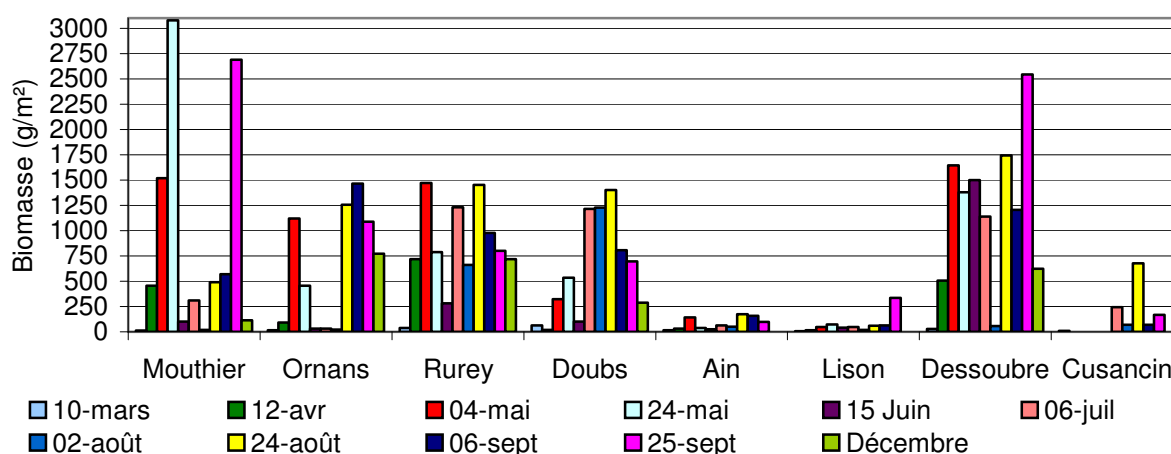


Figure 27 : Evolution de la biomasse lors de chaque campagne

Ce graphique montre les valeurs de biomasse obtenues sur chaque station lors de chaque campagne.

L'Ain en amont du pont de Châtillon et le Lison en aval de Cussey sur Lison présentent des biomasses et des variations très faibles au cours de l'étude.

Sur le Cusancin à l'aval de Pont-les-Moulins, d'Avril à Juin, la biomasse est faible puis à partir de Juillet fluctue, en fonction des débits, avec des valeurs plus élevées.

**Ces trois stations montrent globalement de faibles développements pondéraux, qui peuvent être rattachés, pour le site sur le Cusancin et celui sur le Lison aux conditions mésologiques. En effet, ces deux stations présentent également les moins bonnes notes d'ensoleillement.**

Les stations d'Ornans et de Rurey sur la Loue ainsi que de Goumois sur le Doubs présentent des biomasses et des variations à peu près similaires. En effet, on constate une augmentation de biomasse de Mars à début Mai sur la Loue ( fin Mai sur le Doubs), une diminution durant l'été, puis une augmentation de la biomasse pour arriver à un maximum fin Août-début Septembre et enfin une diminution lors des dernières campagnes.

La station de Mouthier présente deux pics (printemps-automne) bien distincts avec des valeurs importantes (supérieure à 2500 g/m²) avec le même taxon majoritaire, *Vaucheria*. Entre les deux, on remarque une chute brutale de la production que l'on peut attribuer à une augmentation du débit et un arrachage des colonies. Les résultats des campagnes suivantes montrent une augmentation lente vers le pic automnal mais avec des valeurs de biomasse élevées.

Sur le Dessoubre au niveau de Saint-Hippolyte, on remarque un pic en automne et pour 6 campagnes des valeurs supérieures à 1000 g/m<sup>2</sup>. Le fort développement des algues peut être influencé par l'ensoleillement élevé de cette station.

L'écart observé entre les graphiques de recouvrement et de biomasse peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- l'état physiologique des végétaux : les algues saines présentent des biomasses supérieures aux algues en fin de vie
- les développements de diatomées (et de spirogyre) se définissent par des pourcentages de recouvrement importants mais des biomasses faibles.

➤ Détail de l'évolution pondérale sur La loue

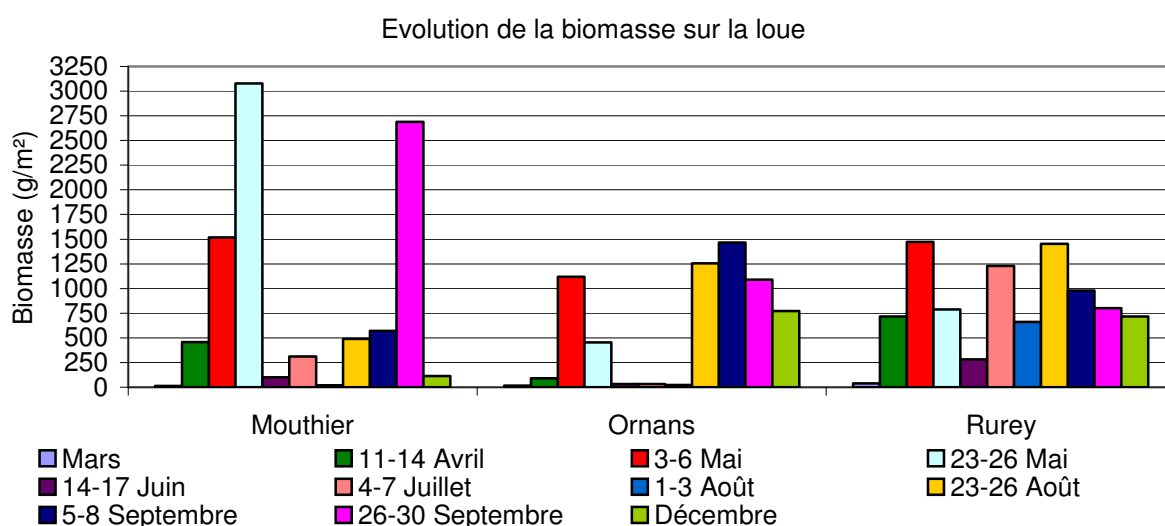


Figure 28 : Evolution de la biomasse sur la Loue

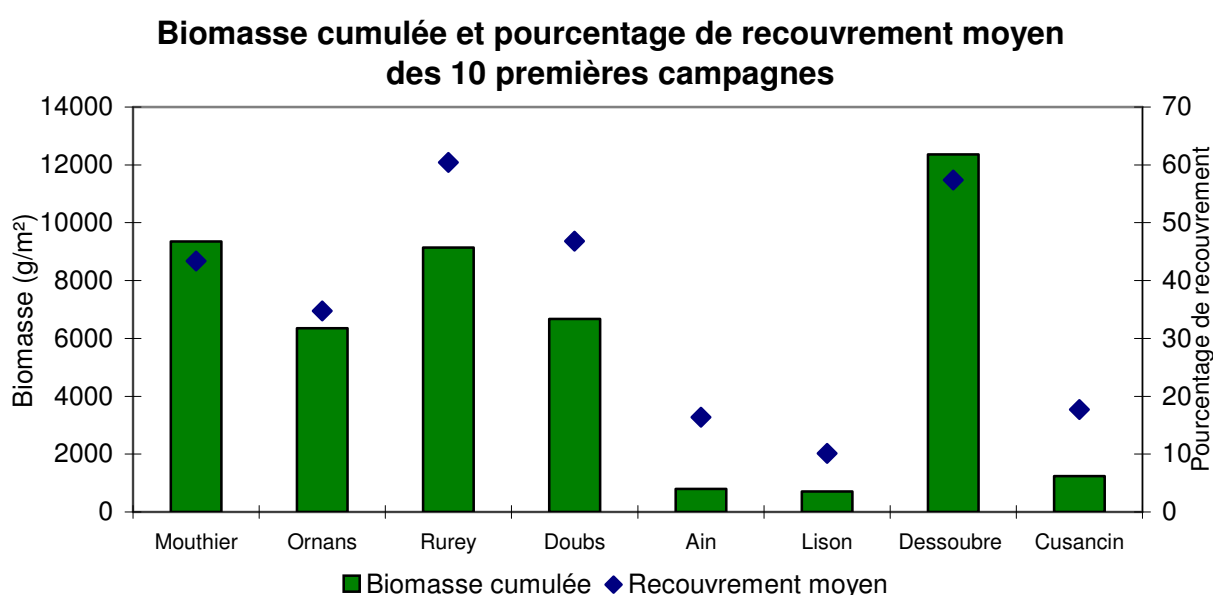
Ce graphique montre l'évolution de la biomasse sur les trois stations de la Loue. On observe les plus fortes valeurs sur le site de Mouthier pour les campagnes de fin Mai (3079 g/m<sup>2</sup>) et de fin Septembre (2688 g/m<sup>2</sup>). On note que cette observation est significative d'apports importants de nutriments par le bassin versant supérieur du cours d'eau. Elle est conforme aux notions de perméabilité en grand du karst et à sa faible capacité épurative.

On remarque également une augmentation de la biomasse lors des 3 premières campagnes pour les sites d'Ornans et de Rurey et 4 premières campagnes sur la station de Mouthier, avant une diminution de la masse algale fraîche. Enfin, on constate une augmentation à partir

de fin Août sur les sites de Mouthier et Ornans, puis une diminution de la biomasse sur cette dernière station à partir de Septembre.

La biomasse moyenne de chaque station définit la station de Mouthier comme la plus productive des 3 avec 924 g/m<sup>2</sup>. La moins productive est Ornans avec 558 g/m<sup>2</sup>. On remarque également une augmentation de la biomasse entre Ornans et Rurey, ce qui pourrait induire un enrichissement du milieu en nutriments entre ces deux stations (apports du Maine, du Lison et de la Mée) ou un effet thermique significatif.

Le graphique ci-dessous montre les biomasses cumulées et le pourcentage de recouvrement moyen pour les 10 premières campagnes.



**Figure 29 : Evolution de la biomasse cumulée et du pourcentage de recouvrement moyen**

Trois sites se distinguent nettement des autres par des biomasses cumulées (inf à 1300 g/m<sup>2</sup>) et des pourcentages de recouvrement faibles (inf à 20%), à savoir l'Ain en amont du Pont de Châtillon, le Lison en aval de Cussey sur Lison et le Cusancin en aval de Pont les Moulins.

Toutes les autres stations ont une biomasse supérieure à 5000 g/m<sup>2</sup> et un recouvrement moyen supérieur à 30 %.

Le Dessoubre à Saint-Hippolyte présente la plus forte biomasse cumulée associée à un des plus forts pourcentages de recouvrement.

Sur la Loue, les stations de Mouthier et de Rurey montrent des biomasses cumulées comparables mais des pourcentages de recouvrement différents (15 points en dessous pour Mouthier). Le site d'Ornans présente les plus faibles valeurs en ce qui concerne la biomasse cumulée et le recouvrement moyen.

Sur la Loue, ces constatations pourraient être expliquées par :

- des apports importants en éléments nutritifs au niveau de la source, puis sur le secteur compris entre Ornans et Rurey (la Mée, le Maine, le Lison),
- Une consommation de nutriments supérieure aux apports latéraux entre Mouthier et Ornans....
- Une situation particulière de la station d'Ornans en termes d'éclairement voire de qualité des eaux.

### 3.2.1.9 Les communautés d'algues (sur base d'une bibliographie à compléter)

Remarque préliminaire : les indications relatives aux exigences écologiques des algues macroscopiques d'eau douce échantillonnées sont extraites d'ouvrages où la détermination est limitée au genre. Il s'agit là d'un écueil majeur, car un même genre est susceptible de représenter une à plusieurs dizaines d'espèces aux exigences écologiques contrastées. Un travail parfaitement rigoureux exigerait donc des déterminations à l'espèce, associées à une bibliographie adaptée, travail qui sort du cadre de la présente commande. En conséquence, les remarques émises quant aux exigences écologiques des taxons identifiés devront être considérées avec le recul nécessaire.

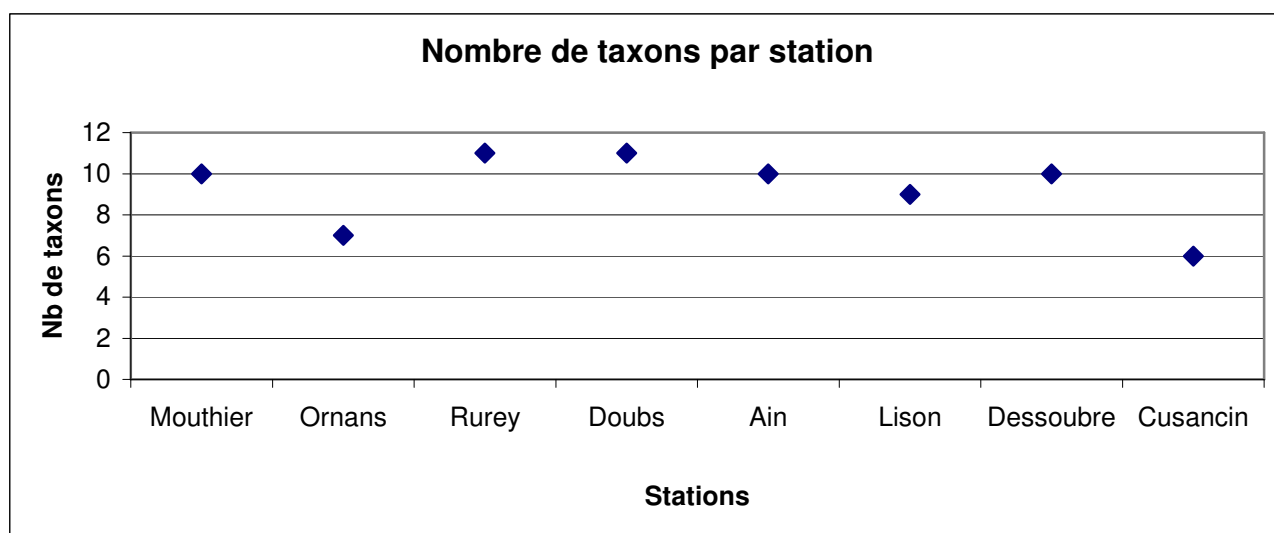


Figure 30 : Diversité algale

Au cours de cette étude, entre six et dix taxons (annexe 11) ont été recensés sur chaque station.

La communauté algale est composée principalement d'algues vertes comme *Vaucheria*, *Cladophora*, *Spirogyra*, *Stigéoclonium*, *Ulothrix*, et *Zygnema*. D'autres taxons comme *Batrachospermum*, *Hydrusus*, *Tetraspora* et *Monostroma*, sont présents sur les stations dont les conditions de thermie sont appropriées. Des algues microscopiques sont également observées comme *Diatoma* et *Melosira*.

| Stations<br>Taxons     | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval de Pont les Moulins | Aval de Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|------------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <i>Batrachospermum</i> |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Cladophora</i>      |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Diatoma</i>         |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Hydrusus</i>        |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Lyngbya</i>         |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Melosira</i>        |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Microspora</i>      |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Monostroma</i>      |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Mougeotia</i>       |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Oedogonium</i>      |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Oscillatoria</i>    |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Rhizoclonium</i>    |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Spirogyra</i>       |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Stigeoclonium</i>   |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Tetraspora</i>      |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Tolypothrix</i>     |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Ulothrix</i>        |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Vaucheria</i>       |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |
| <i>Zygnema</i>         |          |        |       |         |                 |                          |                          |                         |

Tableau 17 : Liste des taxons observés par station

**Le genre *Vaucheria***, rencontré sur toutes les stations, est une algue jaune (xanthophycée) constituée de filaments siphonnés (absence de cloison), cylindriques, et ramifiés. Elle présente une structure dense en coussinet. Ce genre est très répandu (Peltre M.C. et al., 1997) et regroupe une quarantaine d'espèces différentes. Les développements de *Vaucheria* peuvent produire des biomasses très importantes (plusieurs kilogrammes par m<sup>2</sup>) (Frossard V., 2006). Les vitesses de courants et les hauteurs d'eau dans lesquelles est observée *Vaucheria* sont relativement variables : de 10 à 90 cm/s (Halloin N., 1984) et de 20 à 150 cm de profondeur.

*Vaucheria* a une croissance optimale pour des faibles températures et un large spectre de concentration en phosphore et en azote (Grasmück 1994). Ce taxon, présent sur l'ensemble des stations lors de chaque campagne, peut supporter des températures importantes. Il a été

observé en 2011 sur le Lison en aval de Cussey sur Lison, une semaine après que le pic de température maximale de 20,6°C soit obtenu. D'une manière générale, *Vaucheria* supporte des températures proches de 20°C sur l'ensemble des stations. La littérature montre également que ce genre se développe de façon importante pour des valeurs supérieures à 0,2mg P/l et 0,5 mg N/l (Agence de l'Eau. 1997).

**Le genre *Cladophora*** qui regroupe une vingtaine d'espèces, est également observé sur l'ensemble des stations sauf sur le site de Mouthier, où la température maximale obtenue est de 11,7°C. Ce paramètre semble limitant pour l'espèce aux alentours de 12°C (limite inférieure) tandis que son développement est observé sur toutes les autres stations sans effet observé des températures supérieures.

Ses thalles buissonnants ou sphériques sont composés de filaments unisériés, cylindriques avec un nombre important de ramifications, variables en fonction des conditions du milieu, comme la vitesse du courant. Ce genre algal se rencontre d'Avril à Septembre avec plusieurs pics de croissance possibles durant cette période, généralement en début et en fin d'été. Les biomasses maximales enregistrées peuvent être très importantes : plusieurs kilogrammes de poids frais par m<sup>2</sup> (S.R.A.E., 1989).

On l'observe sur un substrat dur et stable (Agence de l'eau 1997) et dans des eaux alcalines peu profondes (Biggs B., 2000). Les vitesses de courant favorables à son développement sont très variables (>100 cm.s à <20 cm.s) (Frossard V., 2006). La température optimale de croissance se situe entre 15 et 25°C (Whitton B.A., 1970 dans Frossard & al 2008).

*Cladophora* a de fortes affinités de développement avec les secteurs aval de foyers de pollution organique où la charge est partiellement épurée, avec des DBO<sub>5</sub> de l'ordre de 2-3 mg/l. (Nauleau, 1988). Les proliférations de *Cladophora* sont reliées à des teneurs élevées en matières oxydables, dont la sédimentation entraîne l'asphyxie des fonds. La moindre compétition favorise alors la colonisation par *Cladophora* (Bolas et Lund., 1974 – Wharfe et Coll., 1984 dans Nauleau O., 1988).

Les formes d'assimilation de l'azote par *Cladophora* sont essentiellement les formes minérales (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ce qui explique peut-être l'affinité de ce taxon pour la pollution organique. *Cladophora* serait potentiellement capable de se développer à des concentrations de quelques dizaines de µg de NO<sub>3</sub>/L (Nauleau O., 1988), mais des concentrations en azote sous forme de nitrates relativement élevées, jusqu'à 7,7 mg NO<sub>3</sub>-/l, peuvent aussi permettre le développement important de ce taxon (Pitcairns C. et Hawkes H., 1973 dans Agence de l'eau 1997). Elle peut aussi croître à des concentrations en phosphore particulièrement faibles, moins de 0,03mgP/l (Freeman N.C., 1986 dans Aquascop 1989).



**Le genre *Spirogyra*** est une chlorophyceae dont les filaments cylindriques sont unisériés et non ramifiés. Les colonies, d'une couleur vert vif à sombre et au toucher visqueux, ont l'aspect de masses floconneuses, ce qui explique les faibles biomasses obtenues pour ce genre. Ce genre se développe généralement à des profondeurs allant de 5 à 50 cm en cours d'eau. Les vitesses de courant lentes sont essentielles à l'apparition et la croissance de *Spirogyra*. Sa présence est mise en relation avec les activités humaines et indique une eau contaminée par des nutriments (Mansor M., Muthaiya G., 1998 dans Frossard et al 2008). Biggs B. (1990) l'associe aux concentrations moyennes à basses en phosphore soluble et Tomczak J. (2004) à des milieux où les concentrations en nitrates sont relativement faibles (FROSSARD V.,).

De plus, la présence de *Spirogyra* est corrélée avec des sites présentant de faibles éclaircissements (éclaircissement direct de 20-40 %), dans des secteurs d'eaux calmes souvent ombragés (Aquascop, 1989). Toutefois, ce taxon présente une activité photosynthétique importante à de fortes intensités lumineuses (Simpson & Eaton, 1986 dans Agence de l'eau, 1997). Le développement de la biomasse s'achève en conditions d'éclaircissement et de température élevés (20-25°C) (Simons & van Beem, 1990 dans Agence de l'eau 1997).

D'un point de vue de la température, le développement de *Spirogyra* a été observé pour des températures comprises entre 10°C et 25 °C.

Pour les nutriments, une relation est remarquée entre l'augmentation de la teneur en  $\text{NH}_4^+$  jusqu'à 0,5 mg/l et celle du pourcentage de recouvrement relatif des spirogyres (Agence de l'eau 1997).

**Le genre *Ulothrix*** est une chlorophyceae unisériée non ramifiée. Il est fréquent en zone tempérée et peut accepter des changements de température importants. Cependant, la majorité des espèces de ce genre est sténotherme d'eau froide (Entwistle 1989b in Biggs B., 1990).

**Le genre *Zygnema*** présente des filaments unisériés et non ramifiés. Les cellules sont composées de deux plastes étoilés séparés par le noyau. Ce genre se développe à des profondeurs allant de 5 à 50 cm.

Les vitesses de courant lentes sont essentielles à l'apparition et au développement de *Zygnema*. Ce taxon a été observé pour des températures variant de 11°C (Aval Pont les Moulins fin Septembre) à plus de 20°C (Aval Cussey sur Lison début juillet).

**Le genre *Batrachospermum*** est une rhodophyceae avec des filaments ramifiés portant des verticilles régulièrement disposés le long de l'axe principal. Ce taxon, répandu dans les rivières peu polluées, affectionne les courants faibles à modérés. Il est habituellement associé aux eaux froides d'où son affinité pour les parties apicales des cours d'eau. Il n'est pas considéré comme un indicateur de conditions de trophie particulière.

**Le genre *Tetraspora*** se caractérise par la formation de colonies pouvant atteindre plusieurs centaines de cellules agglomérées dans une masse gélatineuse globuleuse, de couleur vert clair. Souvent rencontré dans les zones calmes des cours d'eau (Rodriguez S., et Vergon J.P., 1996), les exigences de *Tetraspora* sp. vis-à-vis des nutriments sont mal connues.

**Le genre *Stigeoclonium*** est composé de filaments très fins ramifiés, comportant une partie dressée et une partie rampante. Les cellules possèdent un plaste parietal ainsi qu'un ou plusieurs pyrénoides. Les cellules terminales des rameaux s'effilent souvent en un long poil hyalin.

Cette algue présente un large spectre écologique puisqu'elle peut être rencontrée dans les eaux très peu polluées à hyper-eutrophes. John D.M. et al. (2002) le caractérisent comme taxon dominant dans les cours d'eau enrichis en nutriments ou pollués.

Ce taxon, tout comme *Ulothrix* sp. est particulièrement compétitif lorsque les eaux sont froides.

**Le genre *Oedogonium*** se trouve sous forme fixé pour les jeunes colonies puis flottant durant la croissance en faciès lenticles. La couleur des colonies varie du vert au jaune suivant l'état sanitaire des filaments. Ces derniers sont unisériés, non-ramifiés et présentent des stries d'accroissement, représentant le nombre de divisions subies par une même cellule.

Ce taxon présente souvent un développement maximum au printemps bien que les températures de croissance optimale soient supérieures à 15°C (Rodriguez S. et Vergon J.P., 1996). Ce taxon est caractéristique des milieux calmes. Biggs B. (1990) classe *Oedogonium* sp. dans des communautés associées aux moyennes à hautes concentrations en phosphore soluble et Francke J. et Den Oude P. (1983) notent des croissances maximales 1 mg/l de phosphates. Ces mêmes auteurs enregistrent des développements maximaux à des concentrations très importantes en ammonium : 10mg/l.

**Le genre *Mougeotia*** est présente des thalles cylindriques non ramifiés et unisériés comportant des cellules relativement et un plaste en ruban axial. Ce taxon est fréquemment fixé lors du début de son développement et peut devenir pélagique lors de l'avancée de son développement (Druart J.C. et al., 2004). Ce taxon préfère les eaux froides à courants modérés. Ceci est confirmé par Ghosh M. et Gaur J.P. (1998) pour qui les vitesses de courant lentes sont nécessaires à l'apparition et la croissance de *Mougeotia* sp.

**Le genre *Melosira*** est une diatomée coloniale formant des filaments cylindriques unisériés. Les colonies forment des voiles floconneux plus ou moins denses selon la vitesse du courant et la nature du substrat. Ce genre affectionne les milieux à caractère lenticle avec des vitesses de courant pouvant aller jusqu'à 40 cm/s. Elle est considérée comme caractéristique des milieux méso-eutrophes et relativement polluo-tolérante.

**Le genre *Diatoma*** présente des valves linéaires, oblongues et traversées dans la longueur par un pseudo-raphé et dans la largeur par des stries. Ce genre est considéré comme une diatomée automnale voir hivernale (Seip K. et Reynolds C., 1995 dans Frossard 2008). Au niveau température, son optimum se situe aux alentours de 15-16°C. Les concentrations optimales pour la croissance du genre se situeraient entre 0,01 et 0,035 mgP/l.

### 3.2.2 Synthèse des données 2011 et interprétation

**Le développement algal est constaté sur l'ensemble des stations** à des intensités différentes. Comme pour les précédentes études, on constate (tableau 22) que **deux pics de production sont généralement observés** à savoir au printemps et à l'automne. Toutefois, sur le site de Rurey, un pic supplémentaire est observé lors de l'été.

**Les taxons dominants sont *Vaucheria* et *Cladophora***, algues couramment observées dans les eaux provenant de résurgence, sauf sur le Cusancin où *Spirogyra* représente une part importante du peuplement.

Le tableau ci-dessous indique, d'après une bibliographie sommaire, les besoins en azote et en phosphore des deux principaux taxons. Ces données ne sont pas issues de la recherche fondamentale. Elles doivent donc être considérées avec précaution et ce d'autant plus que ces genres possèdent chacun de nombreuses espèces.

|                   | N                                               | P                        | Auteurs                |
|-------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| <i>Cladophora</i> | Quelques dizaines $\mu\text{g/l NO}_3/\text{l}$ | quelques $\mu\text{g/l}$ | Nauleau O., 1988       |
| <i>Vaucheria</i>  | 0,5 mg N/l                                      | 0,2 mg P/l               | Agence de l'eau., 1997 |

**Tableau 18 : Besoin en nutriment des algues**

Le genre *Cladophora* présente des besoins faibles en ce qui concerne l'azote et le phosphore. Pour *Vaucheria*, la demande en nutriments azotés reste faible alors que ses exigences pour le phosphore sont élevées. Les relations entre nutriments et développement algal sont analysées plus en détails au chapitre 4, après présentation des résultats physico-chimiques.

Le tableau ci-dessous synthétise les températures minimales et maximales relevées sur chaque stations ainsi que les algues filamenteuses le plus souvent observées et présentant les plus forts pourcentages de recouvrement.

| Stations  | Température min | Température Max | Taxon principal             |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Mouthier  | 8,84            | 12,61           | <i>Vaucheria</i>            |
| Ornans    | 8,84            | 17,61           | <i>Vaucheria</i>            |
| Rurey     | 8,3             | 19,9            | <i>Vaucheria/Cladophora</i> |
| Doubs     | 3,4             | 19              | <i>Vaucheria</i>            |
| Dessoubre | 6,9             | 20,5            | <i>Vaucheria</i>            |
| Cusancin  | 9,97            | 18,14           | <i>Spirogyra</i>            |
| Lison     | 4,4             | 21,5            | <i>Vaucheria</i>            |
| Ain       | 4,58            | 22,39           | <i>Vaucheria/Cladophora</i> |

**Tableau 19 : Température minimale et maximale observée et taxon principal**

Tout comme (Biggs B., 1990), on constate que la température de l'eau a un impact important dans le type de communauté algale en place.

Sur l'Ain, l'apparition de *Cladophora* et la diminution du recouvrement de *Vaucheria* peuvent ainsi être mises en relation avec l'augmentation de la température. En effet, *Cladophora* présente un caractère relativement thermophile, alors que *Vaucheria* semble avoir une croissance optimale à de basses températures.

Pour l'ensemble des stations, la communauté des algues filamenteuses est principalement composée par les genres ***Vaucheria* et *Cladophora***. Ce constat est en relation avec les observations effectuées par Verneaux et Vergon (1974), Rodriguez et Vergon (1996) qui indiquent que ces deux taxons dominent fréquemment les peuplements algaux Francs-Comtois (pourcentage de recouvrement et biomasse), Frossard (2006) et Vacelet (2008).

***Vaucheria*** est fréquente dans les eaux alimentées par des résurgences et semble avoir une croissance optimale à de basses températures. (Schagerl M. et Weik M., 2007, dans Frossard & al 2008). Ce point a été confirmé lors des premières campagnes de prélèvement 2011, où ce taxon était majoritaire alors que les eaux étaient fraîches sur l'ensemble des stations.

Parallèlement, la température en permanence peu élevée sur la station de Mouthier permet à *Vaucheria* (comparativement aux autres taxons) de contribuer largement aux pourcentages de recouvrement et aux biomasses sur l'ensemble des campagnes.

On remarque toutefois que ce taxon peut supporter des températures plus élevées (Aval Cussey sur Lison (21,5°C) - Saint-Hippolyte (20,5°C)) et des variations régulières de débit (Doubs).

Sur deux stations, (Amont pont de Châtillon-Rurey) *Cladophora* et *Vaucheria* prolifèrent conjointement au point de présenter les plus forts pourcentages de recouvrement et les plus fortes biomasses. D'après les auteurs, la température admise pour occasionner un début de prolifération **de *Cladophora*** est de l'ordre de 10°C (Agence de l'eau., 1997) et la température optimale de croissance se situe entre 15°C et 25°C (Whitton B.A., 1970 dans Fossard & al 2008).

Les températures de l'eau sur les stations (Amont pont de Châtillon- et de la Loue à Rurey) étant comparable à celle des stations du Lison, du Cusancin et du Dessoubre, un ou plusieurs autres paramètres sont déterminants pour la prolifération de *Cladophora*.

D'après Rodriguez et Vergon (1996), *Cladophora* se développe en présence d'une forte intensité lumineuse et de fortes biomasses ont été corrélées à de forts éclaircissements sur des rivières calcaires du bassin de Seine Normandie (Aquascop., 1989).

Graham (1982. dans Frossard 2006) note, sans expliciter ses propos, que lorsque la dégradation du milieu s'accroît, *Cladophora* apparaît. Il est à noter que ce taxon a été identifié sur l'ensemble des stations mis à part celle de Mouthier.

Enfin, sur le Cusancin, après un faible développement de *Vaucheria* au début de l'étude, le genre *Spirogyra* est apparu avec des forts pourcentages de recouvrement. D'après Ghosh M. et Gaur J.P. (1998 dans Frossard & al 2008), les vitesses de courant faibles sont essentielles à l'apparition et la croissance de *Spirogyra*. Il semble également, d'après Rodriguez S., Vergon J.P., (1996), que ce taxon ait une préférence pour les zones ombragées. Il a été constaté d'après les campagnes de terrain, une vitesse de courant très faible, voire nulle en profondeur, sur le Cusancin à Pont-les-Moulins ce qui a permis la prolifération de ce taxon, ainsi qu'un ensoleillement plus faible sur la station.

Ce développement peut-être favorisé par la présence de  $\text{NH}_4^+$ . En effet, d'après Cairns et Coll (1972 dans Nauleau O., 1988), l'utilisation d'ammonium nécessite moins d'énergie que l'utilisation des nitrates pour incorporer l'azote.

On constate que les proliférations des algues sont influencées par les conditions stationnelles. En effet, les stations présentant une forte biomasse moyenne sont celles qui présentent les notes d'ensoleillement les plus élevées (Saint-Hippolyte, Mouthier, Rurey). Toutefois, il est impossible de prendre en compte seulement les conditions de la station pour expliquer les phénomènes de prolifération car sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins, la note d'ensoleillement est la plus basse, mais la biomasse n'est pas la plus faible. A l'inverse, le Doubs produit plus que l'Ain, malgré une note d'ensoleillement, de 1 point plus bas.

De plus, en aval de Pont les Moulins (Cusancin), il a été observé, à environ une centaine de mètres plus en amont, des pourcentages de recouvrement bien supérieurs à ceux estimés sur la station d'étude. Or, en amont, le cours d'eau se trouve dans une zone plus ouverte, avec une ripisylve plus faible et l'absence de forêt à proximité immédiate. La note d'ensoleillement doit être alors plus élevée. Cette condition favorise le développement des algues, ayant une préférence pour les plus fortes intensités lumineuses comme *Vaucheria* et *Cladophora*, ce qui entraîne une biomasse supérieure.

La biomasse maximale, atteinte sur la station de Mouthier au printemps 2011, est de 3079 g/m<sup>2</sup> (tableau 20). Les stations de Rurey sur la Loue et de Saint-Hippolyte sur le Dessoubre présentent des pourcentages de recouvrement élevés et à partir de la fin Août, ces derniers sont stables entre les campagnes. On constate également que le recouvrement par les algues est très élevé lors du pic automnal par rapport au pic printanier et que la biomasse augmente.

| Stations                | Pic de printemps            | Pic d'été                   | Pic d'automne               |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Mouthier                | 72% - 3079 g/m <sup>2</sup> | ∅                           | 80% - 2688 g/m <sup>2</sup> |
| Ornans                  | 26% - 1120 g/m <sup>2</sup> | ∅                           | 72% - 1465 g/m <sup>2</sup> |
| Rurey                   | 43% - 1472 g/m <sup>2</sup> | 73% - 1231 g/m <sup>2</sup> | 90% - 1452 g/m <sup>2</sup> |
| Goumois                 | 23% - 534 g/m <sup>2</sup>  | ∅                           | 63% - 1403 g/m <sup>2</sup> |
| Saint-Hippolyte         | 35% - 1645 g/m <sup>2</sup> | ∅                           | 90% - 2544 g/m <sup>2</sup> |
| Aval pont les Moulins   | ∅                           | 34% - 245 g/m <sup>2</sup>  | 45% - 677 g/m <sup>2</sup>  |
| Aval Cussey sur Lison   | ∅                           | ∅                           | 41% - 335 g/m <sup>2</sup>  |
| Amont Pont de Châtillon | 15% - 144 g/m <sup>2</sup>  | ∅                           | 22% - 176 g/m <sup>2</sup>  |

**Tableau 20 : Tableau récapitulatif des données issu du suivi des algues filamenteuses**

La capacité à produire (valeur par défaut puisqu'on ne part pas d'un état zéro) est très différente d'une station à une autre et également entre les différentes saisons.

Au niveau de la Loue, on constate que la station de Mouthier, située la plus en amont, présente la plus forte capacité à produire (printemps). Sur le site de Rurey, il apparaît que la capacité à produire est la plus importante durant l'été. Sur les stations de Goumois et de Saint-Hippolyte les plus fortes capacités à produire sont observées lors de l'automne. La station sur l'Ain (amont Pont de Châtillon) présente une capacité à produire homogène que ce soit au printemps ou à l'automne.

| Stations                | Capacité à produire   |                       |                       |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                         | printemps             | été                   | automne               |
| Mouthier                | 5,92 g/m <sup>2</sup> | /                     | /                     |
| Ornans                  | 3,98 g/m <sup>2</sup> | /                     | /                     |
| Rurey                   | 2,73 g/m <sup>2</sup> | 3,15 g/m <sup>2</sup> | 2,38 g/m <sup>2</sup> |
| Goumois                 | 0,92 g/m <sup>2</sup> | /                     | 2,03 g/m <sup>2</sup> |
| Saint Hippolyte         | 3,97 g/m <sup>2</sup> | /                     | 4,63 g/m <sup>2</sup> |
| Aval Pont les Moulins   | /                     | 1,67 g/m <sup>2</sup> | /                     |
| Aval Cussey sur Lison   | /                     | /                     | 0,69 g/m <sup>2</sup> |
| Amont Pont de Châtillon | 0,35 g/m <sup>2</sup> | /                     | 0,33 g/m <sup>2</sup> |

**Tableau 21 : Capacité à produire des stations**

### 3.2.3 Comparaison aux données antérieures

#### 3.2.3.1 Taxons présents dans les études antérieures

Les taxons observés en 2006 lors du suivi fin Amont/Aval d'Ornans étaient *Vaucheria*, *Cladophora*, *Tetraspora*, *Rhizoclonium* et *Ulothrix*.

En 2008 seules *Vaucheria* et *Tetraspora* étaient observées sur les stations amont et aval Ornans.

En 2011, sur la station d'Ornans, les mêmes taxons observés en 2006 et 2008, à savoir *Vaucheria*, *Cladophora*, *Tetraspora*, ont été identifiés. Toutefois, *Rhizoclonium* et *Ulothrix* n'ont pas été observés lors de ce suivi. De plus, de nouveaux genres ont été déterminés, à savoir *Spirogyra*, *Melosira* et *Diatoma*.

Sur le Lison en aval de Cussey sur Lison, en plus de *Vaucheria*, les genres *Lyngbya* et *Zygnema* ont été observés fin Juillet 2008.

#### 3.2.3.2 Comparaison des biomasses mesurées en 2011 avec les données antérieures

Le tableau ci-dessous présente les biomasses algales qui ont été mesurées lors de précédentes études sur la Loue et le Lison.

|                              | DIREN 1972<br>(Octobre) |                            | SRAE 1989<br>(juillet/Août) |                            | Decourcière<br>et<br>Martin 1998<br>(Août) |                            | Frossard<br>2006 |                            | Vacelet<br>2008 |                            |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
|                              | %<br>recou              | Bio<br>(g/m <sup>2</sup> ) | %<br>recou                  | Bio<br>(g/m <sup>2</sup> ) | %<br>recou                                 | Bio<br>(g/m <sup>2</sup> ) | %<br>recou       | Bio<br>(g/m <sup>2</sup> ) | %<br>recou      | Bio<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
| Mouthier                     |                         | 5200                       | 5                           | 1900                       |                                            |                            |                  | 1400                       | 60              | 951                        |
| Aval<br>Ornans               |                         |                            | 100                         | 2600                       | 100                                        | 5030                       | 60               | 750                        | 25              | 470                        |
| Amont<br>confluence<br>Lison |                         | 3500                       | 15                          | 200                        | 75                                         | 754                        |                  |                            |                 |                            |
| Chenecey                     |                         |                            |                             |                            |                                            |                            |                  | 150                        | 20              | 270                        |
| Cussey sur<br>Lison          |                         |                            |                             |                            |                                            |                            |                  | 50                         | 20              | 460                        |

Tableau 22 : Données antérieures de biomasse algale sur la Loue

Sur la base de 2 publications anciennes (Verneaux J., & Vergon JP., 1974 ; et DIREN Franche-Comté., 1993), nous avons estimé les biomasses développées en 1974 et 1993 sur des stations proches de nos stations de suivi.

Ces biomasses sont des biomasses approchées. Dans la publication de 1974 elles sont exprimées en termes de volume/m linéaire de cours d'eau. Le volume étant ensuite converti en biomasse par la formule suivante : poids essoré frais d'une masse de cladophora déplaçant 1 l d'eau = 0.2 Kg. (précision à 20%).

Dans le tiré à part de 1993 la biomasse est approchée par lecture des histogrammes présentés (absence de données exactes). Quant à nos valeurs, ce sont les maximales enregistrées en 2011.

| Stations                | Biomasse (kg/m <sup>2</sup> )<br>(1973) | Biomasse (kg/m <sup>2</sup> )<br>(1993) | Biomasse (kg/m <sup>2</sup> )<br>(2011) |
|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Mouthier (Jardin Aval)  | 2,91                                    |                                         | 3,08                                    |
| Ornans (aval du moulin) | 0,19                                    | 4                                       | 1.46                                    |
| Confluence Loue Lison   | 11,66                                   |                                         | 1.47 (Rurey)                            |
| Chenecey                |                                         | 6                                       |                                         |
| Goumois                 | 6,62                                    |                                         | 1.40                                    |
| Pont les Moulins        | 13,3                                    | 3                                       | 0.67                                    |
| Lison confluence Loue   | 0,44                                    |                                         | 0.33                                    |
| Châtillon (Ain)         |                                         | 3                                       | 0.17                                    |
| Dessoubre               |                                         | 4                                       | 2.54                                    |

**Tableau 23 : Evolution de la biomasse algale entre 1973 et 2011**

Eu égard à l'imprécision à la fois des données et de la localisation exacte des stations les interprétations doivent être prudentes.

Cependant, les valeurs de 6, 11, 13 Kg/m<sup>2</sup> observées en 1973, les valeurs de 4 et 6 Kg/m<sup>2</sup> observées en 1993 ne sont pas retrouvées lors du suivi 2011.

L'hypothèse d'une moindre production d'algues filamenteuses est donc émise.

Elle pourrait être corrélée à la modification des apports du bassin versant, avec moins de phosphore et plus d'azote, tel que nous avons observé dans le « Suivi de la qualité des eaux des sources du Maine et de Plaisir Fontaine. 27 Février au 03 aout 2011 » (Eaux Continentales 2012).

Une synthèse précise des données existantes sur cette évolution des biomasses apparaît donc comme intéressante.

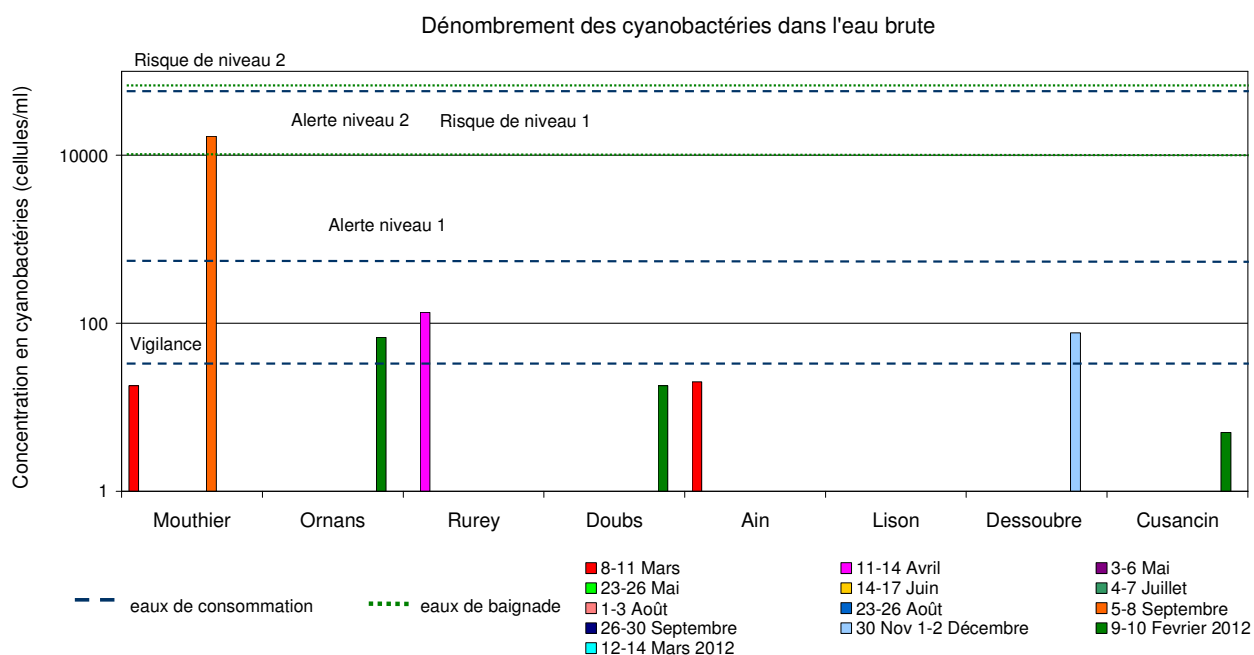
L'évolution à la baisse des biomasses d'algues filamenteuses (*Vaucheria* et *Cladophora*) semblerait liée à la baisse de phosphore. En effet, d'après Bolas et Lund (1974, dans Nauleau O 1988) l'addition de nitrates supplémentaires n'a pas d'incidence sur la biomasse récoltée. Pour ces auteurs, les nitrates ne constituent pas un facteur limitant. Le corrélaire à ces hypothèses, déjà évoqué, est une modification de la représentation relative des algues filamenteuses au profit d'autres taxons comme les cyanobactéries.



### 3.3 Les cyanobactéries

#### 3.3.1 Résultats du suivi 2011 (déterminations réalisées par Aqua-gestion)

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus pour le suivi des cyanobactéries dans l'eau brute.



**Figure 31 : Concentration en cyanobactéries dans l'eau brute lors du suivi 2011**

Tout comme pour l'année 2010, les cyanobactéries sont très rarement présentes dans l'eau brute. Elles sont détectées seulement lors de cinq campagnes sur treize, sur l'ensemble des stations, mis à part sur le Lison, en aval de Cussey sur Lison.

Les concentrations relevées se situent en dessous de tous les seuils de vigilance, hormis un échantillon à Mouthier début septembre (16 878 CC /ml – 80 fois la norme de vigilance pour les eaux de consommation).

Les résultats obtenus (cellules/ml) pour le suivi des cyanobactéries sur le substrat galet sont présentés ci-dessous.

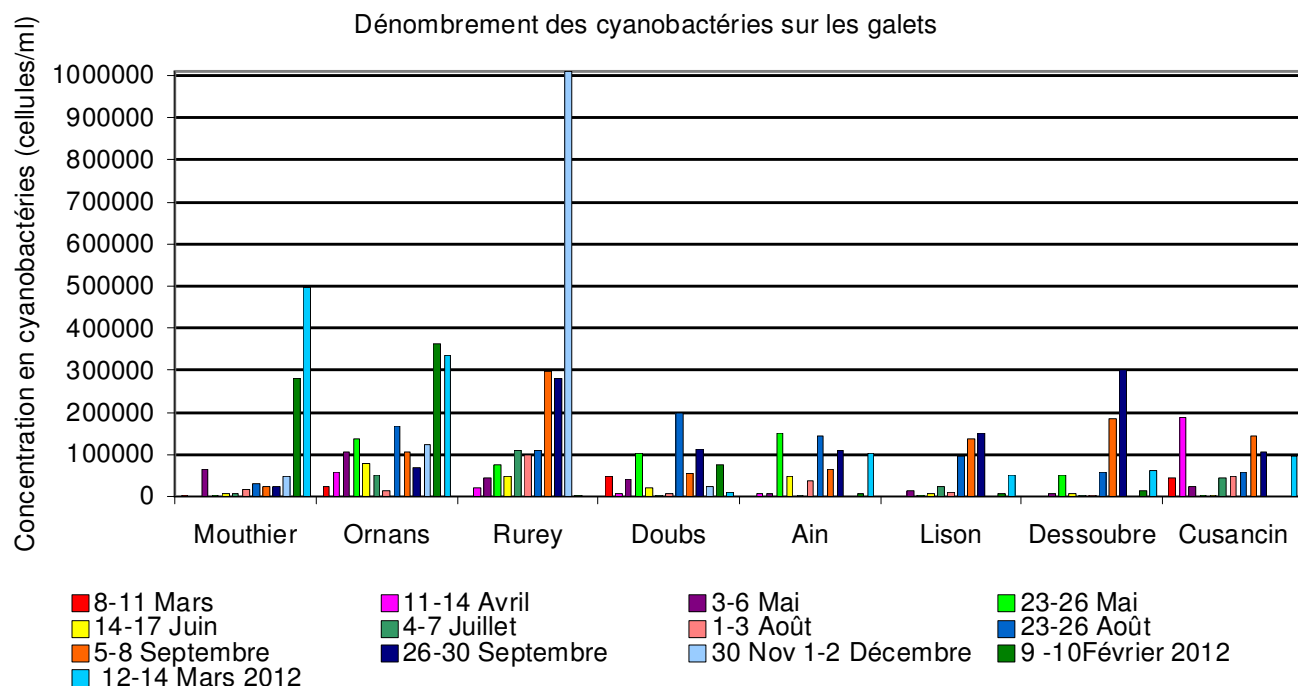


Figure 32 : Concentration en cyanobactéries sur les galets lors du suivi 2011

Les cyanobactéries ont été identifiées sur l'ensemble des stations de l'étude, à des concentrations plus ou moins élevées suivant les campagnes de prélèvement.

**Il apparaît que des cyanobactéries sont trouvées en permanence sur les galets au niveau des stations d'Ornans sur la Loue, de Goumois sur le Doubs.**

**Sur les autres sites, les cyanobactéries sont présentes lors de 75 à 90% des campagnes de prélèvement.**

Il est constaté également une tendance à l'augmentation des concentrations à partir de fin Août-début Septembre. Sur les sites de Mouthier et Ornans, les plus fortes valeurs sont observées lors des campagnes de février et mars 2012. En décembre 2011, seules 5 stations ont pu être échantillonnées (les 3 stations de la Loue, le Doubs à Goumois et le Dessoubre à Saint-hippolyte). **Parmi ces stations, un pic très important est observé sur le site de Rurey.**

Si l'on opère le cumul des concentrations obtenues en cc/cm<sup>2</sup> (établi par aquagection à compter de fin mai 2011), la station de Rurey est la plus impactée. Elle présente le plus fort développement de cyanobactéries, à savoir 1 132 663 cc/cm<sup>2</sup>. Ensuite, on trouve la station d'Ornans avec une concentration de 851 543 cc/cm<sup>2</sup>. Puis les stations de Mouthier et Goumois sur le Doubs avec plus de 400 000 cc/cm<sup>2</sup>. Les sites de l'Ain (amont pont de Châtillon), du Dessoubre (Saint Hippolyte) et du Cusancin (aval Pont les Moulins) présentent des valeurs entre 300 000 et 350 000 cc/cm<sup>2</sup>. A l'opposé, la station du Lison en aval de Cussey sur Lison apparaît comme la moins impactée avec seulement une concentration de 282 150 cc/cm<sup>2</sup>.

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus pour le suivi des cyanobactéries sur le substrat végétal.

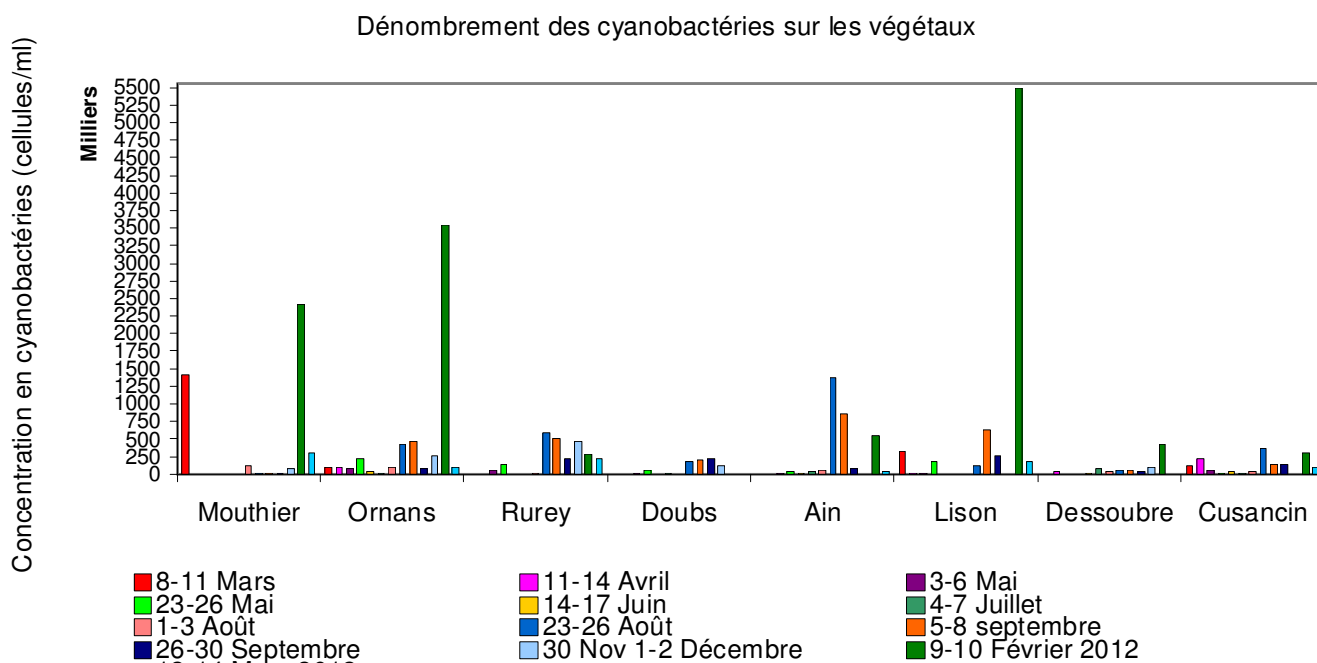


Figure 33 : Concentration en cyanobactéries sur les végétaux lors du suivi 2011

D'après ce graphique, on observe que les cyanobactéries sont présentes sur l'ensemble des stations. **Globalement, il apparaît que des cyanobactéries sont trouvées en permanence sur le substrat végétal au niveau des stations d'Ornans sur la Loue et en aval de Pont les Moulins sur le Cusancin. Sur les autres sites, les cyanobactéries sont présentes lors de 80 à 90% des campagnes d'échantillonnage.**

Il est constaté également une augmentation des concentrations lors des dernières campagnes de prélèvement. Des pics importants sont observés, sur les stations de Mouthier, Ornans pour la Loue et en aval de Cussey sur Lison pour le Lison, lors de la campagne de Février 2012.

Si l'on opère le cumul des concentrations obtenues en cc/cm<sup>2</sup> (établi par aquagestion à compter de fin mai 2011), on observe que les stations de Saint-Hippolyte sur le Dessoubre et de Goumois sur le Doubs sont les moins impactées par le développement des cyanobactéries sur les végétaux (< 900 000 cc/ml). La concentration détectée est très faible par rapport aux autres sites. Au contraire, le Lison en aval de Cussey sur Lison (7 214 198 cc/ml), Ornans (5 555 336 cc/ml), Mouthier (4 381 434 cc/ml), l'Ain en amont du pont de Châtillon (3 052 958 cc/ml), Rurey (2 536 124 cc/ml) et le Cusancin en aval de Pont les Moulins (1 566 979 cc/ml) présentent des concentrations élevées.

Le tableau suivant indique les taxons qui ont été répertoriés, lors de cette étude, sur les substrats galets et végétaux, ainsi que le pourcentage d'occurrence moyen pour l'ensemble de l'étude.

| Stations                | Taxon                 | Caractéristique         | Eau | Galets | végétaux | % d'occurrence |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----|--------|----------|----------------|
| Mouthier                | <i>Aphanothece</i>    | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,002          |
|                         | <i>Geitlerinema</i>   | Non toxique             |     |        |          | 7,62           |
|                         | <i>Leptolygbya</i>    | Non trouvée             |     |        |          | 6,69           |
|                         | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 60,19          |
|                         | <i>Phormidium</i>     | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,04           |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,01           |
|                         | <i>Planktolynghya</i> | Non toxique             |     |        |          | 0,02           |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 25,37          |
|                         | <i>Rhabdoderma</i>    | Non toxique             |     |        |          | 0,04           |
|                         | <i>Romeria</i>        | Non toxique             |     |        |          | 0,02           |
| Ornans                  | <i>Aphanothece</i>    | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,08           |
|                         | <i>Leptolygbya</i>    | Non trouvée             |     |        |          | 6,92           |
|                         | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 60,47          |
|                         | <i>Phormidium</i>     | Potentiellement toxique |     |        |          | 1,15           |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 2,77           |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 28,60          |
| Rurey                   | <i>Merismopedia</i>   | Non toxique             |     |        |          | 0,23           |
|                         | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 44,08          |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,92           |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 45,69          |
|                         | <i>Rhabdoderma</i>    | Non toxique             |     |        |          | 9,08           |
| Goumois                 | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 50,62          |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 36,23          |
|                         | <i>Rhabdoderma</i>    | Non toxique             |     |        |          | 3,08           |
|                         | <i>Synechococcus</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 10,08          |
| Saint Hippolyte         | <i>Aphanothece</i>    | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,23           |
|                         | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 69,31          |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 5,23           |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 25,23          |
| Aval Pont les Moulins   | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 61,54          |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 6,09           |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 41,46          |
| Aval Cussey sur Lison   | <i>Anabaena</i>       | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,09           |
|                         | <i>Merismopedia</i>   | Non toxique             |     |        |          | 0,09           |
|                         | <i>Leptolynghya</i>   | Non trouvée             |     |        |          | 8,82           |
|                         | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 56,36          |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 14,45          |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 29,27          |
| Amont Pont de Châtillon | <i>Aphanothece</i>    | Potentiellement toxique |     |        |          | 0,09           |
|                         | <i>Oscillatoria</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 56             |
|                         | <i>Planktothrix</i>   | Potentiellement toxique |     |        |          | 10,18          |
|                         | <i>Pseudanabaena</i>  | Potentiellement toxique |     |        |          | 42,43          |

Tableau 24 : Liste des cyanobactéries observées

Sur nos 8 stations, 13 taxons différents ont été observés avec entre quatre et dix genres représentés par station.

*Oscillatoria* et *Pseudanabaena* ont été observés sur l'ensemble des stations au niveau du substrat minéral et végétal.

Il est observé, sur le Dessoubre à Saint Hippolyte, sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins et sur l'Ain en amont du pont de Châtillon, la présence essentiellement de taxons pouvant émettre des toxines.

**Pour l'ensemble des campagnes effectuées sur le substrat galet, on observe que les cyanobactéries pouvant émettre des toxines représentent 100% des taxons identifiés sur chaque station,** sauf sur le Lison. En effet, lors de la campagne réalisée fin Mai, il a été observé la présence d'un taxon non toxique (*Merismopedia*) mais qui représentait seulement 1% de la concentration.

Pour l'ensemble des stations, la présence de cyanobactéries potentiellement toxiques sur les deux substrats échantillonnés (galet et végétaux) est comprise entre 88% et 100% de la concentration cellulaire.

### 3.3.1.1 Les cyanobactéries potentiellement toxiques

#### ➤ *Oscillatoria*

C'est un organisme filamenteux, unisériel, non ramifié et sans gaine mucilagineuse. Certaines espèces sont planctoniques et d'autres benthiques. Ce genre colonise les eaux présentant une large amplitude de niveaux trophiques.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 25 : Période et station d'identification d'*Oscillatoria***

La cyanobactérie *Oscillatoria*, identifiée sur toutes les stations, représente plus de 50% des cyanobactéries observées lors de cette étude en termes de concentration cellulaire par millilitre.

Elle a été répertoriée lors de chaque campagne avec une présence dans chaque prélèvement sur la station d'Ornans et lors de 90% des échantillons sur les autres stations.

➤ *Pseudanabaena*

*Pseudanabaena*, **également observée sur l'ensemble des stations** est un organisme filamenteux, unisériel non ramifié, constitué seulement de cellules végétales et sans gaine mucilagineuse. La plupart des espèces est planctonique et ne forme que rarement des fleurs d'eau.

***Pseudanabaena* est identifiée sur l'ensemble des stations à partir de la campagne réalisée fin Août.**

Ce genre est le deuxième taxon le plus important, avec une présence comprise entre 38% et 75%.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 26 : Période et station d'identification de *Pseudanabaena***

➤ *Planktothrix*

*Planktothrix*, observé sur 7 stations, est un organisme filamenteux, unisériel non ramifié et constitué seulement de cellules végétales et sans gaine mucilagineuse. Ce genre est typiquement planctonique et souvent rencontré dans les milieux assez riches du point de vue trophique.

**Au regard de nos investigations la présence de ce taxon semble printanière.**

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 27 : Période et station d'identification de *Planktothrix***

➤ Anabaena

Ce taxon est un organisme filamenteux, unisériel, non ramifié et sans gaine mucilagineuse. Les cellules sphériques sont en formes de tonneaux ou cylindriques. La plupart des espèces, planctoniques, inféodées à des eaux stagnantes, sont capables de fixer l'azote atmosphérique, ce qui permet de l'associer à des milieux mésotrophes à mésoeutrophes.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 28 : Période et station d'identification d'*Anabaena***

Anabaena est observé une seule fois sur la station de Cussey sur Lison.

➤ Synechoccus :

*Synechoccus* est un organisme généralement unicellulaire, parfois colonial. Les cellules, plus longues que larges, sont allongées et de forme ellipsoïdales à cylindrique. Ce taxon est courant dans les eaux douces et peut proliférer tout en présentant une biomasse faible.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 29 : Période et station d'identification de *Synechoccus***

*Synechoccus* est observé à 2 reprises sur le Doubs à Goumois.

➤ Aphanothece: *Aphanothece* est un organisme colonial dont les cellules sont allongées. Ce taxon planctonique ou benthique forme des amas verts assez fermes. Il est parfois abondant dans les milieux assez confinés, calmes et enrichis en nutriments.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 30 : Période et station d'identification d'*Aphanothece***



*Aphanothece*, organisme est relevé lors de la campagne de début Mai sur le Dessoubre et en février et Mars 2012 sur les sites de Mouthier, Ornans et l'Ain (Amont pont de Châtillon).

➤ *Phormidium*

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 31 : Période et station d'identification de *Phormidium***

Ce taxon est observé sur les stations de Mouthier et d'Ornans lors des deux dernières campagnes de prospection.

### 3.3.1.2 Les cyanobactéries non toxiques

On remarque également que des genres n'émettant pas de toxine ont été recensés sur les galets et les végétaux.

➤ *Planktolyngbya*

Cette cyanobactérie est un organisme filamenteux constitué de cellules végétatives, unisériés, non ramifié à gaine mucilagineuse fine et hyaline. Ce genre, typiquement planctonique, peut coloniser les milieux plutôt mésotrophes et donne à l'eau une couleur verdâtre.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 32 : Période et station d'identification de *Planktolynghya***

*Planktolynghya* est observée à Mouthier lors d'une seule campagne.

➤ *Merismopedia*

*Merismopedia*, est un organisme colonial dont les cellules, sphériques, sont disposées dans un même plan et regroupées par 4 dans un mucilage commun incolore. La colonie, le plus souvent carrée ou rectangulaire, forme d'importantes plaques pouvant s'enrouler sur elles-mêmes. Ce genre, le plus souvent planctonique, est fréquent dans les bassins fermés et les eaux courantes. Il est plutôt rencontré en été, dans les eaux mésotrophes à eutrophes et peut développer des biomasses considérables.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 33 : Période et station d'identification de *Merismopedia***

*Merismopedia* est observé 1 fois sur les stations de Rurey (3% des cyanobactéries) et du Lison (1% des cyanobactéries) lors de campagnes printanières.

➤ *Geitlerinema*

*Geitlerinema* est un organisme filamenteux, présentant des filaments ramifiés, sans gaines, composés de cellules cylindriques. Ce genre est observé sur les feuilles des plantes, les pierres dans les eaux non polluées.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 34 : Période et station d'identification de *Geitlerinema***

Lors du suivi réalisé durant le mois de Mars, ce taxon représente 99% des cyanobactéries identifiées à Mouthier.

➤ *Romeria*

*Romeria*, est un organisme qui présente des trichomes solitaires et des cellules cylindriques. Ce genre, principalement planctonique, se rencontre dans des milieux mésotrophes ou légèrement eutrophes.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 35 : Période et station d'identification de *Romeria***

*Romeria* est trouvé lors d'une campagne à Mouthier en très faible concentration

➤ *Rhabdoderma*

Ce genre forme des colonies microscopiques contenant un petit nombre de cellules plus ou moins allongées. Plusieurs espèces peuvent être planctoniques.

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| Décembre          |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| Février 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| Mars 2012         |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 36 : Période et station d'identification de *Rhabdoderma***

A Rurey, le genre *Rhabdoderma* représente 52% des cyanobactéries début Mai et 66 % fin Mai. Ce taxon est aussi observé sur la station de Goumois début Mai (40%) et à Mouthier lors de la campagne de Mars (moins de 1%).

➤ Leptolyngbya

| Stations<br>Dates | Mouthier | Ornans | Rurey | Goumois | Saint Hippolyte | Aval Pont les Moulins | Aval Cussey sur Lison | Amont pont de Châtillon |
|-------------------|----------|--------|-------|---------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mars              |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 13 Avril          |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 04 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Mai            |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 15 Juin           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 07 Juillet        |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 02 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 24 Août           |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 06 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 28 Septembre      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 1 Décembre        |          |        |       |         |                 | Non prélevé           | Non prélevé           | Non prélevé             |
| 9 Février 2012    |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |
| 12 Mars 2012      |          |        |       |         |                 |                       |                       |                         |

Présence en vert

**Tableau 37 : Période et station d'identification de *Leptolyngbya***

Ce taxon a été observé seulement sur trois stations du suivi et uniquement lors de la campagne de février 2012.

En résumé, au cours du suivi 2011, il n'a pas été observé de cyanobactérie en concentration importante dans l'eau (maximum : 16878 cellule/ml sur la station de Mouthier).

Concernant les **cyanobactéries benthiques**, leur présence a été observée de façon continue sur l'ensemble des stations, à des degrés de concentrations diverses. Les taxons identifiés présentent, pour certains, des espèces pouvant potentiellement émettre des toxines dans l'eau.

Les espèces présentant un risque majeur pourraient être : *Oscillatoria* et *Pseudanabaena*.

L'ensemble des stations étudiées sont concernées par le développement important des ces deux taxons.

### 3.3.1.3 Comparaison des résultats obtenus entre les laboratoires Bi-eau et Aqua-gestion sur une campagne commune de prélèvements de cyanobactéries

Les deux prestataires utilisent des méthodes différentes :

- 1 approche globale (Aqua-gestion), groupes dominants observés dans le biofilm,
- 1 approche fine (Bi-eau), une liste floristique quantifiée exhaustive.

Les échantillons prélevés sur le substrat végétal n'ont pas été analysés car il a été constaté par Bi-eau que de grandes quantités d'algues ou de Cyanobactéries restaient encore fixées sur les feuilles et tiges. Il apparaissait donc impossible de quantifier la part du matériel extrait relativement à celle restant accrochée à son substrat.

La comparaison entre échantillon a donc été réalisée seulement sur les prélèvements du substrat minéral.

- Comparaison des résultats obtenus entre les laboratoires Bi-eau et Aqua-gestion sur la campagne commune de prélèvements de cyanobactéries. (échantillons 1 et 1 bis).

| Echantillon<br>Taxons            | Mouthier     |        |        | Ornans       |           |         | Goumois      |        |        |
|----------------------------------|--------------|--------|--------|--------------|-----------|---------|--------------|--------|--------|
|                                  | 1            | 1 bis  | 2      | 1            | 1 bis     | 2       | 1            | 1 bis  | 2      |
|                                  | Aqua-gestion | Bi-eau | Bi-eau | Aqua-gestion | Bi-eau    | Bi-eau  | Aqua-gestion | Bi-eau | Bi-eau |
| <i>Chamaesiphon minutus</i>      |              |        |        |              | 1 456     |         |              |        |        |
| <i>Leptolyngbya subtilis</i>     |              |        | 11 830 |              | 934 873   | 520 528 |              | 2 548  |        |
| <i>Oscillatoria</i>              | 4151         |        |        | 60 472       |           |         | 16 640       |        |        |
| <i>Phormidium</i>                |              |        | 2 730  |              |           |         |              |        |        |
| <i>Phormidium ambiguum</i>       |              | 9 100  |        |              | 100 466   | 345 805 |              | 56 239 | 4 186  |
| <i>Pseudanabaena</i>             |              |        |        |              |           | 21 840  |              |        |        |
| <i>Pseudanabaena cf. galeata</i> |              |        |        |              | 21 840    |         |              |        |        |
| Indéterminés                     |              | 18 200 |        |              |           |         |              |        | 3 640  |
| Total                            | 4151         | 27 300 | 14 560 | 60 472       | 1 058 635 | 888 173 | 16 640       | 58 787 | 7 826  |

Tableau 38 : Résultats des analyses effectuées par deux laboratoires

Sur l'aspect qualitatif les cyanobactéries sont bien identifiées comme dominantes ou non dans le biofilm par Aqua-gestion comparativement aux données Bi-eau.

L'espèce dominante et potentiellement toxique est :

- Phormidium ambiguum pour Bi-eau,
- Oscillatoria pour Aqua-gestion.

En ce qui concerne le dénombrement, des différences importantes sont constatées :

- Mouthier : Phormidium : 9100 cc/cm<sup>2</sup> (Bi-eau), Oscillatoria 4151 cc/cm<sup>2</sup> (aqua-gestion) : Rapport de 2 dû au traitement préliminaire des échantillons avec brossage + grattage au scalpel pour Bi-eau,
- Ornans : Phormidium : 100 466 cc/cm<sup>2</sup> (Bi-eau), Oscillatoria : 60 472 cc/cm<sup>2</sup> (Aqua-gestion). Rapport de 1.7 dû au traitement préliminaire des échantillons avec brossage + grattage au scalpel pour Bi-eau,
- Goumois : Phormidium : 56 239 cc/cm<sup>2</sup> (Bi-eau), Oscillatoria: 16 640 cc/cm<sup>2</sup> (Aqua-gestion) . Rapport de 3.4 dû au traitement préliminaire des échantillons avec brossage + grattage au scalpel pour Bi-eau.

Les résultats obtenus ne sont pas choquants au regard des protocoles différents. Toutefois, il est important de noter la différence d'identification des taxons au sein de deux placettes contigües, entre les deux prestataires (phormidium ambiguum ou Oscillatoria ?)

En termes de dénombrement global (comparaison toujours des échantillons 1 et 1bis), on observe des cellules comptées par Bi-eau 6.6 fois plus nombreuses à Mouthier, 17.5 fois plus nombreuses à Ornans et 3.5 fois plus nombreuses à Goumois. Les écarts d'approche quantitative entre les stations sont donc notables. Ils sont à rapporter aux méthodes préparatoires différentes, mais aussi à la grande variabilité possible d'une placette à une autre, voire à des taxons plus intimement fixés au substrat que d'autres : 935 000 Leptolyngbia subtilis comptées à Ornans par Bi-eau et absent de l'échantillon d'Aqua-gestion ?)

Ces observations confirment donc l'intérêt informatif de la méthode de brossage + grattage qui met en évidence à la fois des abondances floristiques supérieures et permet d'identifier des taxons tels que Chamaesiphon minutus (Ornans), Leptolyngbia subtilis (Ornans.Goumois), Pseudanabaena cf.galeatea (Ornans) dans les échantillons comparatifs.

On note à titre indicatif que

*Chamaesiphon minutus* n'est jamais identifié lors de notre suivi par Aqua-gestion  
*Leptolyngbia* est identifié en février 2012 à Mouthier Ornans et sur le Lison par Aqua-gestion  
*Pseudanabaena* est identifié sur l'ensemble de nos stations de suivi par Aqua-gestion à partir du mois d'août

- Comparaison des résultats sur 2 échantillons prélevés dans des conditions comparables de substrats, d'écoulement et d'expositions fournis au laboratoire Bi-eau (échantillons 1bis et 2) mais non contigus.

Sur l'aspect qualitatif :

A Mouthier aucun des 3 taxons identifié n'est trouvé dans les 2 échantillons.

A Ornans seulement 2 taxons sur 5 sont trouvés dans les 2 échantillons

A Goumois 1 taxon sur 3 est trouvé dans les 2 échantillons

Sur l'aspect quantitatif du biofilm en général les 2 échantillons fournis à Bi-eau révèlent une forte variabilité :

A Mouthier on passe selon la placette de 27300 à 14 560 cc/cm<sup>2</sup> soit un rapport de 1 à 1.9

A Ornans on passe selon la placette de 1 058 635 à 888 173 soit un rapport de 1 à 1.2

A Goumois on passe selon la placette de 58 787 à 7826 soit un rapport de 1 à 7.5.

Sur l'aspect quantitatif des taxons communs :

à Ornans selon la placette *Leptolyngbia subtilis* présente des abondances de 1 à 1.8.  
*Phormidium ambiguum* de 1 à 3.5.

à Goumois selon la placette *Phormidium ambiguum* présente des abondances de 1 à 13.4

En synthèse :

**Il faut conserver à minima le prélèvement dans l'eau et sur le substrat minéral.** Le prélèvement sur les végétaux n'autorise pas une quantification stricte des organismes du biofilm.

Le protocole de prélèvement du substrat minéral doit être adapté pour compenser les fortes variabilités de représentation et d'abondance des espèces observées par placette lors de cette analyse comparative.

Il faut être certain de la détermination spécifique des cyanobactéries.

Un protocole allégé type Aqua-gestion peut suffire à prévenir des proliférations de cyanobactéries dans le cadre d'un système d'alerte. On rappelle en parallèle que prolifération ne signifie pas présence de toxines.



La constitution de liste floristique exhaustive et quantitative est intéressante. Les coûts augmentent et il faut peut-être envisager de limiter cette approche fine à un nombre réduit de stations. (On rappelle à ce sujet que la station de Chenecey fait l'objet d'un suivi physico-chimique presque journalier de l'azote et du phosphore et qu'à ce titre un suivi conjoint des développements du biofilm présenterait un grand intérêt pour la compréhension des phénomènes)

### 3.3.2 Analyse des données 2010 (prélèvements Eaux Cont. ONEMA déterminations Aqua-gestion )

Dix campagnes d'échantillonnages ont été réalisées sur la Loue en 2010 suite aux épisodes de mortalité piscicole. Le tableau suivant présente pour chaque taxon identifié, le site et le nombre de campagne d'observation

| Taxons               | Site (Nb de campagne) d'observation                                                                                                                                                                                                             | Support                  |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Aphanocapsa</i>   | Loue Source (1)                                                                                                                                                                                                                                 | Galet                    |
| <i>Geitlerinema</i>  | Mouthier (5); Piquette (2) ; Source (1) ; Chenecey (4); Lavans les Quingey (4) ; Lods (1) ; Maisière (1) ; Cléron (2); Notre Dame du Chêne (1) ; Rennes (2) ; Scey Maisière (2) ; Ornans Syratu (1)                                             | Eau<br>Galet<br>Végétaux |
| <i>Jaaginema</i>     | Chenecey (2) ; Ornans Syratu (1) ; Rennes (1) ; Moulin Homelon (1)                                                                                                                                                                              | Galet<br>Végétaux        |
| <i>Limnothrix</i>    | Quingey (1) ; Ornans Syratu (1) ; Rennes (1)                                                                                                                                                                                                    | Galet<br>Végétaux        |
| <i>Oscillatoria</i>  | Mouthier (5) ; Source (1) ; Ornans tennis (3) ; Moulin Homelon (3) ; Piquette (3) ; Chenecey (4) ; Cléron (3) ; Lavans les Quingey (2) ; Lods (1) ; Maisière (1) ; Notre Dame du Chêne (1) ; Rennes (1) ; Scey Maisière (4) ; Ornans Syratu (1) | Eau<br>Galet<br>Végétaux |
| <i>Planktothrix</i>  | Piquette (1) ; Lods (1) ; Mouthier (1) ; Ornans Syratu (2) ; Rennes (1) ; Chenecey (1) ; Cléron (1) ; Lavans les Quingey (1)                                                                                                                    | Galet<br>Végétaux        |
| <i>Pseudanabaena</i> | Quingey (1) ; Chenecey (4) ; Cléron (3) ; Lavans les Quingey (2) ; Maisière (1) ; Ornans Syratu (2) ; Notre Dame du Chêne (1) ; Scey Maisière (2) ; Mouthier (1) ; Rennes (1)                                                                   | Eau<br>Galet<br>Végétaux |
| <i>Tapinothrix</i>   | Chenecey (1)                                                                                                                                                                                                                                    | Galet<br>Végétaux        |

**Tableau 39 : Liste des cyanobactéries identifiées en 2010**

Au total, 8 taxons ont été répertoriés sur la Loue, de sa source jusqu'à Rennes sur Loue dont 3 genres potentiellement toxiques et 5 non toxiques. Les cyanobactéries observées sont essentiellement benthiques.

Les valeurs dans les tableaux suivant correspondent aux résultats des analyses réalisées durant l'année 2010 et exprimées en cellules/ml. Les chiffres en bleu correspondent aux valeurs minimales et en rouge aux valeurs maximales.

Aucune données bibliographique, ni aucune norme ne permet de caler les observations réalisées sur les substrats.

#### Analyses sur eau (résultats exprimés en cellules par ml)

|                               | eau   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 10/06 | 19/06 | 29/06 | 07/07 | 20/07 | 04/08 | 23/08 | 07/09 | 05/10 |
| Mouthier                      |       | 39    |       | 0     |       | 0     |       | 0     | 0     |
| Ornans<br>Syratu              |       |       | 0     |       | 127   |       | 0     |       |       |
| Ornans<br>tennis              |       |       |       |       |       | 0     |       | 0     | 0     |
| Ornans<br>(Moulin<br>Homelon) |       |       |       |       |       | 0     |       | 0     | 0     |
| Maisière                      | 38    |       | 342   |       | 0     | 0     | 0     |       |       |
| Cléron                        | 335   |       | 18    |       | 0     |       | 0     |       |       |
| Piquette<br>(Rurey)           |       | 0     |       | 0     |       | 0     | 0     |       | 0     |
| Chenecey-<br>Buillon          | 42    |       | 0     |       | 0     |       | 0     |       |       |
| Quingey                       |       | 8     |       |       |       |       |       |       |       |
| Lavans les<br>Quingey         | 0     |       | 0     |       | 0     |       | 0     |       |       |
| Rennes<br>sur Loue            | 561   |       | 0     |       |       |       |       |       |       |

**Tableau 40 : Suivi des cyanobactéries dans l'eau en 2010**

Les données du tableau ci-dessus montrent une présence faible des cyanobactéries et une absence régulière de la masse d'eau. Leur présence s'observe entre Juin et fin Juillet lors de 4 campagnes.

Les prospections d'Août, Septembre et Octobre n'ont pas révélé de résultats positifs. Les concentrations obtenues sont soit en dessous du seuil de vigilance pour les eaux de consommations (200 cc/ml), soit légèrement supérieures (max = 561 cc/ml).

#### Analyses sur galet (résultats exprimés en cellules par ml)

| Galet                         |           |         |         |         |            |            |         |         |              |            |
|-------------------------------|-----------|---------|---------|---------|------------|------------|---------|---------|--------------|------------|
|                               | 03 Juin   | 10 Juin | 19 Juin | 29 Juin | 07 Juillet | 20 Juillet | 04 Août | 23 Août | 07 Septembre | 05 Octobre |
| Mouthier                      | 285 760   |         | 210     |         | 7 355      |            | 6688    |         | 4 008        | 1648       |
| Lods                          | 1 074 427 |         |         |         |            |            |         |         |              |            |
| Ornans<br>Syratu              |           |         |         | 511 56  |            | 33 012     |         | 25 801  |              |            |
| Ornans<br>tennis              |           |         |         |         |            |            | 42 240  |         | 101 890      | 77 240     |
| Ornans<br>(Moulin<br>Homelon) |           |         |         |         |            |            | 572880  |         | 563 200      | 288 000    |
| Maisière                      | 304 012   | 484 755 |         | 275 070 |            | 396 000    | 303 600 | 0       |              |            |
| Cléron                        |           | 212 654 |         | 85 704  |            | 38 200     |         | 28 160  |              |            |
| Piquette<br>(Rurey)           |           |         | 93      |         | 41 280     |            | 8960    | 32 890  |              | 486        |
| Chenecey-<br>Buillon          |           | 391 089 |         | 14 168  |            | 24 366     |         | 37 516  |              |            |
| Quingey                       |           |         | 282     |         |            |            |         |         |              |            |
| Lavans les<br>Quingey         | 97 500    |         |         | 19 730  |            | 16 152     |         | 0       |              |            |

**Tableau 41 : Suivi des cyanobactéries sur les galets en 2010**

Pour les galets les résultats présentent une importante variation entre les différentes campagnes et les différents sites d'échantillonnage. La valeur la plus élevée est obtenue début Juin à Lods (1 074 427 CC/ml).

Le développement des cyanobactéries varie fortement d'un échantillon stationnel à un autre. Le site de la Piquette présente des valeurs faibles alors que celui de Maisière indique, lors des 5 premières prospections, des résultats plus élevés.

Lors d'une même campagne, on constate que les concentrations en cyanobactéries peuvent-être très différentes d'une station à une autre.

## Analyse sur végétaux (résultats exprimés en cellules par ml)

| Végétaux                      |         |         |               |            |          |         |                 |               |
|-------------------------------|---------|---------|---------------|------------|----------|---------|-----------------|---------------|
|                               | 10 Juin | 29 Juin | 07<br>Juillet | 20 Juillet | 04 Août  | 23 Août | 07<br>Septembre | 05<br>Octobre |
| Mouthier                      |         |         | 18 360        |            | 4 514    |         | 81 840          | 0             |
| Lods                          |         |         |               |            |          |         |                 |               |
| Ornans<br>Syratu              |         | 210 342 |               | 0          |          | 69 600  |                 |               |
| Ornans<br>tennis              |         |         |               |            | 0        |         | 3 776           | 97 630        |
| Ornans<br>(Moulin<br>Homelon) |         |         |               |            | 69 300   |         | 85 680          | 134 560       |
| Maisière                      | 4 053   |         |               | 667 650    | 1 87 700 | 732 900 |                 |               |
| Cléron                        | 41 725  | 111 212 |               | 22 105     |          | 38 705  |                 |               |
| Piquette<br>(Rurey)           |         |         | 46 200        |            | 426 000  | 110 680 |                 | 0             |
| Chenecey-<br>Buillon          | 378 632 | 343 200 |               | 2 520      |          | 6 608   |                 |               |
| Quingey                       |         |         |               |            |          |         |                 |               |
| Lavans les<br>Quingey         | 47 520  |         |               | 18 328     |          | 8 800   |                 |               |
| Rennes<br>sur Loue            | 133 303 | 316 480 |               |            |          |         |                 |               |

**Tableau 42 : Suivi des cyanobactéries sur les végétaux en 2010**

Les résultats pour les végétaux, comme pour les galets, présentent une importante variation dans le temps et l'espace. La valeur la plus élevée est obtenue à Maisière, avec une concentration de 732 900 CC/ml alors que pour la même campagne, aucune cyanobactéries n'avait été retrouvée sur les galets.

On observe une grande variabilité des résultats, lors d'une même campagne, entre les stations, mais également, pour un site donné, entre les différents prélèvements.

Cette constatation semble mettre en évidence un protocole de prélèvement inadapté. Un seul prélèvement ne semble pas représentatif de la station.

La reprise d'un protocole développé par ailleurs par Bi-eau devra être envisagé.

### 3.3.3 Synthèse et interprétation

Le développement des cyanobactéries dans les eaux est la conséquence d'une concentration importante en éléments nutritifs. Toutefois, les conditions nécessaires à un développement optimal ne sont pas les mêmes pour toutes les espèces et plusieurs facteurs peuvent avoir une influence sur la formation des blooms.

#### 3.3.3.1 La température de l'eau

D'après Monestier (2006), l'optimum de croissance des algues bleues est plus élevé que celle des autres algues et se situe entre 20°C et 25°C.

Pour d'autres auteurs, *Planktothrix* (Sarazin & Al., 2002) et *Oscillatoria* (Lavoie & Al., 2007) ont une préférence pour les eaux froides (< à 10°C).

Pour notre part, nous constatons, sur l'ensemble des stations, la présence de cyanobactéries potentiellement toxique comme *Oscillatoria* ou *Planktothrix* sur le substrat (galet et végétaux) lors de la campagne de Mars, alors que les températures de l'eau étaient basses (entre 5,8°C et 9,5°C). Les analyses montrent également des cyanobactéries à Mouthier alors que l'eau n'a jamais dépassé les 13°C au cours du suivi.

**Il apparaît donc que certaines espèces de cyanobactéries peuvent se développer dans des conditions de températures fraîches de l'eau.**

Eu égard à la variété des taxons existants, la température de l'eau ne semble pas être un critère déterminant de la prolifération des cyanobactéries en général. Ceci n'exclut pas son effet possible sur le développement d'une espèce en particulier.

#### 3.3.3.2 La lumière

Un autre facteur à prendre en considération dans le développement de ces algues est la lumière car leur croissance requiert moins d'énergie lumineuse que d'autres espèces du phytoplancton (McMeekin., 2009). Ainsi, les cyanobactéries se développent bien à de basses intensités lumineuses, alors que de fortes intensités sont nécessaires pour les algues eucaryotes (algues filamenteuses) (Silvano J., 2005).

D'après Dumont V (2006), de nombreuses cyanobactéries (sauf celles qui forment des blooms de surface) sont sensibles à des périodes prolongées à de hautes intensités lumineuses. Ainsi de longues expositions à des intensités de 320  $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  sont létales pour de nombreuses espèces.

### 3.3.3.3 Les nutriments

La disponibilité en nutriments (azote et phosphore) pourrait être le critère le plus important à prendre en compte afin de comprendre le développement des fleurs d'eau. **D'après Martin J (2006), les cyanobactéries possèdent une forte affinité pour l'azote et le phosphore, associée à une forte capacité de stockage, mais n'auraient pas besoin d'une grande concentration de nutriments pour se développer. Cette constatation est confirmée par l'étude réalisée par Sarazin & Al., (2002) sur le lac du Bourget. En effet, la concentration en phosphate diminue depuis la fin des années 1980 dans le lac mais les proliférations de cyanobactéries sont toujours d'actualité.**

**On remarque que cette observation pour le lac du Bourget fait écho à nos propres observations puisque nous constatons une diminution de la concentration en phosphore phosphates sur la Loue à Chenecey et que ce phénomène semble associé à un accroissement récent de la présence de cyanobactéries.**

D'après McMeekin (2009), normalement le phosphore est l'élément limitant le développement des algues, mais si celui-ci est ajouté en grande quantité dans un système aquatique, la base du réseau trophique change et certaines espèces auparavant moins compétitives deviennent dominantes. Les cyanobactéries sont alors favorisées par l'augmentation du phosphore, car elles ont plus de facilité à se procurer l'azote nécessaire à leur survie, soit par la fixation de l'azote atmosphérique **ou par récupération de l'azote benthique.**

D'après Combrouze (Comm. Pers.), des apports brutaux en phosphore favoriseraient le développement des cyanobactéries.

**Un autre point à prendre en considération est la concentration en ammonium. En effet la présence de  $\text{NH}_4^+$  favoriserait la prolifération de cyanobactéries non fixatrice d'azote atmosphérique. On note que les taxons répertoriés dans le cadre de ce suivi ne sont pas capables de fixer l'azote de l'air ; ils pourraient donc être favorisés par la présence ou l'évolution de l'ammonium dans l'eau.**

Autre indice : la prolifération des herbiers de macrophytes (souvent des renoncules) à l'aval des barrages est favorisée par l'apport d'une eau plus froide et souvent chargée en ammonium (DÉCAMPS et CAPBLANCQ, 1980 ; BERNEZ, 1999, dans Peltre, 2002). Ces proliférations d'herbiers de renoncules (*Ranunculus trichophyllus*) sont observées sur la station de Goumois, (effet du barrage du Chatelot ?) et de Rurey (résurgences ?)

Il semblerait donc, sur la station de Goumois, que les conditions, d'un point de vue des nutriments, puissent être favorables au développement des cyanobactéries.

Notons enfin que le rapport N/P est mis en avant pour expliquer certaines proliférations de cyanobactéries lacustres (Rolland A. 2003). Dans cette étude, les cyanobactéries non fixatrices d'azote atmosphérique dominent si le rapport est inférieure à 29, ce qui d'après

Silvano J (2005) est la limite en dessous de laquelle les cyanobactéries prennent le pas sur les microalgues.

**Une étude bibliographique sur les exigences des cyanobactéries en cours d'eau semble donc pertinente. L'existence d'un tel seuil mériterait d'être approfondie.**

Notons enfin que pour comprendre le processus de prolifération des cyanobactéries, il est pourrait être intéressant voire nécessaire de prendre en compte la concentration en fer dans l'eau.

En effet, un enrichissement en fer (Fe) favorise la croissance des cyanobactéries par rapport aux algues car les algues bleues ont des besoins plus importants en fer que les algues filamenteuses Wurtsbaugh *et al.* 1984, Hyenstrand *et al.* 1998 dans Lavoie & Al (2007).

D'après l'auteur, ce fer peut provenir des stations d'épuration qui utilisent du chlorure de fer (FeCl<sub>3</sub>) afin de précipiter les phosphates, ce qui pourrait contribuer à l'augmentation du fer dans l'eau et ainsi favoriser les cyanobactéries.

**Une autre source d'apport en fer dans l'eau peut être le sédiment. Le phosphore étant retenu dans le sédiment sur les oxydes de fer, ces derniers, en cas d'absence d'oxygène se transforme en fer dissous sous forme Fe<sup>2+</sup> beaucoup plus soluble et sont ainsi disponible dans l'eau pour les cyanobactéries.**

**L'absence de donnée concernant les concentrations en fer dans les sédiments et le suivi d'oxygène à l'interface eau-sédiment, ne permet pas de valider cette hypothèse. Il apparaît donc comme nécessaire de réaliser ces mesures dans les sédiments et à l'interface eau-sédiment de l'ensemble des cours d'eau.**

#### **3.3.3.4 Les cyanotoxines**

Nous venons de voir différents facteurs susceptibles d'entraîner la prolifération de cyanobactéries.

Cependant ces cyanobactéries sont classées en 2 grands groupes. Les cyanobactéries non toxiques incapables donc de synthétiser de toxines et les cyanobactéries potentiellement toxiques qui comme leur nom l'indique sont capables de libérer des toxines dans le milieu mais pas en permanence. Ceci signifie qu'une prolifération de cyanobactéries toxiques n'est pas nécessairement associée à la libération de toxines et à ses effets induits comme une mortalité piscicole.

Le tableau ci-dessous indique les différentes toxines pouvant être produites par les cyanobactéries ainsi que les organes cibles des animaux. On constate que ces cyanotoxines peuvent toucher le foie, le système nerveux et la peau.

| Groupes de toxines               | Organe cible primaire (Mammifères)                   | Genres de Cyanobactéries                                         |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <i>Peptides cycliques</i>        |                                                      |                                                                  |
| <b>Microcystines</b>             | <b>Foie</b>                                          | <i>Microcystis, Anabaena, Planktothrix, Nostoc, Hapalosiphon</i> |
| <b>Nodularine</b>                | <b>Foie</b>                                          | <i>Nodularia</i>                                                 |
| <i>Alkaloïdes</i>                |                                                      |                                                                  |
| <b>Anatoxine-A</b>               | <b>Système nerveux (synapses)</b>                    | <i>Anabaena, Planktothrix, Aphanizomenon</i>                     |
| <b>Anatoxine-a (S)</b>           | <b>Système nerveux (synapses)</b>                    | <i>Anabaena</i>                                                  |
| <b>Aplysiatoxines</b>            | <b>Peau</b>                                          | <i>Lyngbya, Schizothrix, Planktothrix</i>                        |
| <b>Cylindrospermopsines</b>      | <b>Foie</b>                                          | <i>Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Umezakia</i>               |
| <b>Lyngbyatoxine-a</b>           | <b>Peau, tractus gastro-intestinal</b>               | <i>Lyngbya</i>                                                   |
| <b>Saxitoxines</b>               | <b>Axones</b>                                        | <i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis</i>      |
| <b>Lipopolysaccharides (LPS)</b> | <b>Potentiel irritant, affecte tout tissu exposé</b> | Toutes                                                           |

**Tableau 43 : Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages (Sylvano., 2005)**

Ces toxines, synthétisées par les cellules en croissance, sont libérées dans le milieu à l'occasion de la sénescence, de la mort ou de la lyse cellulaire. D'après différents auteurs, la production de toxines est forte lorsque la diversité spécifique des cyanobactéries est faible voir nulle (Sarazin & Al., 2002).

Cette étude indique également que la production de toxines est importante dans les milieux carencés en fer et en azote réduit ( $\text{NH}_4^+$ ) mais où la concentration en nitrate est élevée.



### 3.4 Indice Biologique Diatomique (IBD)

#### 3.4.1 Résultats du suivi 2011

Les tableaux ci-dessous indiquent les différents résultats obtenus par l'étude des diatomées. Les quatre campagnes ont été effectuées lorsque que le débit permettait une prospection à pied des cours d'eau (cf. graph p25).

Lors des prélèvements de Décembre, seulement 5 stations ont pu être échantillonnées avant la montée du niveau de l'eau. Cette campagne a été placée à cette période dans le but de faire un état des lieux des rivières juste avant la période hivernale (hautes eaux).

##### 3.4.1.1 Résultats bruts

| IBD 2011  |       |      |      |      | 2012  |
|-----------|-------|------|------|------|-------|
| Stations  | PRINT | ETE  | AUT  | HIV  | PRINT |
| Mouthier  | 20    | 18,9 | 15,3 | 20   | 20    |
| Ornans    | 20    | 18,5 | 16,3 | 17,5 | 18    |
| Rurey     | 20    | 18,8 | 17,3 | 14,7 | 17,4  |
| Doubs     | 18,3  | 16,3 | 13,6 | 15,9 | 16,4  |
| Dessoubre | 20    | 19,9 | 17,5 | 17,2 | 16,4  |
| Cusancin  | 20    | 17,9 | 18,4 | ⌘    | 18,4  |
| Lison     | 20    | 20   | 17,8 | ⌘    | 17,4  |
| Ain       | 20    | 19,8 | 17,3 | ⌘    | 17,6  |

| IPS 2011  |       |      |      |      | 2012  |
|-----------|-------|------|------|------|-------|
| Stations  | PRINT | ETE  | AUT  | HIV  | PRINT |
| Mouthier  | 18    | 16,6 | 15,3 | 18,7 | 16,8  |
| Ornans    | 19,1  | 15,6 | 16,3 | 16,1 | 15,3  |
| Rurey     | 19,7  | 17,5 | 17,3 | 8,3  | 13,3  |
| Doubs     | 17,4  | 14,5 | 13,6 | 15,4 | 16,3  |
| Dessoubre | 19,2  | 17,8 | 17,5 | 15,1 | 13,5  |
| Cusancin  | 18,7  | 16,6 | 18,4 | ⌘    | 16,3  |
| Lison     | 18,5  | 18   | 17,8 | ⌘    | 16,3  |
| Ain       | 18    | 17,2 | 17,3 | ⌘    | 16,1  |

⌘ : non échantillonnée

| NB ESPECES 2011 |       |     |     |     | 2012  |
|-----------------|-------|-----|-----|-----|-------|
| Stations        | PRINT | ETE | AUT | HIV | PRINT |
| Mouthier        | 24    | 30  | 28  | 21  | 26    |
| Ornans          | 18    | 24  | 33  | 31  | 37    |
| Rurey           | 15    | 19  | 21  | 25  | 28    |
| Doubs           | 21    | 33  | 25  | 42  | 24    |
| Dessoubre       | 19    | 29  | 34  | 30  | 32    |
| Cusancin        | 21    | 32  | 29  | ⌘   | 33    |
| Lison           | 23    | 26  | 22  | ⌘   | 33    |
| Ain             | 21    | 26  | 28  | ⌘   | 25    |

| AFFINITE DU PPT POUR POLLUOSENSIBILITE MAX 2011 |       |     |     |     | 2012  |
|-------------------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-------|
|                                                 | PRINT | ETE | AUT | HIV | PRINT |
| Mouthier                                        | 65    | 35  | 60  | 60  | 48    |
| Ornans                                          | 70    | 40  | 30  | 25  | 32    |
| Rurey                                           | 80    | 30  | 30  | 20  | 30    |
| Doubs                                           | 30    | 10  | 8   | 8   | 12    |
| Dessoubre                                       | 70    | 45  | 40  | 25  | 19    |
| Cusancin                                        | 55    | 45  | 50  | ⌘   | 35    |
| Lison                                           | 60    | 55  | 45  | ⌘   | 19    |
| Ain                                             | 65    | 40  | 30  | ⌘   | 24    |

Tableau 44 : Résultats 2011 de l'analyse des diatomées

### 3.4.1.2 Résultats de l'IBD

Rappel : L'Indice Biologique Diatomique est interprété de la façon suivante :

| Très bon état | Bon état  | Moyen     | Médiocre   | Mauvais |
|---------------|-----------|-----------|------------|---------|
| ≥ à 18        | 16 à 17,9 | 13 à 15,9 | 9,5 à 12,9 | < à 9,5 |
|               |           |           |            |         |

#### 3.4.1.2.1 Sur l'ensemble des stations

Sur l'ensemble des 6 cours d'eau et des 4 campagnes d'investigation, les notes IBD varient de 20/20 à 13.6/20.

La station du Doubs à Goumois apparaît comme régulièrement la plus altérée.

2 stations de la Loue (Rurey et Mouthier) ainsi que le Doubs à Goumois montrent la plus grande variabilité saisonnière pour cet indice.

Les périodes automnales et/ou hivernales apparaissent comme les plus pénalisantes sauf pour le Cusancin à Pont-les-Moulins plus altéré en été et pour la Loue à Mouthier qui regagne nettement en qualité sur le prélèvement hivernal. La campagne effectuée mi Mars 2012 est la plus pénalisante sur le Dessoubre, mais reste dans la moyenne pour les autres cours d'eau.

La qualité biologique définie par l'IBD est :

- un état moyen (<16) pour la Loue à Mouthier et le Doubs à Goumois en automne ainsi que pour la Loue à Rurey en hiver.
- Un très bon état (>18) printanier et estival pour l'ensemble des stations sauf le Doubs à Goumois et le Dessoubre. Tandis que le Cusancin à Pont-les-Moulins et la Loue à Mouthier retrouvent la classe de qualité optimale en fin de saison.

### 3.4.1.2.2 Sur la Loue

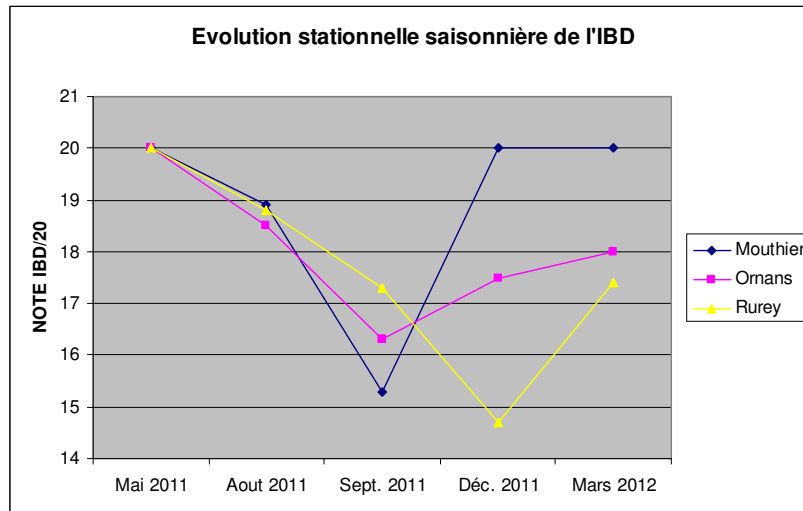


Figure 34 : Evolution de l'IBD sur les trois stations de la Loue

L'IBD montre la même tendance évolutive à la baisse sur les 3 stations de la Loue jusqu'en automne. Le prélèvement hivernal montre une restauration de l'indice pour les 2 stations amont tandis que l'altération se poursuit à Rurey, avant une sensible amélioration en Mars 2012.

### 3.4.1.2.3 Sur les autres cours d'eau

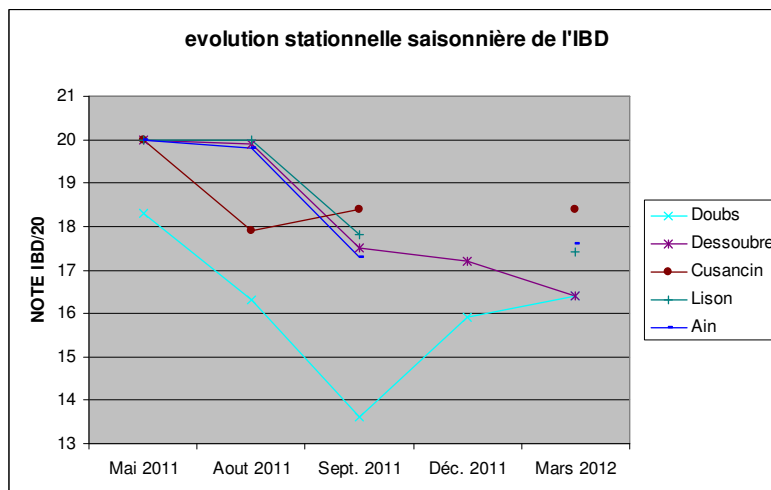


Figure 35 : Evolution de l'IBD sur les autres cours d'eau

Une perte de qualité est observée sur toutes les stations entre Mai et Septembre 2011, avec une baisse particulièrement marquée sur le Doubs.

La note IBD Hivernale se restaure sur le Doubs, tandis qu'elle décline légèrement sur le Dessoubre. Pour les autres stations, la première crue d'automne ne nous a pas permis de prélever en Décembre.

En Mars 2012, les cours d'eau présentent à l'exception du Doubs un IBD proche de celui obtenu en Septembre, c'est-à-dire parmi les valeurs les plus faibles. Sur le Doubs, l'IBD en Mars 2012 est proche de celui de Décembre 2011, en dessous des meilleures valeurs attendues sur la station.

### 3.4.1.3 L'IPS

#### 3.4.1.3.1 L'IPS sur l'ensemble des stations

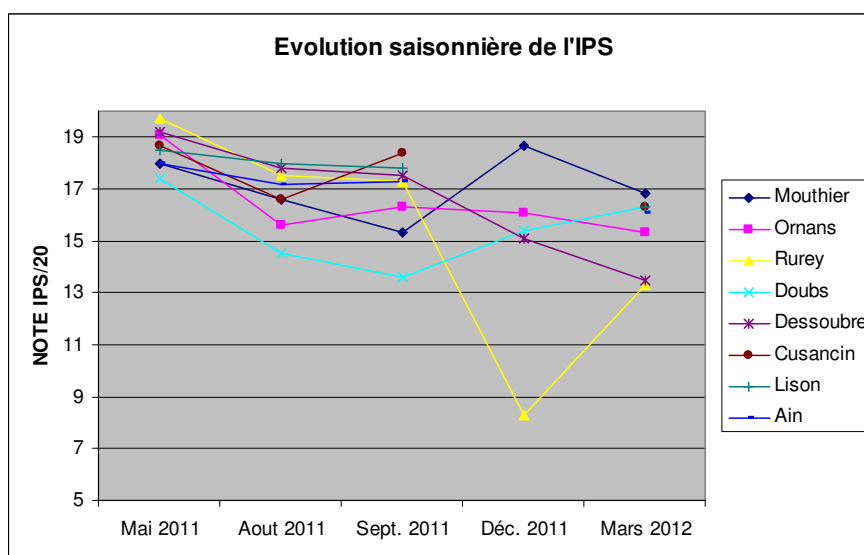


Figure 36 : Evolution de l'IBD sur les huit stations

Sur l'ensemble des 6 cours d'eau et des 4 campagnes, les notes IPS varient de 19.7/20 à 8.3/20. Ces 2 notes sont obtenues sur la station de Rurey, confirmant une grande amplitude des phénomènes sur cette station.

La station du Doubs à Goumois apparaît à nouveau comme régulièrement la plus altérée. Les 3 stations de la Loue suivent en particulier sur les prélèvements d'automne et d'hiver.

La station de la Loue à Rurey montre la plus grande variabilité saisonnière pour cet indice.

La station du Dessoubre montre une dégradation régulière au cours des saisons.

L'écart qualitatif entre les stations augmente à mesure que passent les saisons. Cet indice définit la station de Rurey comme particulièrement impactée à la fin du long étiage automnal (note de 8/20).

#### 3.4.1.3.2 L'IPS sur la Loue

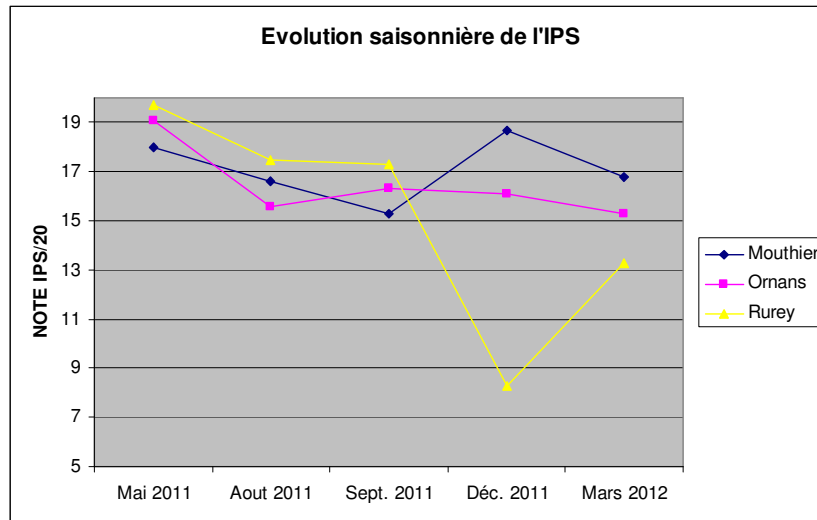


Figure 37 : Evolution de l'IPS sur les trois stations de la Loue

On observe un IPS en légère baisse en été et globalement stable en automne sauf pour Mouthier qui conserve une tendance à la baisse ; les réponses au long étiage automnal sont très variables selon les stations. L'altération est particulièrement forte à Rurey. L'IBD augmente en Mars 2012 sur cette station, tandis qu'à Ornans et Mouthier il diminue légèrement par rapport à Décembre 2011.

**Lors d'une même campagne de prélèvement, l'auto épuration semble globalement active entre Mouthier et Rurey sauf pour la campagne hivernale. On émet l'hypothèse d'apports dominants par le BV amont lors des 3 premières campagnes associés à des phénomènes différents lors de la campagne hivernale (relargage de nutriments par le sédiment dominants ?).**

#### 3.4.1.3.3 L'IPS sur les autres cours d'eau

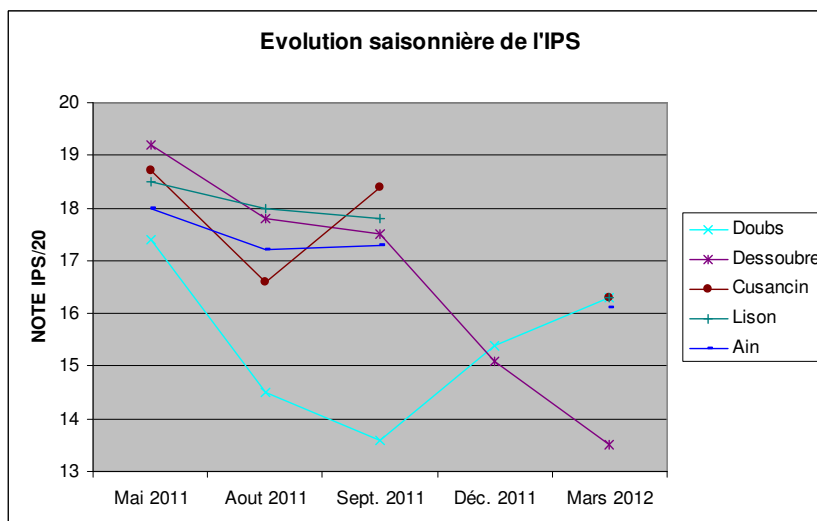


Figure 38 : Evolution de l'IPS sur les autres cours d'eau

Pour les autres cours d'eau, certaines tendances générales sont comparables, avec une baisse générale de l'IPS en été, une évolution variable de la note en automne (baisse sur le Doubs et augmentation sur le Cusancin) et en hiver (restauration sur le Doubs et chute sur le Dessoubre).

Lors de la campagne de Mars 2012, et à l'exception du Dessoubre, les stations présentent un IPS extrêmement proche. Les tendances évolutives ne sont toutefois pas les mêmes. Le Dessoubre poursuit la chute observée en Décembre et présente la plus faible valeur du suivi. Une diminution de l'indice est également observée sur le Cusancin, le Lison et l'Ain par rapport à la campagne de Décembre, ces cours d'eau atteignant eux aussi la plus faible valeur du suivi. Le Doubs montre au contraire une restauration progressive de sa qualité de Décembre puis Mars, suite à la très faible valeur enregistrée en Septembre.

### 3.4.1.4 Evolution saisonnière du nombre d'espèces

#### 3.4.1.4.1 Sur la Loue

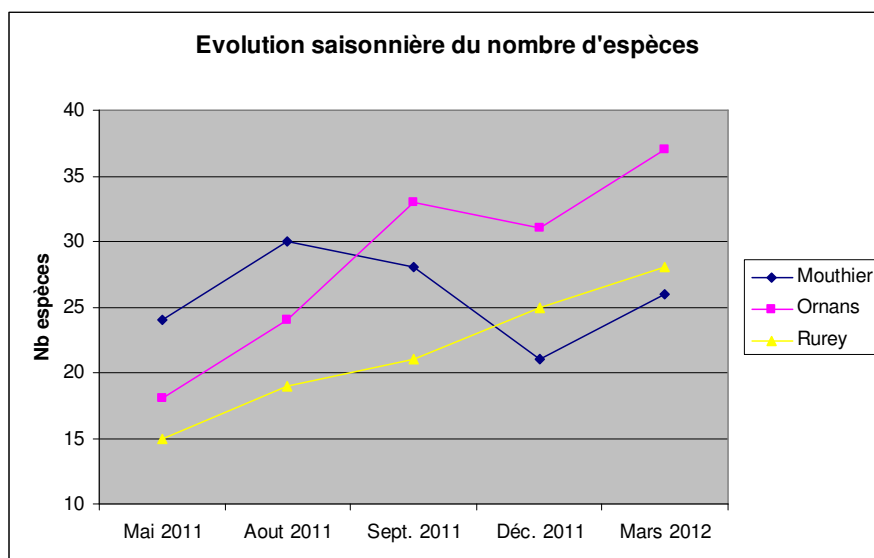


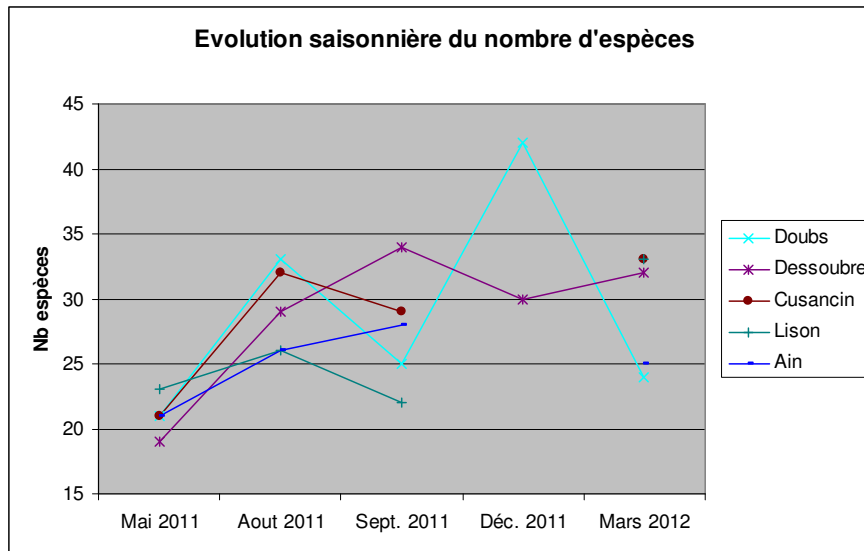
Figure 39 : Evolution du nombre d'espèces sur les trois stations de la Loue

Sur la Loue à Ornans et à Rurey, le nombre d'espèces croît quand l'IBD diminue lors des quatre premières campagnes. (Apparition de taxons témoins d'un accroissement de la charge en nutriments ?).

Sur la Loue à Mouthier cette tendance n'est plus respectée dès le prélèvement de Septembre : l'IBD diminue simultanément au nombre d'espèce. (perte de taxons polluosensibles ?).

Sur les stations d'Ornans et de Rurey, le nombre d'espèces poursuit sa hausse lors de la campagne de Mars 2012, en atteignant les plus fortes valeurs du suivi. Conjointement, une hausse de l'IBD est observée. Une augmentation du nombre d'espèce est également observée sur la station de Mouthier, comparativement au prélèvement de décembre.

#### 3.4.1.4.2 Sur les autres cours d'eau



**Figure 40 : Evolution du nombre d'espèce sur les autres cours d'eau**

Sur le Cusancin à Pont-les-Moulins, et sur l'Ain en amont du pont de Châtillon, le nombre d'espèces croît quand l'IBD diminue et diminue quand l'IBD augmente. (Apparition de taxons témoins d'un accroissement de la charge en nutriments ?). Il n'en est pas de même pour les autres cours d'eau.

La plus forte des variétés maximales stationnelles est observée sur le Doubs à Goumois (42 espèces) ; la plus faible sur la Loue à Rurey. La plus faible des variétés minimales stationnelles est observée sur la Loue à Rurey.

Les stations du Cusancin, de Lison et de l'Ain n'ont pas fait l'objet de campagne de prélèvement hivernal. En revanche le prélèvement de Mars montre sur le Lison et le Cusancin une hausse de la variété par rapport à la campagne de Septembre. Sur l'Ain, au contraire, une légère baisse est observée.

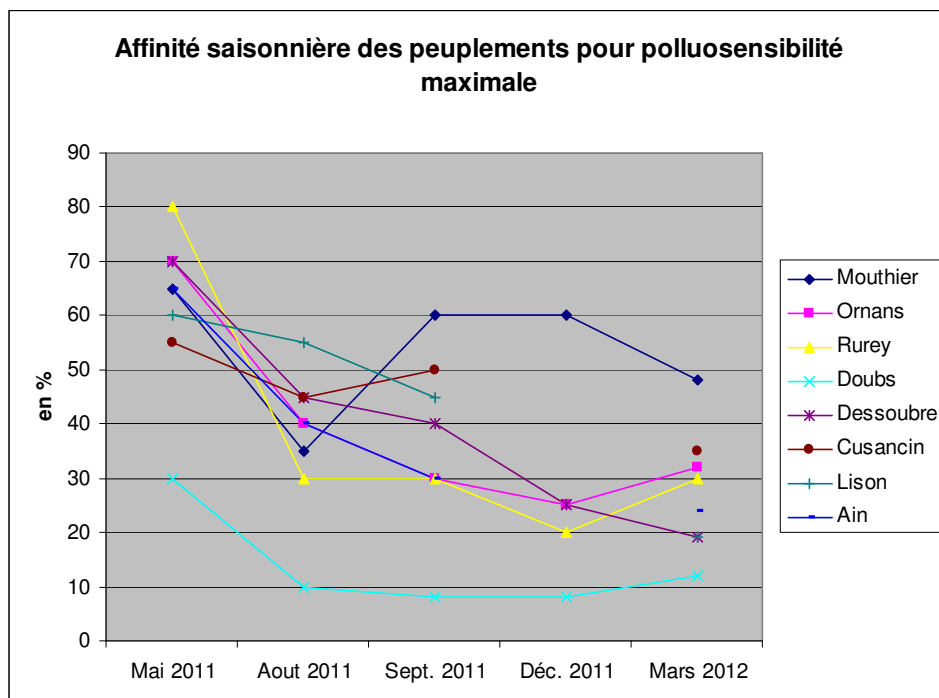
Le Doubs montre quant à lui d'importantes fluctuations de variété lors des dernières campagnes, avec un pic en Décembre.

| Stations  | NB ESPECES 2011 |     |     |     | 2012  |
|-----------|-----------------|-----|-----|-----|-------|
|           | PRINT           | ETE | AUT | HIV | PRINT |
| Mouthier  | 24              | 30  | 28  | 21  | 26    |
| Ornans    | 18              | 24  | 33  | 31  | 37    |
| Rurey     | 15              | 19  | 21  | 25  | 28    |
| Doubs     | 21              | 33  | 25  | 42  | 24    |
| Dessoubre | 19              | 29  | 34  | 30  | 32    |
| Cusancin  | 21              | 32  | 29  | ⌘   | 33    |
| Lison     | 23              | 26  | 22  | ⌘   | 33    |
| Ain       | 21              | 26  | 28  | ⌘   | 25    |

⌘ : non échantillonnée

**Tableau 45 : Evolution du nombre d'espèces pour les huit stations**

### 3.4.1.5 Affinité saisonnière des peuplements pour la polluosensibilité maximale



**Figure 41 : Evolution de la polluosensibilité maximale**

La tendance générale est à la perte de polluosensibilité des peuplements stationnels avec l'avancée de la saison. Les prélèvements automnaux et hivernaux sont de meilleurs indicateurs de l'altération des peuplements.

La Loue à Mouthier montre une forte altération estivale. Le Cusancin suit une tendance comparable mais moins marquée.

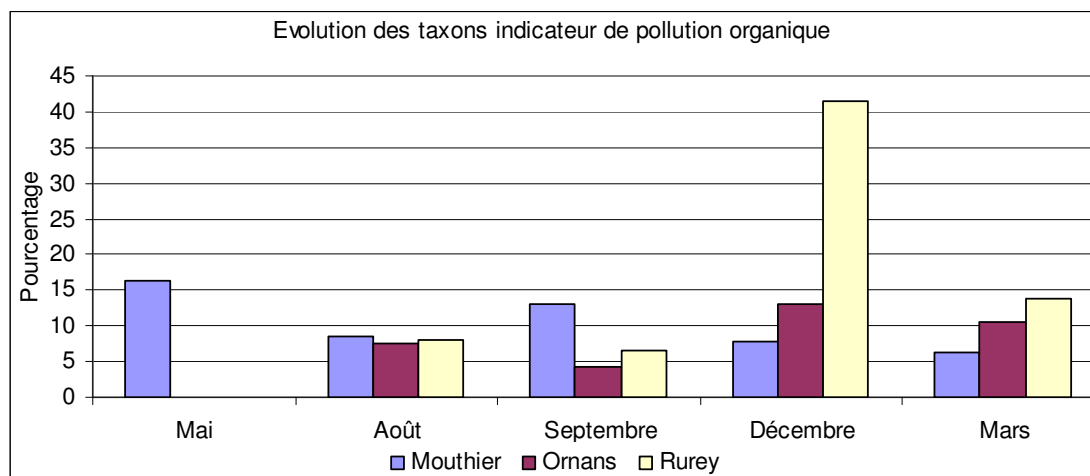
Le prélèvement de Mars 2012, en fin d'hiver, présente des résultats contrastés, avec une amélioration sur la Loue à Ornans et Rurey ainsi que sur le Doubs, tandis qu'une baisse est observée sur la loue à Mouthier et sur le Dessoubre.

### 3.4.1.6 Analyse des listes floristiques (Annexes 12-13-14-15)

Elle permet de mettre en évidence certaines particularités, comme la prédominance d'espèce par rapport à d'autres, ou au contraire un plus grand équilibre de la liste floristique.



### 3.4.1.6.1 Suivi sur la Loue



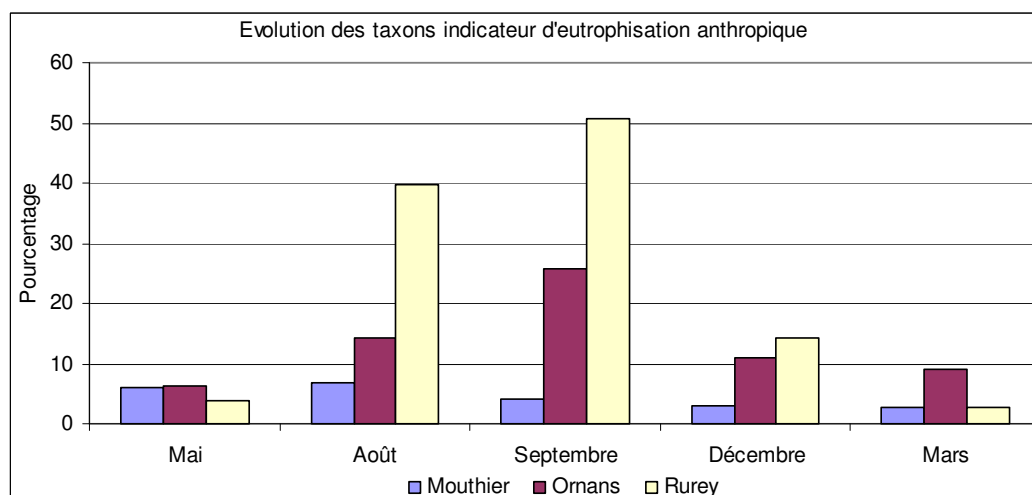
**Figure 42 : Taxons indicateurs de pollution organique sur la Loue**

On constate, pour l'ensemble des campagnes, que des taxons indicateurs de pollution organique sont présents sur la station de Mouthier (amont) lors des 4 campagnes de suivi. Ils apparaissent plus tardivement sur les stations d'Ornans et de Rurey.

En Août et Septembre les variations interstationnelles sont faibles.

Les analyses de Décembre indiquent une augmentation des taxons indicateurs de pollution organique d'amont vers l'aval, avec une valeur (41%) très élevée sur le site de Rurey.

En Mars, 2012, le pourcentage observé sur la station de Rurey diminue nettement, mais on conserve comme en Décembre une proportion croissance d'amont en aval des taxons indicateurs de pollution organique.



**Figure 43 : Taxons indicateurs d'eutrophisation anthropique sur la Loue**

En Août, 40 % des diatomées comptabilisées sont des espèces représentatives de l'eutrophisation anthropique sur le site de Rurey, 14 % à Ornans et 7 % à Mouthier. En

Septembre, sur la station de Rurey, plus de 50 % des diatomées indiquent une eutrophisation anthropique, alors qu'elles ne représentent que 26 % à Ornans et moins de 4 % à Mouthier.

Ces résultats des campagnes estivales, automnales et hivernales indiquent une dégradation de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval. L'eutrophisation anthropique est la plus marquée en Août-Septembre. Elle diminue en Décembre et reste stable en Mars à Mouthier et Ornans et diminue à Rurey.

Ces constations pourraient être en lien avec les légères montées du débit (18 m<sup>3</sup>/s) survenues 10 jours avant pour la campagne estivale et six jours auparavant en Septembre (11 m<sup>3</sup>/s).

#### ✓ **Mouthier**

Les espèces dominantes sont identiques en Mai et Septembre (*Achnantes biasolettiana*, 42%). En Août, c'est une autre espèce très exigeante vis-à-vis de la qualité du milieu qui est la plus présente, *Achnantes minutissima* (48%).

Lors de la dernière campagne, deux espèces sont dominantes, à savoir *Achnantes biasolettiana subatomus* (33,5%), *Achnantes biasolettiana* (32,8%).

Sur cette station, aucune évolution saisonnière ne peut être raisonnablement mise en évidence.

#### ✓ **Ornans**

Les espèces dominantes sont, comme sur la station amont, *Achnantes biasolettiana* et *Achnantes minutissima*, mais le premier taxon domine très fortement la population lors de la première campagne (58%) alors qu'un équilibre plus grand entre les taxons est observé par la suite. Ainsi aucun taxon ne dépasse :

- plus de 18 % de la population en Août,
- plus de 14 % de la population en Septembre
- plus de 19% de la population en Décembre
- plus de 16,5% de la population en Mars

Sur cette station, l'évolution saisonnière est nette et traduit une dégradation de la qualité diatomique avec un minimum en Septembre.

#### ✓ **Rurey**

L'espèce dominante est *Achnantes biasolettiana* en Mai (67%)(espèce très exigeante), et *Cymbella minuta* en Août et Septembre, espèce nettement plus tolérante, respectivement 31% et 41 %. *Achnantes biasolettiana* est cependant toujours très présente sur cette station en Août et Septembre.

En décembre *Nitzschia palea* peu exigeante écologiquement domine en nombre le peuplement inventorié avec plus de 40% de l'effectif total.

Sur cette station, encore plus que sur la station d'Ornans, l'évolution saisonnière est nette et traduit une dégradation assez nette de la qualité diatomique en Septembre et Décembre, même si les indices varient peu.

Sur la Loue, la baisse du nombre d'espèces depuis Mouthier, indique une uniformisation du peuplement.

#### 3.4.1.6.2 Suivi sur les autres cours d'eau

|           | % de taxons indicateurs de pollution organique |      |           |          |      |
|-----------|------------------------------------------------|------|-----------|----------|------|
| station   | Mai                                            | Aout | Septembre | Décembre | Mars |
| Doubs     | 0                                              | 7,6  | 12,1      | 15       | 16   |
| Dessoubre | 0                                              | 3,4  | 6,3       | 19,2     | 16,7 |
| Cusancin  | 0                                              | 3,3  | 2         |          | 10,7 |
| Lison     | 0                                              | 1,8  | 2,8       |          | 3,7  |
| Ain       | 3,3                                            | 4,7  | 4,5       |          | 6,8  |

|           | % de taxons indicateurs d'eutrophisation anthropique |      |           |          |      |
|-----------|------------------------------------------------------|------|-----------|----------|------|
| station   | Mai                                                  | Aout | Septembre | Décembre | Mars |
| Doubs     | 7,1                                                  | 14   | 20,9      | 9,8      | 12,1 |
| Dessoubre | 7,6                                                  | 10   | 22,7      | 13,1     | 20   |
| Cusancin  | 10,8                                                 | 8,2  | 12,3      |          | 11,5 |
| Lison     | 9,9                                                  | 12,7 | 15,2      |          | 60,6 |
| Ain       | 14,2                                                 | 11   | 15,5      |          | 46,7 |

#### ✓ Sur le Doubs à Goumois

L'espèce dominante est identique lors des quatre campagnes. Il s'agit d'*Amphora pediculus*, un taxon moyennement exigeant vis-à-vis de la qualité d'eau. Il représente 19% de la population en Mai, 31% en Août, 25% en Septembre et 28 % en décembre.

Sur cette station, l'évolution saisonnière est nette, et traduit une dégradation de la qualité diatomique entre Mai et Septembre. La situation reste globalement stable sur les autres campagnes.

#### ✓ Sur le Dessoubre à Saint Hippolyte

Les espèces dominantes sont, *Achnantes biasolettiana* et *Achnantes minutissima*, mais le premier taxon domine fortement la population lors de la première campagne (49%) alors qu'un équilibre plus grand entre les taxons est observé en Août et Septembre.

En Décembre *Achnantes minutissima* domine toujours (17%), accompagné d'*Amphora pediculus* moins exigeant.

Sur cette station, l'évolution saisonnière, se traduit pas par une baisse tardive nette avec dégradation de la qualité diatomique qui se prolonge jusqu'en Mars 2012.

✓ **Sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins (non prélevé en décembre)**

L'espèce dominante est identique en Août et Septembre (*Achnantes minutissima*) respectivement 31% et 21% de la population. En Mai, c'est une autre espèce très exigeante vis-à-vis de la qualité du milieu qui est la plus présente, *Achnantes biasolettiana* (33%).

Sur cette station, aucune évolution saisonnière ne peut être raisonnablement mise en évidence. La qualité diatomique est toute l'année correcte.

✓ **Sur le Lison en aval de Cussey sur Lison (non prélevé en décembre)**

L'espèce dominante est identique en Mai et Août (*Achnantes biasolettiana*) respectivement 40% et 35% de la population. En Septembre, c'est une autre espèce très exigeante vis-à-vis de la qualité du milieu qui est la plus présente, *Achnantes minutissima* (42%).

Sur cette station, après qu'aucune évolution n'ait été mise en évidence lors des 3 premières campagnes, une dégradation nette de la qualité diatomique peut être notée lors de la dernière campagne

✓ **Sur l'Ain en amont du pont de Châtillon (non prélevé en décembre)**

L'espèce dominante est identique en Août et Septembre (*Achnantes minutissima*) respectivement 48% et 60% de la population. En Mai, c'est une autre espèce très exigeante vis-à-vis de la qualité du milieu qui est la plus présente, *Achnantes biasolettiana* (43%).

Sur cette station, après qu'aucune évolution n'ait été mise en évidence lors des 3 premières campagnes, une dégradation nette de la qualité diatomique peut être notée lors de la dernière campagne de Mars 2012, avec une progression des espèces indicatrices d'eutrophisation anthropique.

### 3.4.1.7 Préférendums écologiques des populations

Le préférendum écologique des populations de diatomées est assez similaire pour la majorité des stations prospectées et des campagnes.

- Neutrophiles ou alcaliphiles pour toutes les stations (optimum de développement pour un pH égal ou supérieur à 7),
- Oligohalophobes également pour toutes les stations (préférence pour des eaux douces à légèrement saumâtres),
- N-autotrophes tolérantes, ce qui signifie qu'elles supportent la présence de fortes quantités d'azote organique, sans chute de leur développement,
- Fortement dépendantes du taux d'oxygénation de l'eau, qui doit toujours être élevé,
- $\beta$ -mésosaprobies, soit relativement polluo-résistantes vis à vis des pollutions organiques,

Le Statut trophique est plus variable

- Mésotrophe (milieu moyennement riche en nutriment) ou indifférent pour l'essentiel des stations et des campagnes.

Le statut d'eutrophe apparaît cependant pour la Loue à Ornans sur les campagnes automne été hiver, sur le Doubs à Goumois sur toutes les campagnes, ainsi que sur le Dessoubre à Saint-Hippolyte en hiver.

Le statut d'hypereutrophe est observé à Rurey en hiver.

On note ainsi que la station de Rurey sort fortement du lot en décembre. Elle apparaît en effet comme :

- N hétérotrophe obligatoire
- Oxygénation basse
- Polysaprobe
- Hypereutrophe

Elle témoigne ainsi d'une situation fortement dégradée.

### 3.4.2 Analyse des données antérieures (DREAL 2010)

Les résultats des prélèvements réalisés début Juillet sur les stations de Mouthier-Haute-Pierre et de la Piquette sont présentés sur les graphiques suivants.

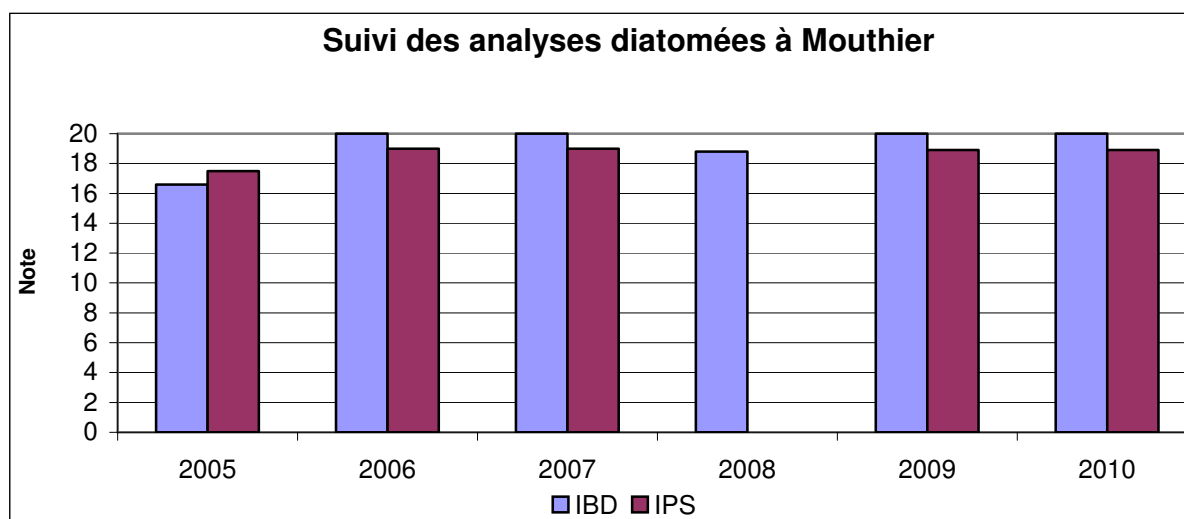


Figure 44 : Evolution des notes IBD sur le site de Mouthier

A Mouthier, les notes de l'IBD atteignent souvent les 20/20, ce qui indique que, sur cette station, la Loue présente un très bon état.

L'IPS montre également que les eaux à Mouthier sont de très bonne qualité.

Les taxons répertoriés indiquent que le cours d'eau est composé majoritairement de taxons bétamésosaprobés. Cela veut dire que les diatomées ont un statut trophique mésotrophe et une tolérance moyenne vis-à-vis de la matière organique.

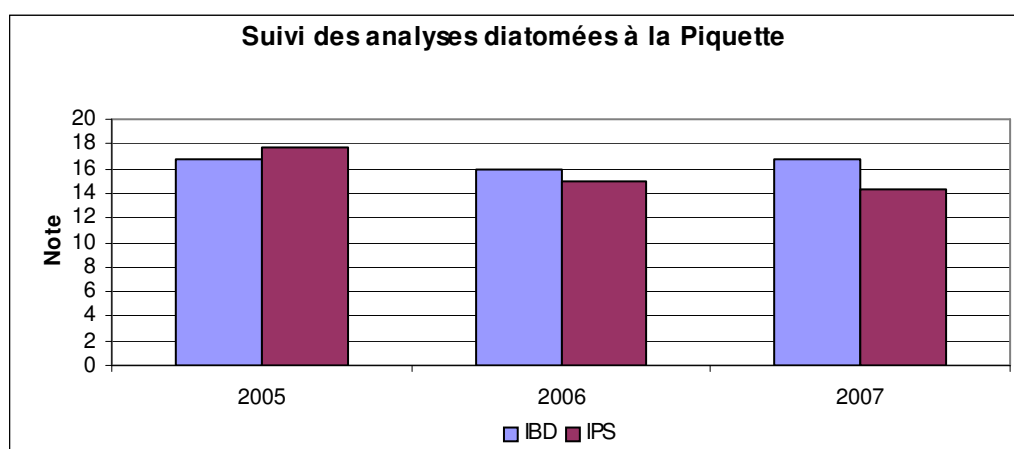


Figure 45 : Evolution des notes IBD sur le site de la Piquette (Rurey)

Sur la station de la Piquette, les notes IBD indiquent que la Loue présente un bon état. L'IPS classe les eaux en qualité moyenne voir bonne.

Le suivi met en évidence un peuplement déséquilibré car des espèces exigeantes et des espèces résistantes cohabitent. Certains taxons comme *Achnanthes minutissimum* et *Achnanthes biasolettianum* sont B-mésosaprophes et mésotrophes. Ils ont une affinité moyenne vis-à-vis de la teneur en nutriments et témoignent d'une bonne qualité d'eau.

A l'inverse, les diatomées *Fistulifera saprophila* et *Mayamaea atomus* var *permitis* sont alpha-méso-polysaprophes. Elles présentent une forte affinité vis-à-vis de la matière organique, de la teneur en nutriments et tolèrent un faible taux d'oxygène. Ces taxons indiquent une mauvaise qualité d'eau.

### 3.4.3 Synthèse et interprétation

L'IBD définit une qualité biologique très bonne à bonne pour l'ensemble des stations et des campagnes sauf pour la Loue à Mouthier et le Doubs à Goumois en automne. L'altération est également marquée pour la Loue à Rurey en hiver. La tendance générale est à la baisse continue de l'indice entre le printemps et l'automne.

L'IPS semble plus exigeant et définit des notes moins élevées. Les tendances générales sont les mêmes.

La station du Doubs à Goumois semble la plus altérée. La station de la Loue à Rurey montre la plus grande variation saisonnière des indices....

Pour la campagne printanière de Mai 2011, les notes IBD (confirmées par l'IPS) indiquent pour l'ensemble des stations un très bon état biologique avec des notes proches de 20/20.

La campagne estivale confirme ce très bon état mais les notes varient de 18 à 20, compte tenu du Doubs à Goumois toujours en retrait.

La campagne automnale définit une qualité biologique très bonne à moyenne avec des notes variant de 13.5 à 18.5.

La campagne hivernale partielle définit une qualité biologique très bonne à moyenne avec des notes variant de 14.5 à 20.

La dernière campagne effectuée en Mars 2012 est la plus pénalisante pour le Dessoubre qui montre une perte de qualité tout au long du suivi. Par rapport à la campagne de Septembre, on note une qualité semblable sur l'Ain, le Lison, le Cusancin. Les stations la Loue et du Doubs montrent une amélioration par rapport aux résultats de la dernière campagne de Décembre 2011.

Le calcul des moyennes sur les 4 campagnes de l'IPS et de l'affinité du peuplement pour la polluosensibilité maximale classe les stations dans le même ordre. Le Doubs à Goumois, la Loue à Rurey, la Loue à Ornans et l'Ain à Châtillon apparaissent comme les plus altérées.

| MOYENNES  | POLLUO | MOYENNES  | IPS   |
|-----------|--------|-----------|-------|
| Mouthier  | 53.6   | Lison     | 17.65 |
| Cusancin  | 46.25  | Cusancin  | 17.5  |
| Lison     | 44.75  | Ain       | 17.15 |
| Dessoubre | 39.8   | Mouthier  | 17,08 |
| Ain       | 39.75  | Dessoubre | 16.62 |
| Ornans    | 39.4   | Ornans    | 16.48 |
| Rurey     | 38     | Doubs     | 15,44 |
| Doubs     | 13.6   | Rurey     | 15,22 |

| MOYENNES  | IBD   |
|-----------|-------|
| Mouthier  | 18.84 |
| Lison     | 18.8  |
| Cusancin  | 18.68 |
| Ain       | 18.68 |
| Dessoubre | 18.2  |
| Ornans    | 18.06 |
| Rurey     | 17.64 |
| Doubs     | 16.10 |

**Tableau 46 : Moyenne des résultats des indices, classés du plus élevé au moins élevé**

L'IBD moyen classe quant à lui le Doubs à Goumois, la Loue à Rurey, la Loue à Ornans, et la Loue à Mouthier comme les plus altérées.

On note que ces stations sont les stations impactées par les mortalités piscicoles.



## 3.5 Chimie

### 3.5.1 Seuils de qualité

Les tableaux ci-dessous indiquent les seuils de référence (mg/l), pris en compte pour interpréter les résultats obtenus.

|                 | Nisbet Verneaux | Anciennes Grilles RNB |                      | Seq eau (aptitude à la biologie) |          |            |
|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|----------|------------|
|                 |                 |                       |                      | Très bon état                    | Bon état | Etat moyen |
| Phosphates      | 0,1 mg/l        |                       |                      | 0,1 mg/l                         | 0,5 mg/l | 1 mg/l     |
| Nitrates        | 1 mg/l          |                       |                      | 2 mg/l                           |          |            |
| Nitrites        | 0,01 mg/l       |                       |                      | 0,03 mg/l                        | 0,3 mg/l | 0,5 mg/l   |
| Ammonium        | 0,1 mg/l        | <0,1 mg/l             | Situation normale    | 0,1 mg/l                         | 0,5 mg/l | 2 mg/l     |
|                 |                 | 0,1 à 0,5 mg/l        | Pollution modérée    |                                  |          |            |
|                 |                 | 0,5 à 2 mg/l          | Pollution nette      |                                  |          |            |
|                 |                 | 2 à 8 mg/l            | Pollution importante |                                  |          |            |
| Phosphore total |                 | < 0,1 mg/l            | Situation normale    | 0,05 mg/l                        | 0,2 mg/l | 0,5 mg/l   |
|                 |                 | 0,1 à 0,3 mg/l        | Pollution modérée    |                                  |          |            |
|                 |                 | 0,3 à 0,6 mg/l        | Pollution nette      |                                  |          |            |
|                 |                 | 0,6 à 1 mg/l          | Pollution importante |                                  |          |            |
| Azote kjeldahl  |                 | <1 mg/l               | Situation normale    | 1 mg/l                           | 2 mg/l   | 4 mg/l     |
|                 |                 | 1 à 2 mg/l            | Pollution modérée    |                                  |          |            |
|                 |                 | 2 à 3 mg/l            | Pollution nette      |                                  |          |            |
|                 |                 | 3 à 10 mg/l           | Pollution importante |                                  |          |            |

**Tableau 47 : Référence qualité chimique des eaux**

| Référence     | TB état DCE | Bon état DCE |
|---------------|-------------|--------------|
| PO4 3- [mg/l] | 0,1         | 0,5          |
| Ptot [mg/l]   | 0,05        | 0,2          |
| NO3- [mg/l]   | 10          | 50           |
| NO2- [mg/l]   | 0,1         | 0,3          |
| NH4+ [mg/l]   | 0,1         | 0,5          |

**Tableau 48 : Référence qualité chimique des eaux d'après la DCE**

### 3.5.2 Suivi global 2011

Les graphiques et tableaux ci-dessous montrent l'évolution des éléments azotés et phosphorés pour l'ensemble des stations de l'étude et pour chaque campagne de prélèvement.

En annexe 16, on trouve, pour toutes les stations, les graphiques représentant l'évolution des paramètres en fonction du débit, avec les limites de qualité des différentes références (Nisbet-Verneaux, SEQ Eau, DCE, anciennes grilles RNB).

L'ensemble des campagnes a été effectué lorsque les conditions hydrologiques permettaient de réaliser les prélèvements dans les rivières (en étiage ou en eau basse). Les résultats des analyses ne sont pas significatifs d'une qualité physico-chimique moyenne du cours d'eau intégrant les différentes conditions hydrologiques.

Eu égard à la problématique suivie et aux faibles exigences en nutriment des végétaux pour leur développement, nous avons volontairement retenu les concentrations mesurées par le laboratoire d'analyse LCE sans tenir compte des limites de détection retenues pour l'accréditation du laboratoire.

#### 3.5.2.1 La conductivité

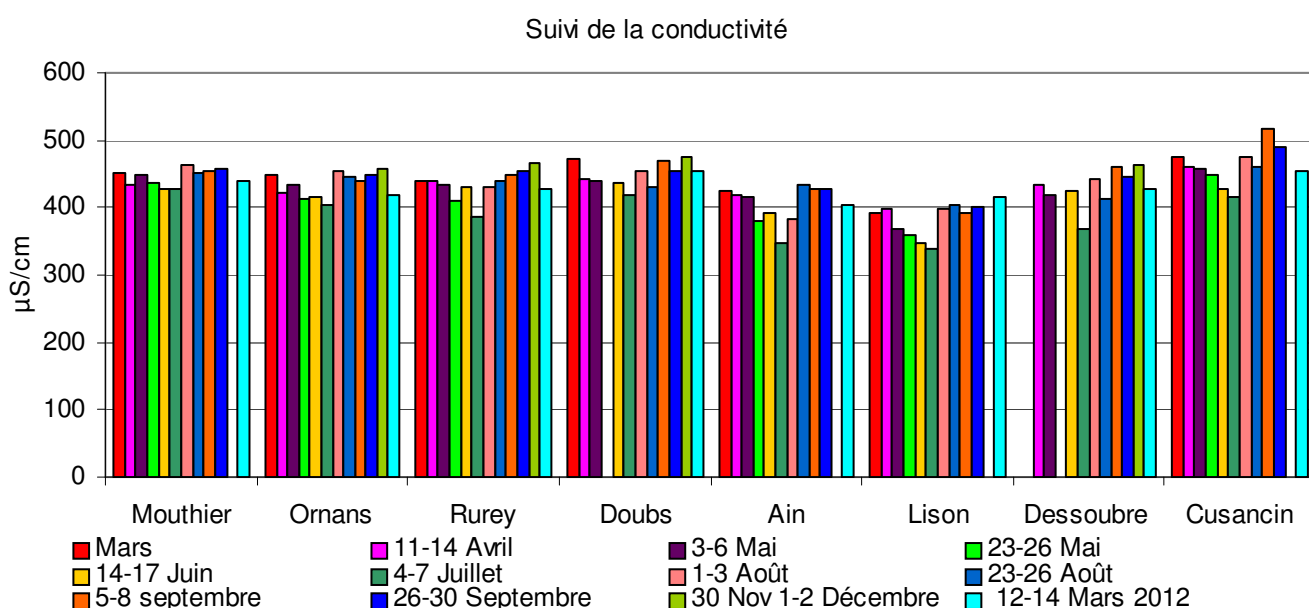


Figure 46 : Suivi de la conductivité

La conductivité varie entre les stations et sur une même station d'une campagne à la suivante. L'ensemble des valeurs s'échelonne entre 339 et 518  $\mu\text{S/cm}$ .

L'Ain en amont du pont de Châtillon et le Lison en aval de Cussey sur Lison présentent une conductivité plus faible que les autres sites.

### Appréciation selon Nisbet-Verneaux

| $\mu\text{mhos/cm/cm}^2$ | classes     | situation                                                |
|--------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|
| $200 \leq C < 300$       | Assez forte | Zones supérieures et moyennes en région calcaire         |
| $300 \leq C < 400$       | forte       | Zones inférieures, rivières de plaine en région calcaire |

Tableau 49 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour la conductivité

Les valeurs de Mouthier, station proche des sources de la Loue peuvent être considérées comme toujours excessives. Il en est de même pour Ornans et Rurey qui ne devraient pas dépasser les 400  $\mu\text{mhos/cm/cm}^2$ .

Le Doubs à Goumois, le Cusancin en aval de Pont les Moulins et dans une moindre mesure le Dessoubre à Saint-Hippolyte, présentent les mêmes symptômes.

Les stations de l'Ain et du Lison semblent moins perturbées avec plusieurs campagnes globalement dans la gamme de valeur attendue.

### 3.5.2.2 Le pH

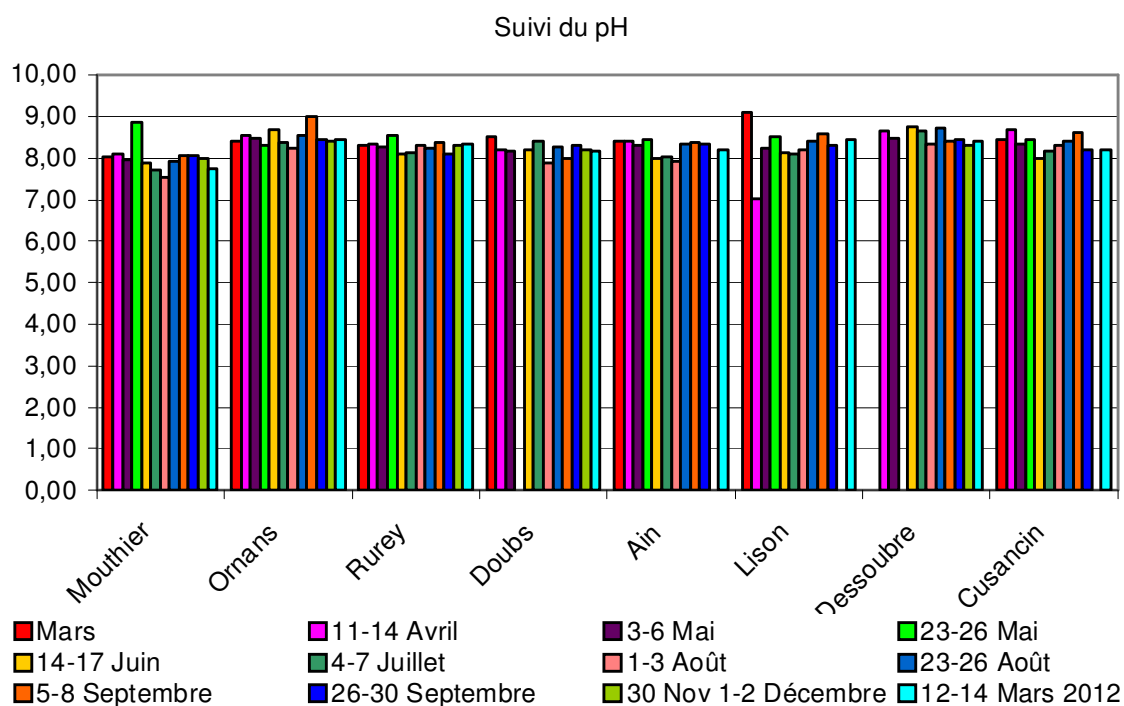


Figure 47 : Suivi du pH

### Appréciation selon Nisbet-Verneaux

| $\mu\text{mhos/cm/cm}^2$ | classes                 | situation                                                                                |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $7 \leq \text{pH} < 7.5$ | Neutralité<br>approchée | Majorité des eaux piscicoles en région calcaire                                          |
| $7.5 \leq \text{pH} < 8$ | Alcalinité<br>faible    |                                                                                          |
| $8 \leq \text{pH} < 9$   | Alcalinité<br>moyenne   | Zone inférieure des réseaux. Concentration végétale en faciès lénitique                  |
| $\text{pH} > 9$          | Alcalinité<br>forte     | Eaux peu piscicoles ou valeurs passagères.<br>Concentration végétale en faciès lénitique |

**Tableau 50 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour le pH**

Ornans, Rurey, Dessoubre et Cusancin présentent des pH toujours supérieurs à 8.

1 pic à pH = 9 est observé à Ornans en septembre et sur le Lison en Mars (un artéfact est possible sur cette station...).

Deux valeurs peuvent être jugées conformes au référentiel Nisbet-Verneaux celle du Lison en Avril à pH = 7 et celle de Mouthier en Août à pH = 7.5. Toutes les autres sont excessives.

Sur l'ensemble des stations, la majorité des valeurs de pH se maintiennent entre 8 et 8.5. ces valeurs sont excessives et sont observées même en période hivernale. L'origine de ce phénomène n'est pas uniquement liée à l'activité photosynthétique des plantes puisque le suivi de la qualité des eaux du Maine et de la source de Plaisir-Fontaine que nous avons réalisé conjointement montre des phénomènes comparables à la sortie même des karst.

### 3.5.2.3 La DBO<sub>5</sub>

Le DBO<sub>5</sub> mesure la quantité d'oxygène dissous consommée par les organismes aérobies pour assurer la décomposition des matières organiques contenues dans l'eau examinée en 5 jours.

Au cours de cette étude, la Demande Biochimique d'Oxygène en 5 jours présente des valeurs comprises entre 0,4 et 2,6 mg/l pour l'ensemble des stations. D'après les seuils de références, une concentration inférieure à 3 mg/l indique un cours d'eau non pollué (Nisbet et Verneaux-1970) et une eau en très bon état (DCE, Seq eau).

### Suivi de la Demande Biochimique d'Oxygène en 5 jour

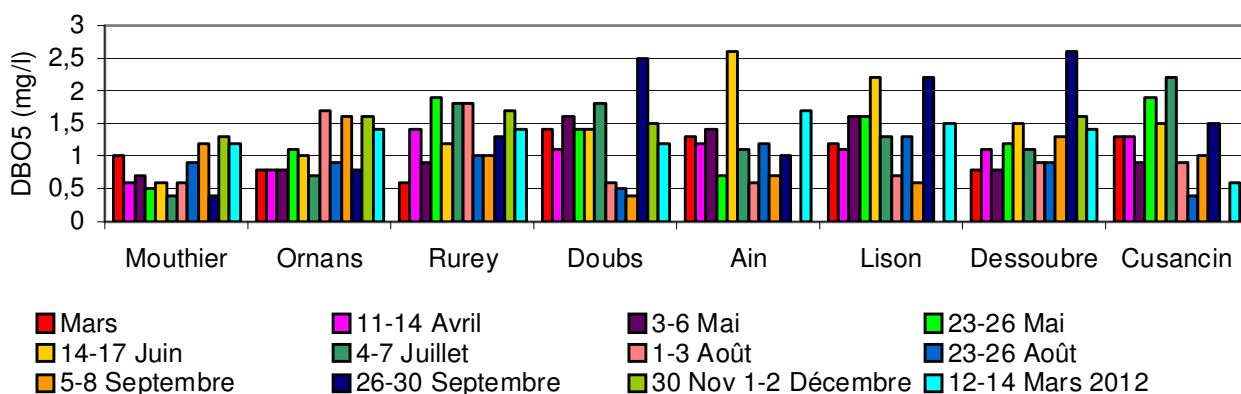


Figure 48 : Suivi de la DBO<sub>5</sub>

Remarque : une DBO<sub>5</sub> faible peut être significative de la présence de substances inhibitrices de l'activité biologique

### 3.5.2.4 La DCO

Concernant la Demande Chimique en Oxygène (DCO), on observe, sur le graphique ci-dessous, que les valeurs varient de 1,9 à 9,5 mg/l. Ces teneurs correspondent à une eau en très bon état (Seq eau).

#### Suivi de la Demande Chimique en Oxygène

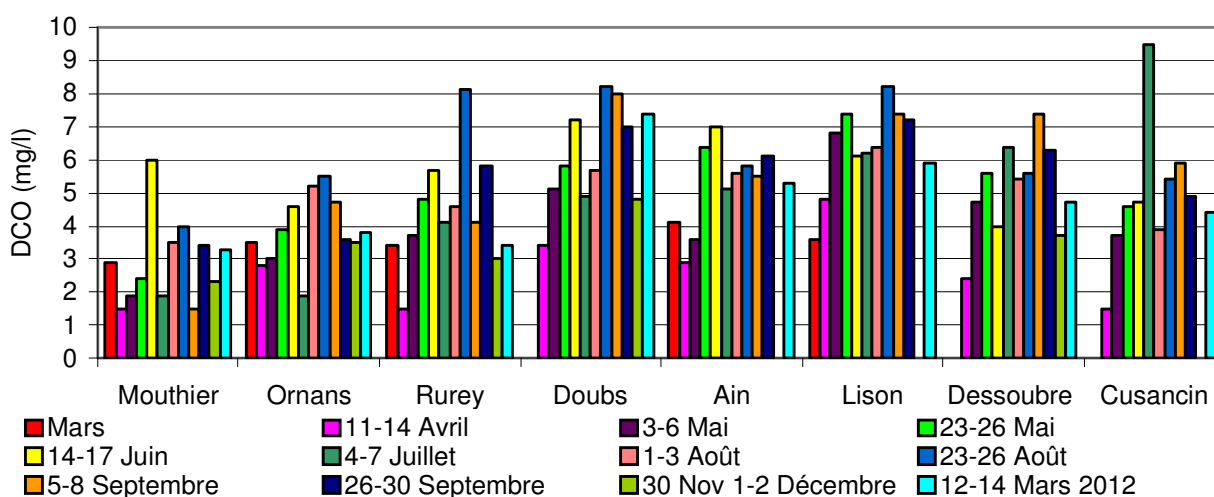


Figure 49 : Suivi de la DCO

### 3.5.2.5 Suivi des éléments azotés

#### 3.5.2.5.1 Azote Kjeldahl

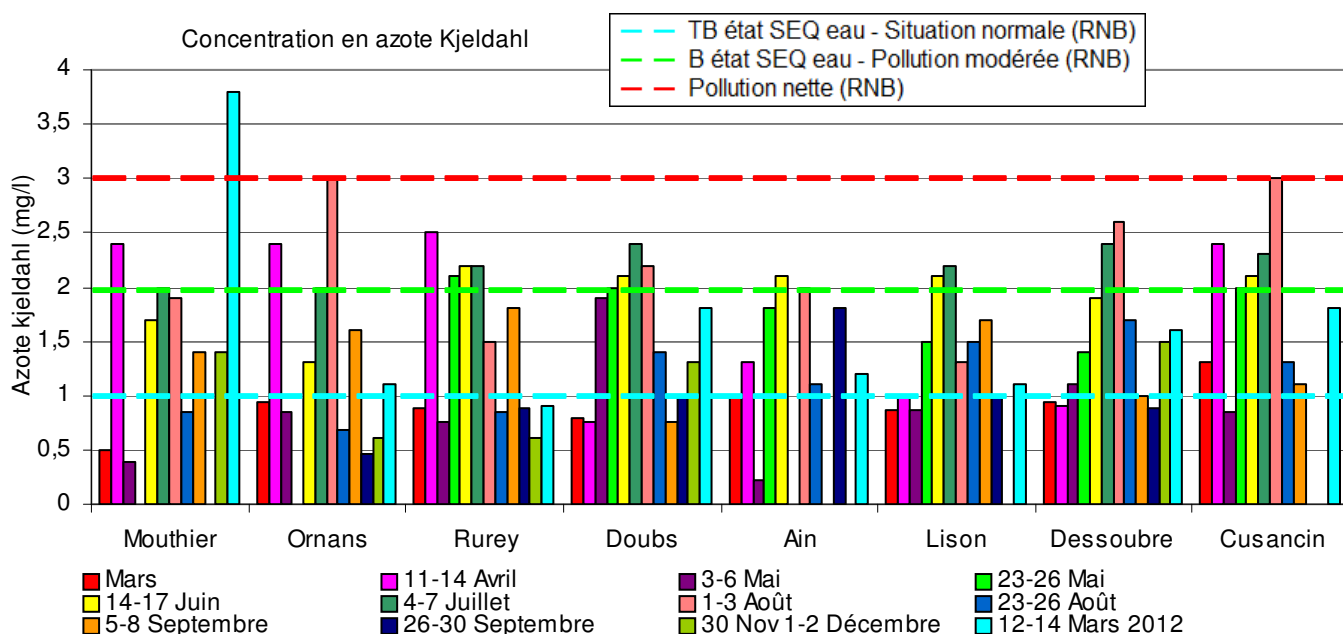


Figure 50 : Evolution des concentrations en azote kjeldahl

|                 | Mouthier   | Ornans     | Rurey      | Doubs      | Dessoubre  | Cusancin   | Lison      | Ain        |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Mars            | 0,5        | 0,94       | 0,89       | 0,8        | 0,94       | 1,3        | 0,86       | 0,99       |
| 11-14 Avril     | <b>2,4</b> | <b>2,4</b> | <b>2,5</b> | 0,76       | 0,9        | <b>2,4</b> | 1          | 1,3        |
| 3-6 Mai         | 0,39       | 0,85       | 0,76       | 1,9        | 1,1        | 0,85       | 0,87       | 0,23       |
| 23-26 Mai       | 0          | 0          | <b>2,1</b> | <b>2</b>   | 1,4        | <b>2</b>   | 1,5        | 1,8        |
| 14-17 Juin      | 1,7        | 1,3        | <b>2,2</b> | <b>2,1</b> | 1,9        | <b>2,1</b> | <b>2,1</b> | <b>2,1</b> |
| 4-7 Juillet     | <b>2</b>   | <b>2</b>   | <b>2,2</b> | <b>2,4</b> | <b>2,4</b> | <b>2,3</b> | <b>2,2</b> | 0          |
| 1-3 Août        | 1,9        | <b>3</b>   | 1,5        | <b>2,2</b> | <b>2,6</b> | <b>3</b>   | 1,3        | <b>2</b>   |
| 23-26 Août      | 0,85       | 0,69       | 0,84       | 1,4        | 1,7        | 1,3        | 1,5        | 1,1        |
| 5-8 Septembre   | 1,4        | 1,6        | 1,8        | 0,75       | 1          | 1,1        | 1,7        | 0          |
| 26-30 Septembre | 0          | 0,46       | 0,88       | 1          | 0,88       | 0          | 1          | 1,8        |
| Décembre        | 1,4        | 0,6        | 0,6        | 1,3        | 1,5        | ∅          | ∅          | ∅          |
| Mars 2012       | <b>3,8</b> | 1,1        | 0,9        | 1,8        | 1,6        | 1,8        | 1,1        | 1,2        |

Tableau 51 : Résultats des mesures d'azote kjeldahl

✓ **Appréciation selon Nisbet-Verneaux**

Ce paramètre n'était pas suivi à l'époque

✓ **Appréciation selon anciennes grilles RNB**

| Appréciation selon anciennes grilles RNB |                      |
|------------------------------------------|----------------------|
| $\leq 1\text{ mg/l}$                     | situation normale    |
| 1 à 2 mg/l                               | pollution modérée    |
| 2 à 3 mg/l                               | pollution nette      |
| 3 à 10 mg/l                              | pollution importante |

**Tableau 52 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour l'azote kjeldahl**

Le suivi montre une présence récurrente d'azote organique dans l'eau dans des concentrations modérées à fortes.

Il apparaît que les 6 cours d'eau suivis montrent de façon plus ou moins régulière une pollution nette par l'azote organique (en l'absence globale d'ammonium mesuré).

Les cours d'eau les plus touchés sont le Cusancin, la Loue à Rurey et le Doubs à Goumois avec 40 % des campagnes en pollution nette ou importante (selon les anciennes grilles de qualité).

Les pics les plus forts sont observés lors des campagnes de Mars 2012 à Mouthier et d'Août 2011 sur la Loue à Ornans, le Dessoubre à Saint-Hippolyte et le Cusancin à l'aval de Pont-les-Moulins.

**Les phénomènes de présence récurrente d'azote organique excessif dans l'eau touchent l'ensemble des cours d'eau franc-comtois suivis et traduisent une charge azotée excessive provenant des bassins versants.**

✓ **Appréciation selon SEQ Eau II,**

| Appréciation selon SEQ Eau II |               |
|-------------------------------|---------------|
| $< \text{ou} = 1\text{ mg/l}$ | Très bon état |
| 1 à 2 mg/l                    | Bon état      |
| 2 à 4 mg/l                    | Etat moyen    |

**Tableau 53 : Classe selon le SEQ Eau pour l'azote kjeldahl**

On confirme l'altération plus marquée des stations de la Loue à Rurey, du Doubs à Goumois, et du Cusancin à Pont-les-Moulins.

On remarque les valeurs les plus élevées entre les mois de Mai et Août sur toutes les stations hormis Mouthier. Certaines stations paraissent durablement impactées en période de basses eaux (plusieurs campagnes successives).

Sur les 3 stations de la Loue et sur le Cusancin à Pont-les-Moulins, l'azote Kjeldahl est mesuré en excès lors de la campagne d'avril.

Sur plusieurs stations, le Doubs à Goumois, le Dessoubre à Saint Hippolyte, le Cusancin en aval de Pont les Moulins et le Lison en aval de Cussey sur Lison, l'azote kjeldahl est détecté dans l'eau quasiment à chaque campagne. 60% des analyses indiquent des valeurs supérieures ou égales à 1 mg/l, et montrent la présence d'une pollution rémanente importante par l'azote organique.

Au niveau de Mouthier et Ornans les pics d'apparition sont toujours précédés par une augmentation du débit de la rivière. Pour les autres stations, on remarque la présence d'azote kjeldahl lorsque le débit est stable (étiage printanier).

On rappelle ici le caractère ponctuel des prélèvements réalisés.

#### ✓ **Appréciation selon DCE**

Ce paramètre n'est pas suivi dans le cas de la Directive Cadre sur l'Eau.

#### 3.5.2.5.2 Ammonium

L'ammonium est une forme transitoire de l'azote, qui existe dans les eaux riches en matière organique, lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation (Verneaux J, 1970).

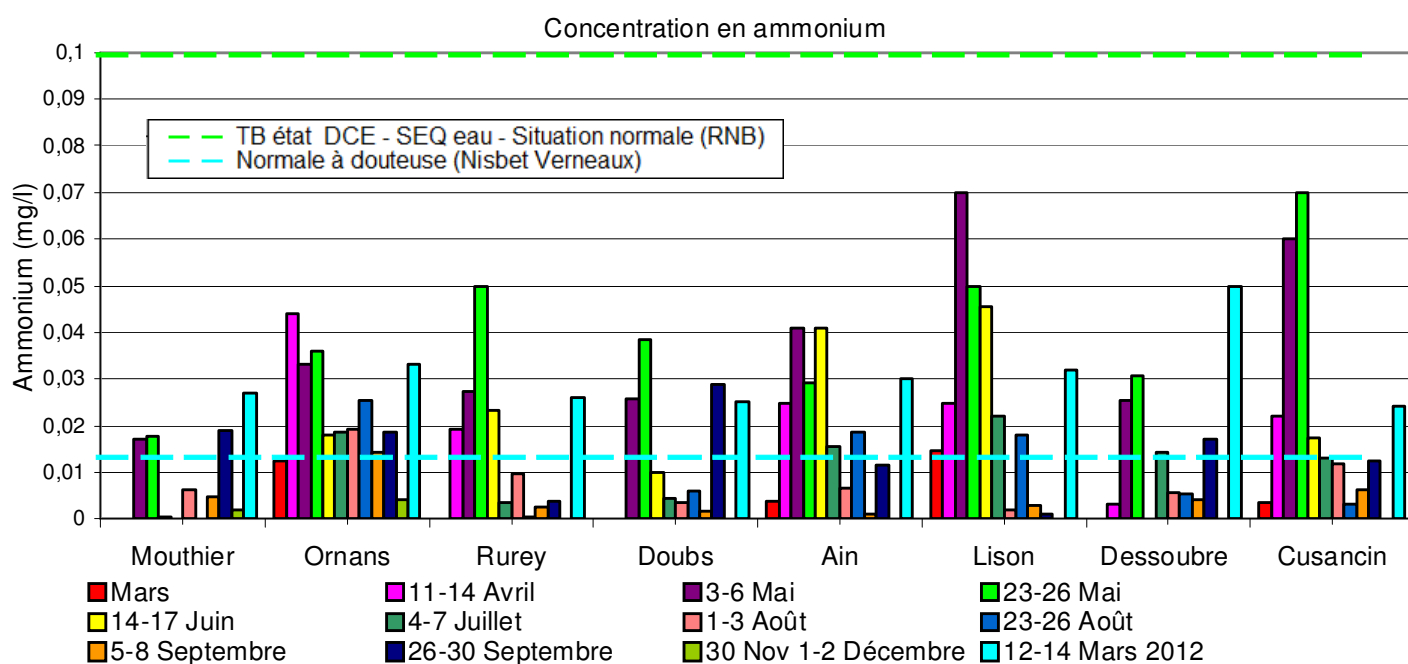


Figure 51 : Evolution des concentrations en ammonium



|                 | Mouthier  | Ornans  | Rurey       | Doubs    | Dessoubre | Cusancin    | Lison       | Ain      |
|-----------------|-----------|---------|-------------|----------|-----------|-------------|-------------|----------|
| Mars            | 0         | 0,01259 | 0           | 0        | 0         | 0,00353     | 0,01468     | 0,003806 |
| 11-14 Avril     | 0         | 0,04399 | 0,01912     | 0        | 0,003211  | 0,02196     | 0,0247      | 0,0247   |
| 3-6 Mai         | 0,017     | 0,033   | 0,02725     | 0,02584  | 0,02552   | <b>0,06</b> | <b>0,07</b> | 0,04095  |
| 23-26 Mai       | 0,01769   | 0,03604 | <b>0,05</b> | 0,03831  | 0,03081   | <b>0,07</b> | <b>0,05</b> | 0,02912  |
| 14-17 Juin      | 0,0003542 | 0,01793 | 0,02333     | 0,0101   | 0         | 0,01722     | 0,04539     | 0,04084  |
| 4-7 Juillet     | 0,000015  | 0,01848 | 0,0034      | 0,004333 | 0,01425   | 0,01317     | 0,022       | 0,01542  |
| 1-3 Août        | 0,006238  | 0,0192  | 0,009661    | 0,003276 | 0,005671  | 0,01182     | 0,002002    | 0,006583 |
| 23-26 Août      | 0         | 0,0254  | 0,0003      | 0,0058   | 0,0052    | 0,0032      | 0,01801     | 0,01848  |
| 5-8 Septembre   | 0,0047    | 0,0144  | 0,0024      | 0,001603 | 0,003882  | 0,006306    | 0,0027      | 0,0011   |
| 26-30 Septembre | 0,0189    | 0,0186  | 0,0037      | 0,02867  | 0,01701   | 0,0124      | 0,0008047   | 0,0114   |
| Décembre        | 0,002     | 0,004   | 0           | 0        | 0         | ∅           | ∅           | ∅        |
| Mars 2012       | 0.027     | 0.033   | 0.026       | 0,025    | 0,05      | 0,024       | 0.05        | 0.024    |

**Tableau 54 : Résultats des mesures d'ammonium**

**Les échantillons analysés montrent des concentrations globalement faibles d'azote ammoniacal dans l'eau sur l'ensemble du suivi.**

Les valeurs les plus élevées apparaissent lors de l'été printanier quand le débit des rivières reste faible et stable. Les pics sont observés sur la Loue à Rurey, le Cusancin en aval de Pont les Moulins et sur l'Ain en amont du pont de Châtillon, lors des deux campagnes effectuées durant le mois de Mai.

**La campagne de mi mars 2012 montre sur tous les cours d'eau une nette augmentation des concentrations en ammonium par rapport aux campagnes de fin d'automne et d'hiver.** Cette hausse peut résulter du lessivage des sols agricoles où des lisiers sont épandus à la sortie de l'hiver, ou de relargage au niveau des sédiments.

#### ✓ Appréciation selon Nisbet-Verneaux

La présence d'azote ammoniacal étant tout à fait anormale, 3 classes sont retenues :

| Mg/l NH <sub>4</sub>                            | classes | situation                     |
|-------------------------------------------------|---------|-------------------------------|
| 0<NH <sub>4</sub> <qq 1/100 <sup>ème</sup> mg/l | 1       | Normale à douteuse            |
| qq 1/10 <sup>ème</sup> mg/l                     | 2       | Pollution insidieuse sensible |
| NH <sub>4</sub> > ou= 1 mg/l                    | 3       | Pollution critique            |

**Tableau 55 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour l'ammonium**

La présence sur le Cusancin et le Lison de NH<sub>4</sub> mesurable montre l'existence d'une situation douteuse pour ce paramètre.

✓ **Appréciation selon anciennes grilles RNB**

| Appréciation selon anciennes grilles RNB |                      |
|------------------------------------------|----------------------|
| $\leq 0,1$ mg/l                          | situation normale    |
| 0,1 à 0,5 mg/l                           | pollution modérée    |
| 0,5 à 2 mg/l                             | pollution nette      |
| 3 à 10 mg/l                              | pollution importante |

**Tableau 56 : Classe selon les anciennes grilles RNB pour l'ammonium**

L'ensemble des analyses indiquent une situation normale vis-à-vis de l'ammonium, lors de chaque campagne et pour toutes les stations.

✓ **Appréciation selon SEQ Eau II,**

| Appréciation selon SEQ Eau II |               |
|-------------------------------|---------------|
| $\leq 0,1$ mg/l               | Très bon état |
| 0,1 à 0,5 mg/l                | Bon état      |
| 0,5 à 2 mg/l                  | Etat moyen    |

**Tableau 57 : Classe selon le SEQ Eau pour l'ammonium**

D'après les valeurs de référence du Seq eau, le très bon état est confirmé sur l'ensemble des stations.

✓ **Appréciation selon DCE**

| Appréciation selon la DCE |               |
|---------------------------|---------------|
| $\leq 0,1$ mg/l           | Très bon état |
| ]0,1 - 0,5 mg/l]          | Bon état      |

**Tableau 58 : Classe selon la DCE pour l'ammonium**

Tout comme les systèmes de références précédents, l'eau présente une très bonne qualité vis-à-vis de l'ammonium.

### 3.5.2.5.3 Nitrites

Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des formes **transitoires** de l'Azote qui apparaissent après la dégradation de l'ammonium par les bactéries. Ils se transforment rapidement en Nitrates en milieu suffisamment oxygéné.

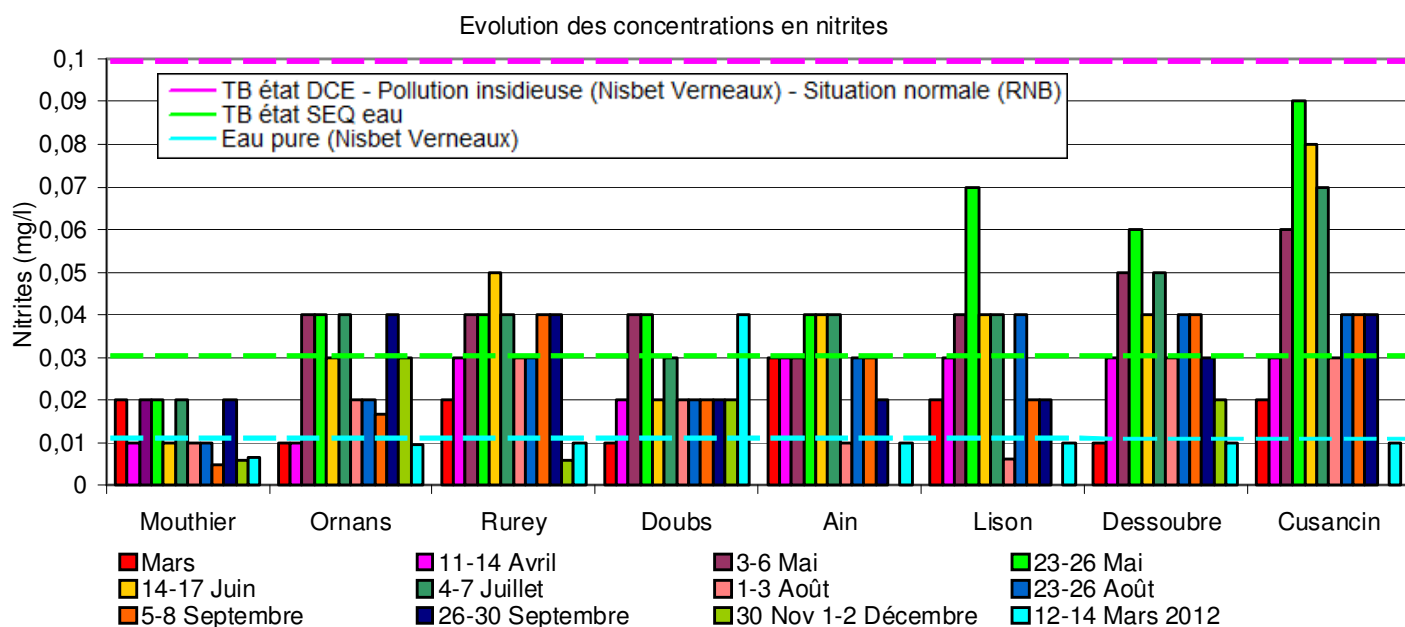


Figure 52 : Evolution des concentrations en nitrites

|                 | Mouthier | Ornans  | Rurey       | Doubs | Dessoubre   | Cusancin    | Lison       | Ain  |
|-----------------|----------|---------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|------|
| Mars            | 0,02     | 0,01    | 0,02        | 0,01  | 0,01        | 0,02        | 0,02        | 0,03 |
| 11-14 Avril     | 0,01     | 0,01    | 0,03        | 0,02  | 0,03        | 0,03        | 0,03        | 0,03 |
| 3-6 Mai         | 0,02     | 0,04    | 0,04        | 0,04  | <b>0,05</b> | <b>0,06</b> | 0,04        | 0,03 |
| 23-26 Mai       | 0,02     | 0,04    | 0,04        | 0,04  | <b>0,06</b> | <b>0,09</b> | <b>0,07</b> | 0,04 |
| 14-17 Juin      | 0,01     | 0,03    | <b>0,05</b> | 0,02  | 0,04        | <b>0,08</b> | 0,04        | 0,04 |
| 4-7 Juillet     | 0,02     | 0,04    | 0,04        | 0,03  | 0,05        | <b>0,07</b> | 0,04        | 0,04 |
| 1-3 Août        | 0,01     | 0,02    | 0,03        | 0,02  | 0,03        | 0,03        | 0,0064      | 0,01 |
| 23-26 Août      | 0,01     | 0,02    | 0,03        | 0,02  | 0,04        | 0,04        | 0,04        | 0,03 |
| 5-8 Septembre   | 0,004971 | 0,01678 | 0,04        | 0,02  | 0,04        | 0,04        | 0,02        | 0,03 |
| 26-30 Septembre | 0,02     | 0,04    | 0,04        | 0,02  | 0,03        | 0,04        | 0,02        | 0,02 |
| Décembre        | 0,006    | 0,03    | 0,006       | 0,02  | 0,02        | ∅           | ∅           | ∅    |
| Mars 2012       | 0,0067   | 0,0096  | 0,0099      | 0,04  | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01 |

Tableau 59 : Résultats des mesures de nitrites (mg/L)

Ce tableau montre que cette forme de l'azote est présente dans l'eau lors de chaque campagne et pour toutes les stations. **La présence continue des nitrites indique une perturbation du cycle de l'azote associée à un milieu non suffisamment oxydant.**

Les valeurs les plus élevées sont observées sur la Loue à Rurey, le Dessoubre à Saint Hippolyte, le Cusancin en aval de Pont les Moulins et le Lison en aval de Cussey sur Lison.

Parmi les huit stations, celle du Cusancin en aval de Pont les Moulins semble être la plus impactée par la pollution par les nitrites, avec des valeurs élevées, sur une période comprise entre début Mai et début Juillet.

Ces pics apparaissent lorsque le débit des rivières est assez stable entre les mois de Mai et Juillet.

A l'exception du Doubs, les plus faibles valeurs sont mesurées lors de la campagne de Mars 2012.

Lors du « suivi de la qualité des eaux des sources du Maine et de Plaisir Fontaine » réalisé par Eaux Continentales en 2011 sur la base d'une soixantaine de campagnes d'analyses physico-chimiques, les nitrites ne sont quasiment jamais mis en évidence à l'émergence des plateaux supérieurs. L'origine de cet élément azoté dans les cours d'eau constitué semble provenir de la transformation de l'azote organique, abondamment apporté par les bassins versants.

#### ✓ **Appréciation selon Nisbet-Verneaux**

| Mg/l NH4                                   | classes | situation                                                  |
|--------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------|
| $\text{NO}_2 \leq 1/100^{\text{ème}}$ mg/l | 1       | Eau pure ou auto-épuration active                          |
| $\text{NO}_2 \leq 1/10^{\text{ème}}$ mg/l  | 2       | Pollution insidieuse .<br>Perturbation du cycle de l'azote |
| $\text{qq } 1/10^{\text{ème}}$ mg/l        | 3       | Pollution sensible                                         |
| $\text{NO}_2 > \text{ou} = 1$ mg/l         | 4       | Pollution critique                                         |

**Tableau 60 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour les nitrites**

Selon Nisbet Verneaux la situation témoigne d'une pollution insidieuse et d'une perturbation du cycle de l'azote sur l'ensemble des stations.

La Loue à Mouthier apparaît comme la moins altérée par ce paramètre.

Le Cusancin à Pont-les-Moulins atteint des concentrations qui s'approchent de la pollution sensible.

A titre comparatif on méditera la remarque suivante : « En aval des effluents résiduaux situés sur les rivières à truite du Jura comme la Loue, on relève des teneurs en nitrites de 0.01 à 0.06 mg/l » (Nisbet-Verneaux 1970)

#### ✓ **Appréciation selon anciennes grilles RNB**

| Appréciation selon anciennes grilles RNB |                   |
|------------------------------------------|-------------------|
| $\leq 0,1$ mg/l                          | situation normale |
| 0,1 à 0,3 mg/l                           | pollution modérée |
| 0,3 à 1 mg/l                             | pollution nette   |

**Tableau 61 : Classe selon les anciennes grilles RNB pour les nitrites**

D'après les anciennes grilles RNB, plus tolérantes, les résultats des analyses définissent une qualité de l'eau normale vis-à-vis des nitrites.

✓ **Appréciation selon SEQ Eau II,**

| Appréciation selon SEQ Eau II |               |
|-------------------------------|---------------|
| ≤ 0,03 mg/l                   | Très bon état |
| 0,03 à 0,3 mg/l               | Bon état      |
| 0,3 à 0,5 mg/l                | Etat moyen    |

**Tableau 62 : Classe selon SEQ Eau pour les nitrites**

Les valeurs de référence du Seq Eau II, définissent un très bon état permanent pour la station de Mouthier sur la Loue vis-à-vis de ce paramètre.

Sur les autres sites, le très bon état est atteint pour :

- 75% des analyses sur le Doubs à Goumois et sur l'Ain en amont du Pont de Châtillon,
- 66% des analyses à Ornans sur la Loue,
- 50% des analyses pour les sites de Rurey sur la Loue, du Dessoubre à Saint Hippolyte, du Lison en aval de Cussey sur Lison,
- 36% des analyses sur le Cusancin en aval de Pont les Moulins.

✓ **Appréciation selon DCE**

| Appréciation selon la DCE |               |
|---------------------------|---------------|
| ≤ 0,1 mg/l                | Très bon état |
| ]0,1 - 0,3 mg/l]          | Bon état      |

**Tableau 63 : Classe selon la DCE pour les nitrites**

D'après les normes définies par la directive cadre sur l'eau, plus tolérantes, le très bon état est atteint pour toutes les analyses sur l'ensemble des stations.

### 3.5.2.5.4 Nitrates

Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont la forme oxydée et dissoute de l'azote la plus rencontrée dans l'eau.

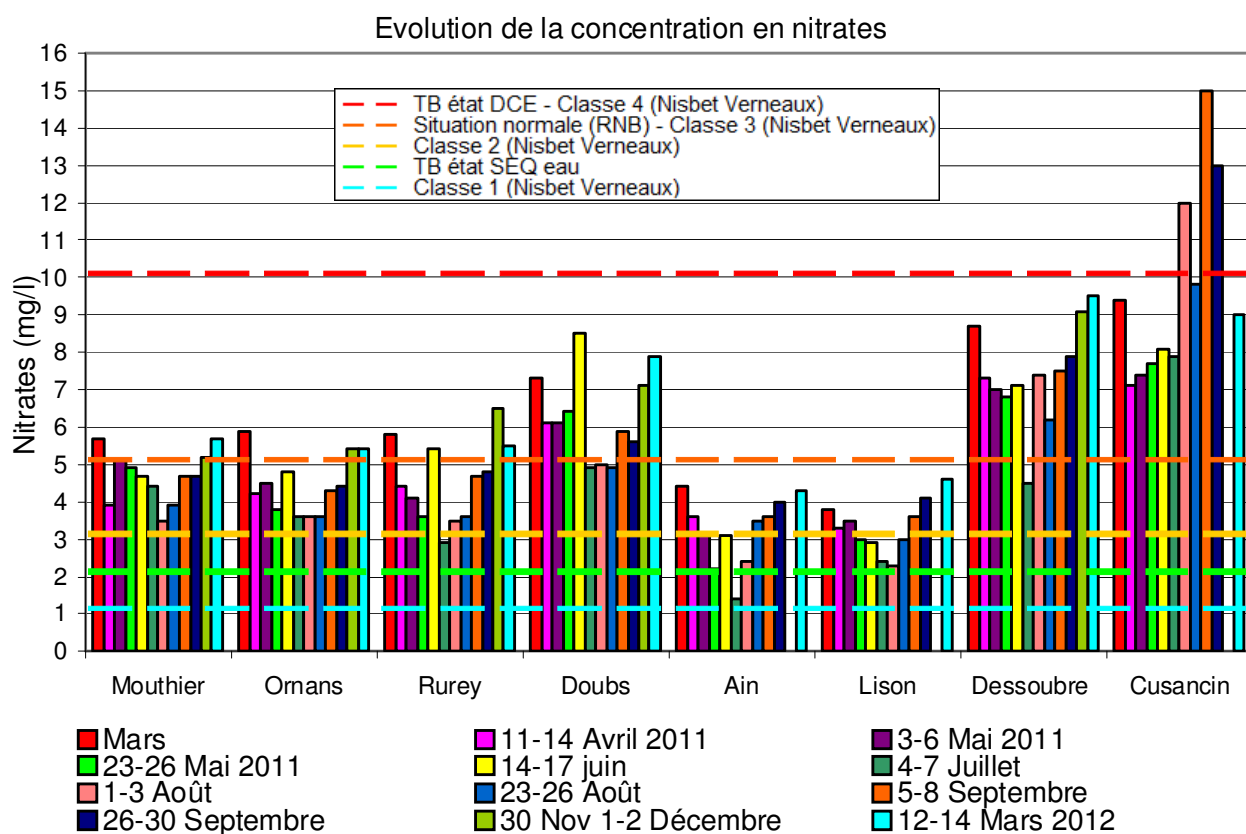


Figure 53 : Evolution des concentrations en nitrates

|                 | Mouthier | Ornans | Rurey | Doubs | Dessoubre  | Cusancin   | Lison | Ain |
|-----------------|----------|--------|-------|-------|------------|------------|-------|-----|
| Mars            | 5,7      | 5,9    | 5,8   | 7,3   | 8,7        | 9,4        | 3,8   | 4,4 |
| 11-14 Avril     | 3,9      | 4,2    | 4,4   | 6,1   | 7,3        | 7,1        | 3,3   | 3,6 |
| 3-6 Mai         | 5,1      | 4,5    | 4,1   | 6,1   | 7,4        | 7          | 3,5   | 3,1 |
| 23-26 Mai       | 4,9      | 3,8    | 3,6   | 6,4   | 6,8        | 7,7        | 3     | 2,2 |
| 14-17 Juin      | 4,7      | 4,8    | 5,4   | 8,5   | 7,1        | 8,1        | 2,9   | 3,1 |
| 4-7 Juillet     | 4,4      | 3,6    | 2,9   | 4,9   | 4,5        | 7,9        | 2,4   | 1,4 |
| 1-3 Août        | 3,5      | 3,6    | 3,5   | 5     | 7,4        | <b>12</b>  | 2,3   | 2,4 |
| 23-26 Août      | 3,9      | 3,6    | 3,6   | 4,9   | 6,2        | <b>9,8</b> | 3     | 3,5 |
| 5-8 Septembre   | 4,7      | 4,3    | 4,7   | 5,9   | 7,5        | <b>15</b>  | 3,6   | 3,6 |
| 26-30 Septembre | 4,7      | 4,4    | 4,8   | 5,6   | 7,9        | 13         | 4,1   | 4   |
| Décembre        | 5,2      | 5,4    | 6,5   | 7,1   | <b>9,1</b> | ∝          | ∝     | ∝   |
| Mars 2012       | 5,7      | 5,4    | 5,5   | 7,9   | <b>9,5</b> | <b>9</b>   | 4,6   | 4,3 |

Tableau 64 : Résultats des mesures de nitrates

Cet élément est naturellement toujours présent dans les cours d'eau.

La station de Saint Hippolyte sur le Dessoubre et celle en aval de Pont les Moulins sur le Cusancin présentent les valeurs les plus élevées tout au long de l'étude. Les concentrations mesurées, on le rappelle hors période de lessivage des sols, atteignent des valeurs de 9 voire 12 ou 15 mg/l sur le Cusancin.

#### ✓ **Appréciation selon Nisbet-Verneaux**

Dans les rivières jurassiennes, la teneur en nitrates passe, suivant la distance aux sources de l'état de traces à 3-5 mg/l. On peut proposer les classes suivantes pour les valeurs modales d'étiage selon le degré de trophie.

| Mg/l NO3   | classes |
|------------|---------|
| NO3<1      | 1       |
| 1≤ NO3<3   | 2       |
| 3≤ NO3<5   | 3       |
| 5≤ NO3<10  | 4       |
| 10≤ NO3<15 | 5       |
| NO3>15     | 6       |

**Tableau 65 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour les nitrates**

A Mouthier, les concentrations mesurées peuvent être considérées comme excessive dans un rapport de 2 à 3.

Pour Ornans et Rurey, on sait qu'en étiage marqué les concentrations mesurées à Chenecey sont de l'ordre de 3 mg/l. Les concentrations mesurées sur ces stations à l'étiage restent donc excessives hormis la valeur mesurée en juillet à Rurey.

Les concentrations mesurées périodiquement sur le Doubs, le Dessoubre et le Cusancin apparaissent comme franchement excessives : 7, 8, 9, 12 mg/l).

Les concentrations mesurées sur le Lison et l'Ain sont plus modérées

#### ✓ **Appréciation selon anciennes grilles RNB**

| Appréciation selon anciennes grilles RNB |                   |
|------------------------------------------|-------------------|
| < 5 mg/l                                 | situation normale |
| 5 à 25 mg/l                              | pollution modérée |
| 25 à 50 mg/l                             | pollution nette   |

**Tableau 66 : Classe selon les anciennes grilles RNB pour les nitrates**

A partir de ces valeurs de référence plus tolérantes, les stations de l'Ain en amont du pont de Châtillon et du Lison en aval de Cussey sur Lison présentent une situation normale vis-à-vis des nitrates. Ces deux sites semblent être les moins impactés parmi les huit étudiés.

Concernant les autres sites, une pollution modérée est détectée à :

- ✓ Mouthier sur le Loue (16% des analyses),
- ✓ Rurey sur la Loue (33% des analyses),
- ✓ Ornans sur la Loue (25% des analyses),
- ✓ sur le Doubs à Goumois (75% des analyses),
- ✓ sur le Dessoubre à Saint-Hippolyte (91% des analyses).
- ✓ Sur le Cusancin à Pont-les-Moulins (100 % des analyses)

On rappelle que l'ensemble des campagnes est réalisé en étiage ou en eau basse.

✓ **Appréciation selon SEQ Eau II,**

| Appréciation selon SEQ Eau II |               |
|-------------------------------|---------------|
| $\leq 2 \text{ mg/l}$         | Très bon état |
|                               | Bon état      |

**Tableau 67 : Classe selon le SEQ Eau pour les nitrates**

Les résultats, obtenus lors de chaque campagne, indiquent un bon état de l'eau vis-à-vis des nitrates pour les huit cours d'eau étudiés.

✓ **Appréciation selon DCE**

| Appréciation selon la DCE |               |
|---------------------------|---------------|
| $\leq 10 \text{ mg/l}$    | Très bon état |
| ]10 - 50 mg/l]            | Bon état      |

**Tableau 68 : Classe selon la DCE pour les nitrates**

L'ensemble des stations atteignent le très bon état pour chaque analyse, mis à part le Cusancin en aval de Pont les Moulins. Sur ce site, l'eau présente un très bon état de Mars à fin Août. Lors des deux dernières campagnes, la concentration en nitrate augmente, ce qui conduit à la perte d'une classe de qualité (bon état).



### 3.5.2.6 Suivi des éléments phosphorés

#### 3.5.2.6.1 Phosphore total

Le phosphore peut se trouver dans l'eau sous des formes diverses dont les principales sont le phosphore organique et le phosphore minéral, représenté essentiellement par les orthophosphates. Le phosphore total est constitué par la somme des phosphates et du phosphore organique.

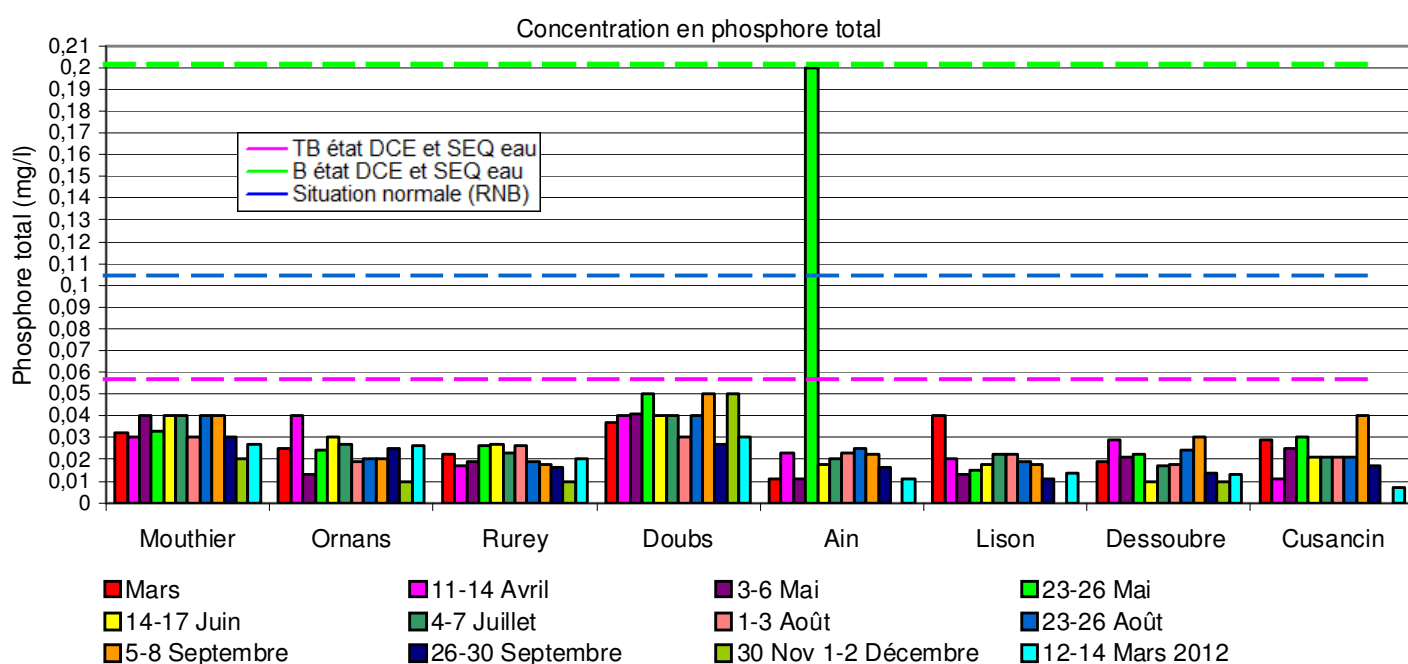


Figure 54 : Evolution des concentrations en phosphore total

|                 | Mouthier | Ornans | Rurey | Doubs | Dessoubre | Cusancin | Lison | Ain        |
|-----------------|----------|--------|-------|-------|-----------|----------|-------|------------|
| Mars            | 0,032    | 0,025  | 0,022 | 0,037 | 0,019     | 0,029    | 0,04  | 0,011      |
| 11-14 Avril     | 0,03     | 0,04   | 0,017 | 0,04  | 0,029     | 0,011    | 0,02  | 0,023      |
| 3-6 Mai         | 0,04     | 0,013  | 0,019 | 0,041 | 0,021     | 0,025    | 0,013 | 0,011      |
| 23-26 Mai       | 0,033    | 0,024  | 0,026 | 0,05  | 0,022     | 0,03     | 0,015 | <b>0,2</b> |
| 14-17 Juin      | 0,04     | 0,03   | 0,027 | 0,04  | 0,01      | 0,021    | 0,018 | 0,018      |
| 4-7 Juillet     | 0,04     | 0,027  | 0,023 | 0,04  | 0,017     | 0,021    | 0,022 | 0,02       |
| 1-3 Août        | 0,03     | 0,019  | 0,026 | 0,03  | 0,018     | 0,021    | 0,022 | 0,023      |
| 23-26 Août      | 0,04     | 0,02   | 0,019 | 0,04  | 0,024     | 0,021    | 0,019 | 0,025      |
| 5-8 Septembre   | 0,04     | 0,02   | 0,018 | 0,05  | 0,03      | 0,04     | 0,018 | 0,022      |
| 26-30 Septembre | 0,03     | 0,025  | 0,016 | 0,027 | 0,014     | 0,017    | 0,011 | 0,016      |
| Décembre        | 0,02     | 0,01   | 0,01  | 0,05  | 0,01      | ∅        | ∅     | ∅          |
| Mars 2012       | 0,027    | 0,026  | 0,02  | 0,03  | 0,011     | 0,014    | 0,013 | 0,007      |

Tableau 69 : Résultats des mesures de phosphore total

On observe un pic (0,2 mg/l) sur l'Ain probablement engendré par un rejet d'eaux usées.

La Concentration est globalement faible sur toutes les stations (0,03 mg/l < x < 0,05 mg/l), Elle est cependant supérieure sur la Loue à Mouthier et sur le Doubs à Goumois.

Elle est supérieure sur la Loue à Mouthier en toutes campagnes comparativement à Ornans et Rurey (apport du bassin versant supérieur)

**Le phosphore étant fortement retenu par les particules du sol, cette présence dans les eaux lorsque que la pluviométrie est faible voir nulle, peut être engendrée par des apports d'origine urbaine ou par un relargage par les sédiments.**

✓ **Appréciation selon Nisbet-Verneaux**

Pas de référentiel pour ce paramètre.

✓ **Appréciation selon anciennes grilles RNB**

| Appréciation selon anciennes grilles RNB |                   |
|------------------------------------------|-------------------|
| ≤ 0,1 mg/l                               | situation normale |
| 0,1 à 0,3 mg/l                           | pollution modérée |
| 0,3 à 0,6 mg/l                           | pollution nette   |

**Tableau 70 : Classe selon les anciennes grilles RNB pour le phosphore total**

D'après ces références, lors de chaque campagne, toutes les stations, mis à part celle de l'Ain, présentent une situation normale vis-à-vis du phosphore total. A la suite du prélèvement effectué fin Mai, il est observé sur le site, situé en amont du pont de Châtillon, un pic à 0,2 mg/l. Cette valeur correspond à une pollution modérée probablement d'origine accidentelle.

✓ **Appréciation selon SEQ Eau II,**

| Appréciation selon SEQ Eau II |               |
|-------------------------------|---------------|
| ≤ 0,05 mg/l                   | Très bon état |
| 0,05 à 0,2 mg/l               | Bon état      |
| 0,2 à 0,5 mg/l                | Etat moyen    |

**Tableau 71 : Classe selon le SEQ Eau pour le phosphore total**

Le SEQ Eau II définit un très bon état, lors de ce suivi pour les stations de Mouthier, Ornans, et Rurey sur la Loue, Goumois sur le Doubs, Saint Hippolyte sur le Dessoubre, Pont les Moulins sur le Cusancin et Cussey sur Lison sur le Lison.

Seule la campagne effectuée fin Mai sur l'Ain est déclassée en bon état.

### ✓ Appréciation selon DCE

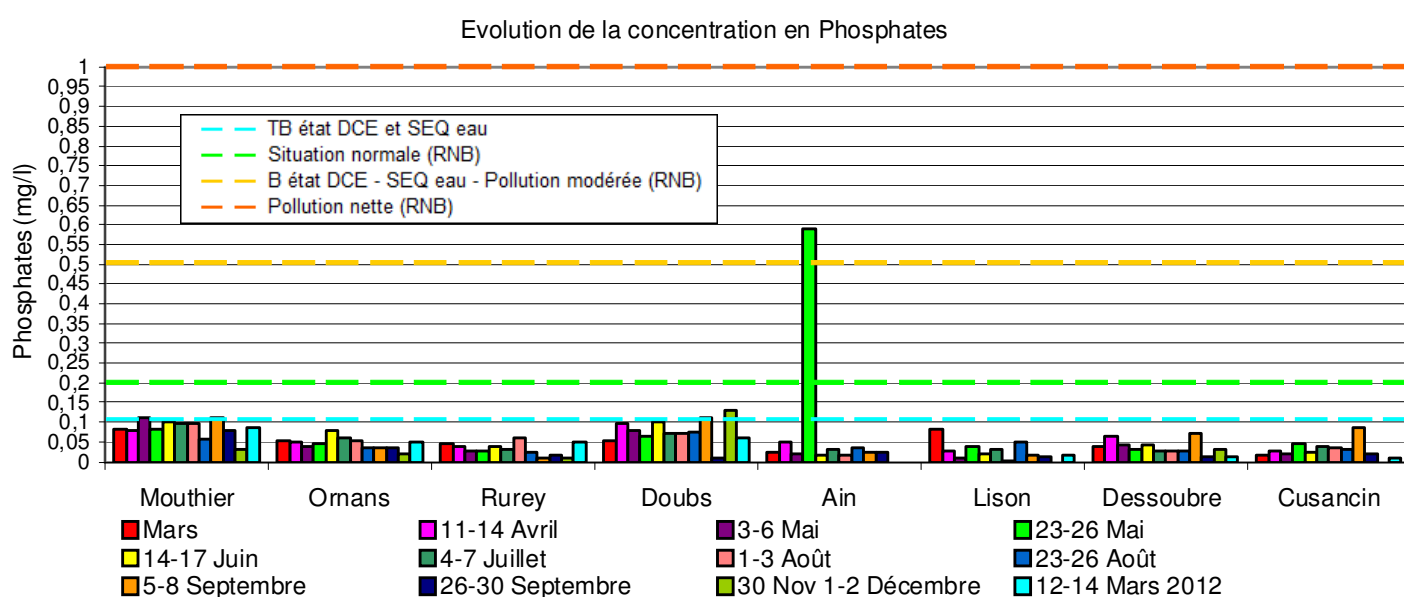
| Appréciation selon la DCE |               |
|---------------------------|---------------|
| $\leq 0,05$ mg/l          | Très bon état |
| ]0,05 - 0,2 mg/l]         | Bon état      |

**Tableau 72 : Classe selon la DCE pour le phosphore total**

Les limites sont les mêmes que celles du SEQ Eau II de sorte que les commentaires sont inchangés pour ce référentiel.

### 3.5.2.6.2 Phosphates

Les phosphates se trouvent dans tous les compartiments de l'écosystème aquatique. Dissous dans l'eau, fixé sur les particules en suspension (MES), stocké provisoirement dans les sédiments.



**Figure 55 : Evolution des concentrations en phosphates**

| D.sources en Km | 5           | 23     | 45    | 124         | 32        | 10       | 23     | 40           |
|-----------------|-------------|--------|-------|-------------|-----------|----------|--------|--------------|
|                 | Mouthier    | Ornans | Rurey | Doubs       | Dessoubre | Cusancin | Lison  | Ain          |
| Mars            | 0,082       | 0,054  | 0,047 | 0,053       | 0,039     | 0,015    | 0,083  | 0,023        |
| 11-14 Avril     | 0,079       | 0,051  | 0,038 | 0,098       | 0,064     | 0,027    | 0,029  | 0,048        |
| 3-6 Mai         | <b>0,11</b> | 0,038  | 0,027 | 0,08        | 0,043     | 0,02     | 0,009  | 0,021        |
| 23-26 Mai       | 0,083       | 0,046  | 0,027 | 0,066       | 0,030     | 0,045    | 0,039  | <b>0,590</b> |
| 14-17 Juin      | 0,100       | 0,077  | 0,039 | <b>0,10</b> | 0,044     | 0,025    | 0,020  | 0,016        |
| 4-7 Juillet     | 0,096       | 0,059  | 0,03  | 0,072       | 0,029     | 0,037    | 0,03   | 0,031        |
| 1-3 Août        | 0,096       | 0,052  | 0,059 | 0,072       | 0,029     | 0,033    | 0,0005 | 0,016        |
| 23-26 Août      | 0,056       | 0,033  | 0,023 | 0,075       | 0,027     | 0,032    | 0,05   | 0,034        |
| 5-8 Septembre   | <b>0,11</b> | 0,035  | 0,01  | <b>0,11</b> | 0,071     | 0,084    | 0,017  | 0,025        |
| 26-30 Septembre | 0,08        | 0,034  | 0,016 | 0,01        | 0,011     | 0,02     | 0,011  | 0,024        |
| Décembre        | 0,03        | 0,02   | 0,01  | <b>0,13</b> | 0,03      | ∅        | ∅      | ∅            |
| Mars 2012       | 0,084       | 0,049  | 0,048 | 0,06        | 0,013     | 0,008    | 0,015  | 0            |

**Tableau 73 : Résultats des mesures de phosphates**

On observe sur l'Ain une concentration de 0,59 mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$ , lors de la campagne de fin Mai alors que le débit de la rivière est resté stable. Ce pic correspond à celui des phosphores totaux sur cette même station. Ce pic a pu être engendré par **un rejet d'eaux usées ou par un ruissellement sur des parcelles agricoles**, à la suite d'orages locaux n'ayant pas provoqué une augmentation de débit mais un léger transfert des particules de sol dans l'eau.

On constate également, quelques valeurs supérieures à 0.10 mg/l sur les stations de Mouthier et de Goumois.

✓ **Appréciation selon Nisbet-Verneaux (modifiée Cuinet Eaux-Continetales)**

| $\mu\text{g/l PO}_4$         | classes | situation                                                            |
|------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------|
| $\text{PO}_4 \leq 10$        | 1       | Eaux très peu productives - Zones de sources jura                    |
| $10 \leq \text{PO}_4 < 50$   | 2       | Eaux peu productives - Suite des cours d'eau de la classe précédente |
| $50 \leq \text{PO}_4 < 150$  | 3       | Productivité moyenne                                                 |
| $150 \leq \text{PO}_4 < 300$ | 4       | Forte productivité - Rivière de prémontagne                          |
| $300 \leq \text{PO}_4 < 500$ | 5       | Cours d'eau pollués                                                  |
| $\text{PO}_4 \geq 500$       | 6       | Cours d'eau très pollués                                             |

**Tableau 74 : Classe selon Nisbet-Verneaux pour les phosphates**

Rappelant la constatation de concentrations en phosphate à la baisse sur les cours d'eau franc-comtois comparativement aux années 1970, il est probable que les limites de classes définies à l'époque par Nisbet-Verneaux soient légèrement surévaluées.

Pour la station de la Loue à Mouthier, une concentration naturelle pourrait être définie aux alentours de 50  $\mu\text{g/l}$ , cependant n'oublions pas qu'il s'agit d'une résurgence complexe de cours d'eau ayant eu des parcours aériens sur le plateau.

Malgré tout il reste fort intéressant de constater que, sur l'ensemble des campagnes de suivi, la concentration en phosphate de la Loue va en diminuant de l'amont vers l'aval, le cours d'eau faisant son office « d'auto-épuration »...

Il apparaît ainsi que la source de la Loue constitue un apport majeur de phosphore au cours d'eau principal. (L'étude des affluents de la Loue (Cabinet Reilé-Eaux Continentales 2000 avait identifié cette problématique et repéré quelques points complémentaires d'apports importants).

En sommes les valeurs mesurées sur la station de Rurey (dans des conditions d'étiage et de basses eaux) se rapprochent de concentrations normales pour la Loue, la moyenne s'établissant ainsi aux alentours de 30 µg/l.

Cette valeur de 30µg/l peut globalement être retenue comme référentiel sur l'ensemble de nos cours d'eau.

En conséquence on appréciera pour l'ensemble des stations le pourcentage d'analyses supérieur à 30µg/l pour définir d'une altération de la qualité.

|                                          | Mouthier | Ornans | Rurey | Doubs | Dessoubre | Cusancin | Lison | Ain  |
|------------------------------------------|----------|--------|-------|-------|-----------|----------|-------|------|
| Dépassement des concentrations attendues | 91 %     | 91 %   | 36 %  | 92 %  | 45 %      | 50 %     | 30 %  | 40 % |

**Tableau 75 : Pourcentage d'analyses supérieures à 30µg/l ou 50µg/l (Doubs à Goumois)**

En conséquence les stations les plus régulièrement altérées par la concentration en phosphate dans la masse d'eau à l'étiage apparaissent comme le Doubs à Goumois et la Loue supérieure.

Les autres stations assez proches en termes de fréquence d'altération se classent comme suit dans l'ordre décroissant : le Cusancin, à Pont-les-Moulins, le Dessoubre à Saint Hippolyte, l'Ain en amont du pont de Chatillon, la Loue à Rurey et le Lison à Cussey.

Les stations de la Loue à Mouthier et du Doubs à Goumois montrent des pics de pollution supérieurs à 100µg/l. L'évènement observé en Mai sur l'Ain correspond également à une forte pollution accidentelle.

#### ✓ **Appréciation selon anciennes grilles RNB**

| Appréciation selon anciennes grilles RNB |                   |
|------------------------------------------|-------------------|
| ≤ 0,2 mg/l                               | situation normale |
| 0,2 à 0,5 mg/l                           | pollution modérée |
| 0,5 à 1 mg/l                             | pollution nette   |

**Tableau 76 : Classe selon les anciennes grilles RNB pour les phosphates**

Les résultats indiquent une situation normale lors de chaque campagne pour l'ensemble des stations. Toutefois, l'analyse effectuée fin Mai sur l'Ain, en amont du Pont de Châtillon, atteste d'une pollution nette.

✓ **Appréciation selon SEQ Eau II,**

| Appréciation selon SEQ Eau II |               |
|-------------------------------|---------------|
| $\leq 0,1$ mg/l               | Très bon état |
| 0,1 à 0,5 mg/l                | Bon état      |
| 0,5 à 1 mg/l                  | Etat moyen    |

**Tableau 77 : Classe selon le SEQ Eau pour les phosphates**

D'après ces références, le très bon état est atteint lors de chaque campagne sur les stations d'Ornans et de Rurey pour la Loue, de Saint-Hippolyte pour le Dessoubre, de Pont les Moulins pour le Cusancin et de Cussey pour le Lison.

Sur la Loue à Mouthier et sur le Doubs à Goumois, deux analyses sur onze indiquent un déclassement en bon état. Enfin, sur l'Ain en amont du pont de Châtillon, la valeur obtenue pour la campagne réalisée fin Mai, confirme une altération supplémentaire (état moyen).

✓ **Appréciation selon DCE**

| Appréciation selon la DCE |               |
|---------------------------|---------------|
| $\leq 0,1$ mg/l           | Très bon état |
| ]0,1 - 0,5 mg/l]          | Bon état      |

**Tableau 78 : Classe selon la DCE pour les phosphates**

Les limites sont les mêmes que celles du SEQ Eau II de sorte que les commentaires sont inchangés pour ce référentiel.

### **3.5.2.7 Suivi des sédiments**

Lors de 5 campagnes (printemps, été, automne, début d'hiver, fin d'hivers), un échantillon de sédiment (la partie fine supérieure) est envoyé au laboratoire de chimie des eaux pour effectuer les mesures de phosphore total et de phosphate.

Lors de la quatrième campagne le protocole est réajusté, les paramètres analysés sont phosphore total, phosphate, azote Kjeldahl et azote ammoniacal. Une station de référence est mise en place sur le Doubs à proximité de sa source sur la commune de Mouthe. On rappelle que 3 stations n'ont pas fait l'objet d'analyses lors de la dernière campagne faute de débits compatibles avec le prélèvement : l'Ain à Châtillon, le Lison à Cussey et le Cusancin à Pont les Moulins.

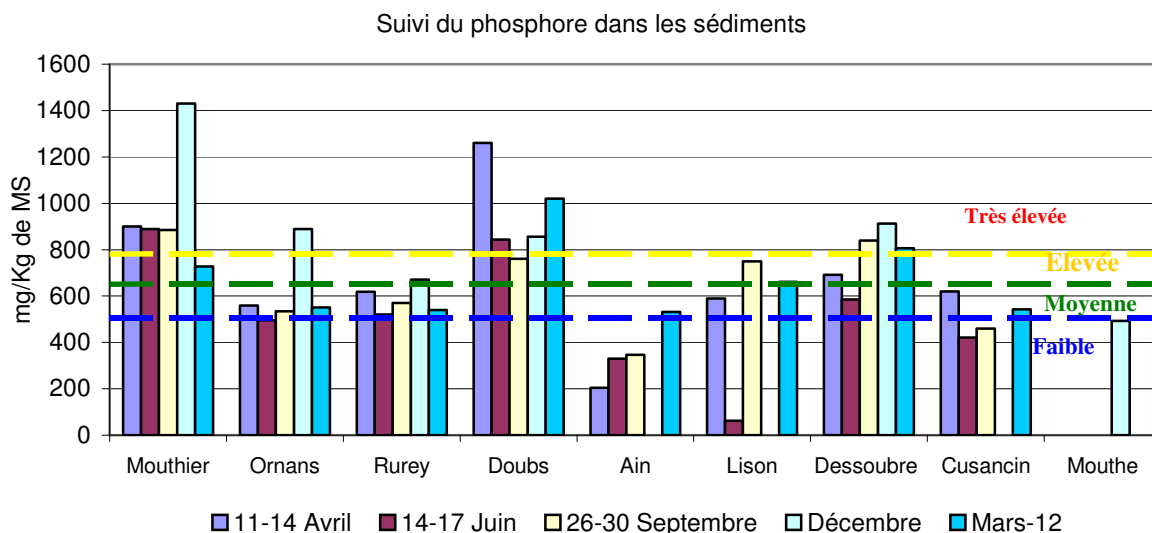
Pour ces analyses, les prélèvements sont réalisés dans les sédiments accumulés le long des rives dans des zones où le courant est faible à nul. Le substrat échantillonné est un dépôt fin plus ou moins organique.

Ces sédiments définissent donc un potentiel d'accumulation stationnel. Ils ne sont pas nécessairement représentatifs des phénomènes dans les dépôts alluvionnaires dominants du cours d'eau.

Par ailleurs, l'échantillonnage, étant effectué sur un ou deux points, les résultats obtenus ne prennent pas en compte la variabilité spatiale des sédiments.

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats des analyses sédimentaires. Les valeurs de référence pour le phosphore proviennent de l'étude réalisée sur le phosphore total dans les sédiments du lac Trouers (Dubois M., 2009). Aucune référence en rivière n'ayant été trouvée, il serait intéressant de comparer ces résultats avec des valeurs obtenues en cours d'eau.

## ➤ Le phosphore dans le sédiment



**Figure 56 : Evolution des concentrations en phosphore dans les sédiments**

Si l'on compare aux références données par l'étude Dubois 2009 (sédiments lacustres).

3 stations paraissent fortement contaminées :

La Loue à Mouthier, Le Doubs à Goumois et dans une moindre mesure le Dessoubre à Saint-Hippolyte. Les pics dépassent le g/kg à Mouthier et à Goumois.

Une station paraît nettement moins altérée l'Ain à Chatillon mais la nature plus minérale (sable) du sédiment pourrait biaiser les résultats.

Sur l'ensemble des stations, les variations de concentration en phosphore dans le sédiment sont très importantes avec des stocks variant de 1 à 6 pour les valeurs minimales-maximales et régulièrement de 1 à 3.

Sur une même station, les concentrations mini-maxi varient dans des rapports de 1.2 à 1.7 et le plus souvent 1.5, compte non tenu du Lison dont les variations semblent particulières.

La campagne de Juin apparaît généralement comme la moins altérée (Loue à Ornans et Rurey, Lison à Cussey, Dessoubre à St Hippolyte, Cusancin à Pont-les-Moulins). Cette observation devra être rapprochée d'éventuelles phases de relargage.

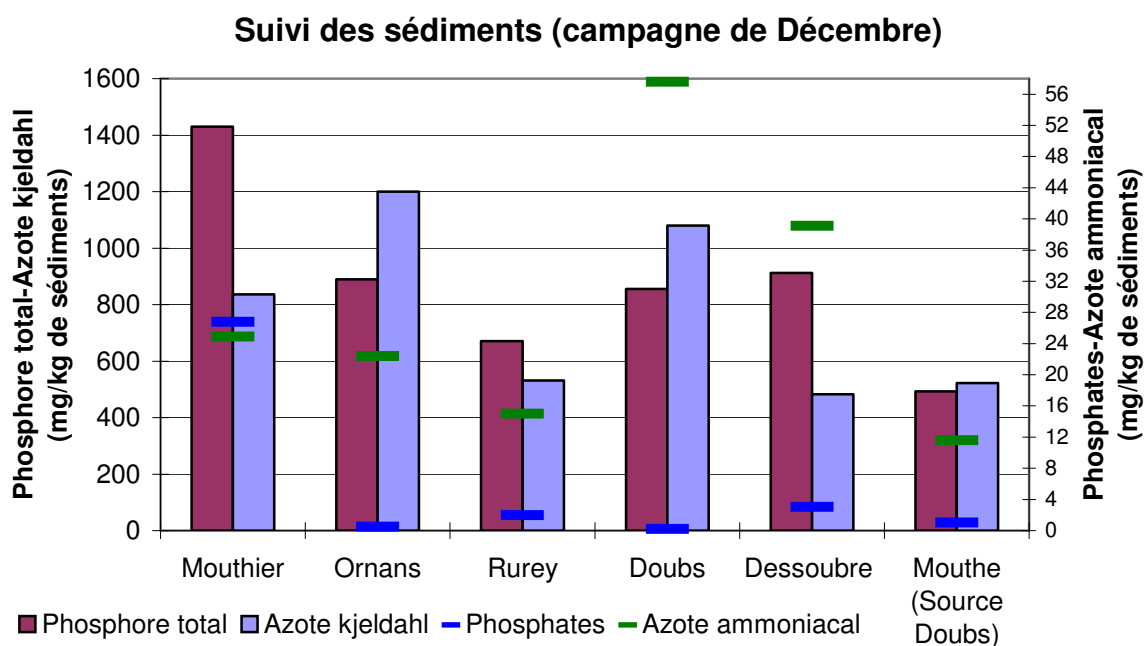
La Loue à Mouthier et le Doubs à Goumois réagissent un peu différemment. Les concentrations les plus faibles sont mesurées en Septembre. (en lien possible avec la proximité des sources d'apport (source de la Loue. Barrage du Chatelot ...).

Sur la Loue, la concentration en phosphore des sédiments tend à diminuer en s'éloignant de la source. Sur les 3 premières campagnes, la légère augmentation des concentrations sur le site de Rurey pourrait être due à des apports intermédiaires (Lison, Maine). Sur la campagne de début Décembre le phénomène pourrait être masqué par de forts apports à la source.



Si l'on considère la concentration mesurée dans les sédiments du Doubs à Mouthe comme une bonne référence, le sédiment de la Loue à Mouthier sort du lot et apparaît comme particulièrement chargée en phosphore (**3 fois plus**), tandis que les sédiments du Dessoubre à Saint Hippolyte, de la Loue à Ornans, et du Doubs à Goumois montrent des concentrations de l'ordre de 2 fois supérieures.

- Les phosphates, l'azote Kjeldahl et ammoniacal dans le sédiment (campagne de Décembre et Mars)



**Figure 57 : Evolution des concentrations en éléments nutritifs des sédiments lors de la campagne de Décembre**

### Pour les phosphates :

Considérant la concentration des sédiments du Doubs à Mouthe comme une référence, les stations de Rurey, de Saint Hippolyte mais surtout de la Loue à Mouthier apparaissent comme particulièrement contaminées (**25 fois plus chargée en phosphates pour Mouthier**)..

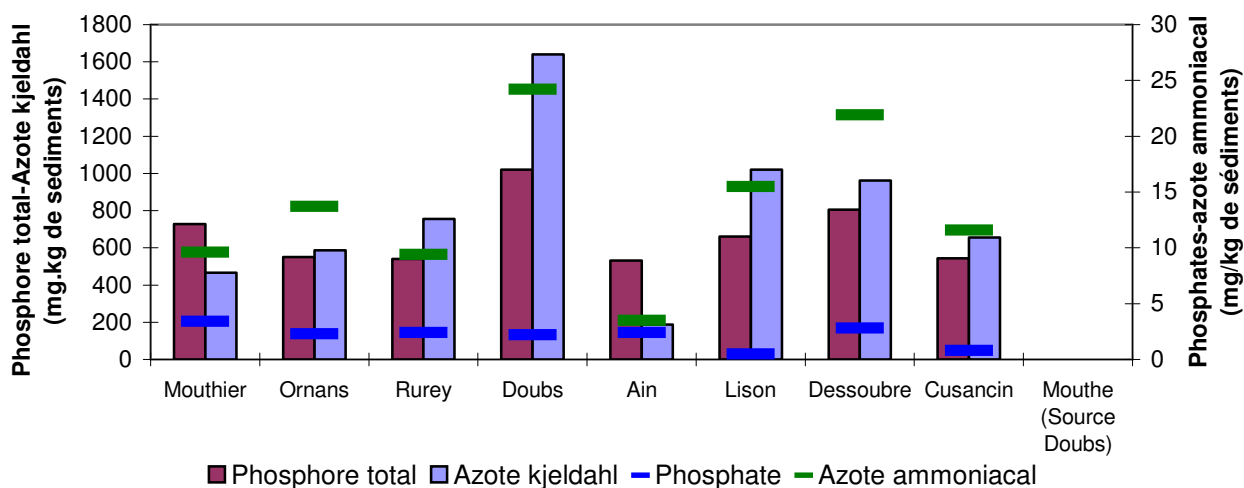
### Pour l'azote Kjeldahl

Considérant la concentration des sédiments du Doubs à Mouthe comme une référence, les sédiments de Mouthier, Goumois, et Ornans apparaissent comme les plus chargés dans un rapport respectif de 1.6, 2. et 2.3 fois.

## Pour l'ammonium

Considérant la concentration des sédiments du Doubs à Mouthe comme une référence, les stations de la Loue à Mouthier et Ornans (2 fois plus contaminés) mais surtout du Dessoubre à Saint-Hippolyte et du Doubs à Goumois sont les plus chargées (respectivement 3.5 et 5 fois)

### Suivi des sédiments (campagne de Mars 2012)



**Figure 58 : Evolution des concentrations en éléments nutritifs des sédiments lors de la campagne de Mars 2012**

La station de Goumois sur le Doubs présente les valeurs les plus élevées pour le phosphore total, l'azote kjeldahl et l'azote ammoniacal. Dans une moindre mesure, les stations du Lison et du Dessoubre montrent des concentrations supérieures par rapport aux autres sites notamment pour l'azote kjeldahl.

On observe, sur la Loue, une augmentation entre les trois stations de la valeur en azote kjeldahl alors que les concentrations en phosphore total et en phosphates diminuent.

## Quant aux stations :

|                                 | PO4<br>(mg/Kg MS) |           | PT<br>(mg/Kg MS) |           | NK<br>(mg/Kg MS) |           | NH4<br>(mg/Kg MS) |           |
|---------------------------------|-------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|-------------------|-----------|
|                                 | Décembre          | Mars 2012 | Décembre         | Mars 2012 | Décembre         | Mars 2012 | Décembre          | Mars 2012 |
| Loue Mouthier                   | 26.8              | 3,4       | 1430             | 728       | 836              | 467       | 24.9              | 9,6       |
| Loue Ornans                     | 0.5               | 2,3       | 889              | 551       | 1200             | 586       | 22.4              | 13,7      |
| Loue Rurey                      | 1.96              | 2,4       | 671              | 540       | 531              | 755       | 15                | 9,4       |
| Doubs Goumois                   | 0.21              | 2,2       | 856              | 1020      | 1080             | 1640      | 57.4              | 24,2      |
| Dessoubre St Hippolyte          | 3.03              | 2,8       | 912              | 806       | 483              | 962       | 39.1              | 21,9      |
| Doubs Mouthe                    | 1.04              |           | 493              |           | 522              |           | 11.6              |           |
| Cusancin amont Pont les Moulins | ∅                 | 0,8       | ∅                | 543       | ∅                | 656       | ∅                 | 11,6      |
| Lison aval Cussey sur Lison     | ∅                 | 0,5       | ∅                | 661       | ∅                | 1020      | ∅                 | 15,5      |
| Ain Amont pont de Châtillon     | ∅                 | 2,4       | ∅                | 531       | ∅                | 188       | ∅                 | 3,5       |

**Tableau 79 : Résultats du suivi des sédiments lors de la campagne de Décembre**

Les sédiments de la Loue à Mouthier sont les plus altérés de notre suivi par leur concentration en phosphore total (3 fois plus que les sédiments du Doubs à Mouthe) et en phosphate (25 fois plus que les sédiments du Doubs à Mouthe) en lien possible avec les apports de la STEP de Pontarlier, hypothèse non exclusive.

Les sédiments de la Loue à Ornans sont les plus altérés par l'azote Kjeldahl (organique) en Décembre. Il pourrait s'agir d'apports progressifs puisque les sédiments de Mouthier sont déjà chargés, et que l'étude du « Suivi de la qualité des eaux des sources du Maine et de Plaisir Fontaine » réalisée par Eaux Continentales 2011 a montré la présence d'apports importants en azote organique par les sources latérales de la Loue. Sur cette station les concentrations relevées pourraient également être associées à des problématiques de réseau dans l'agglomération ornanaise (rejets dans la Boneille par exemple....)

Les sédiments du Doubs à Goumois sont fortement altérés par l'azote ammoniacal et par l'azote Kjeldahl (en rapport possible avec l'apport d'eau de fond des ouvrages hydroélectriques. Barrage du Refrain)

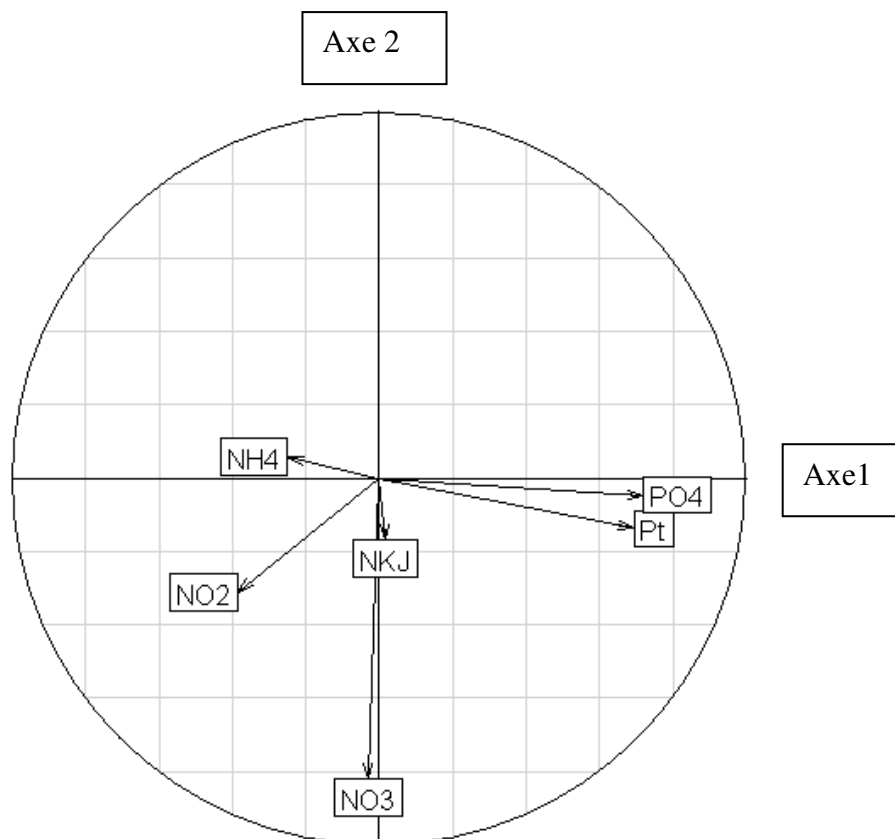
### 3.5.3 Analyse statistiques des données chimiques

#### Essai de typologie des stations.

En vue de dresser une typologie des stations en fonction de leurs caractéristiques concernant les matières azotées et phosphorées, une analyse en composante principale normée (ACP) a tout d'abord été réalisée sur un tableau de données incluant l'ensemble des campagnes.

Des classes ont été ensuite formées en renseignant pour chacune des analyses (chacune des lignes du tableau) la station où elle a été réalisée. Afin de tester l'effet « station », une ACP interclasse est réalisée. Cette analyse permet de mettre l'accent sur la différence entre les stations en recherchant les axes au centre de gravité de l'espace.

Le premier résultat issu de l'ACP interclasse est le cercle des corrélations ci-dessous.



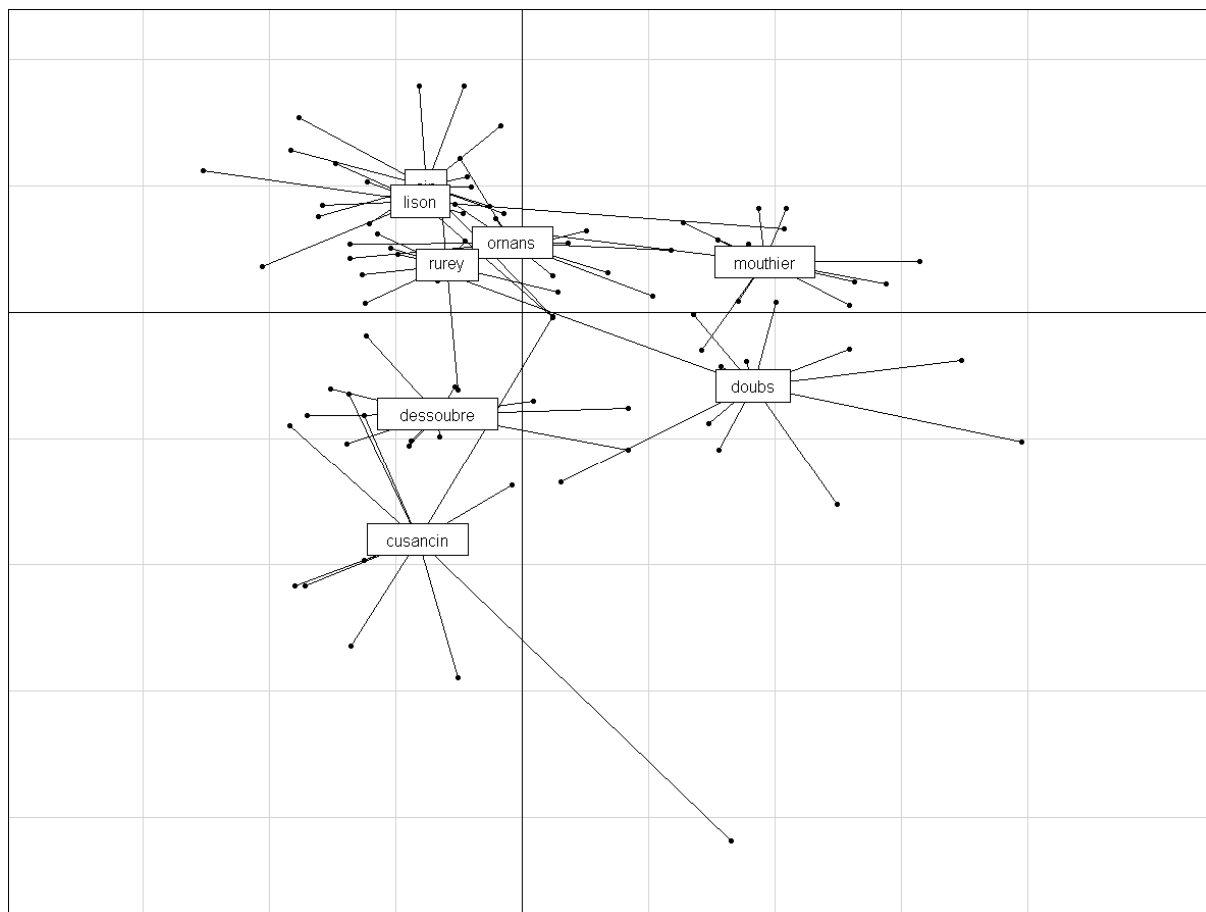
On remarque que les matières phosphorées (PO4 c'est-à-dire phosphates et Pt, c'est à dire phosphore total) ont une très forte contribution au premier axe factoriel. Les nitrates ont quant à eux une très forte contribution à l'axe 2, tandis que les autres paramètres sont peu

structurants. Les positions des phosphates et nitrates, très proches respectivement des axes 1 et 2, tendent à indiquer l'absence de corrélation entre ces paramètres lorsque l'on accentue l'effet station.

Cette ACP interclasse explique 36% de l'inertie totale du jeu de donnée. L'effet « station » apparaît donc conséquent. (l'ACP interclasse réalisée avec les classes « campagne » n'explique que 27% de l'inertie totale, l'effet « station » est donc plus conséquent que l'effet « campagne » dans la variabilité des données).

Un test de permutation, dit test de Monte-Carlo, a été appliqué pour tester si l'inertie du nuage de point diffère significativement entre les classes. Le test est basé sur 999 permutations. La p-value associée à ce test est de 0,001, indiquant une différence significative de l'inertie du nuage de point entre les classes. On peut donc légitimement envisager de proposer une typologie des stations en fonction des résultats de l'ACP.

La figure ci-dessous permet de représenter les centres de gravité de chaque classe et le lien entre un échantillon et sa classe d'appartenance.



Les stations de Mouthier et du Doubs présentent un centre de gravité placé sur le secteur de la carte factorielle caractérisé par les matières phosphorées. Elles apparaissent donc davantage caractérisées par une charge phosphorée que par une charge azotée, et se distinguent en cela des autres stations.

A l'inverse, la station du Dessoubre et encore davantage celle du Cusancin sont placées dans le secteur caractérisé par les nitrates. Les fortes teneurs en nitrates sur ces stations sont à l'origine de ce positionnement.

Les autres stations : Ain, Lison, Rurey, Ornans, ont une position plus proche de l'origine, et ne sont pas discriminée par un paramètre en particulier.

L'ACP interclasse réalisée a permis une première approche dans la classification des stations, en distinguant notamment les sites caractérisés par les nitrates de ceux caractérisés par les matières phosphorées.

### **Influence des facteurs « stations » et « campagne »**

Afin d'étudier plus en détail l'influence des facteurs « campagne » et « station » sur les concentrations des paramètres azotés et phosphorés, une visualisation de la distribution des données sous forme de box plot est proposée pour chacun des paramètres analysés.

Pour tester si les facteurs « campagne » et « station » ont une influence significative sur les concentrations des éléments analysés, des tests de Friedman ont été appliqués. Ce test permet de tester si des échantillons appariés proviennent d'une même population au sens statistique du terme.

Lorsque l'on souhaite par exemple tester le facteur « station », on effectue un appariement des individus par campagne. Lorsque l'on souhaite tester le facteur « campagne », on effectue un appariement par station.

L'hypothèse nulle de ce test est

*H0 : « il n'y a pas de différence de concentrations significative entre les couples de modalités du facteur ».*

(un couple de modalité, dans le cas du test du facteur station est par exemple Cusancin/Dessoubre, ou Mouthier/Rurey etc....)

Lorsqu'une valeur p du test est significative, cela indique qu'au moins une des classes est différente d'au moins une des autres. Dans ce cas, on poursuit l'analyse avec un test « ad hoc » de comparaison multiple qui permet de déterminer quelle classe est différente de quelle autre, en appliquant des analyses couple par couple.

Le tableau suivant présente les résultats des tests de Friedman pour les différents paramètres et pour le facteur « **station** ». En cas de différence significative les résultats du test de comparaison multiple sont également présentés. Une croix symbolise une différence significative pour les couples à laquelle elle est attribuée.

| test d'influence du facteur "station" sur les concentrations en nutriments, avec appariement par campagne |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                                                                                           | résultats du test de Friedman                      |                          |                          |                          |                          |                          |
|                                                                                                           | NKJ                                                | NO3                      | NO2                      | NH4                      | Pt                       | PO4                      |
| friedman chi-square                                                                                       | 9,61                                               | 64,47                    | 39,52                    | 21,86                    | 39,32                    | 36,68                    |
| dégré de liberté                                                                                          | 7                                                  | 7                        | 7                        | 7                        | 7                        | 7                        |
| p-value                                                                                                   | 0,21                                               | 1,91*10-11               | 1,55*10-6                | 0,0026                   | 1,69*10-6                | 5,38*10-6                |
| interprétation                                                                                            | différence non significative                       | différence significative | différence significative | différence significative | différence significative | différence significative |
|                                                                                                           | résultats du test "ad hoc" de comparasion multiple |                          |                          |                          |                          |                          |
|                                                                                                           | NKJ                                                | NO3                      | NO2                      | NH4                      | Pt                       | PO4                      |
| ain-cusancin                                                                                              |                                                    | X                        |                          |                          |                          |                          |
| ain-dessoubre                                                                                             |                                                    | X                        |                          |                          |                          |                          |
| ain-doubs                                                                                                 |                                                    | X                        |                          |                          | X                        |                          |
| ain-lison                                                                                                 |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| ain-mouthier                                                                                              |                                                    |                          |                          |                          | X                        | X                        |
| ain-ornans                                                                                                |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| ain-rurey                                                                                                 |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| cusancin-dessoubre                                                                                        |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| cusancin-doubs                                                                                            |                                                    |                          | X                        |                          |                          |                          |
| cusancin-lison                                                                                            |                                                    | X                        |                          |                          |                          |                          |
| cusancin-mouthier                                                                                         |                                                    | X                        | X                        |                          |                          | X                        |
| cusancin-ornans                                                                                           |                                                    | X                        | X                        |                          |                          |                          |
| cusancin-rurey                                                                                            |                                                    | X                        |                          |                          |                          |                          |
| dessoubre-doubs                                                                                           |                                                    |                          |                          |                          | X                        |                          |
| dessoubre-lison                                                                                           |                                                    | X                        |                          |                          |                          |                          |
| dessoubre-mouthier                                                                                        |                                                    |                          | X                        |                          | X                        | X                        |
| dessoubre-ornans                                                                                          |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| dessoubre-rurey                                                                                           |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| doubs-lison                                                                                               |                                                    | X                        |                          |                          | X                        | X                        |
| doubs-mouthier                                                                                            |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| doubs-ornans                                                                                              |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| doubs-rurey                                                                                               |                                                    |                          |                          |                          | X                        | X                        |
| lison-mouthier                                                                                            |                                                    |                          |                          |                          | X                        | X                        |
| lison-ornans                                                                                              |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| lison-rurey                                                                                               |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |
| mouthier-ornans                                                                                           |                                                    |                          |                          | X                        |                          |                          |
| mouthier-rurey                                                                                            |                                                    |                          | X                        |                          |                          | X                        |
| ornans-rurey                                                                                              |                                                    |                          |                          |                          |                          |                          |

Le tableau suivant présente les résultats des tests de Friedman pour les différents paramètres et pour le facteur « **campagne** ». En cas de différence significative les résultats du test de comparaison multiple sont également présentés.

| test d'influence du facteur "campagne" sur les concentrations en nutriments, avec appariement par station |                               |                          |                          |                          |                              |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                                                                                           | résultats du test de Friedman |                          |                          |                          |                              |                              |
|                                                                                                           | NKJ                           | NO3                      | NO2                      | NH4                      | Pt                           | PO4                          |
| friedman chi-square                                                                                       | 32,89                         | 38,98                    | 45,58                    | 42,03                    | 14,74                        | 14,14                        |
| dégré de liberté                                                                                          | 9                             | 9                        | 9                        | 9                        | 9                            | 9                            |
| p-value                                                                                                   | 0,00014                       | 1,15*10-5                | 7,18*10-7                | 3,24*10-6                | 0,098                        | 0,11                         |
| interprétation                                                                                            | différence significative      | différence significative | différence significative | différence significative | différence non significative | différence non significative |

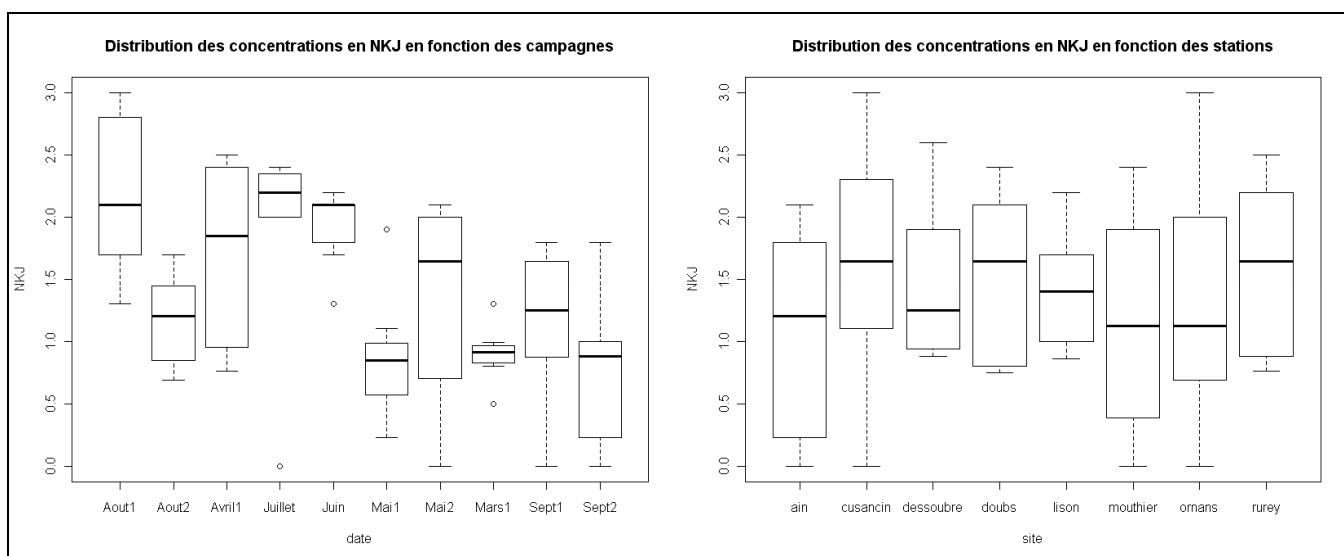
|                | résultats du test "ad hoc" de comparaison multiple |     |     |     |    |     |
|----------------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|
|                | NKJ                                                | NO3 | NO2 | NH4 | Pt | PO4 |
| Aout1-Aout2    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout1-Avril1   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout1-Juillet  |                                                    |     | X   |     |    |     |
| Aout1-Juin     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout1-Mai1     | X                                                  |     |     |     |    |     |
| Aout1-Mai2     |                                                    |     | X   |     |    |     |
| Aout1-Mars1    |                                                    | X   |     |     |    |     |
| Aout1-Sept1    | X                                                  |     |     |     |    |     |
| Aout1-Sept2    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout2-Avril1   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout2-Juillet  |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout2-Juin     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout2-Mai1     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout2-Mai2     |                                                    |     |     | X   |    |     |
| Aout2-Mars1    |                                                    | X   |     |     |    |     |
| Aout2-Sept1    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Aout2-Sept2    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Avril1-Juillet |                                                    |     |     |     |    |     |
| Avril1-Juin    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Avril1-Mai1    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Avril1-Mai2    |                                                    |     | X   |     |    |     |
| Avril1-Mars1   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Avril1-Sept1   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Avril1-Sept2   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juillet-Juin   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juillet-Mai1   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juillet-Mai2   |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juillet-Mars1  |                                                    | X   | X   |     |    |     |
| Juillet-Sept1  |                                                    | X   |     |     |    |     |
| Juillet-Sept2  | X                                                  | X   |     |     |    |     |
| Juin-Mai1      |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juin-Mai2      |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juin-Mars1     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juin-Sept1     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Juin-Sept2     | X                                                  |     |     |     |    |     |
| Mai1-Mai2      |                                                    |     |     |     |    |     |
| Mai1-Mars1     |                                                    |     | X   | X   |    |     |
| Mai1-Sept1     |                                                    |     |     | X   |    |     |
| Mai1-Sept2     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Mai2-Mars1     |                                                    |     | X   | X   |    |     |
| Mai2-Sept1     |                                                    |     |     | X   |    |     |
| Mai2-Sept2     |                                                    |     |     |     |    |     |
| Mars1-Sept1    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Mars1-Sept2    |                                                    |     |     |     |    |     |
| Sept1-Sept2    |                                                    |     |     |     |    |     |



## Azote Kjeldahl

Le test de Friedman ne montre pas de différence significative de concentration d'azote Kjeldahl entre les stations. Le diagramme de type boxplot montre que les moyennes sont assez proches, bien que la gamme de valeur soit plus restreinte sur certaines stations comme celle du Lison.

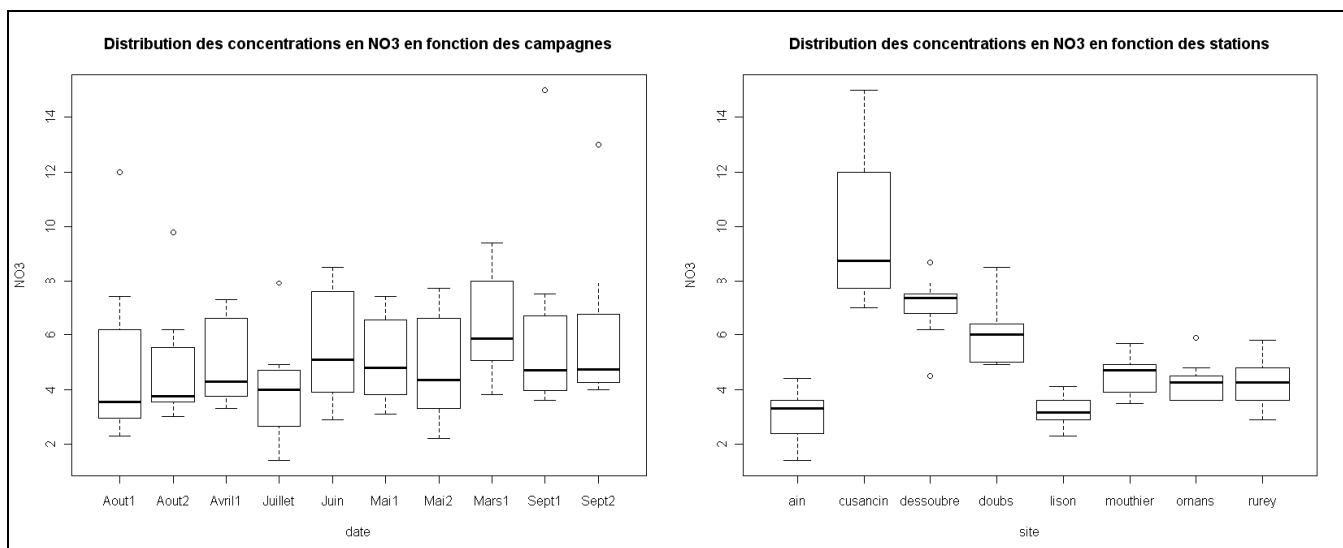
En ce qui concerne les campagnes, le test de Friedman montre une différence significative des concentrations de NKJ. Le test de comparaison multiple indique que les différences significatives s'observent entre les campagnes suivantes : Aout1/Mai1, Aout1/Sept1, Juillet/Sept2 et Juin/Sept 2. Globalement les campagnes Aout1, Juillet et Juin ou les concentrations sont fortes s'opposent aux campagnes Mai1, Septembre 1 et 2 ou les concentrations sont faibles.



## Nitrates

Le test de Friedman portant sur les campagnes montre une différence significative. Le test de comparaison multiple indique que seulement cinq couples de campagne présentent une différence significative. La première campagne de Mars, caractérisée par des fortes concentrations est significativement différente des campagnes de Juillet, Aout 1 et 2, de faible concentrations. La campagne de Juillet est également différente des deux campagnes de Septembre.

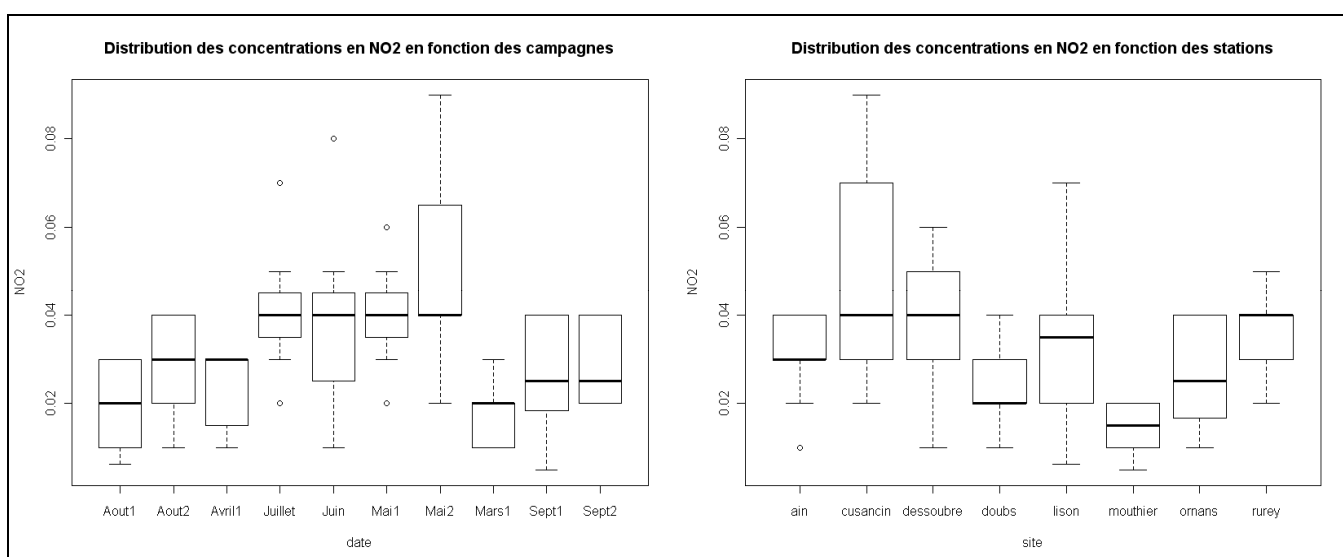
Le test de Friedman portant sur les stations montre une différence significative. Le test de comparaison multiple indique que seulement neuf couples de stations présentent une différence significative. Le Cusancin se différencie des stations de l'Ain, Lison, Mouthier, Ornans et Rurey. Ceci confirme l'observation graphique de concentrations en nitrates significativement plus forte sur le Cusancin. L'Ain et le Lison, caractérisé par des plus faibles teneurs, montrent également une différence significative avec le Doubs et le Dessoubre, où la concentration en nitrates est plus élevée.



## Nitrites

Le test de Friedman indique une différence significative de concentrations en nitrites entre les stations. Les différences significatives concernent notamment le Cusancin, qui diffère des stations du Doubs, de Mouthier et d'Ornans. La station de Mouthier, avec de faibles valeurs, est également différentes des stations de Rurey et du Dessoubre.

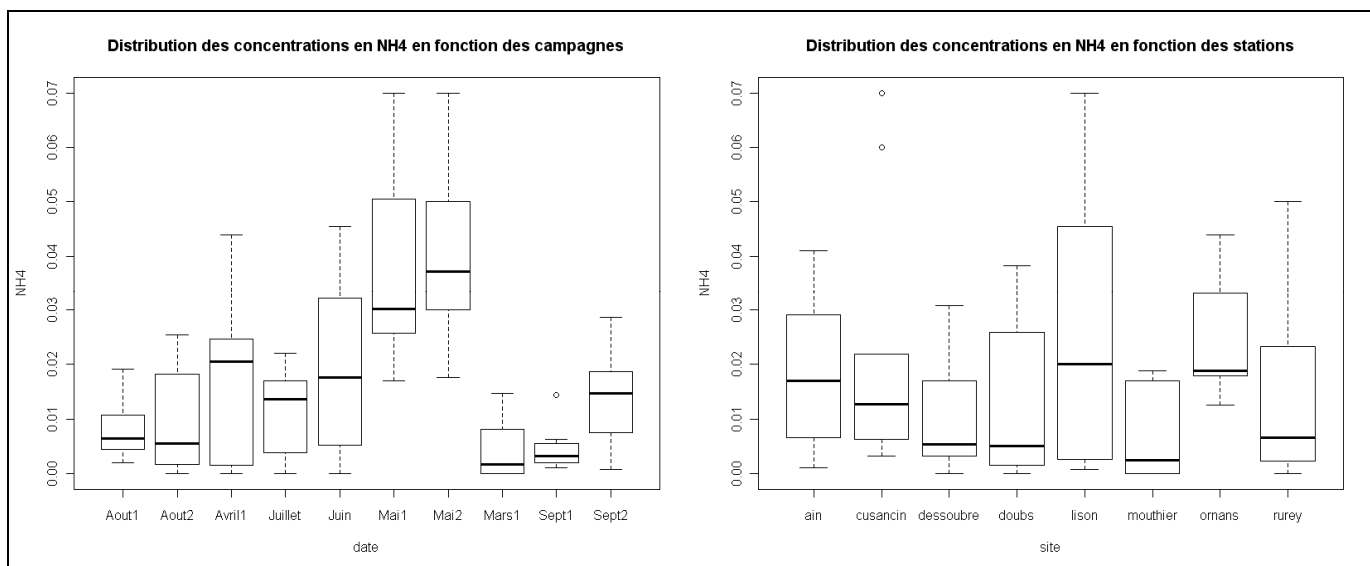
En ce qui concerne les campagnes, le test de Friedman donne également une différence significative. Elle concerne la campagne de Juillet, et les deux campagnes de Mai, dont les valeurs élevées s'opposent aux campagnes de Mars et d'Aout1.



## Ammonium

Le test de Friedman pour les stations présente un résultat significatif. Le test de comparaison multiple indique que seul un couple de station présente une différence significative, le couple Mouthier (faible concentration) et Ornans (forte concentrations). Se sont par ailleurs deux stations situées sur le même cours d'eau. Cette différence significative tend à indiquer un apport d'azote ammoniacal à la Loue entre les deux stations soit « latéral » soit associé à des phénomènes de relargage sédimentaire.

En ce qui concerne les campagnes, le test de Friedman est également significatif. Les différences opposent les deux campagnes de Mai, lors desquelles de fortes concentrations sont mesurées sur toutes les stations, aux campagnes de Mars, septembre 1 et Aout 1, où les valeurs sont plus faibles.

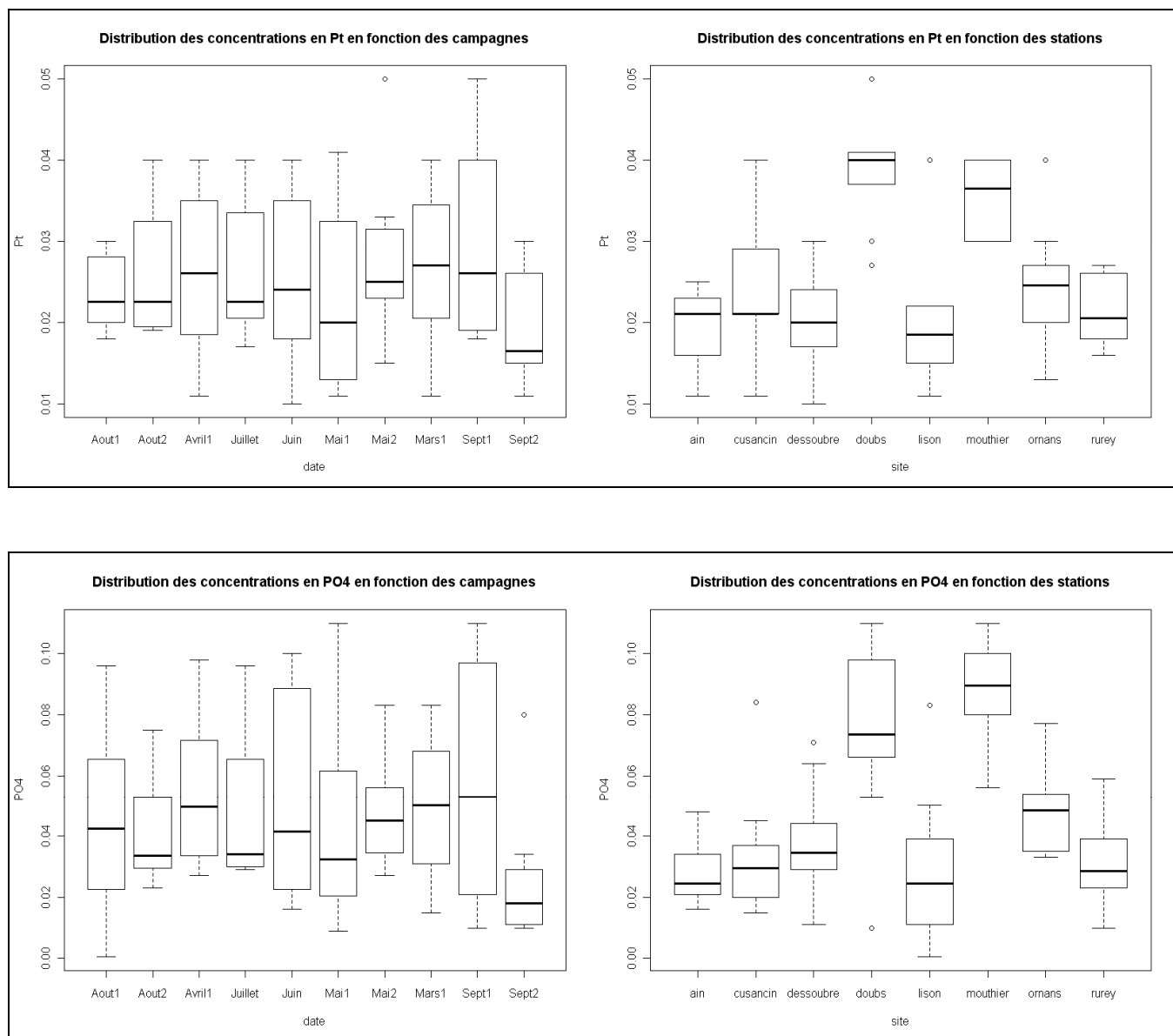


## Phosphore total et phosphates

Pour ces deux paramètres, le test de Friedman avec appariement par station ne montre pas de différence significative entre les campagnes. Les concentrations des éléments phosphorés seraient donc relativement peu variables au cours de l'année, si l'on exclu les épisodes de pics de pollution comme celui observé fin Mai sur l'Ain.

Le teste de Friedman montre par contre une différence significative de concentrations en matières phosphorées entre les stations.

Le test de comparaison multiple appliqué indique que 7 couples de stations montrent une différence significative. Ces couples impliquent tous la station Mouthier ou la station Doubs, qui se distinguent par des concentrations en phosphates significativement plus élevées que sur les autres stations. Cela confirme les résultats obtenus par l'ACP interclasse.



### 3.5.4 Synthèse et discussion sur la qualité chimique

#### 3.5.4.1 Qualité de l'eau en 2011

**Une concentration anormale d'azote kjeldahl dans les cours d'eau** (max : 2,6 mg/l sur le Dessoubre) est mise en évidence. Cette tendance s'accroît par rapport au suivi réalisé en 2006 sur la Loue à Ornans.

Le graphique ci-dessus montre l'évolution longitudinale de l'azote et du phosphore sur la Loue et l'état d'altération du Lison. Les valeurs correspondent aux moyennes des résultats obtenus sur les campagnes effectuées de Mars à Septembre 2011.

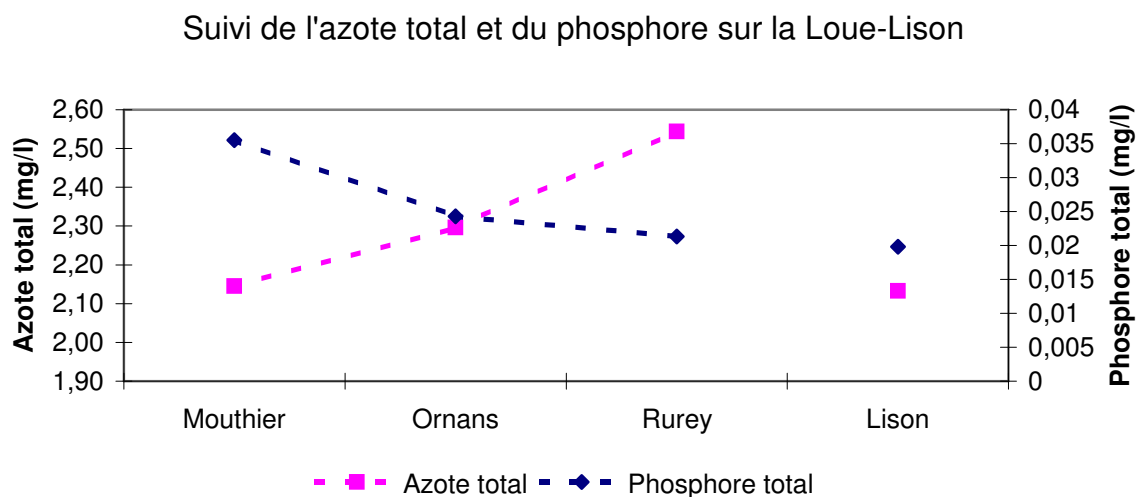


Figure 59 : Evolution de l'azote total et du phosphore total sur la Loue et le Lison

On observe, sur la Loue, une augmentation de l'azote total et une diminution du phosphore total avec l'éloignement à la source. On observe donc un enrichissement longitudinal de la Loue en azote total (apport des affluents + rejets domestiques) associé à un appauvrissement en phosphore total. Ceci est entre autre confirmé par la différence significative des concentrations en ammonium entre Mouthier et Ornans.

On s'interroge bien sûr sur l'impact de la ville de Pontarlier sur la teneur en phosphore total de la Loue à Mouthier. En effet, les prélèvements étant effectués lorsque le débit est stabilisé, le phosphore mesuré ne correspond pas à du phosphore particulaire ruisselé.

En conséquence, on peut l'attribuer essentiellement à des apports industriels ou domestiques.

Il en découle que la baisse du phosphore total sur la Loue peut être attribuée à la localisation des sources majeures d'apports sur le bassin versant de la Source, ensuite consommés par les végétaux aquatiques voire fixés dans la phase sédimentaire.

Quant au Lison, il ne semble pas constituer une source majeure d'azote ou de phosphore complémentaire pour la Loue au moins en période d'été.

Les analyses statistiques ont par ailleurs permis de distinguer deux stations caractérisées par des concentrations en matières phosphorées supérieures aux autres : La Loue à Mouthier et le Doubs à Goumois. Le Cusancin et le Dessoubre sont quant à eux caractérisés par leurs fortes teneurs en nitrates.

Cette évolution longitudinale à l'été du rapport N/P ne définit elle pas également (en lien avec la thermie) un secteur de cours d'eau ou la rapport N/P pourrait s'avérer plus favorable à des proliférations de cyanobactéries ?

### 3.5.4.2 Qualité des sédiments

Au niveau du compartiment sédimentaire, les analyses réalisées, lors de quatre campagnes, indiquent la présence de nutriments en quantité variable dans le sédiment. Des valeurs élevées en phosphore ont été observées sur les stations de Mouthier sur la Loue (max : 900 mg/kg de sed) et de Goumois sur le Doubs (max : 1260 mg/kg de sed). **Ce stock de phosphore sédimentaire est à prendre en compte dans l'explication des phénomènes de prolifération algale. Il peut, à certaines périodes, être relargué dans l'eau en fonction des conditions du milieu (phénomènes de désoxygénation).**

L'analyse fait cependant ressortir une charge phosphorée sédimentaire des 2 cours d'eaux les plus impactés par les problématiques de mortalité piscicole, Loue amont et Doubs franco-suisse... Les nutriments semblent donc bien au cœur de la problématique.

Cet élément est essentiellement apporté par à-coups au cours d'eau lors des épisodes pluvieux. Il provient des lessivages de terres agricoles (labours ou champs présentant de faibles couvertures) ; il a également pour origine les rejets de station d'épuration (non-déphosphatées) et de leur by-pass ou déversoirs en période de saturation des réseaux.

A cet apport direct il faut ajouter des phénomènes plus subtils de fixation et de relargage de phosphore par les sédiments. Cette accumulation dans les sédiments constitue un réservoir potentiel pour les producteurs primaires, dont on ne mesure pas l'ampleur mais qui pourrait prendre une part prépondérante dans les phénomènes estivaux observés.

Le phosphore a la capacité de se fixer aux particules (MES). Dans le sédiment il est immobilisé sous forme d'ions  $\text{PO}_4^{3-}$ , en particulier sur les oxydes de fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ou les carbonates.

D'après Thoumelin (2009), ces phosphates peuvent être libérés par l'intermédiaire de deux processus :

- ✓ La réduction bactérienne des oxydes  $\text{Fe}^{3+}$ ,
- ✓ La réduction bactérienne des ions sulfates en hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Le premier mécanisme dissout le fer sous forme d'ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) et libère ainsi les ions  $\text{PO}_4^{3-}$ . Toutefois, la présence d'oxygène dissous à l'interface eau - sédiment transforme les

ions  $\text{Fe}^{2+}$  en ions  $\text{Fe}^{3+}$ , qui absorbent à nouveau les phosphates. Par contre l'absence d'oxygène dissous empêche la transformation du fer ferreux en fer ferrique et permet de libérer dans l'eau les ions  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Le deuxième processus est la réduction des ions sulfates en hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) suivie de la réduction chimique des oxydes de fer (III) en sulfure de fer (II). Ces derniers ne fixent pas les ions  $\text{PO}_4^{3-}$ . Ceux-ci sont alors disponibles dans l'eau.

On voit ici tout l'intérêt de la mesure de la qualité de l'eau interstitielle du sédiment. (Oxygénation, potentiel redox et nature des formes azotées et phosphorées). Elle permettra de mettre en évidence l'importance de ces phénomènes de mise à disposition des nutriments aux producteurs primaires.

D'après l'étude réalisée en 2006 sur la Loue (Frossard., V), l'enrichissement en phosphore et en azote de la Loue, est particulièrement bien visible dans le compartiment sédimentaire en particulier dans l'analyse de l'eau interstitielle.

Des concentrations en azote 3 fois supérieures et des concentrations en phosphore 20 fois supérieures ont été obtenues dans l'eau interstitielle par rapport à celles obtenues dans l'eau libre. Ces éléments nutritifs présents dans l'eau interstitielle sont théoriquement bio disponibles à court ou moyen terme car transférables dans le cours d'eau par des échanges hydriques entre le milieu hyporéique supérieur et l'eau libre. Les algues benthiques ont la position dans l'écosystème la plus favorable pour capter ces éléments nutritifs lors des échanges eau-sédiment.

Notons enfin que les proliférations algales pourraient interférer sur les phénomènes de transfert eau-sédiment à la fois par leur effet physique de colmatage et par leur effet chimique de consommation de l'oxygène en phase de respiration.

Rappelons que des mesures matinales en pleine eau (Eaux-Continentalles Quingey 2010) montrent des sous saturations majeures (50 à 60 %) en oxygène à l'étiage estival sur la Loue. Ces phénomènes pourraient être amplifiés au contact eau-sédiment.

### 3.5.4.3 Evolution des fertilisations minérales

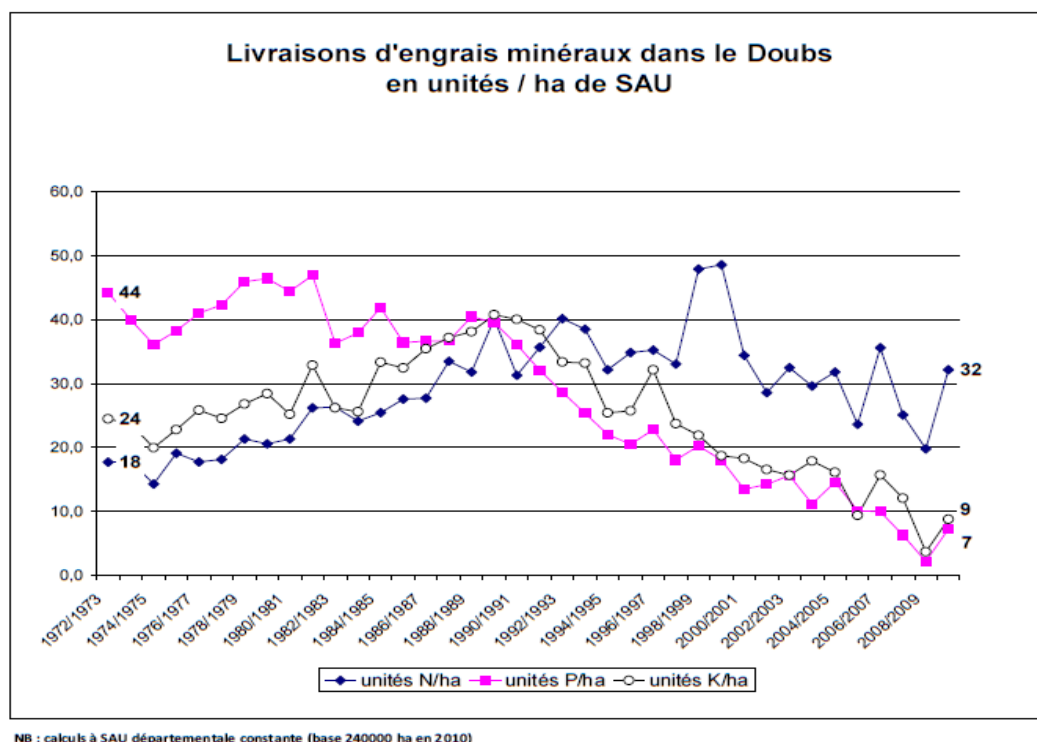


Figure 60 : Evolution des livraisons d'engrais minéraux dans le Doubs. 1973-2010

**On apportait 2.5 fois moins d'azote que de phosphore à la parcelle en 1973. On en apporte désormais 4.5 fois plus en 2010.**

Les livraisons d'engrais minéraux dans le Département du Doubs entre 1973 et 2010 montrent que les apports de phosphore minéral ont été divisés par 6 alors que les apports d'azote minéral ont été multipliés par 2.

Rappelons également que les concentrations en phosphore ont baissé dans les produits lessiviels et que les systèmes de déphosphatation se sont mis en place sur les équipements d'assainissement collectifs les plus importants.

Sur cette même échelle de 40 ans, on ignore comment ont évolué les apports issus des effluents d'élevage en qualité et en volume.

En conséquence : l'évolution temporelle du rapport N/P observée pour les apports d'engrais minéraux à l'échelle du département se retrouve-t-elle pour partie dans l'eau de nos rivières et en particulier dans l'eau de la Loue ?



### 3.5.4.4 Evolution des concentrations en nutriments mesurées à Chenecey

Dans un premier temps, nous avons donc comparé les moyennes estivales de N, de P et du rapport N/P mesurées par Verneaux entre juillet et octobre 1967 et 1972 sur la station de Chenecey à ces mêmes valeurs mesurées à l'entrée de l'usine AEP de Chenecey entre 2005 et 2010.

|             | 1967-1972 | 2005-2010 |
|-------------|-----------|-----------|
| NO3 (mg/l)  | 0.9       | 6         |
| NNO3 (mg/l) | 0.20      | 1.34      |
| PO4 (mg/l)  | 0.28      | 0.04      |
| PPO4 (mg/l) | 0.09      | 0.01      |
| NNO3/PPO4   | 2.22      | 134       |

*Verneaux1973 : moyenne des valeurs diurne entre juillet et octobre 1967-1972 NNO3/PPO4*

*Eaux Continentales 2011 : moyenne des valeurs diurnes juillet-octobre 2005-2010 rapport NNO3/PP04*

**Tableau 83 : Moyennes estivales d'azote et de phosphore**

Dans l'eau à Chenecey , la concentration moyenne en nitrate à l'été est passée de 0.9 à 6 mg/l; elle a donc été multipliée par 6.

La concentration moyenne en phosphate à l'été est passée de 0.28 à 0.04 et a donc été divisée par 7. (action combinée à minima par la réduction des apports minéraux agricoles et du phosphore issu des rejets domestiques).

La concentration en éléments azotés dans les cours d'eau présente des valeurs plus élevées que celle observée dans les années 1970, alors que la concentration en éléments phosphorés diminue.

Le rapport N/P est quant à lui passé des années 1970 à 2010 de 2 à 130 et à donc été multiplié par 65.

Les tendances observées entre 1972 et 1990 sur l'emploi des engrais minéraux à l'échelle du département du Doubs semblent confirmées dans l'eau de la Loue à Chenecey avec l'augmentation nette de la concentration en nitrate et diminution nette de la concentration en phosphate en période d'été.

Cette évolution de la concentration des différents nutriments est à priori susceptible de modifier la représentation globale et relative des différentes espèces d'algues (en fonction de leurs spectres écologiques respectifs).

L'azote dont les concentrations moyennes ont été multipliées à l'été par 6 dans la Loue à Chenecey ne semble actuellement pas pouvoir être limitant pour les algues (les taxons nitrophiles semblent cependant pouvoir être favorisés ).

## 4 Discussion

L'objectif de ce chapitre est de faire, dans la mesure du possible, le lien entre les résultats obtenus concernant la qualité chimique de l'eau et le développement des algues et cynaobactéries.

### 4.1 Relation algues nutriments

On remarque que le fonctionnement des 5 rivières étudiées est semblable. Les proliférations des algues filamenteuses ont été observées sur toutes les stations, à des degrés plus ou moins importants.

La présence d'éléments nutritifs dans l'eau est détectée avec des concentrations variables suivant les stations et entre chaque campagne. Toutefois, sur la plupart des cours d'eau, il faut noter que l'échantillonnage ponctuel de la qualité de l'eau ne rend pas compte des fluctuations possibles des nutriments entre les campagnes de terrain. Sur la Loue, les concentrations en éléments azotés et phosphorés, obtenues lors de cette étude et les valeurs du suivi de l'AEP de Chenecey confirment la présence en quantité importante de nutriments dans l'eau.

Malgré une charge en phosphore et en azote dans l'eau libre en adéquation avec les critères de bonne qualité d'eaux proposées dans la directive cadre sur l'eau, les teneurs mesurées sont théoriquement suffisantes pour permettre les développements algaux. D'après la synthèse bibliographique de l'Agence de l'eau (1997) *Vaucheria* se développe à partir d'une concentration de 0,5 mgN/l et *Cladophora* pourrait se développer à partir de quelques dizaines  $\mu\text{g/l NO}_3$  (Nauleau 0. 1988). Cette dernière valeur, qui n'est pas issue de la recherche fondamentale, doit être considérée avec circonspection.

Les valeurs d'azote total observées durant l'étude sont bien au-dessus des limites basses permettant a priori le développement des algues filamenteuses.

Le phosphore est quant à lui considéré comme l'élément limitant dans les références bibliographiques. Des valeurs minimales de 0,2 mg P/l pour la croissance de *Vaucheria* et 0,03 mg P/l pour *Cladophora* sont généralement données.

- Le seuil de 0,03 mg P/l pour *Cladophora* n'est jamais dépassé sur le Dessoubre, ce qui pourrait permettre d'expliquer la présence très sporadique de *Cladophora* sur ce cours d'eau et confirmerait ainsi les propos de la littérature.

- Le seuil de 0.2 mg P/l n'est jamais atteint sur les stations suivies. Hormis sur l'Ain (valeur maximale enregistrée). Les concentrations en phosphore enregistrées, très faibles pour l'ensemble des stations, permettent néanmoins, le développement et la prolifération de *Vaucheria*. Elle semble donc avoir des besoins en phosphore inférieurs à ceux indiqués par la littérature. On rappellera cependant que ce taxon a la capacité d'accumuler les nutriments lorsqu'ils sont en excès. Il se peut, alors que la présence temporaire de phosphore dans l'eau, permette la prolifération de *Vaucheria* par des phénomènes de stockage de nutriments dans les tissus de la plante

De plus, il apparaît, d'après le suivi des sédiments qu'une importante réserve de nutriments peut être potentiellement disponible pour les algues.

En effet, les analyses sur les sédiments indiquent la présence d'éléments nutritifs en quantité élevée pour certaines stations. Ces résultats suggèrent que le compartiment sédimentaire peut constituer un réservoir et peut être à l'origine, lors des phases d'étiage, d'un soutien en éléments nutritifs à la fois pour l'eau libre et pour les algues, qui ont la position dans l'écosystème la plus favorable pour capter les nutriments.

Le tableau ci-dessus montre les valeurs minimales, maximales et les moyennes de l'azote total, des nitrates, du phosphore total, des phosphates et de la biomasse algale mesurées pour chaque station.

| Stations  |         | Azote total | Nitrates | Phosphore total | Phosphates | Biomasse |
|-----------|---------|-------------|----------|-----------------|------------|----------|
| Mouthier  | Min     | 1,07        | 3,5      | 0,02            | 0,03       | 11,93    |
|           | Max     | 3,28        | 5,7      | 0,04            | 0,11       | 3079,39  |
|           | Moyenne | 2,15        | 4,6      | 0,03            | 0,08       | 850,64   |
| Ornans    | Min     | 0,87        | 3,6      | 0,01            | 0,02       | 16,2     |
|           | Max     | 3,82        | 5,9      | 0,04            | 0,077      | 1464,65  |
|           | Moyenne | 2,30        | 4,4      | 0,02            | 0,05       | 577,56   |
| Rurey     | Min     | 1,66        | 2,9      | 0,01            | 0,01       | 37,59    |
|           | Max     | 3,50        | 6,5      | 0,027           | 0,059      | 1472,48  |
|           | Moyenne | 2,54        | 4,5      | 0,02            | 0,03       | 830,59   |
| Doubs     | Min     | 2,09        | 4,9      | 0,027           | 0,01       | 19,64    |
|           | Max     | 4,02        | 8,5      | 0,05            | 0,11       | 1402,7   |
|           | Moyenne | 2,91        | 6,2      | 0,04            | 0,08       | 606,72   |
| Dessoubre | Min     | 2,56        | 4,5      | 0,01            | 0,011      | 28,28    |
|           | Max     | 4,28        | 9,1      | 0,029           | 0,071      | 2544     |
|           | Moyenne | 3,08        | 7,3      | 0,02            | 0,04       | 1124,24  |
| Cusancin  | Min     | 2,54        | 7        | 0,011           | 0,015      | 0,12     |
|           | Max     | 5,72        | 15       | 0,04            | 0,084      | 676,74   |
|           | Moyenne | 3,85        | 9,7      | 0,02            | 0,03       | 123,86   |
| Lison     | Min     | 1,67        | 2,3      | 0,011           | 0,0005     | 5,26     |
|           | Max     | 2,77        | 4,1      | 0,04            | 0,083      | 335,08   |
|           | Moyenne | 2,13        | 3,2      | 0,02            | 0,03       | 70,47    |
| Ain       | Min     | 0,33        | 1,4      | 0,011           | 0,016      | 17,09    |
|           | Max     | 2,81        | 4,4      | 0,2             | 0,59       | 175,53   |
|           | Moyenne | 1,85        | 3,1      | 0,04            | 0,08       | 79,96    |

**Tableau 80 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des nutriments et de la biomasse**

Il est impossible sur la base de ces valeurs fragmentaires (car obtenues dans des conditions très proches de débits) de faire un lien définitif entre biomasse produite et concentration en nutriment.

Nous sommes en outre en présence d'associations d'espèces variables, chacune ayant ses propres capacités à se développer et à produire une biomasse spécifique élevée.

Nous sommes enfin également en conditions variables d'éclairement et de facteurs du milieu délicats à quantifier.

Quelques observations sont cependant apportées à partir des tableaux ci-dessous.

Chaque concentration est classée selon son rang (1 à 8) dans l'ensemble des valeurs comparables. Le rang 1 correspond à la valeur maximale. Le rang 8 à la valeur minimale.

Un rang moyen est établi par moyenne des rangs min, maxi, et moyen de chaque paramètre.

| Stations     |                | N total  |            | Nitrates |            | NN (org+NH <sub>4</sub> + NO <sub>2</sub> ) |            | Phosphates |            | Biomasse |            |
|--------------|----------------|----------|------------|----------|------------|---------------------------------------------|------------|------------|------------|----------|------------|
|              |                | Rang     | Rang moyen | Rang     | Rang moyen | Rang                                        | Rang moyen | Rang       | Rang moyen | Rang     | Rang moyen |
| Mouthier     | Min            | 6        |            | 5        |            | 4                                           |            | <b>1</b>   |            | 6        |            |
|              | Max            | 6        | 7          | 6        | 4          | 5                                           | 4          | 3          | <b>1</b>   | <b>1</b> | 3          |
|              | Moyenne        | 6        |            | 4        |            | 4                                           |            | 3          |            | 2        |            |
| Ornans       | Min            | 7        |            | 4        |            | 3                                           |            | 2          |            | 5        |            |
|              | Max            | 4        | 5          | 5        | 4          | 6                                           | 5          | 6          | 3          | 4        | 5          |
|              | Moyenne        | 5        |            | 6        |            | 5                                           |            | 4          |            | 5        |            |
| Rurey        | Min            | 5        |            | 6        |            | 6                                           |            | 6          |            | <b>1</b> |            |
|              | Max            | 5        | 4          | 4        | 4          | 4                                           | 6          | 8          | <b>8</b>   | 3        | 2          |
|              | Moyenne        | 4        |            | 5        |            | 6                                           |            | 8          |            | 3        |            |
| Doubs        | Min            | <b>1</b> |            | 2        |            | 2                                           |            | 6          |            | 3        |            |
|              | Max            | 3        | 3          | 3        | 3          | 3                                           | 2          | 3          | 3          | 5        | 4          |
|              | Moyenne        | 3        |            | 3        |            | 3                                           |            | 3          |            | 4        |            |
| Dessoubre    | <b>Min</b>     | 3        |            | 3        |            | 5                                           |            | 7          |            | 2        |            |
|              | <b>Max</b>     | <b>1</b> | 2          | <b>2</b> | 2          | 2                                           | 3          | 7          | 6          | 2        | <b>1</b>   |
|              | <b>Moyenne</b> | 2        |            | 2        |            | 2                                           |            | 5          |            | <b>1</b> |            |
| Cusancin     | Min            | 2        |            | <b>1</b> |            | <b>1</b>                                    |            | 4          |            | <b>8</b> |            |
|              | Max            | <b>1</b> | <b>1</b>   | <b>1</b> | <b>1</b>   | <b>1</b>                                    | <b>1</b>   | 4          | 5          | 6        | 7          |
|              | Moyenne        | <b>1</b> |            | <b>1</b> |            | <b>1</b>                                    |            | <b>8</b>   |            | 6        |            |
| <b>Lison</b> | <b>Min</b>     | 4        |            | 7        |            | <b>8</b>                                    |            | <b>8</b>   |            | 7        |            |
|              | <b>Max</b>     | <b>8</b> | 7          | <b>8</b> | 7          | <b>8</b>                                    | <b>8</b>   | 5          | 7          | 7        | <b>8</b>   |
|              | <b>Moyenne</b> | 7        |            | 7        |            | 8                                           |            | <b>8</b>   |            | <b>8</b> |            |
| Ain          | Min            | <b>8</b> |            | <b>8</b> |            | 7                                           |            | 3          |            | 4        |            |
|              | Max            | 7        | <b>8</b>   | 7        | <b>8</b>   | 7                                           | 7          | <b>1</b>   | <b>1</b>   | <b>8</b> | 6          |
|              | Moyenne        | <b>8</b> |            | <b>8</b> |            | 7                                           |            | 3          |            | 7        |            |

Tableau 81 : Classement des stations pour les éléments nutritifs et la biomasse

La station de Mouthier qui présente la biomasse maximale la plus forte (rang 1) du suivi montre la teneur minimale en phosphate la plus forte (rang 1) et le rang moyen le plus fort (rang 1). *Vaucheria* est le taxon dominant de cette station.

La station de l'Ain (amont pont de Châtillon) qui présente la biomasse maximale la plus faible (rang 8) du suivi montre la teneur maximale en phosphate la plus forte (rang 1. valeur accidentelle) et le rang moyen le plus fort. Cette biomasse faible est associée à des teneurs (moyennes mini et maxi) en azote total et nitrates parmi les plus faibles du suivi (rangs 7 et 8). *Vaucheria* et *Cladophora* sont les taxons dominants de cette station.

La station du Dessoubre à Saint Hippolyte qui présente la biomasse moyenne la plus forte du suivi présente des concentrations mini-maxi faibles en phosphates (rang 7), mais des concentrations moyennes soutenues en phosphates associées à des concentrations fortes en azote (rang 2). *Vaucheria* est le taxon dominant.

La station du Lison (aval Cussey sur Lison) qui présente la biomasse moyenne la plus faible du suivi (rang 8) présente les concentrations en phosphate moyenne et minimale les plus faibles (rang 8) associées à des concentration en azote également parmi les plus faibles (rang 7 et 8). *Vaucheria* est le taxon dominant.

Si l'on ne s'intéresse qu'aux valeurs moyennes

| <b>Rang</b>      | <b>N total</b> | <b>Nitrates</b> | <b>NN (org+NH4+ NO2)</b> | <b>Phosphates</b> | <b>Biomasse</b> |
|------------------|----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Mouthier</b>  | 6              | 4               | 4                        | 3 (1)             | 2               |
| <b>Ornans</b>    | 5              | 6               | 5                        | 4                 | 5               |
| <b>Rurey</b>     | 4              | 5               | 6                        | 8                 | 3               |
| <b>Doubs</b>     | 3              | 3               | 3                        | 3 (1)             | 4               |
| <b>Dessoubre</b> | 2              | 2               | 2                        | 5                 | <b>1</b>        |
| <b>Cusancin</b>  | <b>1</b>       | <b>1</b>        | <b>1</b>                 | <b>8</b>          | 6               |
| <b>Lison</b>     | 7              | 7               | 8                        | <b>8</b>          | <b>8</b>        |
| <b>Ain</b>       | <b>8</b>       | <b>8</b>        | 7                        | 3 (1)             | 7               |

**Tableau 82 : Classement des stations selon les moyennes**

La station du Dessoubre qui développe la biomasse moyenne la plus forte montre un rang moyen pour les phosphates associé à un rang élevé pour l'azote : des concentrations moyennes en phosphates (0.04 mg/l) suffisent à des productions maximales quand l'azote (Ntotal 3.08mg/l NNO3 7.3 mg/l) est bien présent.

La station du Cusancin qui développe une biomasse moyenne (basse) montre un rang faible pour les phosphates associé à une forte concentration maximale en azote. On serait tenté de dire qu'une forte concentration en azote n'est pas suffisante pour développer une forte

biomasse mais d'autres facteurs environnementaux semblent agir sur cette station (vitesse d'écoulement, profondeur, éclaircissement)

La station du Lison (aval Cussey sur Lison) qui développe la biomasse moyenne la plus faible montre un rang faible à la fois pour le phosphate et les formes azotées.

Les stations de la Loue à Mouthier, du Doubs à Goumois, et de l'Ain à Châtillon qui présentent les concentrations moyennes les plus fortes en phosphates développent des biomasses moyennes variables.

**D'après l'analyse des résultats, afin de diminuer les développements algaux, il est important de limiter l'apport des éléments nutritifs au cours d'eau, puisque les algues prolifèrent dans des conditions de forte trophie et qu'elles ne sont plus compétitives lorsque les conditions nutritionnelles deviennent moins riches (Mainstone C., et Parr W., 2002, dans Frossard 2006).**

## 4.2 Relation cyanobactéries nutriments

L'analyse des chroniques de données disponibles sur la Loue à Chenecey a indiqué une très nette augmentation du rapport N/P. Celui-ci est passé des années 1970 à 2010 de 2 à 130 et a donc été multiplié par 65.

D'après la littérature, le rapport N/P est très important dans l'apparition des développements des cyanobactéries. Au cours de cette étude, les rapports N/P, présentés ci-dessous, n'ont jamais été situés en dessous de 29 sauf pour le Dessoubre (fin Mai. N/P = 11,54).

Les plus forts développements de Cyanobactéries potentiellement toxiques observés (>180 000 cell/ml sur les galets) sont exprimés dans le tableau suivant.

| Cell/ml   | 11/04   | 23/08   | 05/09   | 26/09   | 01/12     |
|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Rurey     |         |         | 296 000 | 282 000 | 1 000 000 |
| Goumois   |         | 198 000 |         |         |           |
| Dessoubre |         |         | 183 000 | 301 000 |           |
| Cusancin  | 188 000 |         |         |         |           |

Tableau 84 : Concentration en cyanobactéries potentiellement toxiques

Le rapport N/P correspondant mesuré de façon instantanée lors du prélèvement est surligné en caractère gras dans le tableau 85.

| Date      | 10/03 | 11/04      | 03/05 | 23/05 | 15/06 | 07/07 | 03/08 | 23/08 | 05/09     | 26/09      | 01/12      |
|-----------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|------------|
| Mouthier  | 73    | 109        | 41    | 54    | 69    | 75    | 90    | 35    | 62        | 65         | 129        |
| Ornans    | 112   | 84         | 153   | 137   | 80    | 282   | 382   | 132   | 86        | 95         | 183        |
| Rurey     | 111   | 350        | 144   | 292   | 343   | 286   | 230   | 132   | <b>96</b> | <b>99</b>  | <b>206</b> |
| Doubs     | 64    | 47         | 82    | 69    | 100   | 88    | 111   | 63    | 45        | 113        | 58         |
| Dessoubre | 95    | 212        | 121   | 12    | 281   | 83    | 254   | 190   | <b>57</b> | <b>135</b> | 356        |
| Cusancin  | 44    | <b>175</b> | 130   | 220   | 277   | 275   | 182   | 219   | 84        | 97         |            |
| Lison     | 143   | 216        | 270   | 295   | 351   | 343   | 428   | 311   | 90        | 135        |            |
| Ain       | 171   | 401        | 219   | 126   | 395   | 410   | 572   | 352   | 112       | 192        |            |

Tableau 85 : Rapport N/P

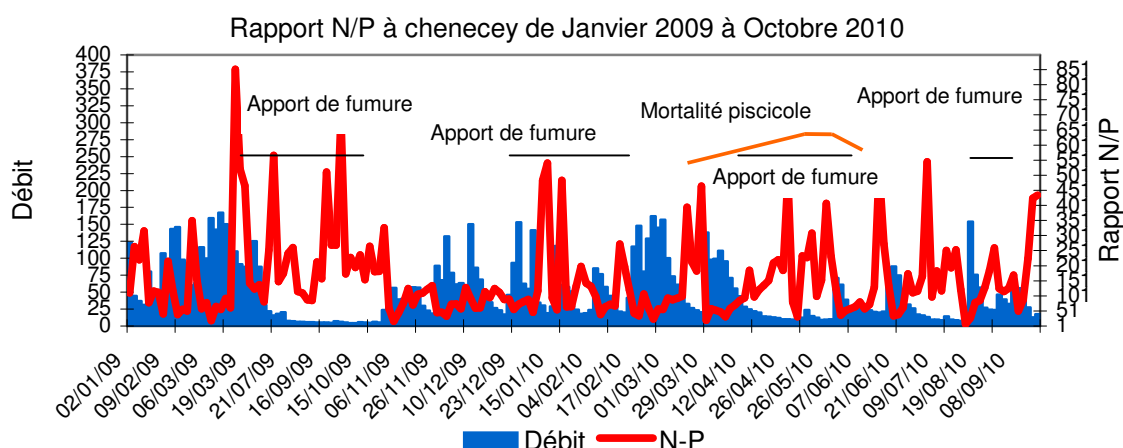
Le caractère ponctuel des mesures ne permet de confirmer l'hypothèse d'une corrélation entre rapport N/P faible et développement de cyanobactéries en 2011.

Si l'on se rapporte au suivi des cyanobactéries 2010 sur la station de Chenecey (4 campagnes de prélèvements), et que l'on analyse parallèlement les rapports N/P mesurés sur la station AEP de la Ville de Besançon, il apparaît que la période de plus fort développement observé de cyanobactéries sur les galets correspond à une période d'une dizaine de jours à N/P bas.

| Date     | N/P    | [ ] cyanobactéries<br>Pot. toxiques sur<br>Galet en cell/ml | Date     | N/P    | [ ] cyanobactéries<br>Pot. Toxiques sur<br>Galet en cell/ml | Date     | N/P    | [ ] cyanobactéries<br>Pot. toxiques sur<br>Galet en cell/ml |
|----------|--------|-------------------------------------------------------------|----------|--------|-------------------------------------------------------------|----------|--------|-------------------------------------------------------------|
| 05/02/10 | 98,22  |                                                             | 12/04/10 | 94,66  |                                                             | 18/06/10 | 35,06  |                                                             |
| 08/02/10 | 38,80  |                                                             | 13/04/10 | 185,79 |                                                             | 21/06/10 | 39,06  |                                                             |
| 09/02/10 | 65,01  |                                                             | 14/04/10 | 97,22  |                                                             | 23/06/10 | 63,07  |                                                             |
| 10/02/10 | 72,76  |                                                             | 15/04/10 | 120,88 |                                                             | 24/06/10 | 173,97 |                                                             |
| 11/02/10 | 67,37  |                                                             | 19/04/10 | 136,23 |                                                             | 25/06/10 | 111,46 |                                                             |
| 15/02/10 | 272,84 |                                                             | 20/04/10 | 151,96 |                                                             | 28/06/10 | 116,77 |                                                             |
| 16/02/10 | 197,70 |                                                             | 21/04/10 | 210,51 |                                                             | 29/06/10 | 165,36 | 14 168 (galet)                                              |
| 17/02/10 | 120,51 |                                                             | 23/04/10 | 220,38 |                                                             | 01/07/10 | 545,69 |                                                             |
| 18/02/10 | 42,99  |                                                             | 26/04/10 | 185,25 |                                                             | 08/07/10 | 97,86  |                                                             |
| 19/02/10 | 34,54  |                                                             | 27/04/10 | 492,16 |                                                             | 09/07/10 | 183,20 |                                                             |
| 22/02/10 | 107,45 |                                                             | 28/04/10 | 80,59  |                                                             | 12/07/10 | 117,43 |                                                             |
| 23/02/10 | 60,82  |                                                             | 30/04/10 | 32,11  |                                                             | 20/07/10 |        | 9 000 (galet)                                               |
| 24/02/10 | 24,24  |                                                             | 07/05/10 | 233,79 |                                                             | 13/07/10 | 251,63 |                                                             |
| 25/02/10 | 56,97  |                                                             | 14/05/10 | 228,48 |                                                             | 15/07/10 | 194,27 |                                                             |
| 26/02/10 | 55,66  |                                                             | 17/05/10 | 308,32 |                                                             | 16/07/10 | 253,27 |                                                             |
| 01/03/10 | 93,10  |                                                             | 19/05/10 | 99,77  |                                                             | 30/07/10 | 122,21 |                                                             |
| 03/03/10 | 88,10  |                                                             | 26/05/10 | 152,95 |                                                             | 03/08/10 | 7,72   |                                                             |
| 04/03/10 | 93,58  |                                                             | 27/05/10 | 407,54 |                                                             | 16/08/10 | 27,63  |                                                             |
| 05/03/10 | 100,16 |                                                             | 28/05/10 | 231,60 |                                                             | 19/08/10 | 78,49  |                                                             |
| 08/03/10 | 394,71 |                                                             | 31/05/10 | 124,87 |                                                             | 20/08/10 | 86,34  |                                                             |
| 10/03/10 | 212,75 |                                                             | 01/06/10 | 37,38  |                                                             | 23/08/10 | 128,28 | 34 515 (galet)                                              |
| 11/03/10 | 183,40 |                                                             | 02/06/10 | 51,81  |                                                             | 24/08/10 | 185,41 |                                                             |
| 12/03/10 | 464,68 |                                                             | 03/06/10 | 57,80  |                                                             | 27/08/10 | 259,85 |                                                             |
| 29/03/10 | 19,59  |                                                             | 04/06/10 | 64,26  |                                                             | 30/08/10 | 125,46 |                                                             |
| 30/03/10 | 58,61  |                                                             | 07/06/10 | 80,92  |                                                             | 31/08/10 | 116,10 |                                                             |
| 01/04/10 | 53,13  |                                                             | 08/06/10 | 58,02  |                                                             | 01/09/10 | 126,06 |                                                             |
| 02/04/10 | 47,99  |                                                             | 11/06/10 | 72,44  | 363 700 (galet)<br>42 (eau)                                 | 08/09/10 | 170,03 |                                                             |
| 06/04/10 | 32,00  |                                                             | 14/06/10 | 129,14 |                                                             | 09/09/10 | 50,59  |                                                             |
| 07/04/10 | 59,21  |                                                             | 15/06/10 | 521,20 |                                                             | 10/09/10 | 88,00  |                                                             |
| 08/04/10 | 70,78  |                                                             | 16/06/10 | 272,46 |                                                             | 13/09/10 | 224,49 |                                                             |
| 09/04/10 | 86,08  |                                                             | 17/06/10 | 135,13 |                                                             |          |        |                                                             |

**Tableau 86 : Evolution Rapport N/P et développement des cyanobactéries**





**Figure 61 : Evolution du Rapport N/P**

Les périodes du 04/11/2009 au 07/01/2010 puis du 18/02 au 04/03/2011 et du 29/03 au 09/04 2011 présentaient des caractéristiques comparables mais aucune analyse simultanée de cyanobactéries n'a été réalisée.

On rappelle que les observations de mortalités piscicoles se sont échelonnées de janvier à Mai 2010 avec un pic en Avril (données ONEMA : étude des peuplements de poissons sur 4 stations de la Loue. Octobre 2010.....)

### **4.3 Notions d'auto-épuration et de pollution différée**

D'après Capblancq (2002), la synthèse de 100g de matière organique végétale, correspondant à environ 500 g de poids frais, nécessite 50 g de carbone, 7 g d'azote et 1 g de phosphore. On peut alors calculer la quantité d'azote et de phosphore qui a été captée par les algues lors de la phase de croissance maximale.

|           | Biomasse (g/m <sup>2</sup> ) | Carbone (g/m <sup>2</sup> ) | Azote (g/m <sup>2</sup> ) | Phosphore (g/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Mouthier  | 3079                         | 307,9                       | 43,1                      | 6,16                          |
| Ornans    | 1119                         | 111,9                       | 15,67                     | 2,24                          |
| Rurey     | 1472                         | 147,2                       | 20,61                     | 2,94                          |
| Doubs     | 533                          | 53,3                        | 7,46                      | 1,07                          |
| Dessoubre | 1644                         | 164,4                       | 23,02                     | 3,29                          |
| Cusancin  | 676                          | 67,6                        | 9,46                      | 1,35                          |
| Lison     | 72                           | 7,2                         | 1                         | 0,14                          |
| Ain       | 143                          | 14,3                        | 2                         | 0,29                          |

**Tableau 87 : Résultats de la fixation des nutriments par les algues**

Le calcul a été réalisé en prenant les valeurs de biomasses maximales observées sur chaque station. On remarque que les algues contiennent une fraction importante d'azote et de

phosphore à l'intérieur des cellules. Or, lors de la dégénérescence, cette matière organique va se retrouver dans l'eau et se dégrader pour relarguer les éléments nutritifs. L'azote organique va alors subir des transformations avec des passages par des formes transitoires (ammonium, nitrite) pour terminer sous la forme nitrate. Les deux formes les plus assimilables par les algues. Ainsi, le phénomène de prolifération peut se maintenir plus en aval.

L'importance des algues dans le milieu aquatique est due à leur situation à la base du cycle biologique existant dans l'eau. Elles constituent le point de départ de la chaîne alimentaire. En utilisant l'énergie lumineuse, elles sont, mises à part quelques bactéries, les seuls organismes qui synthétisent des hydrates de carbone et de la matière organique à partir des éléments minéraux dissous dans le milieu. Une petite partie des algues est consommée par les phytoplanctophages, vers, crustacés, alevins et certaines espèces de poissons adultes.

Toutefois l'autre partie des algues, non consommée, contient des substances qui redeviennent, dans la plupart des cas, disponibles dans le cycle biologique de l'eau. Or, d'après les biomasses importantes qui ont été estimées dans cette étude, d'importante quantité d'éléments nutritifs sont stockées dans les algues. Ces nutriments stockés dans les cellules seront à un moment ou à un autre relargués dans l'eau. En effet, une redistribution des nutriments s'opère quand ces algues arrivent en fin de cycle (TESTARD,1995). Ces éléments nutritifs seront de nouveau disponible pour les organismes primaires ou stockés dans les sédiments.

## **5 Suite à donner à cette étude**

Nous proposons ici sur la base du retour d'expérience de cette étude 2011, des modifications différenciées des protocoles appliqués dont l'objectif est d'atteindre un meilleur rapport coût/efficacité des analyses mises en place.

### **5.1 Le concept général**

L'analyse comparative sur la base de prélèvements simultanés des cours d'eau apporte des éléments pertinents sur les dynamiques des peuplements algaux et permet de définir des aptitudes variables à produire des algues au sens large selon les stations et selon les cours d'eau. Elle pourra permettre à terme de définir des gammes de productivité pour les cours d'eau franc-comtois et d'isoler les facteurs déterminants de ces proliférations.

L'approche paraît en tous cas plus productive que des études concentrées sur un seul et même cours d'eau.

### **5.2 Le choix des stations**

Il apparaît que les résultats obtenus sur une seule station ne peuvent en aucun cas être généralisés à l'ensemble d'un cours d'eau. Une grande partie des nutriments étant apportés par les bassins versants, la localisation des stations de suivi intègre les apports des affluents majeurs s'ils existent, des rejets ou le simple éloignement à la source principale du cours d'eau.

Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour la mise en place des stations de suivi :

- 1 seule station à proximité (1 km) de la source principale permettrait de jauger de l'intensité de l'apport de nutriments au cours d'eau.
- 2 stations aux environs de la source principale et aux environs de la confluence avec une rivière de gabarit supérieur permettraient de préciser une capacité auto-épuratrice de la rivière, la différence d'aptitude à produire étant alors synthétique de cette consommation. Celle-ci pourrait d'ailleurs être rapportée au linéaire de cours d'eau concerné. (et remplacée dans le contexte du réseau hydrographique du cours d'eau).
- un effort supplémentaire à 3 stations (ou +) peut permettre de préciser les phénomènes (auto-épuration sur la haute vallée et sur la basse vallée) voire d'isoler des particularités dues au réseau hydrographique.

*Remarque :* l'étude comparative fine des recouvrements-biomasses et des conditions mésologiques sur des stations particulières pourraient apporter des connaissances complémentaires à la problématique algue. Ainsi nos expérimentations 2011 montrent une différence visible à l'œil des recouvrements sur la Loue à l'aval de la confluence du Maine. Si l'effet température est à priori déterminant, il serait intéressant de montrer ou non la stabilité

des autres paramètres physico-chimiques. Ainsi sur ce site l'application du protocole de suivi algal réalisé simultanément dans le flux du Maine et dans le flux de la Loue pourrait apporter des éléments pertinents à la compréhension des mécanismes mis en jeu.

L'objectif de ces préconisations n'est pas nécessairement de réaliser une étude 2 à 3 fois plus importantes en termes de stations de suivi. Ces remarques impliquent donc la nécessité de faire des choix de cours d'eau et peut-être donc de se concentrer sur ceux présentant les phénomènes de mortalités de poissons les plus accentués. La Loue, Le Doubs franco-suisse, l'Ain voire le Lison. (à discuter).

### **A titre d'exemple :**

**Sur l'Ain :** les résultats obtenus sur la station de Châtillon ne peuvent être extrapolés à l'ensemble du linéaire amont. Une station en amont de Champagnole (si mortalité) et une autre dans le secteur intermédiaire situé entre Champagnole et Montigny-sur-l'Ain permettraient d'appréhender la problématique de la haute vallée.

**Sur le Cusancin,** l'observation a montré des secteurs de très fortes proliférations à l'aval de Guillon les Bains. Une station supplémentaire sur ce secteur pourrait être représentative des apports de la haute Vallée (Bassin Versant supérieur). Quant à la station actuelle elle a montré une réponse particulière aux développements d'algues

**Sur le Lison,** l'aval de Nans sous Sainte-Anne ou l'amont de Myon sont 2 sites qui permettraient d'établir une référence correspondant à l'impact du bassin versant amont sur le cours d'eau.

**Sur le Dessoubre,** 1 station aval Gigot serait intéressante. 1 station complémentaire à Cour Saint Maurice permettrait de segmenter le cour d'eau.

Les stations sur **la Loue** intègrent bien les différentes perturbations de la haute vallée. Une station complémentaire sur le linéaire Lombard-Rennes sur Loue où les phénomènes sont moins accentués pourrait être intéressante.

La station Ornans a montré une réponse tardive de forts développements des biomasses et recouvrements qui pourrait être due à l'ombrage. La possibilité de déplacer cette station vers l'aval pourrait être envisagée.

### **Cas particulier :**

**Sur le Doubs,** l'expérimentation a montré une réponse originale de la station de Goumois (absence de pics de production algale) à rapporter au fonctionnement général des barrages hydro-électriques (éclusées et qualité d'eau)

Pour appréhender ces dynamiques ici complexes il faudrait :

- une station de référence amont qui pourrait être placée à l'amont de Morteau. Elle permettrait de comparer les cycles de croissance et les biomasses obtenues.

Le tronçon naturel entre le saut du Doubs et l'emprise du Chatelot aurait été intéressant mais il est très court et présente certainement des caractéristiques physiques et chimiques

particulières (on rappelle que ce secteur est soumis aux problématiques de mortalités). Une visite de terrain préliminaire s'impose pour définir du choix de la station de référence.

- 2 stations encadrant Biaufond. (impact différencié de la gestion des 3 ouvrages) sur la dynamique algale.

Il paraît également indispensable de réaliser des colonnes d'eau régulières au point le plus profond des retenues (pied d'ouvrage). Les analyses à réaliser seront à minima les formes azotées et phosphorées, le COD, le COT, l'oxygénation, la conductivité et le pH. Le pas de mesure pourrait être celui du suivi algues avec une campagne préliminaire supplémentaire.

**Dans le cadre du choix des stations, l'appréciation de l'éclairement reçu doit être apprécié plus finement. Recherche de capteurs adaptés.**

### **5.3 Le pas de mesure**

Le suivi des développements algaux a été réalisé sur un pas de mesures de trois semaines qui doit être conservé. Il permet une bonne observation de l'évolution des peuplements d'algues.

### **5.4 Le suivi des algues filamenteuses**

Le protocole de prélèvement des algues (cf § II.5) utilisé lors de cette étude est à remettre en place pour les futurs suivis.

Toutefois, certaines modifications peuvent être apportées afin d'obtenir des informations complémentaires et de limiter les biefs.

Tout d'abord, il faut rapporter la biomasse moyenne des trois prélèvements par strate à une superficie prélevée. (et définir sur chaque sûrber le recouvrement correspondant).

Ensuite, le RSSC (Résidu Sec Sans Cendre) peut être ajouté au protocole actuel afin d'obtenir la biomasse réellement produite.

Enfin, ajouter sur une station les mesures d'azote total et de phosphore total dans les algues principales à savoir *Vaucheria*, *Cladophora* et *Spirogyra*.

*Remarque* : les mesures de profondeur, substrat, vitesse, distance à la rive la plus proche effectués sur chaque prélèvement visent dans l'esprit à préciser les conditions de développement des algues. Elles ne sont pas explicatives des phénomènes (l'origine des proliférations reste à chercher dans l'abondance des nutriments et/ou le déficit des consommateurs primaires). Elles seraient intéressantes dans le cadre d'un suivi spécifique des taxons qui n'est pas envisagé dans le cadre de cette étude.

La définition du spectre écologique **des espèces proliférantes** rentre dans le cadre d'une autre étude qui mériterait d'être menée (bibliographie, recherche de stations épargnées, mesures de terrain..)

Il n'en demeurerait pas moins intéressant de définir sur nos 3 stations types s'échelonnant sur un cours d'eau (Loue par exemple) si nous avons à faire à l'intérieur d'un même genre à une

seule espèce ou à plusieurs se succédant au long du continuum. *On se doute de la réponse mais on ne possède pas l'information.*

## 5.5 Le suivi des cyanobactéries

Protocole appliqué :

L'échantillonnage de l'eau et des substrats a été réalisé au centre du chenal, lors de 9 campagnes.

Pour les prélèvements benthiques, à l'aide d'un filet à plancton (20  $\mu\text{m}$ ), on gratte la surface d'un sûrber (1/20<sup>ème</sup> de  $\text{m}^2$ ), sur les premiers centimètres de galets ou graviers de petit diamètre afin de pouvoir les mettre dans un flacon. On prélève également de la même manière des végétaux ou des bryophytes.

Les remarques formulées par Bi-eau sont pertinentes sur 2 points :

La surface réellement échantillonnée comparativement aux dimensions des organismes recherchés peut s'avérer nettement variable d'un prélèvement à un autre selon que le substrat est plus ou moins grossier.

Il faut modifier le prélèvement pour obtenir une surface d'analyse aussi uniforme que possible.

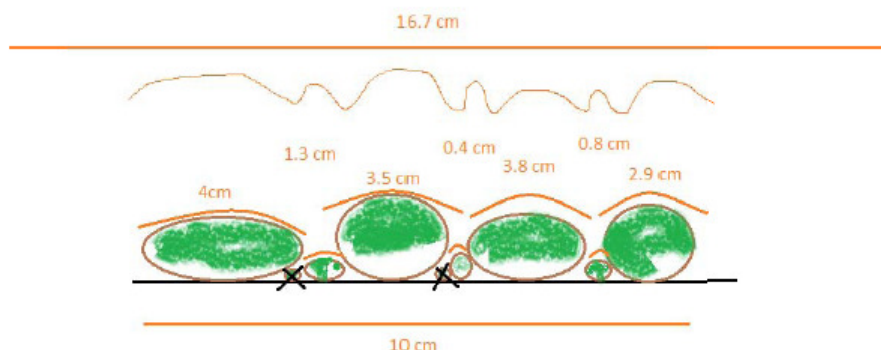


Figure 62 : Schéma d'un linéaire de 10 cm de galets, déployé et ramené à 16.7 cm

Le protocole de base pourrait donc être celui de Cazaubon A. et Dandelot S 2006. inspiré des travaux de Fayolle 1998. Il s'agit d'utiliser un carré souple de 10 cm x 10 cm, de le plaquer sur un bloc pour en délimiter la surface, puis de gratter celle-ci au scalpel. Le « jus » qui coule est récupéré dans une boîte en plastique. On recommence l'opération 5 fois en versant toujours le matériel dans la même boîte soit l'équivalent de 100  $\text{cm}^2$ . Il faudra par la suite compléter avec de l'eau cette suspension d'algues dans une fiole jaugée pour parvenir à un volume précis. Elle servira de solution mère à toutes les analyses.

*Remarque :* le grattage est efficace sur les substrats minéraux mais n'est pas concluant sur les substrats végétaux. L'analyse des substrats végétaux semble devoir être abandonnée dans le cadre d'une estimation quantitative fine des cyanobactéries.

De même une certaine stabilité des substrats étant requise, on peut se concentrer sur les galets pierres de tailles supérieures à 10 cm<sup>2</sup> ou blocs.

L'expérimentation 2011, fourniture de 2 échantillons comparables en termes de substrat vitesse profondeur, prélevés en 2 endroits différents de la station, pour étude comparative à Bi-eau montre une forte variabilité de la représentation quantitative des différents taxons.

Ces résultats doivent cependant être pondérés puisque le prélèvement réalisé au sûrber ne permet pas une stricte reproduction de la surface échantillonnée.

On peut donc envisager de multiplier un prélèvement type pour définir le nombre d'échantillons nécessaire à l'établissement d'un échantillon moyen stable en termes d'espèces et de densité.

On peut également envisager de transformer une surface de grattage unique de 100 cm<sup>2</sup> en plusieurs surfaces de x cm<sup>2</sup> (4x25 ou 5x 20 cm<sup>2</sup>) réparties sur la station type 2 habitats dominants 3 accessoires.....

- Comparaison des résultats obtenus entre les laboratoires Bi-eau et Aqua-gestion sur la campagne commune de prélèvements de cyanobactéries.

Les deux prestataires utilisent des méthodes différentes :

- 1 approche globale (Aqua-gestion), une tendance générale, groupes dominants observés dans le biofilm,
- 1 approche fine (Bi-eau), une liste floristique quantifiée exhaustive.

Les prix ne sont pas également les mêmes :

- 88 euros pour Aqua-gestion
- 110 euros sur eau + 185 sur benthos soit 295 euros pour Bi-eau.

### **En synthèse :**

Il faut conserver à minima le prélèvement dans l'eau et sur le substrat minéral. Le prélèvement de végétaux n'autorise pas une quantification stricte des organismes du biofilm.

Le protocole de prélèvement du substrat minéral doit être adapté.

Il faut être certain de la détermination spécifique des cyanobactéries.

Un protocole allégé type Aqua-gestion peut suffire à prévenir des proliférations de cyanobactéries dans le cadre d'un système d'alerte. On rappelle en parallèle que prolifération ne signifie pas présence de toxines.

La constitution de liste floristique exhaustive et quantitative est intéressante. Les coûts augmentent et il faut peut-être envisager de limiter cette approche fine à un nombre réduit de stations.

## **5.6 Le suivi des cyanotoxines**

Dans le cadre du suivi des mortalités piscicoles, il semblerait pertinent de pouvoir suivre directement la présence de toxine dans l'eau.

Pour l'heure l'analyse de toxine a été réalisée dans un cadre sanitaire de protection des populations (AEP Chenecey, et plusieurs périodes de forte abondance de cyanobactéries).

A notre connaissance aucune analyse n'a été réalisée en période hivernale de mortalité...

Les analyses réalisées à ce jour par l'A.R.S ont été confiées au laboratoire Bio-Critt à Limoges : ENSIL - technopôle ESTER - 16 rue Atlantis - 87068 Limoges cedex. Les cyanotoxines recherchées étaient : microcystine-LR, microcystine-RR, microcystine-YR, nodularine, anatoxine-a, saxitoxine et cylindrospermopsine.

Le prix de l'analyse était de l'ordre de 350 EUR HT.

Il faudrait donc envisager en période de mortalité des prélèvements de cyanobactéries couplés à des analyses de cyanotoxines si une présence importante de cyanobactérie est avérée (dans l'eau ou sur le fond).

## **5.7 L'IBMR (Indice Biologique Macrophyte Rivière)**

Cet indice n'apporte pas d'éléments complémentaires pertinents à notre problématique. Il peut être abandonné dans le cadre de ce suivi.

## **5.8 L'IBD (Indice Biologique Diatomique)**

Cet indice appliqué lors de plusieurs campagnes tend globalement à définir les peuplements diatomiques de notre échantillon de cours d'eau comme de bonne qualité. Il montre cependant des résultats plus pénalisants sur les campagnes tardives automnales et hivernales et à ce titre contribue à la compréhension des altérations.

En outre les commentaires relatifs aux exigences globales des taxons sont intéressants et susceptibles d'être utilisés sous réserve d'en extraire au mieux l'information.

La réalisation d'une campagne automnale tardive surtout lorsqu'elle est couplée avec des conditions d'étiage prolongées reste donc intéressante.

L'autre piste à explorer serait après avoir défini précisément le protocole de prélèvement, d'appliquer le logiciel OMNIDIA à la liste floristique obtenue par l'analyse du biofilm (surface de prélèvement égale). L'échantillonnage du biofilm étant réalisé dans des conditions



d'habitat différentes (écoulement lentique), l'échantillon moyen pourrait révéler la présence de taxons moins exigeants.

## **5.9 Le suivi physico-chimique**

### **5.9.1 Sur l'eau**

Le suivi physico-chimique a apporté des éléments intéressants. Le suivi des paramètres réalisé lors de cette étude doit être de nouveau mis en place. Il permet une comparaison « transversale » de la qualité de l'eau des cours d'eau mettant en évidence des points communs et des singularités qui peuvent être explicatives.

Il serait intéressant sur une ou deux stations judicieusement choisies d'établir un suivi nyctéméral des concentrations en oxygène et du pH dans la masse d'eau mais aussi à proximité voire sous la couche d'algues. Le nombre de campagnes reste à définir. On envisage à minima une campagne en période de fort développement.

Ce suivi permettra de comprendre le fonctionnement sous le tapis algal et pourra peut-être de mettre en évidence la présence de période d'anoxie et de possibilité de relargage d'éléments azotés et phosphorés par les sédiments.

### **5.9.2 Sur le sédiment**

Au regard des informations apportées par les campagnes sédiments, il faut poursuivre le suivi, de ce compartiment lors de chaque campagne afin de détecter les périodes de relargage et de stockage de l'azote et du phosphore.

La réalisation d'un suivi simultané du sédiment à la source du Doubs (faible perturbation anthropique) permettra d'obtenir une valeur de référence.

### **5.9.3 Sur l'eau interstitielle des bancs alluvionnaires**

Un programme parallèle de la qualité de l'eau interstitielle doit être mis en place sur les bancs alluvionnaires (zone de frayères à salmonidé) de nos cours d'eau. Le caractère fonctionnel de ces alluvions dans l'auto-épuration et dans la fixation des nutriments laisse présager de profondes modifications des conditions physico-chimiques de ces milieux (apports excessifs d'azote kjeldahl et de nitrates). Elles pourraient être explicatives (en partie) de la faible réussite du frai des salmonidés sur différents cours d'eau et de l'abondance désormais réduite de la faune invertébrée à l'échelle régionale.

## 6 Conclusion

L'ensemble des investigations réalisées durant l'année 2011 et le début d'année 2012 a permis de suivre l'évolution des proliférations algales sur six cours d'eau franc-comtois.

Les différentes campagnes réalisées mettent en évidence des conditions favorables pour la prolifération des algues filamenteuses sur l'ensemble des cours d'eau. Sur la Loue, ces développements sont présents sur l'ensemble du linéaire.

Le recouvrement moyen et la biomasse moyenne sont relativement élevés sur certains sites et faibles sur d'autres (Aval Cussey sur Lison, Amont Pont de Châtillon et Aval Pont les Moulins).

*Cladophora* et *Vaucheria* sont les deux taxons présentant les plus forts pourcentages de recouvrement et les plus fortes biomasses sur la majorité des stations. Seul le Cusancin à l'aval de Pont les Moulins, se singularise avec *Spirogyra* comme taxon dominant.

Le développement des algues constitue une source de pollution différée, du fait de leur non-intégration dans l'édifice trophique. Ces proliférations apparaissent comme une réaction de « l'individu cours d'eau » vis-à-vis d'une surcharge en éléments nutritifs, parfois inhibée plus ou moins fortement par les conditions du milieu.

Concernant les cyanobactéries, ces dernières ont été détectées à des concentrations plus faibles qu'en 2010 sur le substrat et n'ont pas été retrouvées dans la masse d'eau. Toutefois, parmi les taxons identifiés, les genres potentiellement toxiques représentent une part importante des cyanobactéries observées. La station de Rurey semble être le site le plus impacté vis-à-vis de ces proliférations, notamment à partir de début Septembre.

Le suivi des paramètres chimiques a permis de mettre en évidence un enrichissement prononcé de l'eau par les formes azotées notamment l'azote kjeldahl et les nitrates, malgré des concentrations en éléments nutritifs dans l'eau en accord avec les seuils de bonne qualité d'eau (Seq-Eau et DCE).

La présence d'azote organique en excès dans l'eau touche l'ensemble des stations et traduit une charge excessive provenant des bassins versants.

Au niveau des sédiments, les valeurs localement élevées en nutriment azote ou phosphore semblent pouvoir participer à l'altération de la qualité de l'eau (phases de relargage) et entretenir les proliférations algales.

Sous les algues, les variations nyctémérales de l'oxygène dissous et du pH sont susceptibles de modifier les échanges eau-sédiment.

## 7 Bibliographie

AFNOR., 2003. *Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)*.NF T90-395, 29 p.

AFNOR. *Détermination de l'indice biologique Diatomique (IBD)*. NF T 90-354.

Agence de l'eau., 1997. *Biologie et écologie des espèces végétales proliférant en France. Synthèse bibliographique*. 202 p.

AQUASCOP., 1989. *Caractérisation des facteurs déterminants la proliférations des algues filamenteuses en rivières courantes*. 67 p + ann.

BAILLY G., VADAM JC., VERGON JP., 2004. *Guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques*. DIREN Franche-Comté, 158 p.

BANQUE HYDRO. Disponible sur <http://www.hydro.eaufrance.fr>

BARBE J., 1984. *Les végétaux aquatiques, données biologiques et écologiques. Clés de détermination des macrophytes de France*. Bulletin Français de Pisciculture, 42 p.

BAUD J.B., 2009. *Etude des proliférations algales et du développement des végétaux aquatiques sur le Drugeon. Evolutions spatiales et temporelles*. Rapport Master 2, Université de Franche-Comté, 50 p + ann.

BAUD J.B., GESELL A., 2011. *Contribution au suivi des développements algaux de 6 rivières franc-comtoises*. SYNUSIE-EAU, 30 p.

BIGGS B., 2000. *New Zealand périphyton guideline. Detecting, Monitoring, Managing Enrichment of streams*. 124 p.

BRIENT L., VEZIE C., BERTRU G., 2001. *Evaluation des efflorescences à cyanobactéries dans des eaux de cours d'eau et plans d'eau bretons*. Université de Rennes IU.M.R. Ecobio 6553, DIREN Bretagne, 82 p.

CAPBLANCQ J., DECAMPS H., 2002. *L'eutrophisation des eaux continentales : questions propos d'un processus complexe*. NATURES SCIENCES sociétés, vol.1.0, n ° 2, 6-17, 12 p.

COURTY C., RODRIGUEZ S., 2010. *Note sur la qualité hydrobiologique (macro-invertébrés, macrophytes et diatomées) de la Loue - stations de Mouthier-Haute-Pierre et de la Piquette – année 2010*. DREAL Franche-Comté, 24 p.

DCE., 2000. Communauté Européenne Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 Octobre 2000. Journal Officiel des Communautés Européennes. L327.

DECOURCIERE H., 1998. *Situation typologique et qualité écologique actuelles de l'hydrosystème Haute-Loue*, Rapport D.E.S.S. Université de Franche-Comté, 50 p.

DEGIORGI F., VERGON J.P., PERIAT G., 2006. *Protocole standard de mesures des colmatages algaux*, Note technique, 4 p.

DE HARO L., 2008. *Risque sanitaires lors de prolifération de cyanobactéries*. Comité de coordination de toxico-vigilance, Direction générale de la santé, 20 p.

DIREN Franche-Comté Service de l'eau et des milieux naturels., 1993. *Prolifération algales dans la haute vallée du Doubs*. 4p.

DODDS W., 2003. *The role of periphyton in Phosphorus retention in shallow freshwater aquatic system*. Journal of Phycology, Vol. 39, Issue 5, 840 p.

DUBOIS M., 2009. *Phosphore total dans les sédiments du lac Trouers*. RAPPEL, 12 p.

DUMONT V., 2006. *Etude des cyanobactéries dans la rivière Tarn : campagne été 2005*. CRT/CRITT Bio-Industries, 40 p.

FROSSARD V., 2006. *Etude des proliférations algales sur la Loue-été 2006*. Syndicat mixte de la vallée de la Loue, 50 p.

FROSSARD V., PORNON M., LAINE P., 2008. *Etudes des proliférations algales sur la basse rivière d'Ain, phase I : été 2008*. Maison de l'eau et de la pêche de Corrèze, 87 p.

GRASMUCK N., 1994. *La végétation aquatique des cours d'eau de Lorraine: typologie floristique et écologique. Contribution à l'étude de l'autoécologie des espèces de la flore aquatique lorraine*. Thèse de doctorat : Sci. vie : Université de Metz. 219 p.

GUIMARD N., MAZZARINO S., 2003. *Prolifération des algues macroscopiques des végétaux aquatiques en Franche-Comte. Elaboration d'un protocole et éléments d'interprétation*. Rapp. Master 2 QTBEV, Univ. Fr. Comt. 43 p + ann.

HALLOIN N., 1984. *Charge minérale et prolifération algale*, rapport DESS, Université de Tours, 59 p.

LAVOIE I., I LAURION., A WARREN., W-F VINCENT., 2007. *Les fleurs d'eau de cyanobactéries, revue de littérature*. INRS, rapport n° 916, xiii, 124 p.

MARTIN J., 2006. *Proposition de stratégie d'intervention pour lutter contre les cyanobactéries dans les eaux de surface*. Rapport Master 2, Université de Limoges, 52 p.

McMEEKIN K., 2009. *Le bilan de phosphore du lac Bromont : vers l'identification des activités humaines causant les blooms de cyanobactéries*. Mémoire, maîtrise en science de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 96 p.

MONESTIER T., 2006. *La problématique cyanobactéries sur le bassin versant de la Dordogne. Etude de cas : retenue de Bort les Orgues*. Rapport Master 2, Université Balise Pascal, 99 p.

NAULEAU O., 1988. *Les conditions de développement des algues dulcicoles à formation macroscopiques. Analyse bibliographique et suivi du développement algal sur le Doubs supérieur*. Rapport DESS, Université de Franche-Comté, 82 p.

NISBET M., VERNEAUX J., 1970. *Composantes chimiques des eaux courantes, discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques*. 30 p.

ONEMA., 2010. *Etude des peuplements de poissons sur 4 stations de la Loue*. 56p.

PELTRE M-C., A DUTARTRE., J BARBE., J HAURY., S MULLER., M OLLIVIER., 2002. *Les proliférations végétales aquatiques en France : caractères biologiques et écologiques des principales espèces et milieux propices. II Impact sur les écosystèmes et intérêt pour le contrôle des prolifération*. Bull. Fr. Pêche Piscic.365/366, p 259-280.

RODRIGUEZ S. & VERGON J.P., 1996. *Guide pratique de détermination générique des algues macroscopiques d'eau douce*. Rapport d'étude pour le compte du ministère de l'environnement. Diren Franche-Comté, Besançon, Ministère de l'environnement, 110 p.

ROLLAND A., 2003. *L'apparition de blooms hépatotoxiques dans les cantons de l'Est, Québec : L'influence des facteurs environnementaux et de la présence de cyanobactéries potentiellement toxique*. Mémoire, maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal, 71p.

SARAZIN G., QUIBLIER-LLOBERAS C., BERTRU G., BRIENT L., VEZIE C., BERNARD C., COUTE A., HENNION M-C., ROBILLOT C., TANDEAU DE MARSAC N., 2002. *Première évaluation du risque toxique liés aux cyanobactéries d'eau douce en France : le programme EFFLOCYA*. Revue des science de l'eau 15/1, 315-326, 12 p.

SEQ EAU., 2003. *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Grilles d'évaluation Seq-eau (version 2)*. Ministère de l'écologie et du développement durable et Agence de l'eau, 40 p.

SILVANO J., 2005. *Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis-à-vis des animaux domestiques et sauvages*. Ecole nationale vétérinaire de Lyon, Université Claude-Bernard – Lyon 1, 116 p.

TESTARD P., 1995. *Rôle des macrophytes littoraux dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres*. pp.296-326

THOUMELIN G., 2009. *Les échanges eau-sédiment : devenir et mobilité du phosphore*. 4<sup>ème</sup> rencontre scientifique de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, 4 p.

TOMCZAK J., 2004. *Synthèse bibliographique, Eutrophisation et proliférations végétales en milieu continental*. Rapport DESS, Université de Franche Comté. 50 p.

VACELET E., 2008. *Etude du développement algal et des micropolluants de la Loue*. Rapport Master 2, Université de Franche-Comté. 50 p.

VERNEAUX J., 1973. *Cours d'eau de Franche Comte. Recherche sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie*. Thèse d'Etat, Université de Franche-Comté, 275 p.

VERNEAUX J., VERGON J.P., 1974. *A propos d'un processus d'autoépuration des cours d'eau par les algues benthiques filamenteuses*. Société hydrotechnique de France XIII<sup>ème</sup> journées de l'Hydraulique, 7p.