



**HAL**  
open science

## Caractérisation des profils de disponibilité en oxygène dans les zones hyporhéiques de petits cours d'eau

Philippe Namour

► **To cite this version:**

Philippe Namour. Caractérisation des profils de disponibilité en oxygène dans les zones hyporhéiques de petits cours d'eau. 7ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Jan 2016, Saint-Nazaire, France. hal-01280224

**HAL Id: hal-01280224**

**<https://hal.science/hal-01280224>**

Submitted on 29 Feb 2016

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

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

# Caractérisation des profils de disponibilité en oxygène dans les zones hyporhéiques de petits cours d'eau

Philippe Namour<sup>1,3</sup>, Marie-Noëlle Pons<sup>2</sup>, Yuhai Zhang<sup>2</sup>, Nouceiba Adouani<sup>2</sup>, Pascal Breil<sup>3</sup>, Pierre Marmonier<sup>4</sup>, Antonin Vienney<sup>4</sup>, François Guérold<sup>5</sup>, Philippe Wagner<sup>5</sup>, Emmanuelle Montarges-Pelletier<sup>6</sup>, Christophe Hissler<sup>7</sup>, Jean-François Iffly<sup>7</sup>, Gilles Guibaud<sup>8</sup>

<sup>1</sup>*Institut des Sciences Analytiques, UMR CNRS 5280, 5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne, France*

<sup>2</sup>*Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, UMR CNRS 7274, Université de Lorraine, BP 20451, 54001 Nancy cedex, France*

<sup>3</sup>*Irstea, 5, rue de la Doua, 69100, Villeurbanne, France*

<sup>4</sup>*LEHNA, UMR CNRS 5023, Université de Lyon 1, 43 Bld du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne cedex, France*

<sup>5</sup>*LIEC, UMR CNRS 7360, Université de Lorraine, rue du Général Delestraint, 57070 Metz cedex, France*

<sup>6</sup>*LIEC, UMR CNRS 7360, Université de Lorraine, 15 av. du Charmois, 54500 Vandoeuvre-les-Nancy, France*

<sup>7</sup>*LIST, avenue des Hauts-Fourneaux, Belval, 4362 Esch-sur-Alzette, Luxembourg*

<sup>8</sup>*GRESE, Université de Limoges, 123, avenue Albert Thomas, 87060 Limoges cedex, France*

*marie-noelle.pons@univ-lorraine.fr*

## **Abstract** *Monitoring of oxygen availability in small river hyporheic zone using wooden sticks*

The deployment of wooden sticks to evaluate the profile of oxygen availability in the hyporheic zone small rivers is described. The colors taken by the wood after one month exposure are related to the prevalent oxido-reduction conditions. Various methods have been used to understand the origin of the color and the parameters, other than oxygen, that can contribute to the color variations.

## **1. Introduction**

Dans les cours d'eau, l'interface entre le sol et l'eau, appelée zone hyporhéique, joue un rôle important dans les processus d'autoépuration car une partie importante de l'activité métabolique s'y déroule [1]. L'activité métabolique est pilotée en grande partie par la concentration en oxygène dissous et le potentiel d'oxydo-réduction. Sur le terrain, le profil d'oxygène n'est pas facile à déterminer. Dans le cadre du protocole CARHYCE mis en œuvre par l'ONEMA pour la caractérisation hydromorphologique des cours d'eau des baguettes de bois (pin) sont insérées dans la zone hyporhéique pour déterminer ce profil d'oxygénation

[2]. En 2004 Marmonier et al. [3] avaient montré que les « couleurs » (jaune, noire, grise) observées sur le bois après un séjour de quelques semaines dans le cours d'eau étudié pouvait permettre d'évaluer la limite inférieure de la zone aérobie. Cependant la cause de cette coloration (dépôt d'éléments métalliques sous forme d'oxydes ou de sulfures ? modification de la composition organique du bois ?) n'est pas encore clairement établie pour toutes les situations rencontrées. Pour renforcer le potentiel d'utilisation de cette technique simple, une étude systématique dans des cours d'eau plus ou moins anthropisés s'écoulant sur des sols de nature géologique différente a été réalisée.

## 2. Matériels et méthodes

Des baguettes de pin de section 6 mm x 13 mm (Leroy-Merlin, France) et de longueur 30 cm ont été préparées. Elles sont repérées à l'aide d'un transpondeur RFID en verre (10 mm x 2 mm) (Biolog-id, Bernay, France). Elles ont été implantées dans la zone hyporhéique de différents cours d'eau en Lorraine (Vosges, plateau Lorrain, côtes de Meuse, etc.), en région lyonnaise (Est Lyonnais, Bugey), en Limousin et au Luxembourg (Figure 1).

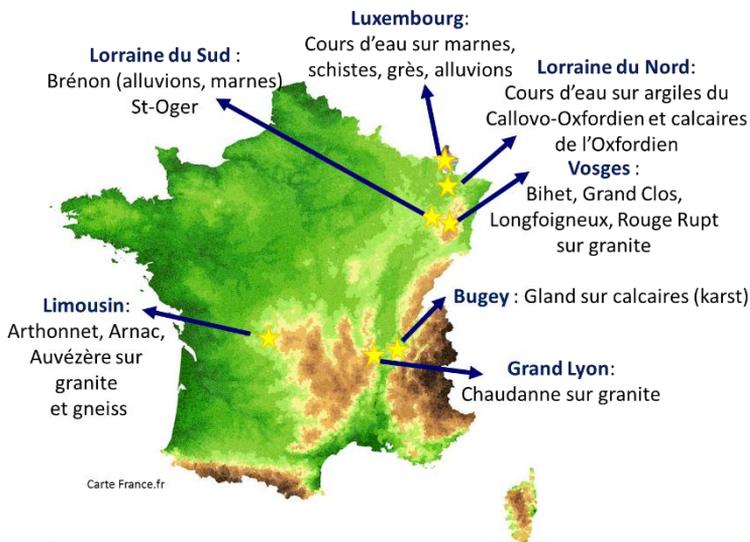


Figure 1 : Sites expérimentaux

Après un séjour de quatre à six semaines dans le cours d'eau, elles sont récupérées, enveloppées dans un film plastique pour éviter le dessèchement et transportées rapidement au laboratoire pour y être scannées (résolution spatiale de 300 dpi, 16 millions de couleurs en mode RVB) (Figure 2). Deux scanners ont été utilisés : Epson Perfection V4490 à Nancy et Epson Perfection V700 à Villeurbanne. Pour étalonner les deux scanners, des cartes Munsell ont été utilisées. Le traitement des images a été effectué avec le logiciel Visilog 6.9. (FEI, Lyon).



Figure 2 : Scan de baguettes : la baguette centrale est la baguette étudiée, les baguettes latérales servant à caler la gamme de couleurs.

Les baguettes sont ensuite séchées à l'air libre. Pour certaines baguettes, des spectres en infra-rouge moyen (Alpha-P (Bruker) avec une fenêtre pour ATR en diamant) sont capturés en plusieurs points de chaque baguette. Des écailles de bois sont ensuite prélevées avec un ciseau à bois et observées en microscopie électronique à balayage (JEOL 6490LV) équipé d'une sonde EDXS (spectroscopie de dispersion en énergie des rayons X)(SAM-X). L'extrémité inférieure d'une baguette a été délicatement grattée avec un scalpel. Les fragments ont été mis en suspension dans de l'eau ultra-pure et traités aux ultrasons pendant 10 min. Une goutte de la suspension a été déposée sur une grille en cuivre recouverte de carbone pour un examen en microscopie électronique à transmission combinée à l'analyse semi-quantitative par EDXS (Philips CM200, 200 KeV).

Des échantillons de sédiments ont également été prélevés et leur composition chimique déterminée. Des échantillons d'eau de surface et hyporhéique (prélevés à une profondeur de 30cm lorsque cela a été possible) ont été analysés (oxygène dissous, conductivité, carbone organique dissous, espèces azotées, ions majeurs).

### 3. Résultats

#### 3.1 Coloration des baguettes

La Figure 3 compare deux séries de baguettes exposées pendant un mois sur le site Arnac (Limousin), l'une dans un sédiment de type gravier sur un seuil et l'autre dans un sédiment de type sableux de type mouille. Les deux séries étaient séparées d'une dizaine de mètres. Pour chaque série une baguette était placée au centre du cours d'eau (lieu de la mesure de l'oxygène dissous) et les deux autres près des berges. Globalement les baguettes semblent bien répondre à des niveaux d'oxygène dissous différents, avec une couleur jaune prépondérante pour la série la mieux oxygénée et une couleur gris-noir prépondérante pour la série la moins oxygénée. Cependant un gradient latéral est remarqué, notamment pour la série dans le gravier.



Gravier :  $O_2$  à -30 cm = 4.8 mg/L

Sable :  $O_2$  à -30 cm = 0.9 mg/L

Figure 3 : Exemple de baguettes provenant du site Arnac (Limousin)

Dans la Figure 4, les baguettes proviennent d'une zone à sédiments fins dans le Bugey, avec un gradient d'oxygène dissous : 5.8, 6.7 et 8.7 mg/L de gauche à droite. La couleur brunâtre de la baguette de gauche résulte du fait qu'elle a été exposée à l'eau de surface : cela est dû à un déplacement de sédiments lors d'une crue. La baguette centrale et l'extrémité de la baguette de gauche sont noires : cependant les concentrations en oxygène dissous auxquelles elles ont été exposées sont plus élevées que celle du site gravier – Arnac.

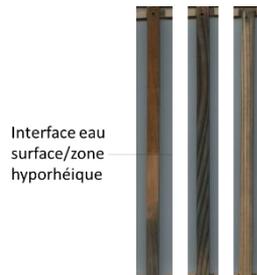


Figure 4 : Exemple de baguettes provenant du site Bugey

### 3.2 Relation couleur – oxygène dissous

Dans un premier temps le niveau de couleur moyen a été déterminé pour chaque image de baguette. Pour chaque site des relations linéaires ont été obtenues entre d'une part le niveau de rouge moyen et d'autre part le niveau moyen de vert ou de bleu, comme l'illustre la Figure 5 dans le cas du site du Bugey. Une plus forte dispersion est observée entre le bleu et le rouge qu'entre le vert et le rouge. Cela nous a conduits à privilégier le bleu et le rouge pour étudier dans un premier temps les variations de couleur des baguettes.

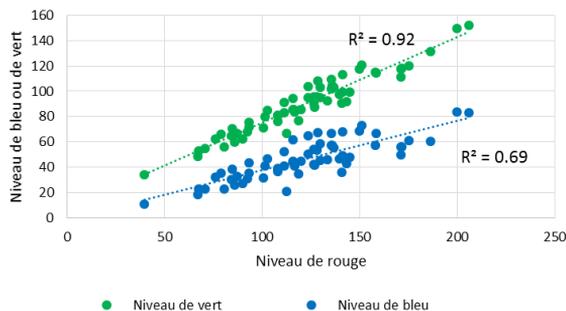


Figure 5 : Relations entre le niveau moyen de bleu et de vert et le niveau moyen de rouge pour les baguettes du Bugey

Dans le cas du Bugey, la concentration en oxygène dissous a été systématiquement mesurée dans la zone hyporhéique, à une profondeur de -30 cm, lors de la pose de chaque baguette. En dépit de la dispersion des valeurs, une tendance à l'augmentation du niveau de rouge, et donc à des teintes plus claires, pour les concentrations les plus élevées en oxygène dissous est observée. Dans le cas du Limousin et de la Chaudanne, il n'a pas été possible de mesurer l'oxygène dissous dans la zone hyporhéique pour chaque baguette. Cependant les faibles niveaux moyens de rouge, correspondant à des teintes sombres, correspondent à des secteurs pauvres en oxygène dissous.

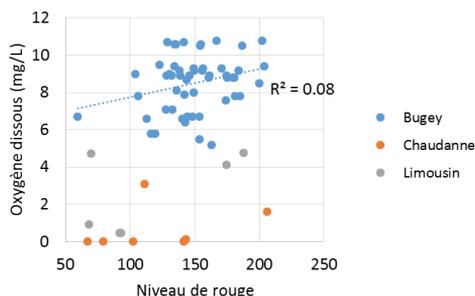


Figure 6 : Relation entre le niveau moyen de rouge de la baguette et la teneur en oxygène dissous dans la zone hyporhéique

### 3.2 Origine de la couleur

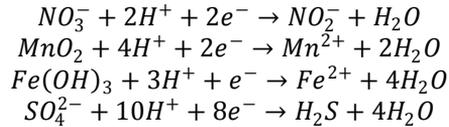
La grande dispersion des points observée dans la Figure 6 indique que d'autres facteurs jouent sur la couleur des baguettes. Il est également certain que les concentrations en oxygène dissous au moment de la pose et de la récupération des baguettes ne suffisent pas pour représenter l'ensemble des conditions d'oxydo-réduction auxquelles les baguettes sont exposées dans la zone hyporhéique.

Dans la zone hyporhéique, l'oxygène, accepteur d'électrons, est utilisé par des bactéries fixées sur les particules pour la décomposition aérobie de la matière organique :



Du carbone organique dissous est présent dans tous les échantillons d'eau hyporhéique (entre 1.5 et 10 mgC/L suivant les sites). Aucune modification n'a été observée par spectroscopie infrarouge sur les baguettes analysées. Une modification aurait traduit la dégradation biologique du bois.

Lorsque l'oxygène est totalement utilisé, d'autres accepteurs d'électrons sont successivement utilisés en fonction de leur disponibilité. En allant vers un milieu de plus en plus réducteur, la chaîne possible est la suivante [4]:



Les éléments en cause se trouvent principalement soit dans le sol (Fe, Mn), soit dans l'eau hyporhéique (nitrates, sulfates). D'après le diagramme de Pourbaix des oxydes et hydroxydes de fer[5] la présence de goethite ( $\alpha$ -FeOOH), qui peut paraître noire lorsqu'elle est très concentrée, est possible dans la gamme de pH observée sur les sites. Dans les zones les plus réductrices, le sulfure d'hydrogène peut réagir avec des ions métalliques dissous pour former des sulfures métalliques insolubles : le sulfure de fer est de couleur brune ou noire. Sauf pour quelques sites dans le Nord de la Lorraine, la concentration en sulfates des eaux hyporhéiques est comprise entre 4 (Bugey) et 30 (Luxembourg, Chaudanne) mg SO<sub>4</sub>/L.

Sur l'ensemble des sédiments analysés, le manganèse représente en moyenne 12% (écart-type = 8%) de l'ensemble Fe+Mn. Il représente en moyenne 22% (écart-type = 11%) sur les écaïlles de bois, ce qui semble traduire un enrichissement en manganèse du bois par rapport au sédiment. Comme le montre la Figure 7, il n'y a pas de relation entre la teneur en fer des sédiments et celle mesurée dans les écaïlles de bois. L'analyse par MET-EDXS de particules détachées d'une baguette a permis de détecter, outre les minéraux argileux présents dans les sédiments (smectite et illite), des oxyhydroxydes AlFe<sub>n</sub>o<sub>3</sub>-formés avec un ratio Al/(Al+Fe) relativement élevé de l'ordre de 25% (Figure 8). Sur l'ensemble des écaïlles de bois, ce ratio a une valeur moyenne de 34% (écart-type = 21%).

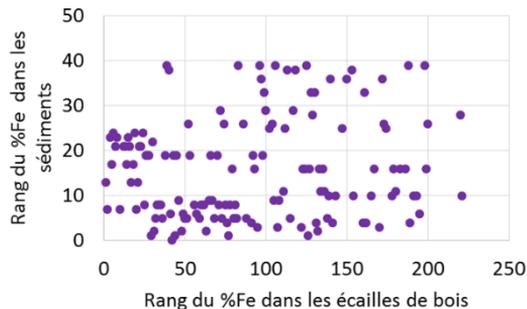


Figure 7 : Présence de fer dans les écaïlles de bois et dans les sédiments. Les pourcentages en fer sont classés du plus faible au plus élevé, tous sites confondus.

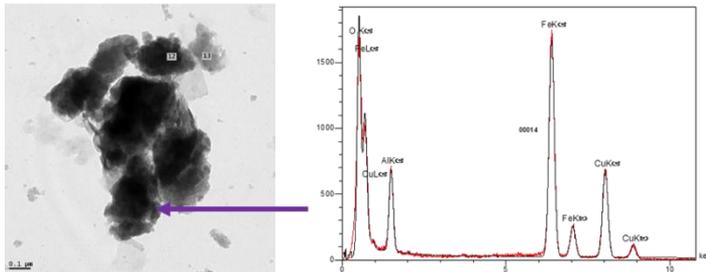


Figure 8 : OxyhydroxydeAlFedéteé sur une baguette et son spectre EDX : le cuivre provient de la grille sur laquelle les particules ont été déposées.

Même si nous n'en avons pas encore la certitude, il semble que la couleur noire soit principalement due à des espèces minérales liées au fer : hydroxydes, oxyhydroxydes, voire sulfures dans des sites où des fortes concentrations de sulfates ont été mesurées.

### 3.1 Classification des sites en fonction de la couleur

La Figure 9 présente l'ensemble des résultats expérimentaux sous la forme de diagrammes niveau de bleu (à gauche) et de niveau de vert (à droite) en fonction du niveau de rouge. N retrouve la forte corrélation entre les niveaux de vert et de rouge, mais il est cependant possible de distinguer les différents sites. Ainsi les points représentatifs des sites Vosges et Bugey, pour lesquels la pression anthropique est la moins forte et les cours d'eau les moins pollués sont voisins : ils correspondent globalement à des baguettes claires et à des niveaux d'oxygène dissous élevés. Ceux représentatifs de la Chaudanne, rivière périurbaine anthropisée, correspondent à des teintes plus sombres (niveaux de couleur plus faibles). Les teintes les plus sombres sont trouvées sur les sites les plus anthropisés (Limousin, Luxembourg, Nord de la Lorraine).

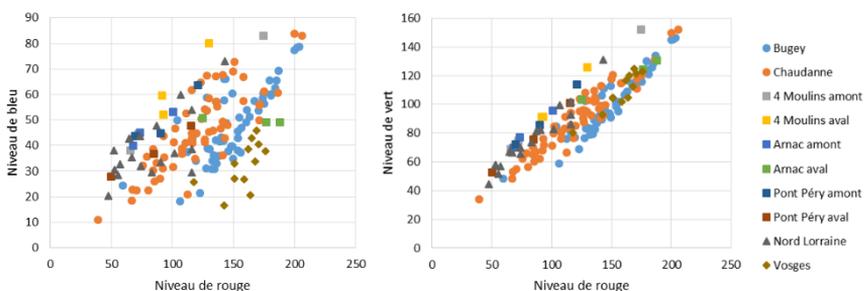


Figure 9 : Classification des sites en fonction de la couleur des baguettes

## 5. Conclusion

Une étude systématique des couleurs observées sur des baguettes de bois placées dans la zone hyporhéique de petits cours d'eau plus ou moins anthropisés laissent à penser qu'elles sont plutôt dues à la présence de phases minérales liées aux cycles

biogéochimiques du fer. Cette origine de la coloration du bois reste à confirmer. Ceci nécessite des comparaisons plus systématiques en termes de minéralogie, granulométrie et composition chimique.

Nos résultats, traités de façon globale, c'est-à-dire en termes de moyenne par baguette, confortent l'hypothèse d'une relation entre couleur prise par le bois et concentration hyporhéique en oxygène dissous. Une étude approfondie des données acquises est en cours pour analyser finement les gradients afin de voir comment les baguettes permettent de préciser la méso-structure hyporhéique de chaque station expérimentale.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANR (Projet EPEC), le réseau LorLux, la Zone Atelier du Bassin de la Moselle et le réseau des Zones Ateliers (projet inter-ZA dans le cadre des Soere) pour leur aide financière. Ils remercient également A. Legout (BEF, INRA) pour le prêt des cartes Munsell.

## Bibliographie

- [1] Grimm NB, Fisher SG, Exchange between interstitial and surface water: implications for stream metabolism and nutrient cycling. *Hydrogeologia*. 1984; 111(3):219-28.
- [2] CARHYCE : CARactérisationHYdromorphologique des Cours d'Eau : Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur des cours d'eau prospectables à pied, Version 3, Eau France ([http://www.onema.fr/IMG/pdf/guide\\_technique\\_carhyce.pdf](http://www.onema.fr/IMG/pdf/guide_technique_carhyce.pdf)) 2015.
- [3] Marmonier P, Delettre Y, Lefebvre S, Guyon J., Boulton AJ, A simple technique using wooden stakes to estimate vertical patterns of interstitial oxygenation of the beds of rivers. *Arch. Hydrobiol.*, 2004 ;160(1) :133-43.
- [4] Grunwald S, <https://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/teaching/eSoilScience/oxides.shtml>. Site consulté en Novembre 2015.
- [5] Scheffer F, Schachtschabel P, Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart, 1989.