

26520

Décembre 2001

Rapport Bibliographique pour la Zone Atelier du Bassin de la Moselle

Hydrologie et Géochimie des Eaux

Ahmed MORCHID, Constantin OLTEAN, Michel BUES
Jean CARIGNAN, Jean-Jacques ROYER
Laurence MESSELEY, Jeannine CORBONNOIS
Etienne DAMBRINE

* Laboratoire Environnement -Géomécanique et Ouvrages (LAEGO) (ENSG-INPL),
rue du Doyen Marcel Roubault, **54500** - Vandoeuvre Lès Nancy

** Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG), CNRS, **15** rue
Notre-Dame des Pauvres **54500** - Vandoeuvre Lès Nancy

*** Centre d'Études Géographiques de l'Université de Metz (CEGUM), Laboratoire de
Géographie Physique. UFR Lettres et Sciences Humaines, Ile du Saulcy, **57045** METZ
Cedex **01'**

Equipe Cycle Biogéochimique, **INRA**, **54280** Seichamps (France)

Hydrologie et Géochimie des Eaux du bassin de la Moselle

Synthèse

Les études hydrologique et géochimique sont indispensables pour la connaissance des systèmes hydriques d'une région. Elles permettent l'estimation des quantités et de la qualité de la ressource, et dans certains cas, l'identification des facteurs majeurs et des risques. Ce travail de synthèse bibliographique présente l'état des connaissances qu'elles soient issues de la littérature ou des travaux préliminaires entrepris dans le cadre de la Zone Atelier Moselle. Il contient une revue sélective de la littérature portant sur des problématiques similaires et des études de cas spécifiques. La première partie est consacrée à la géochimie des eaux du bassin amont ainsi qu'à leurs caractéristiques hydrologiques. La deuxième partie concerne les ressources en eaux souterraines, en particulier de la nappe des grès du Trias. Les débits et la dynamique fluviale, ainsi que les perturbations des conditions de l'écoulement sont abordés dans le chapitre suivant. Enfin, la dernière partie s'intéresse aux différentes sources de pollution anthropiques dans le bassin amont de la Moselle.

Géochimie et hydrochimie de la Moselle amont

De nombreux travaux antérieurs ont montré que les compositions chimiques et isotopiques de l'eau de rivière et de leurs sédiments peuvent être exploitées pour déterminer l'origine et les flux des éléments dissous, pour évaluer les taux d'érosion et l'origine des masses d'eau, ainsi que les mécanismes de l'altération chimique et les taux d'altération. Plusieurs études sont disponibles sur ce sujet pour les grands fleuves mondiaux et en France (Seine, Garonne et rivières méditerranéennes). Mais aucune étude systématique n'a été entreprise à ce jour sur le bassin mosellan. Cette rapide revue des travaux antérieurs montre tout l'intérêt d'entreprendre une surveillance systématique en certains points stratégiques du bassin de la Moselle, car elle permettrait de mieux comprendre (i) les origines, (ii) les bilans de masse et (iii) les temps de transfert entre les différents réservoirs afin de prendre en compte les ressources disponibles (sûreté d'approvisionnement) et, si besoin est, leur fragilité (sécurité de l'approvisionnement).

Dû aux caractères acides et agressifs dans la partie vosgienne, l'eau de la Moselle se caractérise par la présence de certains éléments polluants dissous tels l'arsenic, le chlore et certains métaux lourds (Pb, Ni, ...). La répartition de ces éléments semble être contrôlée, soit par la présence de sources polluantes ponctuelles, soit par l'adsorption des éléments sur les particules en suspension, selon les conditions physico-chimiques de l'eau. L'identification des sources polluantes ponctuelles et la chimie des eaux, particules en suspension et sédiments de proximité permettraient de mettre en relation l'ampleur des pollutions et de leurs sources.

Pour comprendre la dynamique fluviale et effectuer des bilans de masse à grande échelle, l'évaluation quantitative du taux d'érosion est un paramètre clé. Une étude ponctuelle sur la partie allemande du bassin de la Moselle (Richter et Negendank ; 1977), estime des valeurs de taux d'érosion des sols de 2.7 à 4.4 cm /1000 ans. Mais, cette étude reste locale et isolée. Localement, un bilan indirect des espèces chimiques dissoutes dans les eaux de la Moselle à Messein (Dadi, 1991) montre que le transport en solution est dominant par rapport au

transport solide estimé respectivement, à 12.5 et 120 t/an/km², correspondant à des taux d'érosion, respectivement de **0.46** et **4.4** cm/1000ans. Une étude préliminaire sur le bassin amont de la Moselle a permis d'estimer le taux d'érosion chimique des roches à l'aide des concentrations en Ca et Mg dissous le long d'une section entre la source de la Moselle et Nancy. Bien que variable dans le temps, les concentrations en Ca permettent de calculer un taux de dissolution moyen du bassin de l'ordre 1.6cm/1000ans compatible avec un modèle théorique de dissolution maximale de 2.2cm/1000ans. L'étude démontre aussi un « déséquilibre » entre Ca et Mg et suggère que l'interaction eau-roche ne peut s'expliquer par une simple dissolution congruente, et qu'une dissolution préférentielle et/ou que des processus de dissolution-précipitation contrôlent la chimie de ces éléments.

Des études préliminaires sur les eaux de la Moselle ainsi que sur celles d'autres bassins versants des Vosges ont démontré l'efficacité des isotopes du Sr et de U pour ce qui concerne le traçage des sources de ces éléments ainsi que pour une estimation du degré de l'intensité des échanges eau-roche. Une différence de composition isotopique du Sr dissous en un point donné entre une période de cru et une période d'étiage a été observée ponctuellement, ce qui laisserait supposer une variation des sources en éléments dissous en fonction du régime hydrique de la Moselle. Une autre étude portant sur les éléments du groupe des Terres Rares (REE), éléments très peu solubles et souvent associés aux phases colloïdales, montre aussi des distributions différentes en fonction des saisons et surtout des débits. Les données préliminaires sont interprétées en terme de cinétique de transport et de d'équilibre chimique avec le milieu. Ces traceurs géochimiques seront utilisés sur l'ensemble du bassin de la Moselle afin de mieux comprendre les relations entre les sources des éléments dissous et le régime hydrique.

Connaissances de la ressource souterraine

Le sous-sol lorrain est un des principaux réservoirs d'eau potable de l'Est de la France, avec une réserve de 530 milliards de mètres cubes. Il est caractérisé par la présence de plusieurs aquifères de grandes extensions dont la nappe des Grès du Trias Inférieur constituée d'une partie libre et d'une autre captive. Ces réservoirs renferment des ressources importantes en eau souterraine à usages multiples : eau potable, usages industriels et agricoles. La nappe des Grès du Trias Inférieur (GTI) est la ressource la plus sollicitée en Lorraine. Elle est surtout exploitée dans sa partie orientale captive, à proximité des affleurements des grès. Sa surexploitation entraîne une baisse sensible de son niveau depuis une vingtaine d'années, et présente le risque de contamination par les eaux des niveaux plus profonds dont la salinité est très forte, notamment à l'Ouest. Dans la partie nord, le niveau de la nappe est rabattu par les très forts pompages d'exhaure des Houillères du Bassin de Lorraine (HBL). La nappe du Trias inférieur est alimentée en surface par la Moselle et la Vologne. Le bassin de la Moselle à Epinal est caractérisé dans l'ensemble par une forte densité du réseau hydrographique (0,5 km/km²) et une forte pente (> 2%) avant l'arrivée aux affleurements des grès. Le transfert des eaux de surface est très rapide vers l'aval avec des coefficients de ruissellement élevés. Les relevés piézométriques ont montré que la Moselle peut aussi bien drainer qu'alimenter la nappe libre selon les endroits et les saisons. Quant à la Vologne, elle alimente l'aquifère pratiquement sur tout son parcours.

Les échanges entre rivières et nappes sont un point important dans la compréhension de la dynamique et dans le contrôle de la qualité des eaux souterraines. Ils déterminent la qualité, la disponibilité en terme de ressource et le renouvellement des nappes. Dans le cas d'accident

(pollution), ce sont des points essentiels pour déterminer les périmètres de protection. Si une attention particulière a été portée sur ces aspects lorsqu'il s'agit des nappes d'eaux minérales, il n'en est pas de même pour les eaux d'alimentation qui n'ont pas fait l'objet de recherches au même niveau. En effet, les travaux disponibles portent pour l'essentiel sur la partie captive des aquifères mais ne concernent pas le comportement hydrodynamique des nappes dans leur partie libre. En outre, l'utilisation généralisée des nitrates et des pesticides en surface, constitue un risque de dégradation dont les mécanismes sont actuellement mal maîtrisés, car les interactions eau superficielle – eau souterraine sont en particulier mal connues.

Dans le bassin de la Moselle à l'amont d'Epinal, l'écoulement superficiel est directement lié à la variation des précipitations où la relation pluie-débit présente une linéarité quasi-parfaite, indiquant des déficits d'écoulement relativement faibles, et des coefficients d'écoulement importants. La pluviométrie varie entre 800 et 900 mm/an. Les liaisons entre précipitations et écoulement intègrent toute la complexité du système hydrologique et dépendent d'une multitude de facteurs. Le débit annuel (module brut) de la Moselle à l'amont d'Epinal s'accroît considérablement d'amont en aval. Il traduit les caractères physiques du milieu (morphologie, lithologie et climatologie). Une connaissance précise des débits est indispensable pour simuler les volumes d'eau infiltrés dans les nappes, et devrait être complété. D'après les études antérieures, la recharge des nappes du Grès du Trias en affleurement varie suivant les lieux entre 10 à 100 mm/an. Les auteurs semblent s'accorder pour une valeur moyenne de recharge dans la partie sud des affleurements entre 25 et 35 mm/an. Le coefficient d'infiltration moyen varie entre 2 à 8 % et le drainage des rivières est de l'ordre de 8 l/s/km². Toutefois, aucune donnée, autre qu'annuelle, ne semble disponible sur les transferts rivière-nappe. Une approche par méthode inverse et modélisation numérique permettrait de reconstituer indirectement ces transferts sur des périodes plus courtes. Allié à un contrôle par marqueur géochimique, cette démarche pourrait constituer un puissant outil d'aide à la gestion et à la protection des eaux souterraines sur divers sites localisés. Elle permettrait de mieux définir la protection des ressources en termes de périmètres et de gestion des champs captant localisés dans la nappe alluviale de la Moselle, et d'assurer une gestion maîtrisée des pollutions d'origine anthropique tout en fournissant une quantification de la part des "pollutions naturelles".

Débits et dynamique fluviale du bassin amont de la Moselle

Les ressources en eau d'un bassin peuvent être estimées par l'étude systématique des débits de surface des différents affluents d'un bassin hydrographique. Les premiers travaux quantitatifs sur les débits et sur la dynamique fluviale du bassin de la Moselle, ont été entrepris depuis une vingtaine d'années. Ils ont permis de mieux connaître les flux moyens et les étiages. Cette synthèse montre qu'il reste toutefois nécessaire de conduire des études plus systématiques des périodes d'intersaison et de crues. Les crues, outre leur aspect dévastateur, conditionnent la qualité des eaux de surface. Une analyse des débordements, ainsi que la détermination de leur fréquence et de leur durée en liaison avec les séquences pluviométriques permettrait de mieux comprendre la dynamique fluviale et les conséquences sur la qualité de l'eau. Plusieurs travaux sont actuellement en cours, sur l'étude des débits et la dynamique fluviale. Ils concernent le bassin de la Moselle et du Madon (programme national PNETOX et Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN Lorraine). Toutefois, un travail de synthèse des données relatives au fonctionnement hydrologique du bassin de la Moselle serait nécessaire, ainsi que sur le Madon et la Meurthe,

Les perturbations des conditions de l'écoulement

Ils sont directement ou indirectement associées aux installations humaines et s'expriment différemment à l'amont et à l'aval d'Épinal. A l'amont, les barrages successifs, les micro-centrales et les dérivations (prise d'eau pour l'alimentation du réservoir de Bouzey), modifient les vitesses de l'écoulement, la variation des débits et les volumes écoulés et agissent par conséquent sur la qualité de l'eau. A partir de leur inventaire déjà effectué (DDE Vosges 1992 et 1994, Paris 1993), le CEGUM a quantifié l'ampleur et la fréquence de ces modifications (mesure des débits, schéma hydraulique). A l'aval, les conditions de l'écoulement sont perturbées du fait d'une dynamique fluviale active. Dans ce secteur, il s'agit de définir, en prenant appui sur des cartes réalisées il y a une dizaine d'années, la vitesse de l'évolution du chenal de la Moselle et l'ampleur des déplacements latéraux. De cette synthèse, il apparaît la nécessité de prolonger ces travaux sur deux objectifs: (i) la réalisation d'une carte de risque, délimitant une "bande active" dans laquelle toute influence anthropique pourrait progressivement cesser en vue de permettre à la Moselle de reconstituer une évolution naturelle; (ii) la conception d'indicateurs permettant de mesurer l'influence de cette dynamique fluviale sur la fourniture de sédiments et leur déplacement, influençant vers l'aval la qualité de l'eau (quantification des matériaux en suspension et évaluation de la migration des éléments grossiers, relation avec la fluctuation des débits).

Acidité des Ecosystèmes Forestiers dans les Vosges Gréseuses

Plus de 70% du débit de la Moselle provient des Vosges. L'eau des Vosges en surface est caractérisée dans certains versants, par une acidité élevée. Les nombreux travaux entrepris ces vingt dernières années, notamment sur les « pluies acides » ont permis de mieux comprendre les mécanismes d'acidification des sols, leur distribution spatiale, leur évolution au cours du temps, le rôle des dépôts atmosphériques et leurs conséquences biologiques. L'acidification des sols a pour conséquence la carence, magnésienne associée au dépérissement des peuplements forestiers. L'acidification des cours d'eau a pour conséquence une baisse de la diversité en invertébrés. Le pH constitue le meilleur indicateur et le premier facteur de toxicité pour les invertébrés, l'aluminium n'intervenant que secondairement. La toxicité est liée à l'altération des mécanismes de régulation ionique en milieu acide et très pauvre en Ca. Cette réduction des populations d'invertébrés a d'importantes conséquences sur toute la chaîne trophique et en particulier sur les populations de poissons. Par ailleurs, le risque de saturnisme humain associé à l'agressivité des eaux de source issues du grès Vosgien vis à vis des canalisations en plomb a été multiplié par environ 8 fois depuis 30 ans.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	7
<i>Liste des Figures</i>	9
<i>Liste des Tableaux</i>	11
INTRODUCTION	13
1 <i>Etudes géochimiques et hydrochimiques du bassin amont de la Moselle</i>	15
<i>Travail de synthèse et bibliographique du CRPG</i>	15
Préambule	15
1.1 <i>Introduction</i>	15
1.2 <i>La Moselle en son bassin</i>	16
1.3 <i>Géochimie et caractéristiques isotopiques</i>	17
1.4 <i>Dynamique fluviale et érosion</i>	19
1.5 <i>Synthèse</i>	20
1.6 <i>Références</i>	21
2 <i>Connaissance de la ressource souterraine -description de la nappe des Grès du Trias Inférieur à Epinal</i>	33
<i>Travail de synthèse et bibliographique du LAEGO</i>	33
2.1 <i>Introduction</i>	33
2.2- <i>Cadre géologique</i>	34
2.2.1- <i>Structure régionale</i>	35
2.2.2- <i>Contexte stratigraphique</i>	35
2.2.3- <i>Extension latérale des Grès du Trias Inférieur</i>	37
2.3 - <i>Hydrologie</i>	38
2.3.1- <i>Répartition spatiale des précipitations</i>	39
2.3.2- <i>Relation précipitations-écoulement</i>	40
2.3.3- <i>Variation des débits moyens mensuels de la Moselle à Epinal</i>	43
2.3.4- <i>Variation des débits moyens annuels de la Moselle à Epinal</i>	44
2.3.5- <i>Evapotranspiration potentielle et réelle</i>	47
2.4 - <i>Hydrogéologie</i>	49
2.4.1 - <i>Le réservoir</i>	49
2.4.2 - <i>Limites hydrogéologiques des Grès du Trias Inférieur (GTI)</i>	50
2.4.3 - <i>Extension et épaisseur de l'aquifère d'étude (affleurement des grès à Epinal)</i>	50
2.4.4 - <i>Alimentation de la nappe libre des grès à l'amont d'Epinal</i>	50
2.4.5 - <i>Caractéristiques hydrodynamiques</i>	51
2.4.6 - <i>Piézométrie</i>	53
2.4.7 - <i>Prélèvements</i>	55
2.5 - <i>Conclusions</i>	57
3 <i>Etude des débits et de la dynamique fluviale du bassin amont de la Moselle</i>	61
<i>Travail de synthèse et bibliographique préparé par le CEGUM</i>	61
Préambule	61
3.1 <i>Introduction</i>	61
3.2 <i>Etude des débits et dynamique fluviale</i>	61
3.3 <i>Les perturbations des conditions de l'écoulement</i>	62
3.4 <i>Synthèse</i>	62
3.5 <i>Références</i>	63
4 <i>Acidité des Ecosystèmes Forestiers dans les Vosges Gréseuses: Distribution. Evolution. Rôle des Dépôts Atmosphériques et Conséquences Biologiques</i>	65
<i>Travail de synthèse et bibliographique préparé par le CRF-INRA</i>	65
Préambule	65
4.1 <i>Introduction</i>	65
4.2 - <i>Principaux résultats</i>	66
4.3 - <i>Synthèse</i>	68
4.4 - <i>Références</i>	69

5. Les différentes sources de pollutions anthropiques dans le bassin amont de la Moselle	73
Travail de synthèse et bibliographique préparé par le CRPG -CEGUM	73
Préambule	73
Introduction	73
5.1 Impact de la pollution industrielle sur les eaux du bassin de la Moselle amont	76
5.1.1 Le bassin Amont de la Moselle	76
A Situation géographique et réseau hydrographique	76
B L'alimentation en eau potable dans les eaux superficielles du secteur	78
C -Notion de potabilité	78
D L'occupation industrielle de Bussang à Frouard et ses impacts sur l'eau de la Moselle et de ses affluents	80
5.1.2 Influence du climat	97
A Les températures	97
B L'évapotranspiration potentielle (ETP)	97
C Les précipitations	99
5.1.3 Le substratum son influence sur les eaux superficielles et l'alimentation des nappes	105
A Le sol	105
B Le sous-sol	108
C Le couvert végétal	108
5.1.4 Le régime hydrologique de la Moselle amont	110
A L'échelle annuelle: les modules	110
B Les extrêmes	113
5.1.5 Transferts des éléments dissous et solides	116
A Perturbations anthropiques de l'écoulement	116
B L'origine des éléments dissous	118
Les produits phosphorés	126
Les métaux lourds	126
C L'origine des éléments solides	130
5.1.6 Conclusion	134
5.2 Etude partielle de l'impact agricole sur la qualité des eaux du bassin du Madon	136
5.2.1 Etude hydrologique du bassin du Madon	138
A le cadre géologique	138
B Le contexte géomorphologique	138
C Le réseau hydrographique	140
Le régime hydrologique	140
D La végétation	141
A Le contexte géographique	142
B Le terroir agricole	144
5.2.3 Conclusions	157
5.3 Références	158
Liste des références citées dans le texte	163
1 Atelier Moselle	163
2 Etude et problématiques analogues	170
3 Outils géochimiques généraux	175
4 Politique de l'eau, hydrogéologie et érosion	177
5 Outils généraux en hydrologie	179
6 Hydrologie souterraine	181
7 Ecosystème forestier, acidification des sols vosgiens et qualité des eaux	184
ANNEXES I : Documents techniques utilisés dans le chapitre 5	197
Débits caractéristiques d'étiage de la Moselle et du Madon	217
ANNEXES II : Résumés de quelques publications	225

INTRODUCTION

Cette étude bibliographique s'inscrit dans le cadre du projet Zone Atelier Moselle dont le but est d'améliorer la gestion et la protection de l'hydrosystème, le maintien ou l'amélioration de la qualité des eaux et assurer la sécurité des approvisionnements. Cette synthèse bibliographique réalisée par quatre laboratoires de recherche (CEGUM, CRPG, LAEGO, INRA) porte sur l'état des connaissances actuelles sur l'hydrosystème et la géochimie des eaux du bassin de la Moselle. Elle contient une revue sélective de la littérature portant sur des problématiques similaires et des études de cas spécifiques.

La première partie est consacrée à la géochimie des eaux du bassin amont ainsi qu'à leurs caractéristiques hydrologiques. De nombreux travaux antérieurs ont montré que les compositions chimiques et isotopiques de l'eau de rivière et de leurs sédiments peuvent être exploitées pour déterminer l'origine et les flux des éléments dissous, pour évaluer les taux d'érosion et l'origine des masses d'eau, ainsi que les mécanismes de l'altération chimique et les taux d'altération. Cette partie fait le point des connaissances sur le bassin amont de la Moselle, zone d'alimentation en eau potable de la zone urbaine de Nancy.

La deuxième partie concerne les ressources en eaux souterraines, en particulier de la nappe des grès du Trias. En effet, le sous-sol lorrain est un des principaux réservoirs d'eau potable de l'Est de la France, avec une réserve de 530 milliards de mètres cubes. Il est caractérisé par la présence de plusieurs aquifères de grandes extensions dont la nappe des Grès du Trias Inférieur. Ces réservoirs renferment des ressources importantes en eau souterraine à usages multiples. Le but de cette partie est de faire le point sur les connaissances acquises à ce jour sur cette exceptionnelle ressource en eau potable.

Les ressources en eau d'un bassin peuvent être estimées par l'étude systématique des débits de surface des différents affluents d'un bassin hydrographique. Les débits, ainsi que les perturbations des conditions de l'écoulement, sont ainsi des éléments essentiels pour comprendre la dynamique fluviale et les ressources hydrologique d'une région. Ce sujet est abordé dans la troisième partie de ce rapport. Plus de 70% du débit de la Moselle, en amont de Nancy, provient des Vosges dont certains versants sont caractérisés par une acidité élevée. La quatrième partie de ce travail tente de faire le point sur les connaissances acquises par les nombreux travaux entrepris ces vingt dernières années, notamment sur les « pluies acides ».

Afin, la dernière partie s'intéresse aux différentes sources de pollution anthropiques dans le bassin amont de la Moselle. Une synthèse des différentes sources de pollution, de la qualité des rivières et de leurs Caractéristiques est proposée.