

UNIVERSITE DE METZ

Centre ~~d'Etudes~~ Géographiques de l'Université de Metz-CEGUM



n° 24502

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE METZ

Discipline : GEOGRAPHIE

**L'APPORT DE L'ANALYSE ET DE LA MODELISATION
HYDROLOGIQUES DE BASSINS VERSANTS DANS LA
CONNAISSANCE DU FONCTIONNEMENT D'UN AQUIFERE :
LES GRES D'ARDENNE-LUXEMBOURG**

Sébastien LEBAUT

Jury :

J. CORBONNOIS (~~Université~~ de Metz) :
E. GILLE (~~Université~~ de Metz) :
R. LAMBERT (~~Université~~ de Toulouse) :
E. LEDOUX (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris) :
F. PETIT (~~Université~~ de Liège) :

Directeur de thèse
Examineur
Examineur
Rapporteur
Rapporteur

Metz, le 12 décembre 2000

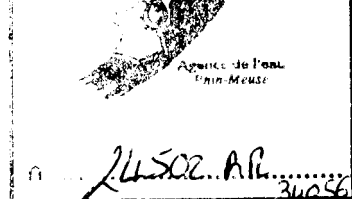
Résumé

Depuis plusieurs années le Centre **d'Etudes** Géographiques de l'Université de Metz, en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et la D.I.R.E.N. Lorraine, travaille sur les débits de basses eaux des cours d'eau. L'objectif premier de ces études était de proposer une méthodologie d'estimation des débits moyens mensuels caractéristiques d'étiage en n'importe quel point du linéaire de chaque cours d'eau du bassin Rhin-Meuse. Cette méthode, reposant sur l'élaboration de profils hydrologiques débouchait assez logiquement sur l'établissement de cartes de rendements surfaciques, permettant de se faire une idée de l'efficacité des aquifères. Si la relation entre l'aspect du profil hydrologique et la variation du volume aquifère d'amont en aval avait été mise en évidence (CEGUM, 1993), il restait à pouvoir caractériser le fonctionnement d'une nappe et d'un aquifère à partir de l'analyse hydrologique. Notre travail s'inscrit dans cette démarche et aboutit à la proposition d'une approche des aspects **structurels** et fonctionnels des aquifères.

Cette approche hydrologique, visant à quantifier les caractéristiques des aquifères et des nappes, est une approche intégrée d'évaluation des ressources en eau qui a été appliquée ici aux affleurements des formations sablo-gréseuses du Lias Inférieur et Moyen de la bordure méridionale du Massif Ardennais.

Le mémoire est organisé en trois parties : hydrogéologie des Grès d'Ardenne-Luxembourg et étude hydro-climatologique des bassins versants d'étude où apparaît le caractère original des cours d'eau drainant ces formations (infiltration généralisée et régimes hydrologiques extrêmement pondérés). La troisième partie fait appel à la modélisation pour déterminer les principales grandeurs caractéristiques du milieu souterrain. A partir d'un modèle conceptuel reconstituant l'écoulement de nappe et d'indices morphométriques permettant une schématisation de l'aquifère, l'auteur propose une méthode d'estimation des valeurs de porosité et de perméabilité des réservoirs à l'échelle de bassins versants unitaires de quelques kilomètres carrés.

En raison de cette finesse d'approche, la méthode et les résultats obtenus permettent de préciser la connaissance du domaine souterrain, en complément des méthodes classiques de l'hydrogéologie et offrent des perspectives d'application en terme d'évaluation de la ressource en eau.



SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Première partie : Caractéristiques physiques des Grès d'Ardenne-Luxembourg et définition du réseau de mesure
--

(Chapitre 1" : Présentation du domaine d'étude/

Introduction	4
I) Géologie des grès d'Ardenne-Luxembourg	8
A- Origine et stratigraphie des Grès d'Ardenne-Luxembourg	8
1) Origine des Grès d'Ardenne-Luxembourg.....	8
2) Stratigraphie des Grès d'Ardenne-Luxembourg.....	10
B- Les faciès constituant les Grès d'Ardenne-Luxembourg	11
C- La tectonique	15
1) Tectonique générale.....	15
2) Tectonique locale.....	15
D- Définition des aquifères	17
II) Hydrogéologie des aquifères des Grès d'Ardenne-Luxembourg	18
A- Porosité-coefficient d'emmagasinement-poréabilité	18
1) Les sables.....	18
2) Les roches consolidées.....	20
3) Les marnes.....	21
B- Perméabilité à l'infiltration	21
C- Les données de pompages d'essai	24
D- Caractéristiques géochimiques des nappes	24
E- L'anizométrie	26
F- Les sources	28
1) Les données utilisées.....	28
a- Les sources du B. R.G.M. inventoriées.....	28
b- Le suivi de sources représentatives.....	30
2) Les régimes des débits et des températures.....	30
3) Le tarissement des sources.....	32
III) L'interface atmosphère-lithosphère	37
A- Des sols	7
1) Les sols sur les argiles et les marnes.....	38
2) Les sols sur les formations perméables.....	38
B- Occupation du sol	39
Conclusion	41

Chapitre 2 ^{ème} : Les bassins inscrits dans les Grès d'Ardenne-Luxembourg

Introduction	43
I) Définition des bassins unitaires et des bassins globaux	43
A- Les bassins unitaires	43
B- Les bassins globaux	46
1) Le bassin de la Thonne.....	46
2) Le bassin de la Marche.....	48
3) Le bassin du Matton.....	50
C- Les données hydrologiques recueillies	52
1) Sur les bassins unitaires.....	52
2) Sur les bassins globaux.....	54

3) Infiltration et écoulement de crue au pas de temps horaire	104
tarissement des débits des cours d'eau	107
1) Définition des phases de tarissement	108
2) Méthodes de détermination du coefficient de tarissement	108
a- La méthode des corrélations	108
b- « Matching strip method »	109
3) Les résultats	109
III) L'organisation spatiale des écoulements de nappe	113
A- Typologie des bassins	113
B- Les profils hydrologiques et les cartes de rendement	115
1) Les profils hydrologiques.	115
2) La cartographie des débits.	115
C- Les coefficients de tarissement des bassins	121
1) Dttermination des coefficients de tarissement.	121
2) Validation des coefficients de tarissement	123
a- Validation par les débits aux stations	123
b- Validation par les sources	126
3) Les résultats.	127
Conclusion	127

Troisième partie : Modélisation des écoulements

Chapitre 5^{ème} : Modélisation des débits aux stations/

Introduction	131
I) Structure du modèle et application	132
A- Les entrées du modèle	133
B- Le réservoir sol	133
C- Les réservoirs sous-sol	134
II) Les résultats du modèle	134
A- Les bilans	134
B- Remarques sur les termes du bilan	137
1) L'ETR	137
2) L'écoulement	137
II) Validation des résultats	137
A- Comparaison des débits calculés et mesurés	137
B- Application de trois méthodes mécaniques de séparation des écoulements	142
pour l'estimation des débits d e	
1) L'indice d'écoulement de base (I.E.B.)	142
2) Le filtre digital automatisé	143
3) La méthode statistique du CEGUM	144
C- Comparaison des résultats	146
Si	
Conclusion	149

Chapitre 6^{ème} : Modélisation des débits sur les bassins unitaires

Introduction	151
I) Application du modèle hydrologique	151
A- Les paramètres	152
B- Le calage	152

II) Validation des résultats	157
III) Synthèse des résultats	2
<u>Conclusion</u>	166

/Chapitre 7^{ème} : Approche hydrologique des caractéristiques des aquifères

<u>Introduction</u>	169
I) Conceptualisation des écoulements aquifères	169
A- Les paramètres de l'écoulement souterrain	169
B- Choix du modèle et hypothèses posées	171
II) Détermination des principales grandeurs caractéristiques des aquifères	172
A- Paramétrage de la nappe et délimitation du volume utile	172
1) Paramétrage de la nappe.....	172
2) Le volume utile.....	176
B- Détermination des paramètres hydrodynamiques des aquifères	176
1) Calcul de la porosité.....	176
2) Calcul des perméabilités.....	178
3) Synthèse des résultats.....	179
C- Estimation de « l'âge » des eaux de la nappe	184
1) Temps de séjour et durée de renouvellement.....	184
2) Datation des eaux par le tritium.....	189
<u>Conclusion</u>	189

/Chapitre 8^{ème} : Les résultats de l'étude des G.A.L. et quelques questions d'hydrologie

I) Synthèse des ressources en eau du secteur	191
II) Le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement	196
III) Les transferts entre bassins	197
IV) Relations entre les caractéristiques morphométriques et l'écoulement	197
V) Actions entre la morphologie et l'écoulement	199
<u>Conclusion</u>	200

<u>Conclusion générale</u>	201
----------------------------------	-----

Bibliographie.....	203
--------------------	-----

Index.....	211
------------	-----

INTRODUCTION GENERALE

La gestion de la ressource naturelle que constitue l'eau s'avère, compte tenu de la demande croissante, de plus en plus nécessaire. Une bonne gestion ne peut être satisfaite qu'avec une connaissance **suffisamment** précise de cette ressource en terme de localisation.

Or les processus hydrologiques, souterrains et de surface, varient dans l'espace et dans le temps en fonction des entrées météorologiques et des caractéristiques physiographiques des terrains (topographie, nature du substratum et des sols, occupation du sol..).

L'exploration de la ressource en eau est souvent soumise à une dichotomie : les hydrogéologues étudient l'eau souterraine alors que les hydrologues étudient l'eau de surface.

Pour les deux un problème d'échelle demeure vis à vis de la variabilité. Les hydrogéologues déterminent les potentialités d'un aquifère à partir de données issues de forages (niveau piézométrique, pompages d'essai..). Or les variations brutales au sein de la roche aquifère rendent l'interpolation et l'extrapolation de ces données ponctuelles difficile et peu exploitable en terme d'écoulement de base. L'exemple, dans le secteur de Renwez (Gille E., Lebaut S., 1997) de forages improductifs côtoyant des forages productifs, atteste ce type de problème. De plus il est impossible, sur la base de ces données, de déterminer les volumes d'eau qui transitent par les cours d'eau.

Pour les hydrologues l'unité de travail est le bassin versant. Le réseau de mesures utilisé n'est pas adapté à la prospection de la ressource en eau dans la mesure où les bassins versants équipés de stations sont souvent de taille supérieure à 100 km^2 , inscrits dans des formations aquifères à lithologie mixte, au fonctionnement différencié; Ainsi les débits globaux enregistrés intègrent ces différences qu'il est ensuite difficile de redistribuer (**«déglobalisation»**, Margat J., 1996), et par conséquent il y a impossibilité à retrouver les caractéristiques des aquifères.

L'idée est de concilier l'échelle des hydrogéologues et celle des hydrologues, et donc de disposer de résultats distribués en fonction d'un critère prédominant pour la ressource en eau souterraine (la lithologie dans le cas présent) à une échelle suffisamment grande pour s'affranchir de conditions très localisées (**fracturation** par exemple), mais suffisamment petite pour intégrer les facteurs d'un milieu homogène : le bassin versant unitaire.

De ce constat, sur la base d'un découpage du secteur d'étude en sous-bassins versants lithologiquement homogènes (plus ou moins), le travail proposé a pour objectif d'appréhender le fonctionnement d'un aquifère par la connaissance affinée des termes du bilan de sa nappe libre : les précipitations, l'infiltration et les débits de nappe déterminés à partir des débits des cours d'eau.

Cette démarche hydrologique visant à définir le fonctionnement des aquifères est une démarche intégrée d'évaluation des ressources en eau d'un secteur géographique défini.

A cette fin, les affleurements des formations sablo-gréseuses du Lias Inférieur et Moyen (regroupées sous l'appellation de Grès d'Ardenne Luxembourg, Lebaut 1995) ont été retenus comme secteur d'étude.

Cette démarche intégrée appliquée à un espace discrétisé en fonction des caractéristiques lithologiques nécessite un grand nombre de données hydrologiques de base, données qui pour la plupart ont été rassemblées à l'occasion d'une étude menée pour l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Le préalable à cette étude a donc été la définition et la mise

en place d'un réseau de mesure selon la démarche **d'Esteves** (1991): « définition des objectifs, **définition** des données à acquérir, définition des données existantes, réalisation et gestion du dispositif de mesures ».

Ce dispositif de mesures emboîté concerne vingt sources (données ponctuelles mensuelles) et 51 bassins unitaires (données ponctuelles à pas de temps irréguliers), 3 bassins versants globaux (enregistrement continu des débits sur 32 mois).

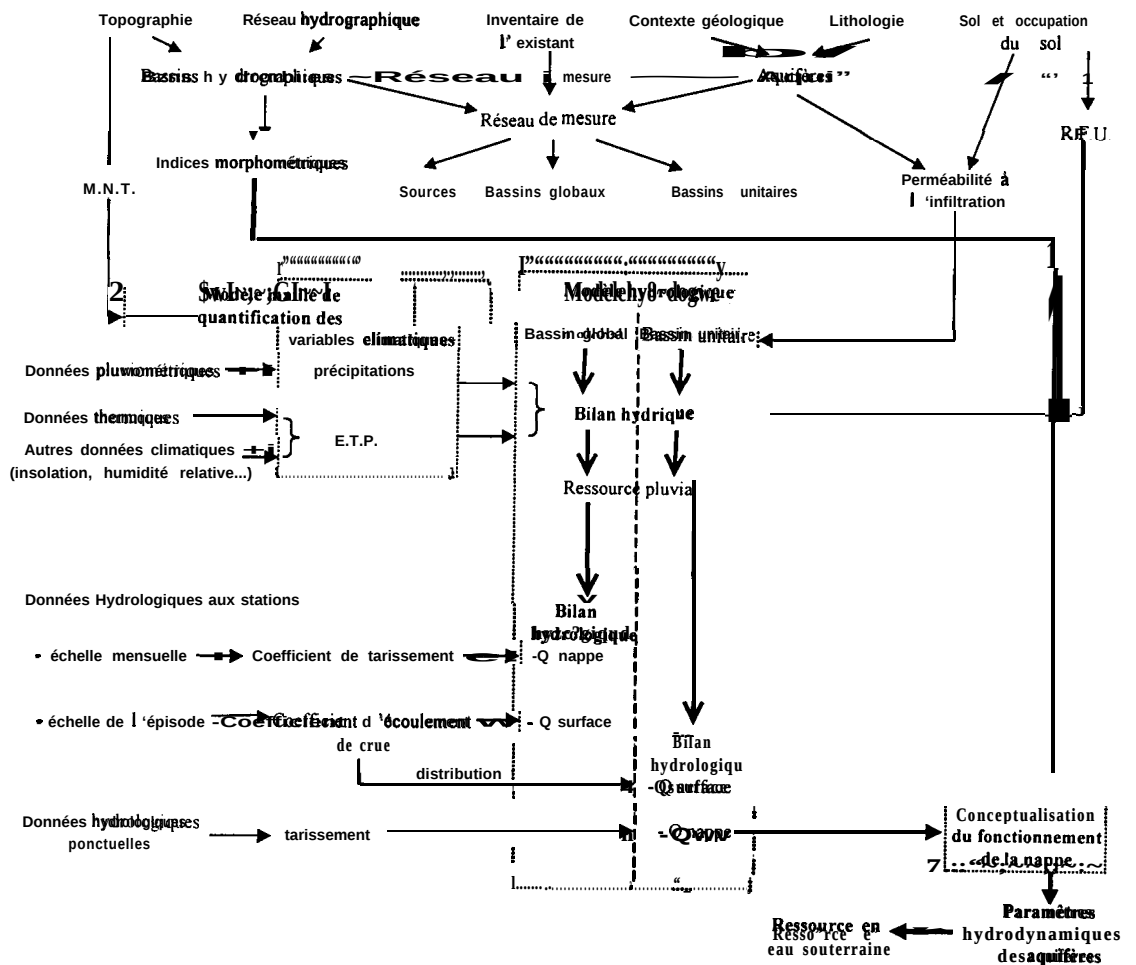
Le faible nombre d'années d'observation ainsi que la nature ponctuelle des données pourraient sembler limiter a priori la portée des résultats obtenus, mais l'intérêt de ce travail réside davantage dans la spécificité de la démarche proposée et dans sa validation par la cohérence d'ensemble des résultats.

Ce mémoire est organisé en trois parties. Les deux premières s'intègrent dans une démarche monographique : présentation du secteur d'étude et définition du réseau de mesure, estimation de la ressource pluviale et étude hydrologique des bassins. Elles débouchent sur la détermination des paramètres qui permettent la mise en œuvre de la démarche d'étude de la ressource en eau exposée dans la troisième partie.

Cette partie a trait à la valorisation des campagnes de mesures de débits sur les bassins unitaires pour aboutir à l'évaluation spatialisée de la ressource en eau de surface ainsi que les flux d'eau souterrains. Ces derniers servent de données de base à la détermination des paramètres hydrodynamiques des formations aquifères.

Cette démarche intégrée est présentée par l'organigramme (fig. 1.1) suivant :

figure 1.1- Organigramme de la démarche



CONCLUSION GENERALE

Arrivés au terme de ce travail, son apport principal concerne les points suivants :

- la contribution à la connaissance du cycle de l'eau sur la terminaison occidentale des formations grés-sableuses des G.A.L.
- la méthodologie de valorisation des campagnes de jaugeages pour affiner la précision spatiale de la connaissance hydrologique, et qui rend possible la détermination des paramètres hydrodynamiques des formations aquifères par des données de surface.
- L'approche intégrée des paramètres de l'écoulement de surface et de l'écoulement souterrain à l'aide d'un modèle conceptuel.

La déglobalisation de l'information sous la forme de données ponctuelles, recueillies sur des bassins unitaires, valorisées par un modèle de bilan hydrologique permet une analyse hydrologique plus fine. La disparité spatiale des résultats met en évidence un fonctionnement hydrologique de surface et souterrain calqué sur le triple sceau de l'alimentation, des propriétés intrinsèques des roches aquifères et de leur disposition dans un contexte hydrogéologique régional. Il en ressort que sur le domaine d'étude les potentialités hydrologiques diminuent du nord vers le sud (de l'amont vers l'aval des cours d'eau) et de l'est vers l'ouest. Cette disparité bidirectionnelle intègre les 3 facteurs cités précédemment. D'une part, le glacis pluviométrique du sud vers le nord confère aux terrains amont une meilleure alimentation, une différence de plus de **100mm** existe entre l'amont et l'aval. D'autre part, compte tenu de la paléogéographie du domaine d'étude le caractère sableux (garant des bonnes caractéristiques hydrogéologiques) des aquifères diminue des terrains les plus anciens vers les plus récents, du nord vers le sud, et en fonction de l'éloignement de la zone de fourniture des sédiments sableux, de l'est vers l'ouest. Et enfin, dans la partie occidentale, le réseau hydrographique prend naissance dans les formations des G.A.L. Compte tenu du **pendage**, du nord vers le sud, il bénéficie d'apports du bassin de la **Semois** situé plus au nord. Dans la partie orientale l'amont des bassins est inscrit dans les schistes du paléozoïque, il ne peut y avoir d'apport. ↓:

D'un point de vue méthodologique, la valorisation des mesures ponctuelles de débit, sur des bassins plus ou moins homogènes, par un modèle hydrologique permet une approche spatiale fine. Néanmoins une telle démarche nécessite un grand nombre de données (un millier de mesures pour 300 **km²** au cours de ce travail) et ne peut être réalisée qu'à l'aide d'un réseau de mesure emboîté : les données aux sources assurent la validation des résultats en périodes noninfluencées par les précipitations et les données aux stations hydrométriques permettent d'encadrer le fonctionnement du système hydrologique.

L'approche par l'amont et par l'aval assure la cohérence des flux de surface et souterrains estimés. Ces derniers, couplés à un modèle conceptuel simple d'échange aquifère/rivière, permettent de déterminer les paramètres hydrodynamiques des formations aquifères. Ces données sont validées par les valeurs obtenues sur échantillons en laboratoire ou par des pompages d'essai.

Il apparaît donc que ces mesures ponctuelles sont d'un bon rapport **données/informations**, puisqu'elle permettent de dégager non seulement la complexité des

bassins globaux mais également celle des bassins unitaires (circulation duale de l'eau souterraine par exemple).

Finalement des données ponctuelles peuvent donner des informations **suffisamment** fines pour l'estimation de paramètres tels que transmissivité, puissance de la zone saturée, âge de l'eau, volumes dynamiques ou permanents. Compromis entre le B.V.R.E. (quelques hectares) et le bassin global (plusieurs dizaines de **km²**) le bassin unitaire, bien que peu utilisé, s'impose donc comme une échelle de travail à développer. En raison de cette finesse d'approche, la méthode et les résultats obtenus permettent de préciser la connaissance du domaine souterrain. La démarche globale proposée est donc complémentaire des méthodes classiques de **l'hydrogéologie** (modélisation de nappe) qui ne descendent pas à cette échelle de dimension de bassin versant. Elle est particulièrement précieuse et offre des perspectives d'application en terme d'évaluation de la ressource en eau, comme dans le cas des Grès d'Ardenne-Luxembourg, lorsque les modèles hydrogéologiques ne peuvent être mis en œuvre (absence de piézométrie, pas de station hydrométrique).