

THÈSE DE DOCTORAT D'ÉTAT

ÈS SCIENCES NATURELLES

présentée à

L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE - PARIS VI

par

MUSTAPHA BESBES

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR ÈS SCIENCES



L'ESTIMATION DES APPORTS AUX NAPPES SOUTERRAINES

Un modèle régional d'infiltration efficace

Soutenu le 21 **Décembre** 1978

devant le Jury **composé** de :

MM. A. JAUZEIN
G. CASTANY
R. LETOLLE
J. MARGAT
G. de MARSILY
S. P. NEUMAN
C. THIRRIOT

A VANT -- PROPOS

Face aux nécessités quotidiennes de la vie professionnelle, le pragmatisme l'emporte souvent sur la rigueur méthodologique, et l'es certitudes sur le doute scientifique. La rédaction du mémoire marque alors une pause, un moment de réflexion lucide, un instant de liberté où l'on a le droit et le devoir de s'interroger.

Au terme de la rédaction, un projet est soumis à l'appréciation d'hommes de science auxquels la compétence et l'autorité morale ont attribué le pouvoir de juger. C'est l'heure de vérité. Le document est passé au crible, critiqué sans complaisance, pour le grand bien de l'impétrant: ce sont là une expérience et une chance uniques dans la vie d'un chercheur. C'est aussi l'occasion d'un dialogue.

Parmi ces juges, celui avec lequel ce mémoire fut ma première rencontre est C. THIRRIOT. Connaissant son amour pour les mathématiques, c'est avec appréhension que je lui soumis mon projet de thèse dénué de toute équation. J'avoue avoir été fortement impressionné par sa lecture du document: non seulement aucun reproche sur l'absence de mathématiques, mais un profond intérêt pour l'aspect naturaliste du mémoire.

Pour S.P. NEUMAN, brillant professeur d'hydrogéologie à l'Université d'Arizona, la lecture de ce document dans une langue qu'il maîtrise imparfaitement a certes constitué une épreuve. Mais sa grande connaissance des problèmes à la fois de la modélisation et de la zone aride le désignait inéluctablement pour juger ce travail.

G. de MARSILY est mon directeur au Centre d'Informatique Géologique. C'est aussi un ami et un guide. C'est lui qui m'a encouragé à présenter une thèse. Vouloir l'en remercier serait dérisoire, tant je lui dois pour l'accomplissement de ce travail. Il en a suivi le moindre aspect. De nombreuses idées que je développe virent le jour au cours des multiples discussions que nous avons eues ensemble.

Avec J. MARGAT, ce sont ici des retrouvailles. C'est sous son impulsion que je réalisai l'un de mes premiers travaux de recherche, en 1968, alors qu'il dirigeait le Département d'Hydrogéologie du BRGM. J'ai retrouvé un honne toujours aussi attentif et à l'écoute des autres, étonnant de sens critique.

Au Laboratoire de Géologie Dynamique, c'est l'enseignant que je connus en la personne de R. LFTOLLE. Je le retrouve aujourd'hui comme directeur de thèse. Son *expérience* et sa grande culture *hydrogéologique* furent d'un grand poids pour que ce mémoire ait pris sa forme définitive.

Avec A. JAUZEIN également, je connus d'abord l'enseignant. C'est avec lui que je découvris la géologie structurale à la Faculté des Sciences de Tunis. Je le retrouvai ensuite à Paris, au Laboratoire de Géologie Appliquée. Aujourd'hui, il a bien voulu accepter d'utiliser sa grande compétence en géologie et en hydrogéologie pour juger ce travail.

G. CASTANY est l'une des figures Zégendaires de l'hydrogéologie. Cela fait exactement trente ans qu'il publia sa synthèse hydrogéologique de la plaine de Kairouan; elle fait toujours autorité et fut pour moi un précieux héritage. Sa présence au sein de ce jury constitue pour moi à la fois un honneur et une *marque* d'affection.

Le mémoire n'est que l'aboutissement, la concrétisation d'un trajet; un trajet où l'on fait des rencontres qui vous marquent. Les premiers compagnons furent M. ENNABLI, H. ZEBIDI, A. KHOUADJA, cette équipe que Lassaâd BEN OSMAN avait su forger dans Z'action. Cet *homme passionné* nous inculqua que l'hydrogéologie n'était pas un jeu stérile, mais une discipline dont la seule finalité est d'exprimer la ressource exploitable.

C'est en Tunisie que je connus R. AMBROGGI, sur le terrain de la plaine de Kairouan. Fort de son *expérience* internationale, il m'avait prédit que mon travail sur l'infiltration des crues dans les oueds aurait des prolongements. Puisse sa *prédiction* trouver un écho dans ce mémoire.

En France, c'est avec A. LAGARDE que je réalisai mon premier *modèle* de nappe à l'Institut Français du Pétrole. C'était l'époque *héroïque* des simulateurs analogiques. Par la suite, lors d'un passage à la S.C.E.T.-International, avec l'amitié de A. BONNIER j'eus l'immense chance de travailler en étroite collaboration avec A. KORGANOFF. C'est au contact de ce grand mathématicien, toujours disponible, que je réalisai la dimension des possibilités offertes par les modèles mathématiques pour l'analyse des problèmes hydrogéologiques.

Mon *intégration* au Centre d'Informatique Géologique en fut grandement *facilitée*, grâce aussi à la complicité de G. de MARSILY. Dans ce centre, je découvris Y. FMSELLFM, qui symbolisait une nouvelle forme d'approche des problèmes hydrogéologiques: *l'idée* de faire travailler ensemble géologues et mathématiciens, praticiens et théoriciens, également impliqués dans la recherche d'une nécessaire complémentarité, tient du *coup* de génie. L'avoir réalisée tient du coup de force. Mes compagnons de route, dans ce centre, ont pour nom J.P. DELHOMME, D. POITRINAL, E. LEDOUX, P. HUBERT, A. LEVASSOR, M. COLLARD, M. GALLOIS,...., et d'autres. J'espère leur avoir donné autant qu'ils m'ont *eux-mêmes* appris. Ce mémoire, quant au fond et à la forme, leur doit *Enormément*.

S O M M A I R E

	page
AVANT-PROPOS	
INTRODUCTION	1
<u>PREMIERE PARTIE</u> : LE PROBLEME DE L'ESTIMATION ET LES SOLUTIONS PROPOSEES PAR LES MODELES DE SIMULATION	4
CHAP. 1: RETROSPECTIVE SUR LES METHODES D'ESTIMATION	7
1 - LES METHODES DIRECTES	9
1 - L'approche globale	9
1.1 - Modèles empiriques	9
1.1.1 - Relation entre la pluviométrie et le niveau piézométrique	9
1.1.2 - Relation pluie-débit	10
1.2 - Modèles conceptuels	10
2 - Les modèles maillés de simulation	12
II - LES METHODES INVERSEES	17
1 - Approches globales	17
1.1 - Modèles empiriques	17
1.2 - Modèles conceptuels	17
2 - Modèles maillés	19
III - CONCLUSION	20
CHAP. II: L'ALIMENTATION DES NAPPES VUE PAR LE PRATICIEN SUR L'EXEMPLE DE LA TUNISIE CENTRALE	21
1 - L'INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE TUNISIE CENTRALE	23
1.1 - Cadre physique et découpage hydrogéologique .	23
1.2 - Caractères généraux des systèmes aquifères . . .	24
1.2.1 - Les grandes plaines alluviales endoréiques	24
1.2.2 - Les structures aquifères des plateaux	24
1.2.3 - La province sahélienne	26
1.3 - Inventaire des ressources naturelles	26
2 - ASPECTS METHODOLOGIQUES ET PERSPECTIVES	29
2.1 - Réflexions sur les méthodes d'estimation	29
2.1.1 - L'approche par les exutoires naturels	29

	page
2.1.2 - Le calcul du débit de transit souterrain	30
2.1.3 - L'évaluation des apports	31
2.2 - Le discours du praticien entre la science et l'empirisme	32
CHAP. III: L'APPROCHE CONVENTIONNELLE DES MODELES DE SIMULATION ...	36
1 - L'ALIMENTATION, POUR QUOI FAIRE ?	37
1.1 - Conception minière de la ressource	37
1.2 - Evolution des conditions aux limites d'alimenta- tion	38
2 - L'ALIMENTATION POTENTIELLE, STADE ULTIME DE L'EXPLOI- TATION DES NAPPES	41
2.1 - La nappe Oligocène de Bou Hafna, en Tunisie centrale	41
2.2 - Le bassin de Moularès, dans le Sud tunisien ...	45
3 - RELATIVITE DE LA NOTION DE RABATTEMENT ADMISSIBLE COMME FACTEUR LIMITANT DE LA RESSOURCE	47
3.1 - Hydrogéologie de la plaine de Mascara	48
3.2 - Les rabattements et la fluctuation piézométrique naturelle	51.
CHAP. IV: CONSIDERATIONS SUR LA VARIABILITE TEMPORELLE DES APPORTS	57
1 - LA VARIABILITE TEMPORELLE EN HYDROGEOLOGIE	59
1.1 - L'approche "intemporelle" du bilan des nappes . .	59
1.2 - Mise en évidence de la variabilité à long terme	60
1.3 - Méconnaissance de la variabilité	64
2 - VARIABILITE DES PRECIPITATIONS EFFICACES	68
2.1 - Variation de l'E.T.P.	68
2.2 - Influence de la R.F.U. et du pas de temps de calcul sur la pluie nette	70
3 - CONCLUSION	77
CHAP. V: ESSAI DE MODELISATION DE LA VARIABILITE DES APPORTS AUX NAPPES	78
1 - MODELES DE REGRESSION LINEAIRES A EFFET RETARDE	79
1.1 - L'oued Lebel à Maknassy, en Tunisie centrale ...	80
1.2 - Le piézomètre du Mornag, en Tunisie du nord	a2
1.3 - Le bassin de la Haute-Lys, dans le nord de la France	a3
1.4 - Possibilités et limites des modèles de régression linéaires	a4
2 - LES APPORTS FLUCTUANTS ET LEURS EFFETS SUR LA NAPPE DE SILIANA	86
2.1 - Hydrogéologie du système de Siliana	86
2.2 - Simulation d'une fluctuation climatique	a7
2.2.1 - Fluctuation pluviométrique: années sèches, années humides	a7
2.2.2 - Simulations et conclusions	a9

	page
3 - SIMULATION D'APPORTS ANNUELS VARIABLES A GROMBALIA n..	90
3.1 - Le problème de la surexploitation à Grombalia . .	90
3.2 - Représentation d'une alimentation variable sur le modèle	91
4 - RECHERCHE DE L'ALIMENTATION MENSUELLE DANS LA PLAINE DU MORNAG	94
4.1 - Modélisation des écoulements souterrains	94
4.2 - Calage d'infiltration en régime transitoire	95
<u>DEUXIEME PARTIE: UNE METHODE INVERSE POUR ESTIMER LES APPORTS EN ZONE ARIDE</u>	97
CHAP. VI: L'INFILTRATION DES CRUES EN ZONE ARIDE: APPROCHE PRELIMINAIRE	101
1 - LE PROBLEME HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE KAIROUAN	103
2 - ESTIMATION DES VARIATIONS DE RESERVES	107
2.1 - Détermination des remontées effectives	107
2.2 - Application aux piézomètres de la plaine de Kairouan	109
2.3 - Calcul de la variation de réserve	111
2.4 - Conclusions de la méthode utilisée	115
CHAP. VII: ESTIMATION DE L'INFILTRATION DES CRUES A L'AIDE D'UN MODELE MAILLE	117
1 - CONSTRUCTION D'UN MODELE DE SIMULATION	118
2 - ALIMENTATION DES NAPPES EN REGIME PERMANENT	119
3 - INFILTRATION EN REGIME TRANSITOIRE	121
3.1 - Identification des zones de recharge de la nappe	121
3.1.1 - Principe du modèle utilisé	123
3.1.2 - Origine des apports à la nappe	126
3.2 - Retour au modèle maillé: procédure de calage en transitoire	132
3.3 - Répartition des volumes infiltrés dans l'espace et le temps	133
CHAP. VIII: RECHERCHE DES APPORTS PAR DECONVOLUTION DES VARIATIONS PIEZOMETRIQUES NATURELLES	137
1 - PRINCIPE DU MODELE DE CONVOLUTION UTILISE	137
2 - IMPULSION UNITAIRE ET PIEZOMETRES DE REFERENCE	141
3 - REPONSES IMPULSIONNELLES	143
4 - DETERMINATION DES APPORTS A LA NAPPE	145
5 - CONTRÔLE DES VOLUMES INFILTRES PAR CALCUL DES VARIA- TIONS DE RESERVES	151
CHAP. IX: RELATION ENTRE L'INFILTRATION EFFICACE ET LE RUISSELLEMENT	156
1 - RECHERCHE D'UNE RELATION EMPIRIQUE	157
2 - UN MODELE DIRECT POUR LE CALCUL DE L'INFILTRATION EFFI- CACE DANS UN OUED	162

	page
<u>TROISIEME PARTIE: REPRESENTATION GLOBALE DU TRANSFERT DANS LA</u> <u>ZONE NON SATUREE</u>	170
CHAP. X: L'INFILTRATION EN ZONE TEMPEREE. APPLICATION A LA HAUTE-LYS	173
1 - POSITION DU PROBLEME	173
2 - HYDROGEOLOGIE ET MODELISATION DU BASSIN DE LA HAUTE-LYS	176
3 - APPROCHE GLOBALE DE L'INFILTRATION	181
3.1 - Détermination de la pluie nette sur le bassin . .	181
3.2 - Quantité globale infiltrée	184
3.3 - Retard à l'infiltration	186
4 - METHODE D'IDENTIFICATION DU PROCESSUS D'ALIMENTATION	189
4.1 - Débits d'alimentation	189
4.2 - Fonction de retard	191
CHAP. XI: IDENTIFICATION DES FONCTIONS DE RETARD A L'INFILTRATION	193
1 - MODELE D'INFILTRATION MENSUELLE	193
1.1 - Calcul des débits d'alimentation par déconvolution	195
1.2 - Détermination des fonctions de retard de l'infiltration	195
1.3 - Critique des résultats	198
2 - MODELE D'INFILTRATION HEBDOMADAIRE	201
2.1 - Calcul des débits d'alimentation	201
2.2 - Fonctions de transfert "non saturé"	205
2.3 - Critique des résultats obtenus dans le bassin de la Canche	207
2.4 - Restitution de l'historique de référence	209
3 - REEXAMEN DES HYPOTHESES FONDAMENTALES	215
3.1 - Le modèle de pluie efficace	215
3.2 - Distribution spatiale des précipitations	215
3.3 - Répartition uniforme de l'infiltration en surface	216
3.4 - Alimentation uniforme à la surface de la nappe .	216
3.5 - Linéarité des écoulements en milieu saturé	217
3.6 - Linéarité des écoulements en milieu non sature .	219
CHAP. XII - CARACTERISTIQUES DU TRANSFERT DANS LA ZONE NON SATUREE	220
1 - L'HYPOTHESE DE LINEARITE	220
2 - LA ZONE NON SATUREE CONSIDERE E COMME UNE SERIE DE RESERVOIRS LINEAIRES	227
2.1 - Le modèle de Nash	227
2.2 - Adaptation du modèle de Nash au milieu souterrain	229
3 - APPLICATION DU MODELE DE TRANSFERT DANS LE NON SATURE	234
<u>SYNTHESE</u>	242
<u>CRITIQUES ET PERSPECTIVES</u>	250
<u>CONCLUSION</u>	256
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	257

	page
<u>TROISIEME PARTIE: REPRESENTATION GLOBALE DU TRANSFERT DANS LA</u> ZONE NON SATUREE	170
CHAP. X: L'INFILTRATION EN ZONE TEMPEREE. APPLICATION A LA HAUTE-LYS	173
1 - POSITION DU PROBLEME	173
2 - HYDROGEOLOGIE ET MODELISATION DU BASSIN DE LA HAUTE-LYS	176
3 - APPROCHE GLOBALE DE L'INFILTRATION	181
3.1 - Détermination de la pluie nette sur le bassin . .	181
3.2 - Quantité globale infiltrée	184
3.3 - Retard à l'infiltration	186
4 - METHODE D'IDENTIFICATION DU PROCESSUS D'ALIMENTATION	189
4.1 - Débits d'alimentation	189
4.2 - Fonction de retard	191
CHAP. XI: IDENTIFICATION DES FONCTIONS DE RETARD A L'INFILTRATION	193
1 - MODELE D'INFILTRATION MENSUELLE	193
1.1 - Calcul des débits d'alimentation par déconvolution	195
1.2 - Détermination des fonctions de retard de l'infiltration	195
1.3 - Critique des résultats	198
2 - MODELE D'INFILTRATION HEBDOMADAIRE	201
2.1 - Calcul des débits d'alimentation	201
2.2 - Fonctions de transfert "non saturé"	205
2.3 - Critique des résultats obtenus dans le bassin de la Canche	207
2.4 - Restitution de l'historique de référence	209
3 - REEXAMEN DES HYPOTHESES FONDAMENTALES	215
3.1 - Le modèle de pluie efficace	215
3.2 - Distribution spatiale des précipitations	215
3.3 - Répartition uniforme de l'infiltration en surface	216
3.4 - Alimentation uniforme à la surface de la nappe .	216
3.5 - Linéarité des écoulements en milieu saturé	217
3.6 - Linéarité des écoulements en milieu non saturé .	219
CHAP. XII - CARACTERISTIQUES DU TRANSFERT DANS LA ZONE NON SATUREE	220
1 - L'HYPOTHESE DE LINEARITE	220
2 - LA ZONE NON SATUREE CONSIDEREE COMME UNE SERIE DE RESERVOIRS LINEAIRES	227
2.1 - Le modèle de Nash	227
2.2 - Adaptation du modèle de Nash au milieu souterrain	229
3 - APPLICATION DU MODELE DE TRANSFERT DANS LE NON SATURE	234
<u>SYNTHESE</u>	242
<u>CRITIQUES ET PERSPECTIVES</u>	250
<u>CONCLUSION</u>	256
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	257

ANNEXE I : LES OUTILS

1.1: LA DECONVOLUTION	1
1.2: LE KRIGEAGE	12
1.3: LES MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION DES NAPPES	19
1.4: LE MODELE GLOBAL DE PLUIE EFFICACE	26
1.5: RAPPELS SUR LES ECOULEMENTS NON SATURES	35

ANNEXE II : LES MATERIAUX

II.1: LES SYSTEMES HYDRAULIQUES DE TUNISIE CENTRALE	1
11.2: BILAN DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN AQUITAIN	9
11.3: L'ANALYSE D'UN GRAND RESERVOIR AQUIFERE EN VUE DE SA MODELISATION	19
11.4: PLAINE DE KAIROUAN - CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODELE MAILLE	33
11.5: REWE DES RECHERCHES HYDROGEOLOGIQUES DANS LA HAUTE-LYS	67
11.6: BASSIN DE LA HAUTE-LYS - CALAGE DU MODELE MAILLE	75

INTRODUCTION

Le *cadre* du travail découle d'une finalité: exprimer la *ressource exploitable*. C'est là une motivation première pour tout hydrogéologue, qui nécessite une approche *régionale*, à l'échelle du bassin. Exploiter les eaux souterraines d'un bassin revient à y modifier le cycle hydrologique naturel, dont la méconnaissance des termes, en particulier la *h&Mot.OWe henouv&kble*, peut entraîner des conséquences néfastes: sous-exploiter l'eau souterraine lorsqu'elle constitue une ressource vitale est aussi grave qu'une surexploitation non désirée.

Si une connaissance précise de l'alimentation des nappes répond à l'objectif ressources, elle offre également la possibilité de mieux décrire le comportement du système aquifère par l'établissement d'une plus grande cohérence avec les autres paramètres du système, d'où une meilleure définition des ressources exploitables.

Un certain nombre d'*outils* donnent les moyens d'une telle entreprise: rustiques ou sophistiqués, nous y ferons appel au fil des cas étudiés; mais le *modèle de simulation maillé*, outil devenu classique, demeure le cadre le plus propice à la synthèse régionale.

Les circonstances du travail ont voulu qu'à Kairouan fussent réunis trois facteurs qui impulsèrent un bond considérable à la connaissance de la ressource: la nécessité d'une gestion intégrée des eaux superficielles et souterraines, l'occurrence d'un phénomène climatique exceptionnel qui ébranla l'ensemble du réservoir aquifère, et un réseau préexistant de mesures piézométriques régulières. Les données en grand nombre permirent l'identification du *processus de recharge* et la mise au point d'une *méthode*.

La démarche adoptée dans ce mémoire tente d'abord de retracer *l'évolution des techniques* de modélisation des apports aux nappes. Elle se fonde sur l'étude d'un certain nombre de *cas réels* et reflète la progression générale des connaissances sur la question. Celles-ci font l'objet d'un rappel critique initial. Vient ensuite le problème de Kairouan, sur l'exemple duquel est exposée la méthode originale *préconisée* pour identifier l'infiltration efficace en *zone aride*. La possibilité de *généraliser* cette méthode au cas de l'infiltration en zone *tempérée* et en l'absence de phénomènes climatiques exceptionnels sera enfin examinée. Sur les trois *étapes* que nous venons d'évoquer, s'articule le développement en trois *parties* du mémoire.

De nombreux *champs d'applications*, essentiellement en Tunisie, mais également en France et en Algérie, serviront à étayer ce développement. La multiplicité des exemples ne devrait toutefois pas faire dévier le propos: celui-ci est *méthodologique* et non pas monographique. En développant les méthodes adaptées ou mises au point sur chacun des cas, on ne s'étendra pas sur les résultats particuliers, du moment qu'auront été mises en évidence les *possibilités et/ou* les limites de la technique utilisée pour représenter l'infiltration efficace. Ainsi, l'exploitation des modèles de simulation construits sera rarement évoquée. Cette exploitation sert à prévoir les ressources mobilisables, dont la définition même peut dépendre de critères autres que la seule alimentation: dans la plupart des cas, celle-ci en constitue néanmoins le paramètre essentiel. C'est cette étape de la connaissance des ressources que le présent mémoire se fixe pour objectif.

Sur l'alimentation des nappes, ce mémoire veut exprimer le point de vue du *naturaliste*, pour qui les modèles sont des outils. A ces outils, il sera fait une référence constante sans toutefois, dans le texte, en développer les principes, ce qui sortirait du cadre des recherches présentées. Ces développements font l'objet de **l'Annexe 1: "Les outils"**, où le lecteur trouvera assez d'éléments pour suivre le fil de la thèse, mais trop peu sans doute pour une information complète sur les techniques. Tel n'était pas notre but: de nombreuses références sont fournies que l'on consultera alors utilement. sur les champs d'application, **l'Annexe II:**

C O N C L U S I O N

Il convient, au terme du travail, de faire le point des faiblesses et des promesses. Criticables, les méthodes utilisées et les résultats obtenus le sont sûrement. A Kairouan, nous avons beaucoup appris d'un évènement climatique *exceptionnel*. Faudra-t-il pour autant que l'on attende la crue exceptionnelle pour étudier *ailleurs* l'infiltration dans un oued ? Par la méthode développés à cette occasion, nous espérons avoir contribué à démonter le *mécanisme* d'infiltration efficace dans les oueds. Puisse notre contribution guider les travaux de recherche futurs dans ce domaine.

Nous avons oeuvré pour mettre au point une méthode **applicable**. Son adaptation au cas de la Haute-Lys l'atteste. Les conditions hydrogéologiques particulières de ce bassin nous ont néanmoins facilité la tâche: l'absence de ruissellement ne fait certes pas du modèle proposé un outil universel. C'est toutefois grâce à ces conditions particulières qu'une description aussi fine du processus d'infiltration dans la craie a pu être effectuée. Par ses caractéristiques et ses dimensions, le bassin de la Lys possède les propriétés d'un *bassin-versant représentatif*. C'est cette fonction que nous lui avons attribuée en transposant à un second bassin de la craie les fonctions de transfert dans le non saturé identifiées sur le premier bassin.

Nous avons longuement développé dans ce mémoire les *hypothèses* simplificatrices adoptées pour aboutir. Ces hypothèses se. sont trouvées *vérifiées* a posteriori, ce qui justifie le modèle utilisé au plan *régional*. Ce cadre régional est celui que nous nous étions fixé, par référence à la *ressource* exploitable comme finalité. Les hypothèses restent à revoir, le modèle à améliorer, et les conditions d'application à généraliser encore.

Nous avons tenté de représenter, dans un modèle *composite*, tous les éléments du cycle souterrain de l'eau: reste maintenant à prendre en compte l'*écoulement* superficiel pour un contrôle *intégral* du cycle de l'eau dans un modèle unique. C'est à ce prix qu'hydrogéologue et hydrologue, tous deux motivés par une ressource unique, s'accorderont enfin sur le concept d'*infiltration*.