

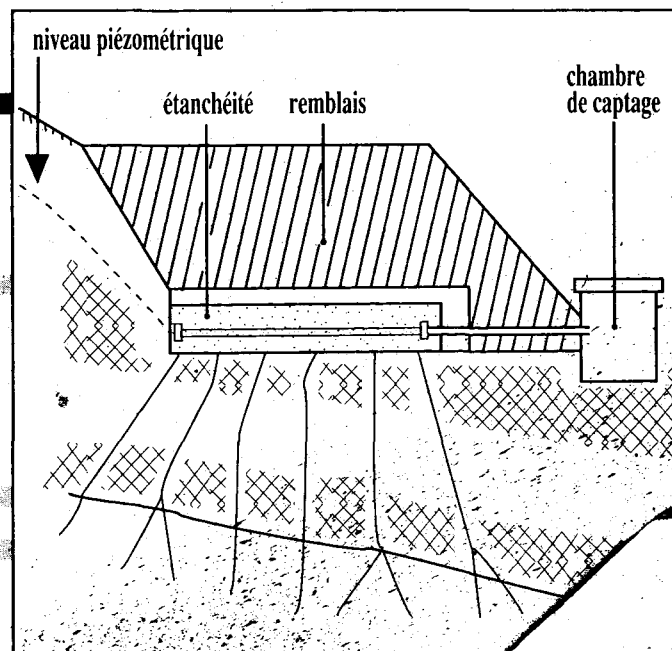
# L'Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest

Organisation pour la Mise en Valeur  
du Fleuve Sénégal (OMVS)  
Bureaux Régionaux  
Centre Régional de Documentation  
Saint-Louis

Synthèse des connaissances  
Socle cristallin et cristallophyllien  
et sédimentaire ancien

Collection  
Maîtrise de l'Eau

2<sup>e</sup> édition



Organisateur pour la mise au point  
de l'œuvre de l'Institut National  
de l'Éducation  
Paris 4, 1964

# Hydrogéologie en Afrique

Université d'Avignon  
Faculté des Sciences  
**Laboratoire  
de Géologie Dynamique  
et Appliquée**

**CEFIGRE**  
Centre  
de Formation Internationale  
à la Gestion  
des Ressources en Eau

Synthèse des connaissances sur  
**L'HYDROGÉOLOGIE  
DE L'AFRIQUE DE L'OUEST**

Socle cristallin et cristallophyllien  
Sédimentaire ancien

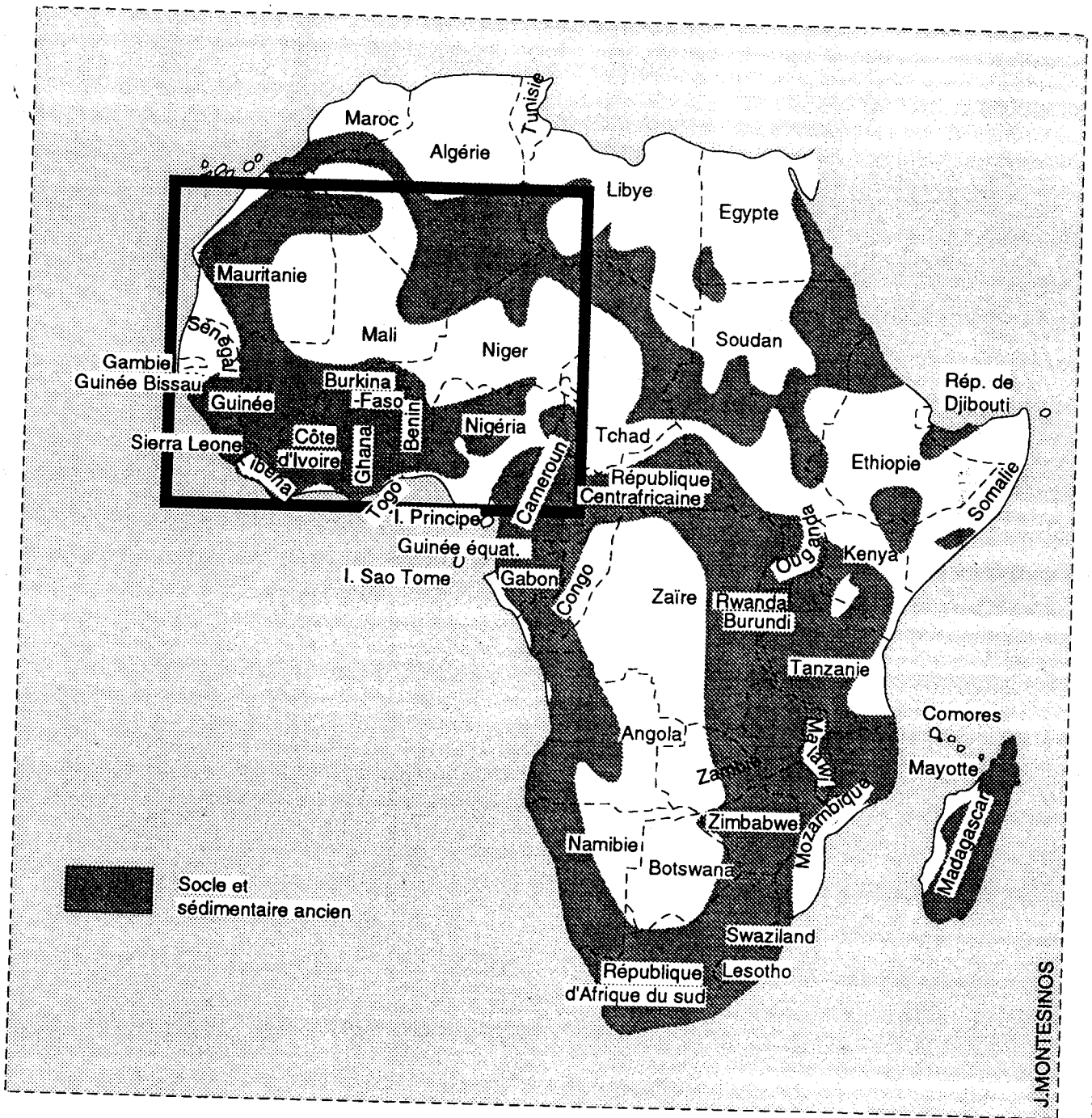
(2<sup>e</sup> édition)

*Collection Maîtrise de l'eau*

**Ministère de la Coopération et du Développement**

grou  
lida  
mér

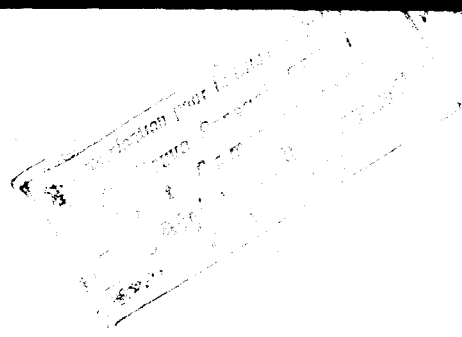
dé  
no  
l'a  
te  
fi  
p  
F  
s



J. MONTESINOS

# CEFIGRE

PREFACE (Edition 1984)



Pendant longtemps, le socle cristallin ancien de l'Afrique de l'Ouest était connu pour ne permettre que très difficilement la mobilisation d'eau souterraine de qualité, apte à satisfaire les besoins en eau des populations rurales et de leur cheptel.

Depuis une dizaine d'années, des progrès considérables ont été accomplis grâce à une meilleure connaissance de sa formation géologique et à l'introduction de nouvelles techniques telles que le forage au "marteau fond de trou".

Des programmes très importants d'hydraulique villageoise ont alors été mis en oeuvre avec succès mais, en raison de l'ampleur des besoins encore non satisfaits, il convient de poursuivre cette action encore pendant de nombreuses années.

C'est pourquoi il a paru important de préparer un document de synthèse qui, après avoir fait le point des connaissances sur l'hydrogéologie du socle cristallin et cristallophyllien et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest, propose et recommande des actions de recherche et de formation complémentaires.

C'est ce qui a été fait par un groupe de travail, composé d'hydrogéologues et de praticiens africains, encadré par le Professeur René GUIRAUD, avec l'appui de consultants ayant une vaste expérience dans ce domaine.

Cet ouvrage d'actualité est conçu comme un guide ou un aide-mémoire pour des hommes de terrain (ingénieurs, géologues, hydrogéologues, techniciens) et les maîtres d'ouvrage (responsables des services techniques et administratifs) ; il doit également servir de base de réflexion aux organismes nationaux, régionaux ou internationaux, afin de les aider à promouvoir des actions futures de recherche, d'étude, de formation et de suivi.

Grâce au CEFIGRE, ce travail réalisé par des responsables africains de pays membres ou associés au CIEH, a pu être mené à son terme et je suis heureux qu'il puisse à présent bénéficier d'une large diffusion.

A. HASSANE  
Secrétaire Général du CIEH

# INTRODUCTION

1ère EDITION (1983-1984)

Depuis 1975 et tout au début de la Décennie de l'Eau Potable et de l'Assainissement plus de 20.000 points d'eau ont déjà été réalisés en Afrique de l'Ouest dans des régions de socle cristallin ou de sédimentaire ancien : principalement en Côte d'Ivoire, au Togo, au Bénin, etc.

Des progrès importants ont été accomplis en ce qui concerne l'implantation des forages (photogéologie) et leur réalisation (marteau fond de trou), et quelques études de synthèse ont été réalisées («Boucle de cacao» et «Projet Coton» en Côte d'Ivoire et au Togo) mais toujours sur des zones géographiques limitées.

Dans ces conditions et compte tenu des dizaines de milliers de forages programmés sans le cadre de la Décennie, il a paru souhaitable de faire le point sur l'état des connaissances sur l'hydrogéologie du socle.

Ce travail a pu être réalisé dans le cadre d'un groupe de travail organisé à la fin de l'année 1982 par le CEFIGRE avec le soutien du PNUE. Le document initial a été rédigé pour l'essentiel par MM. AKITI (chapitre IV), ASSOUMA (chapitre III et V) et BOUKARI (chapitre I, II et VI) sous la direction scientifique de Monsieur le Professeur René GUIRAUD et avec l'aide de consultants.

## COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

### Participants :

- Thomas Tekkeh AKITI, chercheur, Water Research Institute, Accra, Ghana.
- Derman ASSOUMA, Hydrogéologue, Direction de l'Hydraulique et de l'Energie, Lomé, Togo.
- Moussa BOUKARI, Professeur Assistant, Université Nationale du Bénin, Cotonou, Bénin.
- François KABORE, Hydrogéologue, CILSS, Ouagadougou, Haute-Volta.

### Consultants :

- René BISCALDI, Hydrogéologue, BRGM, Orléans.
- Maurice ENGALENC, Hydrogéologue, Saint-Martin de Londres.
- Jean-Charles FONTES, Professeur, Université de Paris-Sud.
- Jean-Claude LACHAUD, Géophysicien, Méditerranéenne Géoélectrique, Montpellier
- Yves VAILLEUX, Hydrogéologue, BURGEAP, Paris.

### Documentation / Secrétariat :

- Marie-Claude VILAND, Biologiste.
- Hélène BONNARDEL, Assistante Secrétaire.

## 2ème EDITION (1990)

Pendant la période 1984-1989, les campagnes de forages se sont poursuivies en Afrique de l'Ouest et se sont développées en Afrique Centrale (Cameroun, Gabon, RCA, principalement). Quelques sites expérimentaux ont fonctionné.

De nombreux travaux de synthèse ont été réalisés par des bureaux d'études et par des universitaires. Ces travaux ont permis notamment d'affiner les méthodes de prospection et d'améliorer les connaissances relatives à la productivité des forages, à l'alimentation des aquifères et à la chimie des eaux. Quelques nouveaux outils de travail ont été élaborés pour des praticiens de terrains comme : essai de débit normalisés et simplifiée sur forage d'hydraulique villageoise ou système expert pour l'implantation des forages.

La première édition ayant reçu un réel succès et étant actuellement épuisée, il est apparu opportun de réaliser une seconde édition revue et complétée.

L'actualisation et les compléments apportés sont l'oeuvre de :

- René GUIRAUD, Professeur à l'Université d'Avignon
- Yves TRAVI, Maître de Conférences à l'Université d'Avignon

avec la collaboration de :

- Michel DETAY, Hydrogéologue, CEFIGRE, Sophia Antipolis
- Janina FORKASIEWICZ, Hydrogéologue, CEFIGRE, Sophia Antipolis
- Jean-Claude LACHAUX, Consultant géophysicien, Expert des Nations Unies
- Marcel LEROUX, Professeur à l'Université de Lyon II
- Jean MARGAT, Hydrogéologue, BRGM, Orléans
- Frédéric MILVILLE, Hydrogéologue, BRGM, Orléans
- Thierry POINTET, Hydrogéologue, BRGM, Orléans

La dactylographie a été assurée par Ginette DANIEL, Secrétaire, Université d'Avignon.

# SOMMAIRE

	pages
<b>PREFACE</b>	5
<b>INTRODUCTION</b>	7
<b>I. CADRE GENERAL</b>	11
1. APERÇU CLIMATIQUE	11
1.1. Les conditions aérologiques	11
1.2. Les conditions structurales de la pluviogenèse	17
1.3. Les domaines climatiques	18
2. GRANDS TRAITES GEOMORPHOLOGIQUES	23
3. CONTEXTE GEOLOGIQUE	23
3.1. Lithologie sommaire des principales formations	23
3.1.1. Formations du Précambrien inférieur et moyen de l'Afrique de l'Ouest	26
3.1.2. Formations du Précambrien supérieur et du Paléozoïque inférieur	26
3.1.3. Problème des Mauritanides, des Rokélides et des «Younger-Granites» du Nigéria	26
3.1.4. L'altération des formations cristallines et cristallophylliennes en Afrique de l'Ouest	32
3.2. Données générales sur la tectonique	32
4. PRINCIPALES PROVINCES HYDROGEOLOGIQUES	33
<b>II. IMPLANTATION ET TYPE D'OUVRAGE</b>	35
1. QUELQUES ACQUIS ET HYPOTHESES	35
2. APPROCHES METHODOLOGIQUES D'ETUDE ET DE RECHERCHE DES GISEMENTS AQUIFERES : METHODES D'IMPLANTATION DES OUVRAGES	36
2.1. Photogéologie	36
2.2. Télédétection	37
2.3. Géophysique	38
2.3.1. Méthodes dynamiques	38
2.3.1.1. Méthodes électriques par courant continu	38
2.3.1.2. Méthode sismique	41
2.3.2. Méthodes statiques	41
2.3.2.1. Méthodes électromagnétiques	41



2.3.2.2. Méthode gravimétrique	43
2.3.2.3. Radioactivité naturelle	43
<b>2.4. Résumé des principales méthodes d'implantation</b>	<b>44</b>
<b>2.5 Les systèmes experts</b>	<b>44</b>
<b>3. TYPE D'OUVRAGE</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Alternative puits ou forage</b>	<b>46</b>
<b>3.2. Ouvrages mixtes</b>	<b>47</b>
<b>III. AQUIFERES DU SOCLE CRISTALLIN OU CRISTALLOPHYLLIEN, ET DU SEDIMENTAIRE ANCIEN</b>	<b>49</b>
<b>1. ESSAI DE DEFINITION DES DIFFERENTS TYPES DE RESERVOIRS</b>	<b>49</b>
<b>1.1. Description des réservoirs</b>	<b>49</b>
1.1.1. Réservoirs supérieurs d'altérites	49
1.1.2. Réservoirs inférieurs	49
1.1.2.1. Réservoirs de fissures	49
1.1.2.2. Réservoirs de failles ou fractures majeures	50
<b>1.2. Notion d'aquifère et relation entre les nappes des différents réservoirs. Fonctionnement du système aquifère</b>	<b>50</b>
<b>1.3. Productivité des forages en fonction de l'épaisseur des différents types de réservoirs</b>	<b>53</b>
1.3.1. Réservoirs d'altérites	53
1.3.2. Réservoirs de fissures	53
1.3.3. Réservoir de failles	56
<b>2. POMPAGES D'ESSAI</b>	<b>56</b>
<b>2.1. Proposition pour une méthodologie d'interprétation des pompages d'essai dans les aquifères cristallins, cristalloyphylliens et du sédimentaire ancien</b>	<b>61</b>
<b>2.2. Essais de débit simplifiés</b>	<b>64</b>
<b>3. PIEZOMETRIE ET VARIATIONS DES NIVEAUX</b>	<b>65</b>
<b>3.1. Aquifères d'altérites</b>	<b>65</b>
<b>3.2. Aquifères de fractures</b>	<b>69</b>
3.2.1. Cartes piézométriques	69
3.2.2. Variations naturelles des niveaux piézométriques	72
3.2.3. Variations des niveaux piézométriques sous l'influence des pompages	76
<b>4. ALIMENTATION DES AQUIFERES</b>	<b>78</b>
<b>4.1. Processus</b>	<b>78</b>
<b>4.2. Méthodes d'estimation</b>	<b>80</b>

4.2.1. Approches par l'amont	81
4.2.1.1. Approches par l'amont directes	82
4.2.1.2. Approches par l'amont indirectes	85
4.2.2. Approche par l'aval	91
<b>4.3. Conclusion</b>	94
<b>4.4. Valeurs admises ou proposées pour le socle et le sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest</b>	95
4.4.1. Aquifères d'altérites	95
4.4.2. Aquifères de fissures ou de failles	95
<b>5. ESTIMATION DES RESSOURCES DISPONIBLES</b>	96
<b>5.1. Estimations de M. ENGALENC (1981)</b>	96
<b>5.2. Estimations de M. BOURGEOIS (1980-81)</b>	96
<b>5.3. Estimations du PNUD (1989) pour le Mali</b>	97
<b>IV. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES DES EAUX SOUTERRAINES</b>	99
<b>1. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE</b>	99
<b>1.1. Principaux paramètres physico-chimiques</b>	99
<b>1.2. Influence de la lithologie sur la composition physico-chimique des eaux</b>	101
1.2.1. Généralités	101
1.2.2. Interactions géochimiques eau-roche	101
1.2.3. Faciès chimiques	101
1.2.4. Stratification chimique des nappes	103
1.2.5. Les éléments en trace	103
1.2.6. Les nitrates	104
<b>1.3. Conclusions</b>	104
<b>2. ETUDES ISOTOPIQUES</b>	105
<b>2.1. Généralités</b>	105
<b>2.2. Différents types d'isotopes utilisés en hydrogéologie</b>	105
<b>2.3. Méthode d'étude</b>	107
<b>2.4. Variations des teneurs en isotopes stables (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H, <sup>13</sup>C)</b>	107
2.4.1. Effet d'évaporation	107
2.4.2. Gradient d'altitude, effet de la latitude et de la continentalité	107
<b>2.5. Variations des teneurs en isotopes radioactifs (<sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C)</b>	109
<b>2.6. Etudes isotopiques en Afrique de l'Ouest</b>	109
2.6.1. Etude des pluies	110
2.6.2. Etude des eaux souterraines	111

2.6.2.1. Isotopes stables	111
2.6.2.2. Isotopes radioactifs	112
- Tritium ( $^3\text{H}$ )	
- Carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ )	
2.6.2.3. Recharge et fonctionnement des aquifères	113
2.6.2.4. Isotopes et étude paléoclimatique	114
2.6.2.5. Isotopes et sels dissous	114
<b>RESUME DES PRINCIPALES METHODES D'ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE</b>	
<b>V. PERIMETRES EXPERIMENTAUX</b>	117
1. GENERALITES	117
2. DESCRIPTION SOMMAIRE DE QUELQUES STATIONS EXPERIMENTALES EXISTANT EN AFRIQUE DEL'OUEST	117
3. INVENTAIRE ET OBJECTIFS DES TRAVAUX ET ETUDES A MENER SUR LES PERIMETRES EXPERIMENTAUX	120
3.1. Méthodes d'implantation des ouvrages	120
3.2. Notion d'aquifère et pompages d'essai	120
3.3. Piézométrie - Alimentation - Estimation des ressources	120
3.4. Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines	121
3.5. Gestion des aquifères	121
3.6. Conclusion	121
4. SUGGESTIONS EN VUE DE L'AMENAGEMENT RAPIDE DE NOUVEAUX PERIMETRES EXPERIMENTAUX	121
<b>VI. GESTION DES AQUIFERES</b>	123
1. DEFINITION	123
2. MODALITES PRATIQUES D'EVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE	124
3. MODELISATION DES SYSTEMES HYDRAULIQUES	125
4. GESTION INFORMATIQUE DES DONNEES	125
5. PROBLEMES SOCIO-ECONOMIQUES	126
<b>PROPOSITIONS D'ETUDES ET RECOMMANDATIONS DIVERSES</b>	127
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	133

ANNEXE I : ECHANTILLONNAGE DES EAUX DESTINEES  
AUX MESURES GEOCHIMIQUES ISOTOPIQUES