

## Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire)

Mahaman Bachir SALEY<sup>1</sup>, Raoul TANO<sup>2</sup>, Koffi Fernand KOUAMÉ<sup>1</sup>, Marie Solange OGA<sup>2</sup>, Boyossoro Hélène KOUADIO<sup>2</sup>, Eric Valère DJAGO<sup>1</sup>, Sékouba OULARE<sup>2</sup>, Ta Marc YOUAN<sup>2</sup>, Kouadio AFFIAN<sup>1</sup>, Jean Patrice JOURDA<sup>1</sup>, Issiaka SAVANE<sup>3</sup> et Jean BIEMI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre universitaire de recherche et d'application en télédétection (CURAT). Laboratoire associé francophone (LAF n° 401).

Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody, Abidjan

22 B.P. 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire Téléphone/télécopieur : (225) 22-445-270

Courriels : basaley@yahoo.fr ; kouamef@yahoo.fr; vdjagoua@yahoo.fr

<sup>2</sup> Laboratoire des Sciences et Techniques de l'eau et de l'Environnement (LSTEE). Université de Cocody, Abidjan

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody, Abidjan

22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire. Téléphone : (225) 22 483-803

Courriels : roulyo1@yahoo.fr; lstee@hotmail.fr

<sup>3</sup> Laboratoire de Géosciences, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement

Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan), 26 BP 623 Abidjan 26

Courriel : savanei@hotmail.com

### **Mahaman Bachir SALEY :**

Mahaman Bachir SALEY est actuellement Enseignant - Chercheur au Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) et au Laboratoire des Sciences et Techniques de L'Eau et de l'Environnement (LSTEE). (Université de Cocody, Côte d'Ivoire). Il est titulaire d'une Thèse Unique dans la Spécialité Télédétection-Hydrogéologie et SIG obtenue en 2003 à l'Université de Cocody. Ses nombreuses implications au sein des projets régionaux et internationaux (Fouta Djallon, Radar\_Eau, Vulnérabilité des eaux en milieu urbain. Les nouvelles approches dans le secteur de l'eau, Aquifères partagés, Micro Hydro-électricité en milieu rural africain, Vulnérabilité des ressources en eau liées aux variations climatiques dans le sud de la Côte d'Ivoire, etc.) lui ont permis de s'initier au travail en équipe et à plusieurs approches multidisciplinaires faisant ainsi appel à la Géologie, l'Hydrogéologie, la Télédétection, la Climatologie, la Biodiversité, les Géorisques, l'Environnement et les SIG.

### **Résumé :**

Cette étude, initiée conjointement par le CURAT (Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection) et le LSTEE (Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement) de l'Université de Cocody, vise à mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et son impact sur les ressources en eau du district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). Les divers traitements appliqués (Indices de Nicholson, cartographie des isopièzes et isohyètes) ont mis en évidence une grande variation des différents niveaux piézométriques de la principale nappe qui alimente le district d'Abidjan. En effet, l'analyse de la variabilité pluviométrique a montré l'alternance des périodes humides, normales et sèches dans le régime des précipitations caractérisé par des ruptures pendant les années 1963, 1968, 1969 et 1982. Ces différentes ruptures ont pour conséquence la baisse de la pluviométrie avec comme conséquence, la baisse de façon hétérogène sur l'ensemble du district d'Abidjan du niveau piézométrique de la nappe de 1977 à 2005 lié à la faible alimentation. Cette baisse pluviométrique entraîne le retrait des isopièzes vers le Nord et l'Est et, illustre la baisse générale du niveau de la nappe sur l'ensemble du district, ce qui explique en partie, le phénomène de pénurie d'eau observée ces derniers temps dans plusieurs quartiers d'Abidjan.

Il faut cependant remarquer que, la réaction de la nappe d'Abidjan n'est pas immédiate. Les causes plausibles peuvent être liées à l'imperméabilisation du district (bitume, opération immobilière, etc.).

Un suivi régulier de la pluviométrie et l'implantation de plusieurs piézomètres dans la nappe du district d'Abidjan permettront d'affiner les résultats concernant le temps de réaction de cette nappe face à la variabilité pluviométrique.

Mots-clés : variabilité pluviométrique, ressource en eau, Piézométrie, Indice de Nicholson, SIG, Côte d'Ivoire

## **1. INTRODUCTION**

Depuis une vingtaine d'années, les différents États accordent de plus en plus un intérêt croissant à la notion de changement climatique qui demeure une notion très vaste (réduction de la pluviométrie, augmentation de la température, effet de serre, etc.). En Afrique particulièrement, la notion de changement climatique se résume en grande partie à une baisse drastique de la pluviométrie, principal facteur climatique comme identifié dans plusieurs études (Hubert et *al.*, 1989 ; Mahé et Olivry, 1995; Bricquet et *al.*, 1997 ; Servat et *al.*, 1999). Cette baisse de la pluviométrie a eu plusieurs conséquences, le plus souvent dramatiques (sécheresse des années 1970 et 1980, 1984, 2006 dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest).

En Côte d'Ivoire, des études globales et locales ont été menées par différents auteurs. Ceux-ci ont mis en évidence les impacts de la variabilité climatique sur l'eau et les écosystèmes (Paturel et *al.*, 1997 ; Aka et *al.*, 1997; Brou et *al.* 1998; Servat et *al.*, 1999; Savané et *al.*, 2001 ; Péné et Assa, 2003 ; Saley, 2003 ; Brou, 2005 ; Amani, 2006 ; Kouadio et al, 2007).

Un des enjeux majeurs des recherches sur ce phénomène complexe à savoir la variabilité climatique, est d'étudier son impact sur les ressources en eau qui peut différer d'une région à une autre. C'est la raison pour laquelle le CURAT et le LSTEE de l'Université de Cocody ont initié cette étude dont les principaux objectifs consistent à :

- étudier la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le district d'Abidjan ;
- mettre en évidence son impact éventuel sur les ressources en eau du même district ;

## **2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

### **2. 1. Situation géographique de la zone d'étude.**

La zone d'étude, communément appelée « district d'Abidjan » est située dans la partie sud de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 5°10 et 5°30 Nord et les longitudes 3°45 et 4°21 Ouest. Elle comporte dix (10) communes auxquelles s'ajoutent trois (3) sous-préfectures : Bingerville, Songon et Anyama(figure 1).

Le district d'Abidjan s'étend sur une superficie totale de 57735 ha dont 8981 ha de lagune soit 16 % de la superficie totale, et 48754 ha de terre ferme soit 84 % de la superficie totale.

Ce district regroupe une population estimée à environ 3 125 890 habitants en 1998. Cette population s'est accrue à la suite de la crise socio-politique qu'a connue la Côte d'Ivoire en 2001. En effet, nous estimons actuellement en 2009 (après recoupements de plusieurs documents) une population de plus de 5 millions d'habitants à Abidjan. Le District d'Abidjan est limité par :

- La ligne de contact du socle-bassin sédimentaire au Nord;
- La lagune Ebrié au Sud ;
- Les cours d'eau l'Agnéby et le Niéké à l'Ouest;
- La rivière la Mé et les lagunes Aghien et Potou à l'Est.

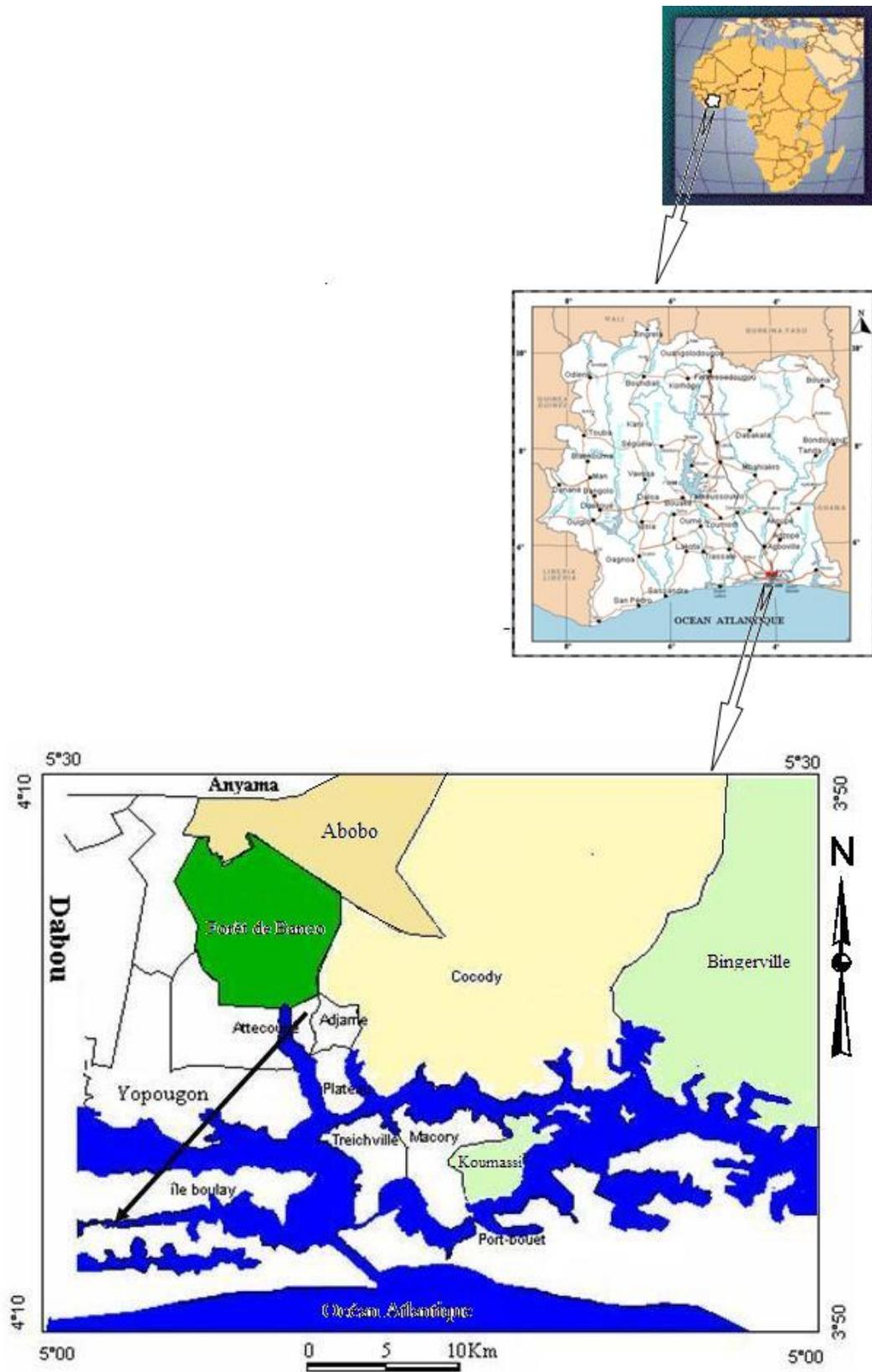


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

## 2. 2. Géomorphologie de la zone d'étude

Dans la zone d'étude, il existe trois grands ensembles géomorphologiques (figure 2) :

- les hauts plateaux à deux niveaux (40 à 50 m et 100 à 120 m) représentés par les buttes du Continental Terminal au Nord de la lagune Ebrié ;
- les moyens plateaux d'altitude allant de 8 à 12 m constituent les affleurements du cordon littoral du Quaternaire ; les plaines et lagunes, au Sud, constituent l'ensemble le plus affaissé.
- Des vallées profondes allant de 12 à 40 m, issues du Centre Nord de la zone, entaillent les hauts plateaux du Tertiaire. C'est l'exemple des ravins du Banco et du Gbangbo. Ces vallées jouent le rôle de drains de la partie nord de la ville à l'instar des différents talwegs. De ce fait, tout écoulement se dirige vers l'ensemble le plus affaissé, c'est-à-dire vers la lagune.

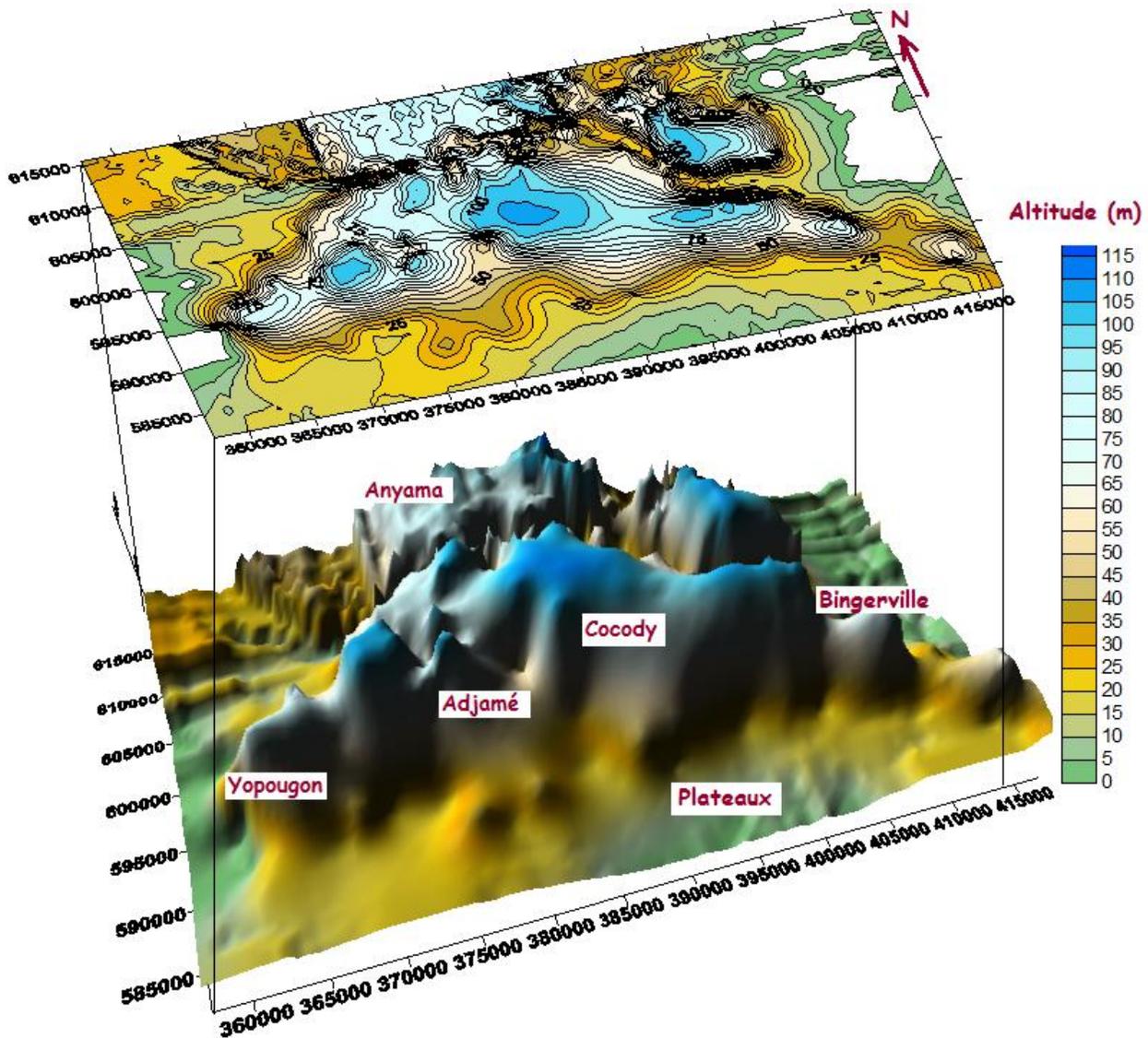


Figure 2 : Géomorphologie de la zone d'étude

### 2. 3. Contexte climatique de la zone d'étude

Les hauteurs de pluies annuelles enregistrées dans le district d'Abidjan au cours de la période 1950-1997 varient de 3 128 mm en 1951 à 1 050 mm en 1988 avec une moyenne de 2 089 mm. De manière générale dans les années 1950, la pluviométrie annuelle variait entre 2 000 et 3 000 mm.

Le district d'Abidjan est soumis à un climat équatorial de transition de type qui se divise en quatre (4) saisons dans le cycle annuel (Tapsoba, 1995), (figure 3) :

- la grande saison sèche de décembre à avril ;
- la grande saison de pluies de mai à juillet ;
- la petite saison sèche de juillet à septembre ;
- la petite saison des pluies d'octobre à novembre.

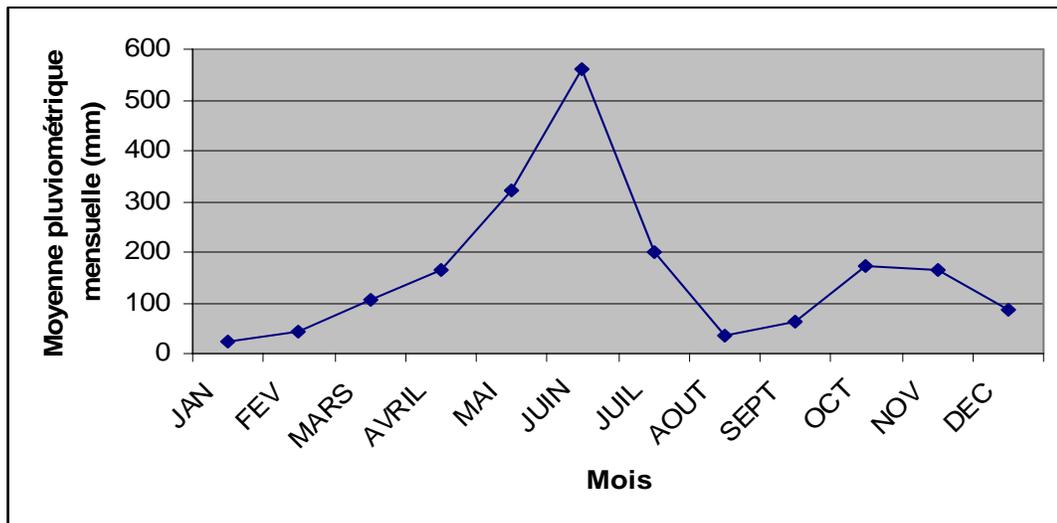


Figure 3 : Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle

### 2. 4. Contexte hydrogéologique de la zone d'étude

Le district d'Abidjan est alimenté en eau par deux (2) principaux réservoirs du bassin sédimentaire ivoirien :

- l'aquifère du Mio-Pliocène (Continental Terminal) : Cet aquifère constitue la principale nappe d'alimentation en eau potable, pour l'agglomération d'Abidjan. On l'appelle communément « Nappe d'Abidjan » ou « Nappe du Continental Terminal » (Guérin-Villeaubreil, 1962). De part et d'autre de la ville d'Abidjan, le Continental Terminal s'étend sur plus de 100 Km d'Ouest en Est (Jourda, 1987), extension qui est interrompue par l'Agneby à l'Ouest, la Mé et la lagune Aghien et Potou à l'Est.
- l'aquifère du Crétacé supérieur (Maestrichtien) : Cet aquifère possède des bancs calcaires peu fissurés, gréseux, à gros grains de quartz roulés, surmontant des sables fins coquilliers. Il est situé à 200 m de profondeur et est exploité par la SADEM pour la production d'une eau minérale, l'eau « AWA » (Jourda *et al.*, 2003). L'alimentation de cette nappe dont l'extension est peu connue est assurée par le Continental Terminal (Adou, 1972).

### 3. MATERIEL ET METHODOLOGIE

#### 3. 1. Matériel utilisé

Dans cette étude, deux logiciels ont été utilisés pour le traitement des données hydroclimatique et cartographique, et pour l'application des SIG (Système d'Information Géographique) dans la génération des cartes thématiques. Ce sont principalement les logiciels MapInfo 8.0 et Surfer 8.0.

#### 3. 2. Données utilisées

##### 3. 2. 1. Données cartographiques

La base de données cartographiques mise en place comprend des cartes à l'échelle 1/50 000 dont :

- la carte topographique d'Abidjan et ses environs (coupure 4b) établie en 1975 par IGCI ;
- la carte topographique d'Abidjan (coupure 4a) établie en 1978 par IGCI ;
- la carte topographique de Grand-Bassam (coupure 3a) établie en 1976 par IGCI.

##### 3. 2. 2. Données hydroclimatiques

Ces données sont essentiellement constituées de :

- données pluviométriques (1937 - 2000) provenant de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) ;
- données de mesures piézométriques issues de la Direction de l'Eau et des campagnes piézométriques menées en 2003 (Oga, 2004) ;
- données issues de la télédétection, obtenues à partir des capteurs Météosat. Ces données sont fournies par la NASA. Le choix de ces données a été guidé par l'absence de données pluviométriques journalières de 1900 à 2002 en certains endroits.

#### 3. 3. Méthodologie

##### 3. 3. 1. Méthodologie de l'étude de la variabilité climatique : L'indice de Nicholson

Pour l'analyse des paramètres hydroclimatiques, nous avons procédé au calcul des moyennes annuelles des précipitations et de l'indice de Nicholson, afin de mettre en évidence les fluctuations des régimes pluviométriques. L'étude des indices de Nicholson joue un rôle très important dans la détermination des variations saisonnières.

Nicholson et *al.* (1988) cités par Paturel et *al.* (1997), ont défini un indice qui, calculé chaque année sur la période étudiée, s'exprime par:

$$I_i = \left( \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right)$$

Avec :

***I<sub>i</sub>***: Indice pluviométrique

***X<sub>i</sub>*** : Hauteur de pluie de l'année *i* (en mm),

**$\bar{X}$**  : Hauteur de pluie moyenne sur la période d'étude (en mm),

**$\sigma$**  : Écart type de la hauteur de pluie sur la période d'étude.

Elle détermine une variable centrée réduite Lamb (1982) cité par Servat et *al.* (1998)). La moyenne interannuelle d'une série correspond à l'indice nul (0) selon la méthode de Nicholson.

Une période normale est une période pendant laquelle une fluctuation identique s'observe de part et d'autre de l'axe des abscisses. Dans ce cas, la moyenne annuelle est sensiblement égale à la moyenne de

la pluviométrie totale. Pendant la période humide, la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale. Enfin, la période sèche correspond à une période où la moyenne annuelle est inférieure à la moyenne pluviométrique totale.

### **3. 3. 2. Approche méthodologique de détection de rupture : le Test de Pettitt (1979)**

La mise en œuvre du test de Pettitt (1979) suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable de Pettitt ( $U_{t,N}$ ). La probabilité de dépassement approximative d'une valeur  $k$  est définie. Cette valeur permet d'apprécier l'importance de la rupture. L'absence de rupture dans la série de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$ . Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne (Hubert et al., 1998 ; Lubès-Niel et al., 1998). Une rupture primaire se définit comme une hétérogénéité identifiée par un test de rupture à partir de la série initiale. Une rupture secondaire est une rupture obtenue à partir d'une sous série issue de la série de base. Le test de Pettitt suppose l'absence d'autocorrélation et la constance de la variance comme condition d'application. Dans notre cas, nos séries pluviométriques remplissent ces conditions.

### **3. 3. 3. Étude de la variation spatio-temporelle de la pluviométrie : réalisation de la carte des isohyètes**

Cette étude des pluies sur une surface repose sur une hypothèse qui stipule que « *la pluie ponctuelle observée à une station est représentative de celle tombée dans une zone plus ou moins étendue, suivant la densité du réseau pluviométrique, autour de la station* ».

L'étude de la variation spatio-temporelle de la pluviométrie s'est faite en utilisant les différentes données des stations pluviométriques qui couvrent la zone d'étude. A ces stations pluviométriques, il a également été ajouté des mesures pluviométriques issues du capteur Météosat pour combler des lacunes existantes. Les données disponibles ont été classées sur les quatre (4) décennies (1961 - 1970 ; 1970 - 1980 ; 1980 - 1990 ; 1990 - 2000) qui couvrent la période de disponibilité des données. La base de données obtenue est exportée sous le logiciel Surfer 8.0 où il a été procédé à une interpolation de type krigéage pour générer les cartes thématiques (carte des isohyètes, isopièze, etc.).

### **3. 3. 4. Étude de la relation pluviométrie - niveau piézométrique**

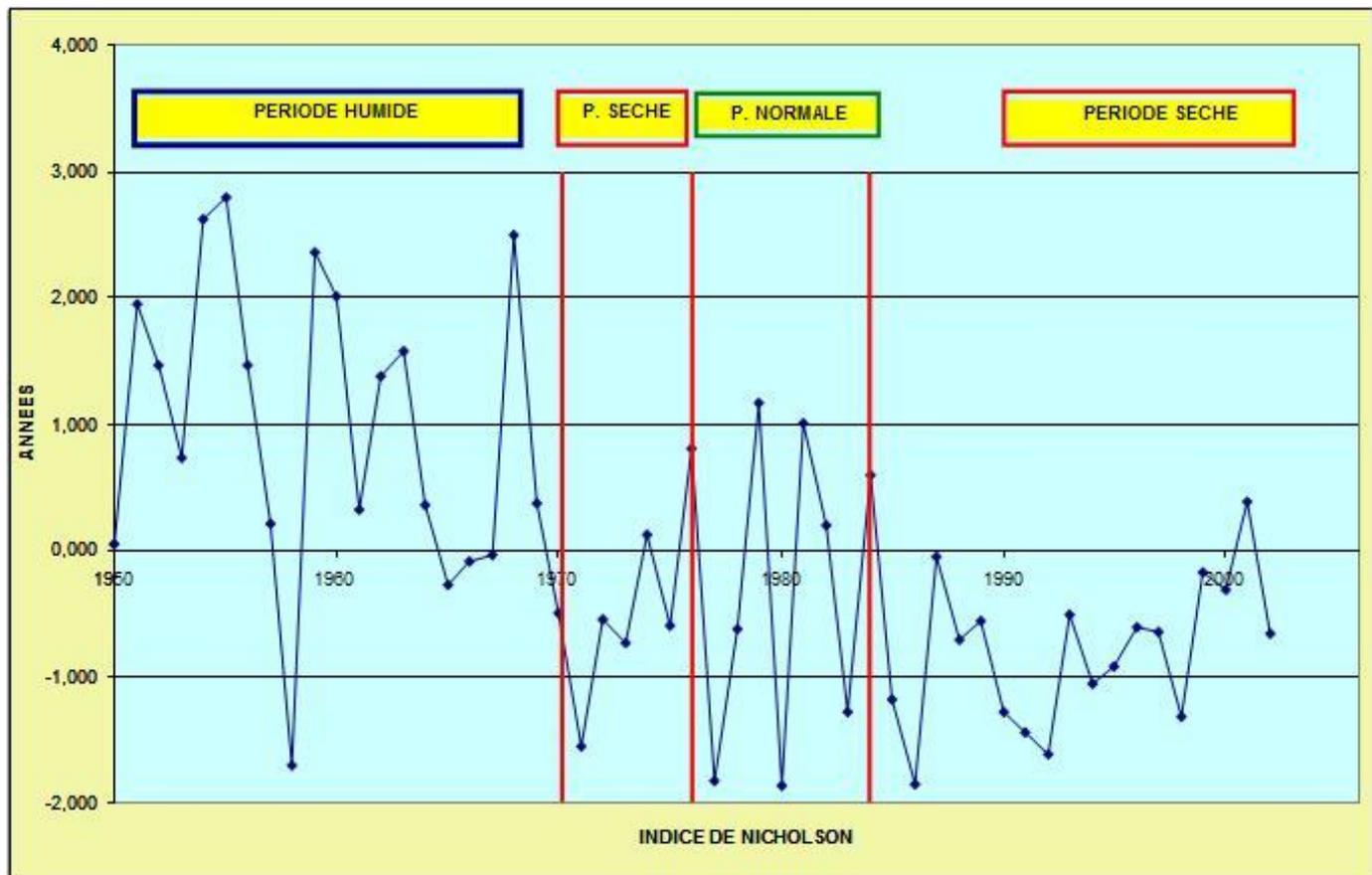
La difficulté de l'homogénéité des données pluviométrique et piézométrique rend difficile l'approche comparative des données. En effet, il existe plusieurs lacunes au niveau des données piézométriques (Absence des données sur plusieurs sites, données incomplètes). Pour étudier la relation pluie-Niveau piézométrique, il a ainsi été procédé à une comparaison non pas, carte à carte, mais, une comparaison carte-graphique.

Pour estimer le temps de réaction de la nappe face aux sollicitations de la pluviométrie, il a été établi des graphiques à deux axes comportant les courbes de la pluviométrie et du niveau piézométrique de la nappe pour chaque piézomètre identifié et en respectant la même période de temps.

## 4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

### 4. 1. Résultats de l'étude de la variabilité climatique par l'indice de Nicholson

La figure 4 présente les différentes fluctuations obtenues par application de l'indice de Nicholson



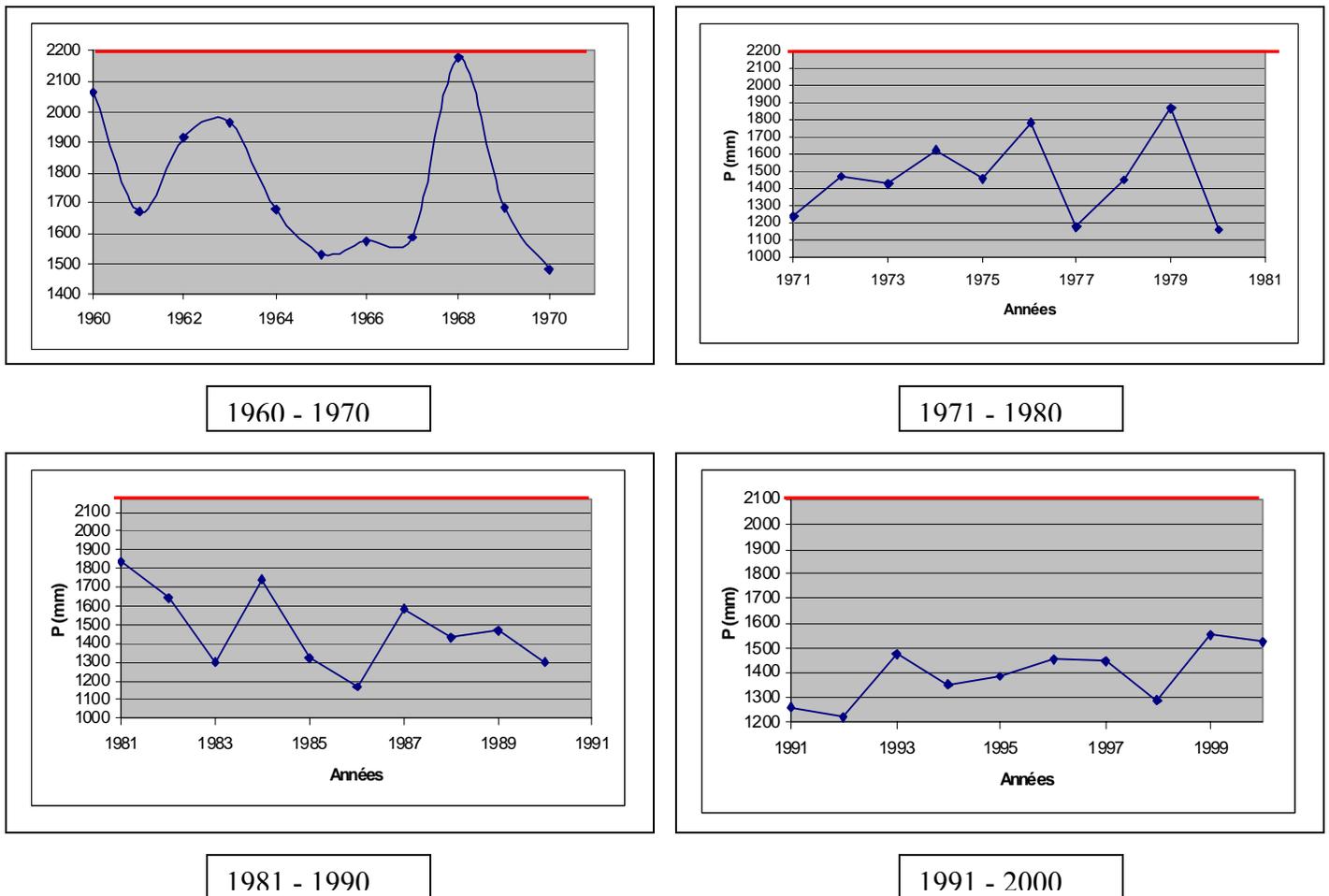
**Figure 4 :** Fluctuations pluviométriques par application de l'indice de Nicholson

Les résultats des indices de Nicholson appliqués sur le district d'Abidjan permettent d'identifier trois (3) grandes périodes :

- une période humide allant de 1950 à 1968 avec une moyenne pluviométrique de 1 753 mm. Ce qui représente plus de 47% des totaux pluviométriques supérieurs à la moyenne annuelle totale qui est de 1 596 mm ;
- une période normale entre 1969 et 1975 avec une moyenne pluviométrique de 1 546 mm soit 15% des totaux pluviométriques, sensiblement égale à la moyenne annuelle totale ;
- une première période sèche 1969 à 1975 et une seconde période sèche de 1987 à 2000 avec une moyenne pluviométrique de 1 420 mm, soit 34% des totaux pluviométriques, inférieure à la moyenne annuelle totale.

La courbe de fluctuation par l'indice de Nicholson reflète bien la grande variabilité pluviométrique au niveau du district d'Abidjan depuis 1950. Cet indice exprime également la tendance à la baisse de la pluviométrie à partir de l'année 2000. Cette importante variation pluviométrique est également mise en

évidence sur la figure 5 qui fait la synthèse des quatre dernières décennies (1960 - 1970, 1971 - 1980, 1981 - 1990, 1991 - 2000).



**Figure 5 :** Variation de la pluviométrie au cours des quatre dernières décennies (1960-1970 ; 1971-1980 ; 1981-1990 ; 1991-2000)

L'étude de la variation pluviométrique pendant les quatre dernières décennies illustre la grande baisse qui a affecté ce paramètre. En effet, l'écart entre la pluviométrie de référence considérée (2200 mm, représentée par le trait rouge sur la figure 5) et le maximum pluviométrique des autres décennies n'a cessé d'augmenter. Ainsi, la pluviométrie est passée de 2200 mm en 1968 à 1600 mm en 1998, soit une baisse pluviométrique de 27 % en 30 années. Les conséquences de cette baisse sont entre autres la baisse des ressources en eaux de surface et souterraines, la baisse du couvert végétale, etc.

#### 4. 2. Résultats de la méthode du test de Pettitt

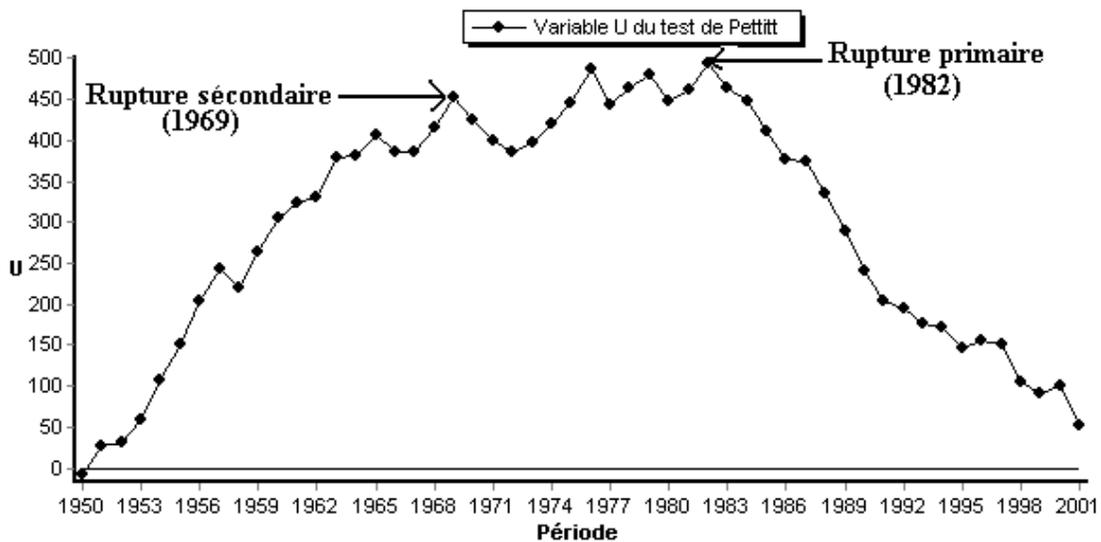
Les dates de ruptures primaires détectées (1965, 1968, 1969, 1970, 1976 et 1982) sont liées à des probabilités de dépassement (tableau I).

**Tableau I : Principales dates de rupture des séries pluviométriques**

<b>Séries ou stations</b>	<b>Période d'observation</b>	<b>Dates de rupture</b>
<b>Adiopodoumé</b>	1948-1996	1965
<b>Abidjan aero</b>	1950-2002	1982
<b>Dabou (Songon)</b>	1952-1996	1976
<b>Lamé</b>	1950-2002	1968
<b>Bingerville</b>	1950-2002	1969
<b>Filtisac</b>	1950-2002	1969
<b>Zoo 2 nord</b>	1960-2002	1970
<b>Anonkouakouté</b>	1950-2002	1969

L'analyse des résultats du tableau I montre que des ruptures sont observées au sein des séries avec un niveau de signification qui varie d'une série à l'autre. Ainsi, des ruptures primaires très significatives (seuil d'erreur <1%) ont été détectées dans les séries pluviométriques de Zoo 2 nord en 1970. Des ruptures primaires significatives (1% < seuil d'erreur <5%) sont détectées au niveau des séries d'Adiopodoumé (1965), d'Abidjan aéroport (1982), de Songon (1976), de Lamé (1968), de Bingerville (1969), Filtisac (1969) et d'Anonkouakouté (1969). Les années 1965 et 1968 sont identifiées comme étant celles de ruptures les plus significatives. Des ruptures secondaires sont identifiées au niveau des stations de Songon (1983), d'Adiopodoumé (1976), et d'Abidjan (1969) à travers l'analyse des courbes de la variable U du test de Pettitt. La figure 6 illustre le cas de la série d'Abidjan. La rupture est ici traduite par un changement brutal dans l'allure d'évolution de la courbe. On note deux ruptures successivement en 1969 et 1982 pour la courbe de la série d'Abidjan.

Paturel et *al.* (1996, 1997, 1998), avec cette même méthode appliquée sur un ensemble de stations pluviométriques couvrant l'Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne, ont permis d'identifier des ruptures primaires majoritaires entre 1960 et 1979 ainsi que des ruptures autour de 1940. Ces dernières n'ont pu être détectées à travers notre étude.



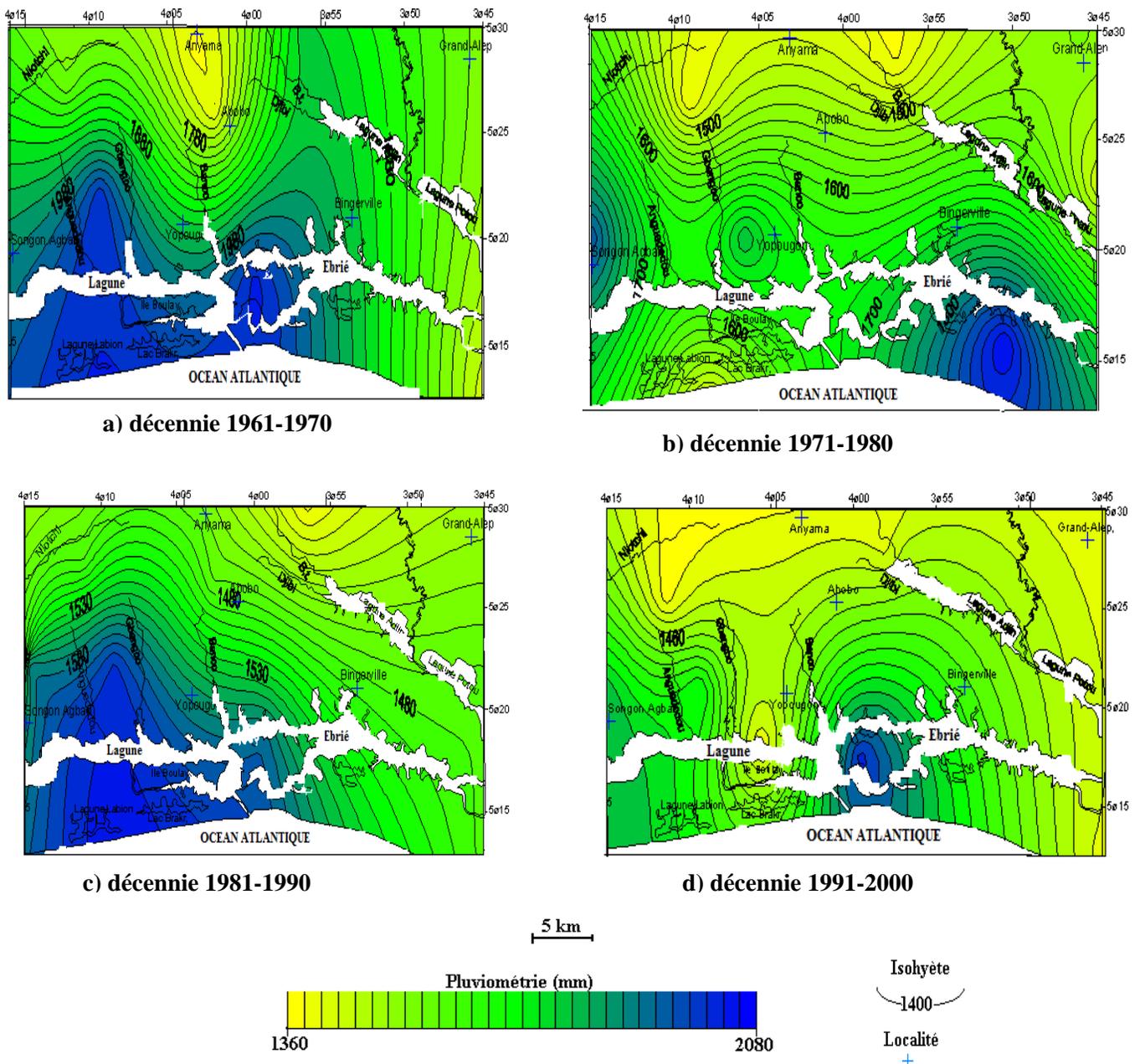
**Figure 6 :** Courbe de la série pluviométrique d'Abidjan aéroport (Dates de rupture : 1969 et 1982)

Sur l'ensemble des tests de détection de rupture, des ruptures sont identifiées autour de l'année 1960 (1955, 1963, 1965), de l'année 1970 (1968, 1969, 1970, 1976) et de l'année 1980 (1982, 1985).

Ces ruptures coïncident avec les années de grandes sécheresses déterminées dans les études antérieures en Afrique de l'Ouest (OMM, 1995). Brou (1997) a utilisé cette même méthode sur la moitié sud du territoire ivoirien pour mettre en évidence l'existence d'une rupture survenue durant la décennie 1960 ou au début de la décennie 1970.

#### 4. 3. Résultats de la variation spatio-temporelle de la pluviométrie

La répartition des précipitations est hétérogène sur l'ensemble du district d'Abidjan. Pour Fontaine et Janicot (1993), au moins deux facteurs indépendants responsables de la variabilité pluviométrique justifient ce fait : la position en latitude de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) et l'intensité de la convection. La variabilité de la pluie au cours des décennies 1961 - 2000 (1961 - 1970, 1971 - 1980, 1981 - 1990 et 1991-2000), fortement influencées par les sécheresses des années 1968 - 1973 et 1982 - 1983 (Amani, 2003), reflète la grande hétérogénéité dans la distribution temporelle des pluies au cours de cette période (figure 7).



**Figure 7 :** Évolution spatio-temporelle des précipitations dans le district d'Abidjan au cours des décennies : a) 1961-1970 ; b) 1971-1980 ; c) 1981-1990 ; d) 1991-2000

L'interprétation de la figure ci-dessus permet de retenir que :

- durant la **décennie 19761 - 1970**, on constate que la majeure partie du district d'Abidjan reçoit une pluviométrie comprise entre 1 980 mm et 2 100 mm. On note ainsi que la partie sud-ouest est la plus arrosée durant cette décennie. (figure 7a).
- durant la **décennie 1971 - 1980**, nous avons une réduction du champ pluvieux traduite par la disparition de l'isohyète 1 980 mm qui fait place à l'isohyète 1 640 mm, soit une réduction de 340 mm. Cette réduction se manifeste également au Nord du district (Anyama) avec une pluviométrie inférieure à 1 500 mm. Le Sud-Est est marqué par la migration de l'isohyète 2 000 mm, soit une augmentation de 200 mm (figure 7b).

- la **décennie 1981 - 1990** est caractérisée par une reprise de la pluviométrie dans le Sud-Ouest. Cette décennie présente dans son ensemble une pluviométrie inférieure à 1 620 mm. La partie Sud–Est (vers Grand-Bassam) est marquée par la disparition de l’isohyète 2 000 mm qui fait place à l’isohyète 1 500 mm, soit une réduction de 500 mm. Dans le Nord (entre Anyama et Grand-Alépé) l’isohyète 1 500 mm (1971-1980) fait place à l’isohyète 1 300 mm soit une réduction de 200 mm (figure 7c).
- enfin, la dernière **décennie 1991 - 2000** indique une baisse de la pluviométrie dans le Sud-ouest (Songon-Yopougon). Dans cette zone, l’isohyète 1 620 mm de la période (1981-1990) fait place à l’isohyète 1 450 mm soit une réduction de 170 mm. (figure 7d).

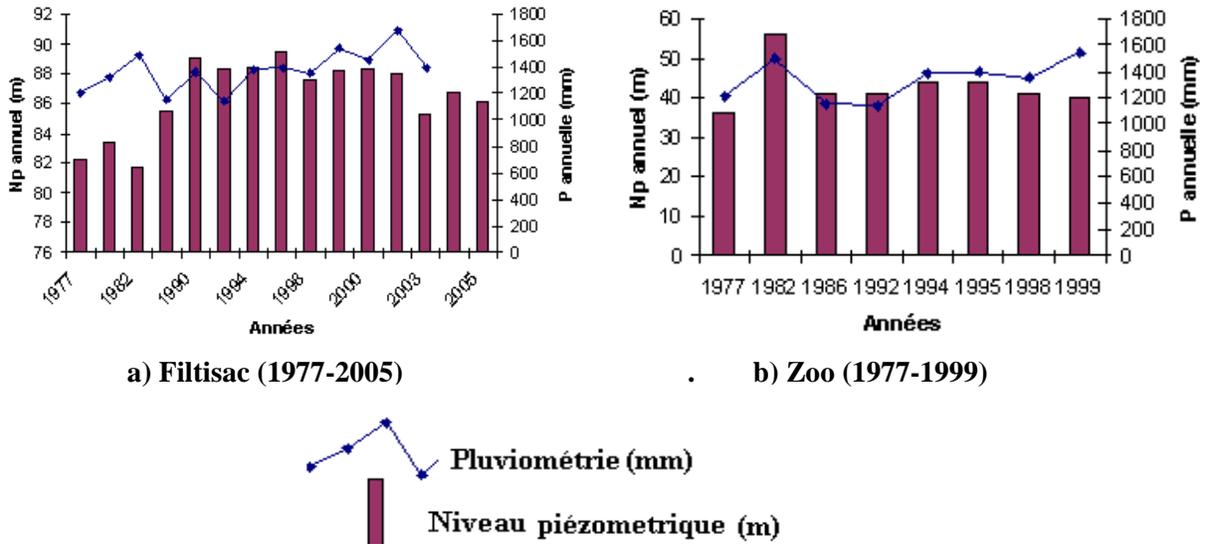
Une analyse générale des cartes d’isovaleurs des précipitations montre l’important glissement vers le Sud de toutes les isohyètes en général, traduisant ainsi une baisse de la pluviométrie du Nord au Sud dans le district d’Abidjan au cours des différentes décennies. Ce constat est en accord avec Soro (2007) qui signale une diminution de la pluviométrie interannuelle sur la période d’étude (1941-2001) du Sud vers le Nord dans la région de Grand-Lahou.

#### **4. 4. Résultats de la relation pluie et niveau piézométrique**

De manière générale, l’analyse des courbes de la figure 8 montre une baisse du niveau de la nappe (correspondant aux valeurs élevées du niveau piézométrique) dans les piézomètres du « Zoo 2 » (1982) et de « Filtisac » (1991, 1997)). Ces différentes périodes de baisse correspondent aux années de grands déficits pluviométriques observés dans la zone d’étude et également aux années de ruptures :

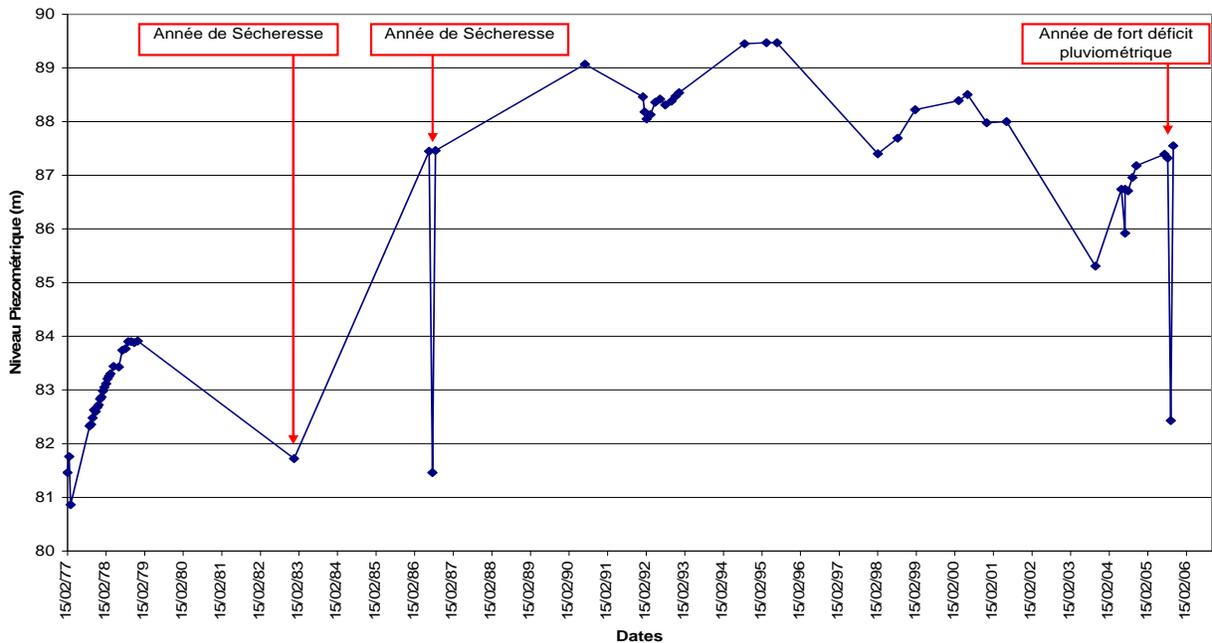
- au niveau du piézomètre de « Zoo 2 », nous observons une baisse générale du niveau de la nappe à partir de 1982 liée à la rupture pluviométrique de 1982 ;
- au niveau des piézomètres de « Filtisac », nous notons une baisse du niveau piézométrique à partir de la rupture pluviométrique de 1997.

Certains auteurs, à travers leurs études effectuées dans le district, ont souligné la baisse du niveau piézométrique de la nappe d’Abidjan. Ainsi, Ahoussi (2002) a observé une diminution du niveau piézométrique de la nappe de 1992 à 2001. Selon cet auteur, cela serait dû à l’exploitation intensive des ressources en eau de la nappe suite à un accroissement des besoins en eau de la population abidjanaise. Sombo (2006) a montré qu’à la suite d’une période sèche ayant sévi entre 1983 et 1990 dans la sous-région, la nappe d’Abidjan a également accusé une baisse significative.



**Figure 8 :** Évolution comparée du niveau piézométrique de la nappe d’Abidjan et de la pluviométrie en fonction du temps : a) piézomètre de « Filtisac » (1977-2005) ; b) piézomètre du « Zoo ».

Une étude menée sur le piézomètre d’« Adjamé » depuis 1977 (figure 9) montre clairement l’influence de la baisse pluviométrique sur les ressources en eaux au niveau des forages de la zone « Adjamé ». En effet, les baisses drastiques observées au niveau de la nappe d’eau correspondent aux années de forts déficits pluviométriques (1983, 1986, 2005).



**Figure 9 :** variation du niveau piézométrique au niveau des forages d’« Adjamé » (1977 - 2005)

## 5. DISCUSSION

Au cours des quatre dernières décennies 1960 - 1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 le caractère déficitaire des précipitations amorcé a prit progressivement de l'ampleur. En effet, on assiste à une augmentation du front déficitaire, signalé par le glissement des courbes isohyètes 1460 mm vers le Sud. La baisse des précipitations a été signalée par plusieurs auteurs dans différentes régions du pays. En effet, Aké (2001) situe cette baisse depuis 1984 dans la région de Bonoua. Yao (2005), à travers ses travaux menés dans le Sud de la Côte d'Ivoire, a montré une baisse considérable de la pluviométrie au cours de la décennie (1989-1999). Amani (2003) fixe cette régression à partir de 1967 dans les régions du grand ouest de la Côte d'Ivoire. Par contre, Kouadio (2004) indique une baisse des pluviométries dans le bassin du N'Zi autour des années 1968.

D'autre part, la décennie 1981-1990 signale une reprise de la pluviométrie dans le Sud-ouest du District. Cette reprise a été observée par Amani (2003) à partir de 1993 dans certaines régions de l'Ouest de la Côte d'Ivoire (Man, Guiglo). Goula Bi et *al.* (2006) à travers leur étude ont souligné une reprise de la pluviométrie normale sur le bassin versant du N'zo à Kahin de 1994 à 2000. De même, Yao (2005) a montré la reprise de la pluviométrie au cours de la décennie (1980-1989) dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire (Tabou et Tai).

Cette baisse du niveau de la nappe est à la base de la baisse de la disponibilité en eau au niveau du district d'Abidjan. Ce fait conduit souvent à des pénuries d'eau, temporelles ou structurelles, résultant d'une insuffisance quantitative et/ou qualitative de la ressource hydrique disponible par rapport à la demande. Selon Yao (2005), la situation fut préoccupante au cours des années particulièrement sèches comme ce fut le cas en 1983 où les populations furent contraintes de parcourir de longues distances pour l'accès à des cours d'eau permanents. Cette baisse a été également observée à l'Ouest de la Côte d'Ivoire lors des travaux d'Amani (2003) et Paturel et *al.* (1995) qui ont identifié des ruptures dans les années 1970 et 1982 en général, et en Côte d'Ivoire par Biémi (1992), Savané (1997), Oga (1998) et Kouamé (1999) en particulier. Le district d'Abidjan s'intègre donc dans les grandes fluctuations du climat Ouest Africain. Ces périodes sèches sont généralement suivies par des périodes de précipitations moyennes, où les pluies peuvent atteindre des hauteurs de 1600 mm (Sombo, 2006).

Lors de cette étude, il a été difficile d'établir des corrélations dans certains secteurs de la zone d'étude. Cette difficulté est liée en grande partie à l'absence des données (piezométriques et pluviométriques), et aussi à une certaine imperméabilisation des sols, conséquence d'une grande d'une urbanisation « galopante ».

## 6. CONCLUSION GÉNÉRALE

La compilation des données cartographiques, piézométriques et pluviométriques a permis de mettre en évidence une variabilité spatio-temporelle au niveau du district d'Abidjan. Ainsi, cette variabilité de la pluie au cours des décennies 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000, fortement influencée par les sécheresses des années 1969 et 1982, reflète la grande hétérogénéité dans la distribution temporelle des pluies au cours de cette période. Les principales ruptures pluviométriques de 1982 et 1997 provoquent effectivement une baisse du niveau de la nappe depuis les années 1970 avec comme conséquences des pénuries d'eau. Malgré cette baisse pluviométrique observée, il a été identifié au niveau de certains forages une remontée du niveau de la nappe. Cette situation pourra être expliquée par l'apport des eaux de surface et une certaine perméabilité des sols (environnement sédimentaire).

La principale difficulté observée lors de cette étude est l'absence des données. C'est pourquoi, l'une des perspectives de cette étude est de procéder à une implantation de stations de mesures de paramètres hydroclimatiques pour un suivi régulier des différentes fluctuations, et pour procéder à une modélisation des données afin de mieux caractériser la relation pluie-Nappe.

## **Bibliographie :**

- AMANI K. M. (2003). Apports des méthodes statistiques et géostatistiques à l'étude de la variabilité hydroclimatique dans la région semi-montagneuse de Côte d'Ivoire. Cas du bassin versant du N'Zo. *Mémoire de DEA des Sciences de la Terre, Université de Cocody*, 65 p.
- BRICQUET J.P., BAMBA F., MAHE G., TOURE M. et OLIVRY J.C. (1997). Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. *Journal des sciences hydrologiques*, n°16, pp 83-95.
- BROU T., SERVAT E. et PATUREL J.E. (1998). Activités humaines et variabilité climatique : cas du Sud forestier ivoirien. *Publication IAHS*, n°252, pp. 365-373.
- FONTAINE B., JANICOT S. (1993). L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie*, 8<sup>e</sup> série, n° 1, pp. 28-41.
- GOULA BI A., ISSIAKA S., BROU K., VAMORYBA F. et GNAMIEN B. K. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Revue en Sciences de l'Environnement Vertigo*, vol.7, no.1, pp. 20-24.
- HUBERT P., SERVAT E., PATUREL J. E., KOUAME B., BENDJOUDI H., CARBONNEL J. P., LUBES-NIEL H. (1998). La procédure de segmentation, dix ans après. *Publication IAHS*, n°250, pp. 267-273.
- INTERNATIONAN WATER MANAGMENT INSTITUTE  
<http://dw.iwmi.org/dataplatform/clickandplot.aspx> . Consulté en 2007
- KOUADIO G. B. (2004). La caractérisation de la variabilité climatique et de la sécheresse des ressources en eau de la Côte d'Ivoire : cas du bassin versant du N'Zi. *Mémoire de DEA des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé*, 71 p.
- LEBEL T., AMANI A. (1999): Rainfall estimation in the Sahel: What is the ground truth? *Journal of Applied Meteor*, t 38, pp. 555-567.
- LOROUX B. (1978). Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier de Côte d'Ivoire. *Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle, Université de Bordeaux I*, n°1429, 93 p.
- LUBES-NIEL H., MASSON J. M., PATUREL J. E., SERVAT E. (1998). Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 3, pp. 383-408.
- MAHE G. et OLIVRY J.C. (1995). Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Bulletin sécheresse*, vol. 6, n° 1, pp. 109-170.
- OUEDRAOGO M. (2001). Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. *Thèse de l'Université de Montpellier II*, 257 pp.
- PATUREL J. E., SERVAT E., KOUAME B., BOYER J.F. (1995). Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne, cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Benin. *Bulletin sécheresse*, vol.6, n°1, pp. 95-102.

- PATUREL J. E., MORELL M., KOUAME B., BOYER J.F., LUBES-NIEL H., MASSON J. M. (1996). Procédure d'identification de ruptures dans des séries chronologiques; modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. *Hydrologie tropicale: Géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris)*, LAHS publication n°. 238, pp. 99-110.
- PATUREL J. E., SERVAT E., KOUAME B., LUBES-NIEL H., OUEDRAOGO M., MASSON J. M. (1997). Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea Part II: an integrated regional approach. *Journal of hydrology*, vol.191, pp. 16-36
- PATUREL J. E., SERVAT E., DELATTRE M. O. (1998). Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Journal des sciences hydrologiques*, vol. 43, n°. 3, pp. 937-945.
- PENE B.G. et ASSA D.A. (2003). Variations interannuelles de la pluviométrie et de l'alimentation hydrique de la canne à sucre en Côte d'Ivoire. *Sécheresse*, vol.14, pp. 143-152.
- PETTIT A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, t.28, n°2, pp. 126-135.
- SALEY M. B. (2003). Système d'Informations Hydrogéologiques à Référence Spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat unique, Université de Cocody*, 211 p.
- SAVANE I., COULIBALY K.M. et GIOAN P. (2001). Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. *Bulletin sécheresse*, vol.12, n°4, pp. 231-237.
- SANDRA A. (2004). Variabilité hydroclimatique et impact sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. *Thèse de Doctorat, Université Montpellier II*, 440 p.
- SERVAT E., PATUREL J. E., KOUAME B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M., LUBES-NIEL H., FRISTCH J. M., MASSON J. M. et MARIEU B. (1998). Identification, caractérisation et conséquence d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In : *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century, IAHS Publication*, n°252, pp. 323-337.
- SERVAT E., PATUREL J.-E., LUBES-NIEL H., KOUAME B., MASSON J.M., TRAVAGLIO M. et MARIEU B. (1999). De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne. *Revue des sciences de l'eau*, vol.12, n°2, pp.363-387.
- SOMBO A. (2006). Modélisation hydrodynamique de la nappe du Continental terminal d'Abidjan. *Mémoire de DEA des Sciences de la terre, Université de Cocody*, 67 p.
- SORO T. D. (2007). Variabilité climatique et son impact sur l'alimentation des ressources en eau du degré carré de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire). *Mémoire de DEA des Sciences de la terre, Université de Cocody*, 90 p.
- SORO N., LASM T., KOUADIO B. H., SORO G., AHOUSSE K. E. (2006). Variabilité du régime pluviométrique du Sud de la Côte d'Ivoire et son impact sur l'alimentation de la nappe d'Abidjan. *Rev. Sud Sciences et technologies*, n°.14, pp. 30-40.

- TAPSOBA S. (1995). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (sud de la Côte d'Ivoire) : hydrochimie, isotopie, et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. *Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycles, Université de Cocody, 201 p.*
- TAPSOBA D., BOBEE B., LEBARDE L., ELGUERO E. (2002). Quelques caractéristiques événementielles des régimes pluviométriques ponctuels Ouest-Africains au cours de deux périodes climatologiques contrastées (1951-1970 et 1971-1990). Application de la loi composée Poisson-exponentielle (LCPE) ou du modèle de la loi des fuites (LDF) aux pluies journalières. *Sécheresse, vol.13, n°2, pp. 95-104.*
- YAO T. B. (2005). Climat, mutation socio-économique et paysage en Côte d'Ivoire. *Mémoire de synthèse des activités de recherches. Uni. des Sc. et Tech. de Lille, 226 p.*