

## IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ÉVOLUTION DES CONDITIONS AGROCLIMATIQUES DU BASSIN IVOIRIEN DE LA COMOÉ

Djibril D. NOUFÉ\*<sup>1</sup>, Amidou DAO<sup>1</sup>, Emile G. SORO<sup>1</sup>, Pauline K. DIBI<sup>2</sup>, Dominique DUMAS<sup>3</sup>, Téléphore Y. BROU<sup>4</sup>, Sylvain BIGOT<sup>5</sup>, Bamory KAMAGATE<sup>1</sup>, Lanciné D. GONE<sup>1</sup>, Bi Tié A. GOULA<sup>1</sup>, Eric SERVAT<sup>6</sup>, Gil MAHE<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Université Nangui Abrogoua - Laboratoire Géosciences & Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire ([dnoufe@hotmail.com](mailto:dnoufe@hotmail.com)/[dabissinou.sge@univ-na.ci](mailto:dabissinou.sge@univ-na.ci))

<sup>2</sup>Université Félix Houphouët Boigny - Institut de Géographie Tropicale (IGT), Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Université Lyon3 - UMR Environnement Ville Société (EVS), France

<sup>4</sup>Université de La Réunion - Laboratoire Océan Indien : Espaces et Sociétés (OIES), France

<sup>5</sup>Université Grenoble Alpes - Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (LIPhy), France

<sup>6</sup>Université Montpellier - UMR 050 HSM (IRD)/UMR 5569 (CNRS), France

**Résumé :** Zone d'agriculture pluviale conventionnelle, le bassin de la Comoé subit des modifications environnementales et climatiques, depuis les décennies 1970 et 1980. Cette recherche évalue l'impact des changements climatiques sur l'évolution des conditions hydriques de production ; l'analyse fréquentielle des saisons culturales par simulation du bilan hydrique de culture et l'estimation des cumuls annuels de déficits hydriques, mettent en évidence les impacts du changement climatique sur les conditions hydriques de production: les indicateurs agroclimatiques, notamment les besoins en eau de culture et les cumuls annuels de déficits hydriques calculés, montrent une évolution spatio-temporelle hétérogène des potentialités agroclimatiques du bassin.

**Mots clés :** Agroclimatologie, bilan hydrique de culture, sous-bassin sud de la Comoé, Côte d'Ivoire

**Abstract:** The Comoé river Basin is a conventional rainfed agricultural area that has been subject to environmental and climatic changes, since the 1970s and 1980s. This research assesses the impact of climate change on the evolution of water production conditions. The frequency analysis of crop seasons by simulation of the crop water balance and the estimation of annual accumulated water deficits highlight the impacts of climate change on water production conditions: agroclimatic indicators, notably crop water requirements and calculated annual accumulated water deficits, show a heterogeneous spatiotemporal evolution of the basin's agroclimatic potentials.

**Keywords:** Agroclimatology, crop water balance, southern Comoé sub-basin, Côte d'Ivoire

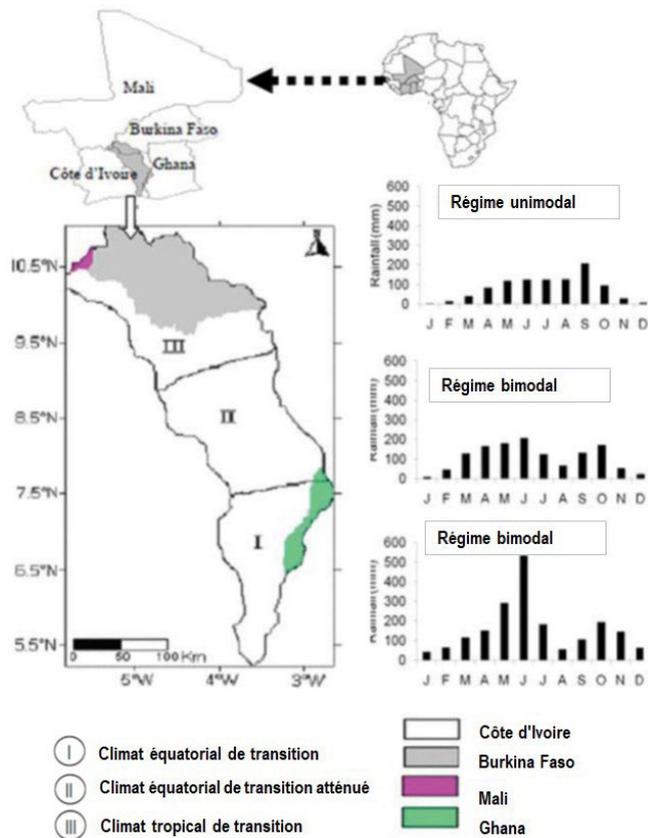
### Introduction

Depuis des décennies, le bassin de la Comoé subit une sécheresse récurrente qui se manifeste par des déficits pluviométriques et des modifications du régime des pluies (Noufé *et al.*, 2011 ; Ismaël *et al.*, 2022). En effet, la baisse pluviométrique amorcée dans le golfe de Guinée à la fin des années 1960, s'est intensifiée durant les décennies 1970 et 1980, avant une certaine rémission au cours des années 1990. Toutefois, les études agroclimatiques sont rares à l'échelle de ce bassin. Celles qui existent sont basées sur la pluviométrie, perdant ainsi de vue que le climat agricole diffère de la seule occurrence ou absence de pluies (Noufé *et al.*, 2011) ; car du point de vue agroclimatique, de simples variations de température, de précipitation, d'humidité de l'air et du sol, peuvent conditionner le potentiel de productivité, en impactant la croissance des cultures. Aussi, tenant compte du niveau de la réserve utile du sol (RU), de la pluviométrie et de l'évapotranspiration journalières, cette étude vise à montrer, à partir de la simulation du bilan hydrique journalier (Allen *et al.*, 1998), l'évolution spatio-temporelle de la durée des saisons culturales, et du risque de déficit hydrique (DH). Les résultats obtenus permettent d'évaluer l'impact des changements climatiques sur les conditions hydriques de production du bassin.

## 1. Présentation de la zone, matériel et méthodes

### 1.1. La zone d'étude

Situé entre 5°-11°N et 5°30'-3°30'W, le bassin ivoirien de la Comoé est assez représentatif des domaines écologique et climatique du pays. Du fait des balancements saisonniers de la zone de convergence intertropicale (ITCZ), la mousson ouest-africaine provoque dans la partie sud de ce bassin, deux saisons de pluies au printemps et à l'automne, entrecoupées de deux saisons sèches : une longue en hiver et une courte en été (Figure 1). Plus bas sont évoquées les saisons culturelles, la grande et la petite, peut-être serait-il utile de les mentionner ici ?



**figure 1 :** Situation du bassin de la Comoé et domaines climatiques associés (*synthèse établie d'après des données provenant de la SODEXAM, de 1950 à 2010*)

## 1.2. Données d'analyse

Cette recherche retient la période d'étude allant de 1950 à 2010, qui présente une fenêtre temporelle commune aux 12 stations retenues. Les données utilisées sont principalement de deux ordres : (i) climatiques, (ii) et agroclimatiques.

**Les données climatiques** comprennent les séries pluviométriques journalières et les données d'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle. Les variables pluviométriques journalières sont issues de la base de données de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Elles ont été critiquées et archivées au Laboratoire HydroSciences Montpellier sur le site SIEREM (Boyer *et al.*, 2006). Quant aux données d'évapotranspiration potentielle, elles dérivent de la base de données de l'Unité de Recherche Climatique de l'Université de l'Angleterre de l'Est (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>).

**Les données agroclimatiques** sont constituées des niveaux de réserve maximum en eau utile (RU) du sol (60, 120 et 200 mm) obtenus suivant un gradient régional nord/sud (Morel *et al.*, 1979), tandis que les valeurs de Kc dérivent quant à elles, des Bulletins FAO (24 & 56).

## 1.3. Les méthodes

Les méthodes reposent ici sur trois approches : (i) la méthode des écarts centrés réduits couplée avec celle du filtre passe-bas de "Hanning" d'ordre 2, (ii) la méthode de détermination des déficits hydriques annuels cumulés et (iii) la simulation du bilan hydrique de culture.

La simulation du bilan hydrique de culture intègre respectivement les données pluviométriques journalières, les données d'évapotranspiration potentielle (ETP), la réserve utile (RU) en eau du sol et les coefficients culturaux (kc).

Ces approches doivent permettre d'aboutir à une caractérisation de la durée fréquentielle (8 années sur 10) des saisons culturales, avant et après 1970 (date de rupture définie par Noufé *et al.* (2011)), en tenant compte de la durée des cycles culturaux et du drainage (DR) qui constitue un facteur d'engorgement des sols.

### 1.3.1 Caractérisation de la sécheresse dans la zone d'étude

Il s'agit de mettre en évidence les périodes d'excédent et de déficit pluviométrique. Ainsi, un indice pluviométrique annuel est déterminé comme une variable centrée réduite, au moyen de l'équation suivante :

$$X_{ij} = \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)}{\sigma_i} \quad (1)$$

avec :

$x_{ij}$  : hauteur de pluie totale pour une station i à une année j donnée ;

$\bar{x}_i$

— : moyenne interannuelle de pluie à la station i sur la période d'observation ;

$\sigma_i$

: écart type de la série pluviométrique annuelle.

$\sigma_i$

Cette méthode est couplée avec la méthode dite de "filtre passe-bas non récursif de Hanning d'ordre 2", en vue d'éliminer les variations saisonnières dans les séries temporelles. Chaque terme de la série est calculé de la manière suivante :

$$X_{(t)} = 0,06X_{(t-2)} + 0,25X_{(t-1)} + 0,38X_{(t)} + 0,25X_{(t+1)} + 0,06X_{(t+2)} \quad (2)$$

Pour  $3 \leq t \leq (n-2)$  et où :

$X_{(t)}$  = le total pluviométrique pondéré du terme t,

$X_{(t-2)}$  &  $X_{(t-1)}$  = les totaux pluviométriques des deux termes qui précèdent immédiatement le terme t,

$X_{(t+2)}$  et  $X_{(t+1)}$  = les totaux pluviométriques des deux termes qui suivent le terme t.

Les totaux pluviométriques pondérés des deux premiers termes [ $X_{(1)}$ ,  $X_{(2)}$ ] et des deux derniers termes [ $X_{(n-1)}$ ,  $X_{(n)}$ ] de la série, sont calculés comme il suit (*n étant la taille de la série*) :

$$X_{(1)} = 0,54X_{(1)} + 0,46X_{(2)} \quad (2.1)$$

$$X_{(2)} = 0,25X_{(1)} + 0,50X_{(2)} + 0,25X_{(3)} \quad (2.2)$$

$$X_{(n-1)} = 0,25X_{(n-2)} + 0,50X_{(n-1)} + 0,25X_{(n)} \quad (2.3)$$

$$X_{(n)} = 0,54X_{(n)} + 0,46X_{(n-1)} \quad (2.4)$$

### 1.3.2 Caractérisation de l'évolution de la durée des saisons culturales

Les conditions hydriques de production sont caractérisées par le modèle d'équation du bilan hydrique suivant :

$$RS_i = RS_{i-1} + P_i - ETR_i - DR_i$$

(3)

Où :

$RS_i$  = lame d'eau stockée dans le sol (mm) au jour i

$RS_{i-1}$

= pluviométrie (mm) du jour i

$P_i$

= Evapotranspiration réelle de la culture (mm) du jour i

$ETR_i = (1 - k_s)ETP_i$

= Evapotranspiration potentielle (mm) du jour i

$ETP_i$

= coefficient de stress hydrique

$$k_s = 1 - \min\left(\frac{RS_{i-1} + P_i - ETP_i}{RU - RFU}, 1\right)$$

$RU$  = réserve en eau utile du sol (mm)

$RU$

= réserve en eau facilement utilisable du sol (mm)

$RFU$

$DR_i = \max(RS_{i-1} + P_i - ETR_i - RU, 0)$  = lame d'eau percolée (mm) du jour i

Le modèle itératif ci-dessus permet de déterminer les dates de début, de fin et de durée des saisons culturales, c'est-à-dire des périodes au cours desquelles les besoins en eau des cultures sont considérés couverts. On en déduit leurs fréquences d'occurrence de part et d'autre de 1970 (date de rupture préalablement définie). L'estimation de la fonction de répartition de ces événements est obtenue en application d'une loi de distribution empirique de Weibull. La durée de la saison culturale est déterminée à la probabilité « p » de 80 % (durée atteinte ou dépassée 8 années sur 10). La probabilité complémentaire « p' » = 100 % - p = 20 % ; ce qui suppose que le l'agriculteur devra s'accommoder d'une perte partielle ou totale de sa récolte 2 années sur 10 ; cette valeur de 20 % traduit l'occurrence maximale du risque encouru par l'agriculteur (Noufé *et al.*, 2011).

### 1.3.3 Caractérisation du risque interannuel de déficit hydrique

On parle de déficit hydrique lorsque l'eau disponible pour une plante quelconque ne lui permet plus de répondre à la demande évaporative (Noufé *et al.*, 2011). Ainsi, la transpiration de la plante (E<sub>Tr</sub>) sera inférieure à l'évapotranspiration maximale (ETM). Sur la base du modèle de bilan hydrique journalier déjà explicité, et par analogie au seuil de risque précédemment fixé, nous avons déterminé les déficits hydriques atteints ou dépassés 2 années sur 10 (20 %). Ainsi, il y a déficit hydrique (DH), si le bilan hydrique (*BHc*) est négatif :

$$DH = -BH \quad (4)$$

L'année étant divisée en périodes élémentaires de 10 jours, pour chaque période élémentaire on calcule le déficit hydrique cumulé (DH<sub>10</sub>), c'est-à-dire la somme des déficits journaliers tels que :

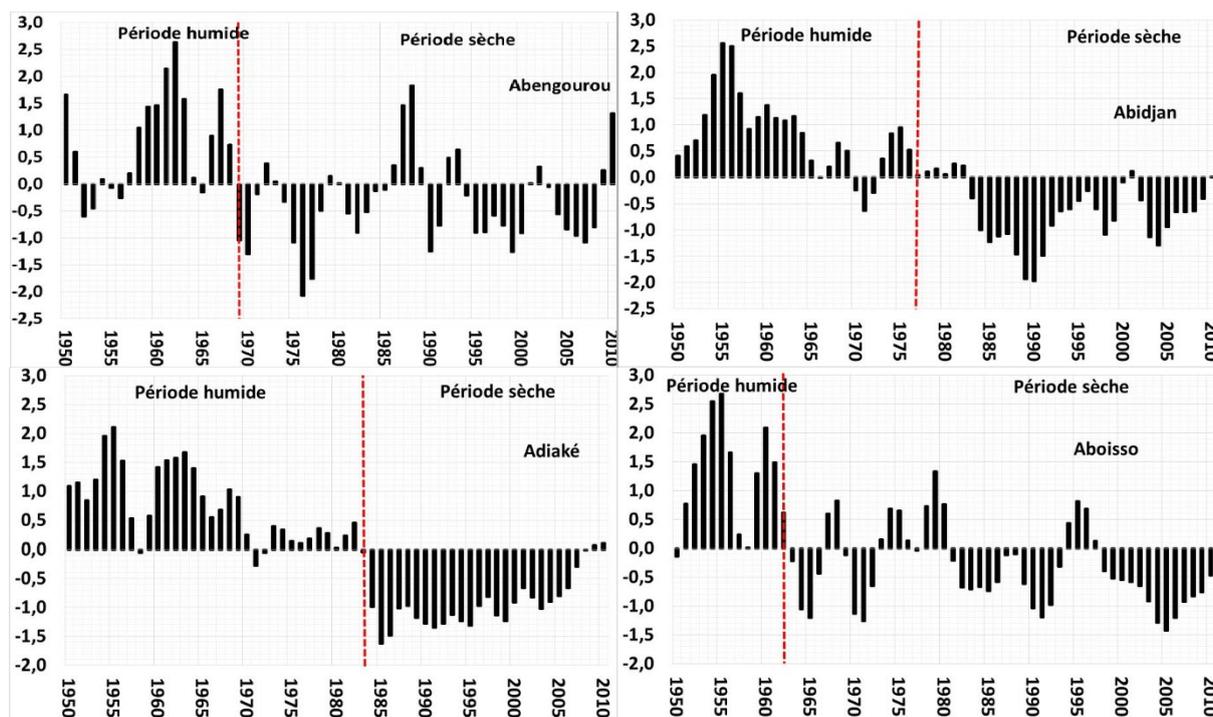
$$\left( DH_{10} = \sum_{j=1}^{10} DH_j \right) \quad (5)$$

Sur cette base, la répartition interannuelle des déficits hydriques décennaires (DH<sub>10</sub>) est analysée statistiquement par classification fréquentielle.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Une baisse significative des cumuls pluviométriques à partir des années 1970, associée à une réduction marquée de la durée des saisons culturales

La représentation des écarts pluviométriques standardisés (Figure 2) montre deux périodes opposées dans l'évolution de la pluviométrie du bassin : au cours des décennies 1950 et 1960, les cumuls pluviométriques interannuels sont globalement excédentaires sur l'ensemble ; mais à partir des années 1970, ils sont devenus dramatiquement déficitaires. Ces résultats confirment et complètent des études antérieures (Mahé *et al.*, 2001) pour lesquelles cette transition se serait plutôt produite autour des années 1970. Notons toutefois, qu'au cours des années 1990 (Mahé *et al.* 2001 ; Noufé *et al.*, 2011), un retour temporaire à des conditions plus pluvieuses s'observe dans l'ensemble du bassin, sauf dans certaines stations du littoral (Figure 2).



**figure 2 :** Écarts centrés réduits des précipitations pour quatre stations du bassin, entre 1950 et 2010 (les traits verticaux pointillés correspondent à des ruptures statistiques des séries calcul effectués).

La détérioration des conditions pluviométriques analysées ci-dessus, se répercute sur le déroulement et la durée des saisons culturales. On constate que si la grande saison culturelle des régimes bimodaux en moyenne et basse Comoé n'a pas connu de variation significative au sens statistique, la petite saison culturelle a en revanche, pratiquement disparu sur le littoral où elle n'atteint même plus 80 jours, sauf à Aboisso où, au seuil de probabilité 8 années sur 10, elle est passée de 108 à 83 jours, avant et après 1970 (Tab. 1).

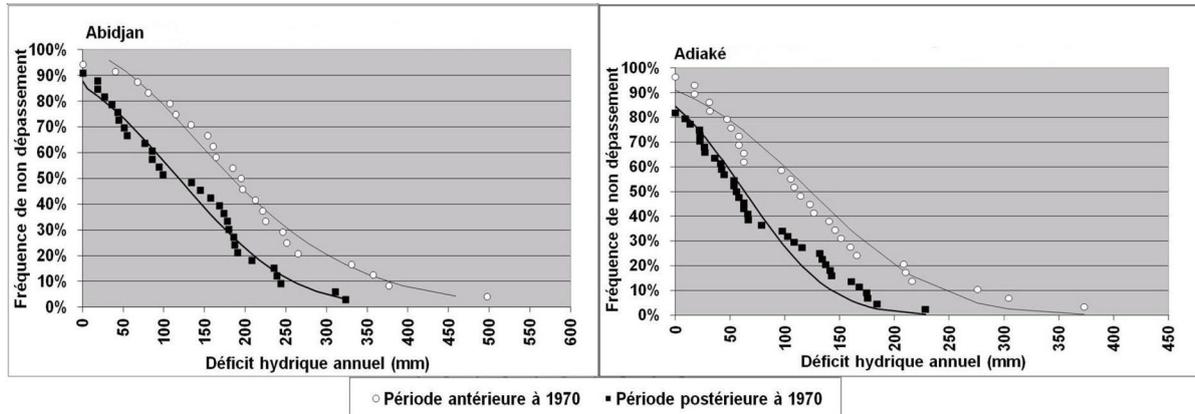
**Table 1 :** Variation de la durée des saisons culturales au seuil de probabilité 8 années sur 10 (80 %), dans le bassin de la Comoé, avant et après la rupture pluviométrique.

	zones	1 <sup>ère</sup> saison culturelle			2 <sup>ème</sup> saison culturelle		
		Avant 1970	Après 1970	Variation (%)	Avant 1970	Après 1970	Variation (%)
<b>Haute Comoé</b>	Zone soudanaise						
Ouangolodougou		168	146	13			
Ferkessedougou		183	165	10			
Bouna		181	180	1			
<b>Moyennes</b>		<b>175</b>	<b>161</b>	<b>8</b>			
<b>Moyenne Comoé</b>							
Bondoukou	Zone de transition	117	117	0	85	85	0
Abengourou		140	140	0	83	83	0
Adzopé		142	120	15	52	68	-31
<b>Moyennes</b>		<b>131</b>	<b>128</b>	<b>2</b>	<b>93</b>	<b>86</b>	<b>7</b>
<b>Basse Comoé</b>	Zone guinéenne						
Abidjan		167	155	7	86	76	12
Adiaké		187	167	11	90	73	19
Aboisso		173	171	1	108	83	23
<b>Moyennes</b>		<b>176</b>	<b>164</b>	<b>6</b>	<b>95</b>	<b>77</b>	<b>18</b>

## 2.2 Un gradient de diminution nord/sud du cumul annuel de déficit hydrique

Par analogie au seuil de risque précédemment fixé, il ressort des résultats obtenus sur les deux périodes considérées, que la variation du déficit hydrique cumulé évolue suivant un gradient de diminution nord/sud. Ainsi, à l'exception du secteur nord, le déficit hydrique n'a pas

significativement varié à Abengourou et à Aboisso, en moyenne et basse Comoé (Figure 3). Toutefois, sur le secteur littoral, les distributions statistiques ne s'ajustent pas aux lois normales (Figure 3), preuve s'il en fallait, que les événements extrêmes ne sont pas à exclure dans cette zone.



**figure 3** : Durée fréquentielle du cumul interannuel de déficit hydrique, au seuil de probabilité 2 années sur 10 (20 %), dans deux stations assez représentatives du sous-bassin sud de la Comoé, avant et après 1970.

## Conclusion

L'étude montre une succession d'années déficitaires et excédentaires associées à une dégradation des conditions agroclimatiques sur l'ensemble du bassin. Les séquences de périodes humides et sèches définies par l'estimation des écarts standards des séries temporelles, ont permis d'apprécier l'évolution spatiale de l'offre pluviométrique interannuelle. Quant à la simulation du bilan hydrique de culture, elle a permis la discrimination du bassin en aires de potentialités agroclimatiques relativement homogènes. Aussi, convient-il d'ajouter que le Sud-Comoé constitue un territoire d'économie de plantation ancienne et de front pionnier saturé où l'absence de forêts induit désormais un net recul des superficies emblavées en café et cacao. Ainsi, les perspectives s'inscrivent ici dans la reconversion vers de nouvelles spéculations pour lesquelles la donne climatique actuelle constitue un défi majeur.

**Remerciements** : les auteurs remercient la Région AURA (Auvergne-Rhône-Alpes) pour son soutien financier dans le cadre du projet incitatif Pack Ambition International 2020 (n° 20 006900 01-40892).

## Bibliographie

Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., et Smith M. 1998 : Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements : UN Food and Agricultural Organization, Irrigation & Drain. N° 24 & 56.

Boyer J.F., Dieulin C., Rouche N., Cres A., Servat E., Paturel J.E., Mahe G., 2006 : SIEREM an environmental information system for water resources. *IASH*. **308**, 19-25

Ouattara I., Dao A., D. Noufé D., 2022 : Assessment of Meteorological Drought in Climate Variability Context within the Comoé Transboundary Watershed. *Atmospheric and Climate Sciences*, **12**, 1-17.

Mahé G., L'Hôte Y., Olivry J.C., Wotling G. 2001: Trends and discontinuities in regional rainfall of west and central Africa–1951-1989. *Hydrol Sci J*; **46** (2), 211-226.

Morel R., Raoult B., 1979 : Agroclimatologie de la Côte d'Ivoire. Ministère du Plan, Abidjan, *Éditions BDPA Paris*, (1), 5-10.

Noufé D., Lidon B., Mahé G., Servat E., Brou Y. T., Koli B. Z., Chaléard J.-L., 2011 : Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'Est ivoirien. *Hydrol., Sci., J.* **56** (1), 152–167.